LA PEAU : TROP PÂLE, RIDÉE, BOUTONNEUSE…
La science à la rescousse de votre épiderme !

QUÉBEC SCIENCE

AVRIL-MAI 2017

ET SI TOUS LES DINOSAURES AVAIENT EU DES PLUMES ?

Trouvé en Chine, Xiaotingia était un dinosaure carnivore de 20 cm de hauteur.

+

Une tique qui rend allergique à la viande

• • •

La fatigue chronique, un mal qui n'a rien d'imaginaire

L'ADN, clé USB de demain ?

AVRIL-MAI 2017
PP 065387
04
6,45$
7 78313 03815 6
MESSAGERIE DYNAMIQUE 10682

lait

PRÉSENTE

GVO

FESTIVAL
GO VÉLO MTL

EN COLLABORATION AVEC

Jean Coutu

ENSEMBLE

DÉFI MÉTRO-POLITAIN
DIM 28 MAI

50 À 150 KM

TOUR LA NUIT
VEN 2 JUIN

20 KM

TOUR DE L'ÎLE DE MONTRÉAL
DIM 4 JUIN

28, 50, 65 OU 100 KM

Desjardins

MEC

INSCRIVEZ-VOUS!

TELUS velo.qc.ca

ENERGIE 94.3

Rouge fm 107,3

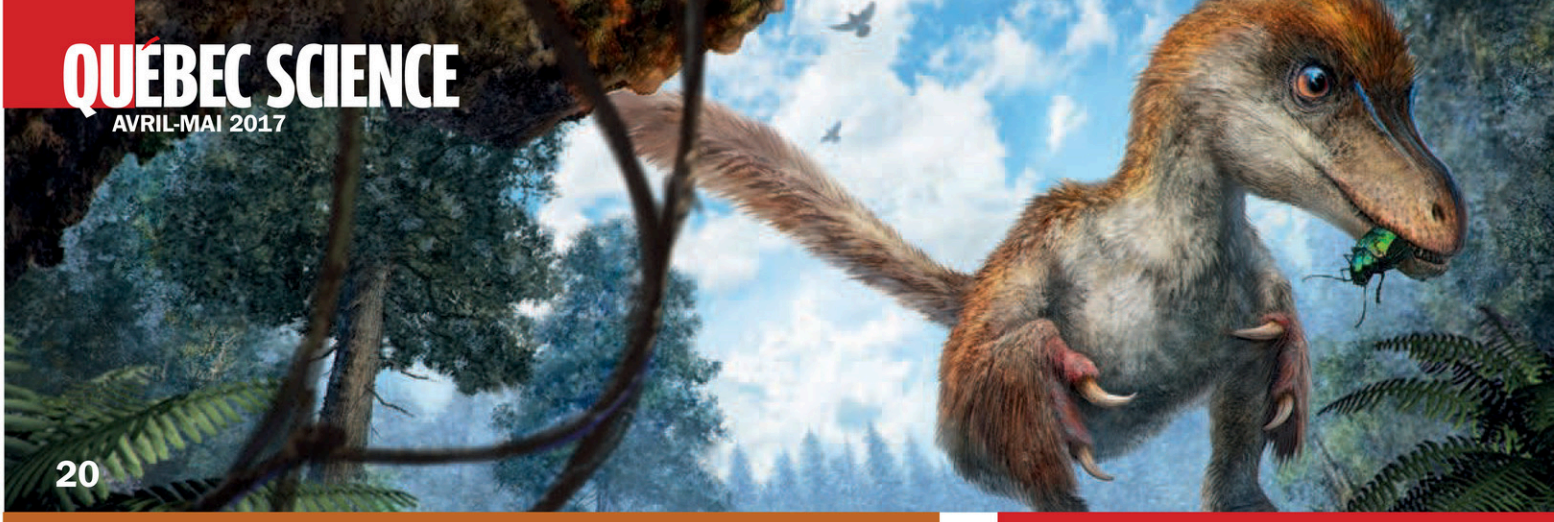
LA PRESSE+

TOURISME / MONTRÉAL

Montréal

Québec

QUÉBEC SCIENCE
AVRIL-MAI 2017



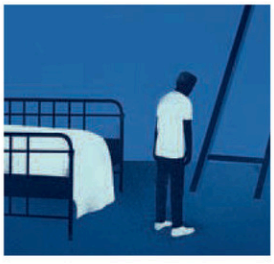
20

EN COUVERTURE

Dinos 2.0

Plumes, piquants, écailles et couleurs : des fossiles de dinosaures étonnants sont découverts chaque année. De quoi bousculer l'archétype du méchant reptile verdâtre.

Par Marine Corniou



SANTÉ

28 Fatigués d'être épuisés

Le syndrome de la fatigue chronique est loin d'être un mal imaginaire comme le prouvent de nouvelles études et des patients combatifs.

Par Renaud Manuguerra-Gagné

BIOLOGIE

34 La peau que j'habite

La peau est le plus grand organe du corps humain. Armure mal aimée, elle est parfois lourde à porter. Des chercheurs viennent toutefois à notre rescousse.

Par Mélissa Guillemette

ENVIRONNEMENT

40 La guerre du caribou

Dans les régions forestières du Québec, une guerre médiatique et politique fait rage. Doit-on sacrifier des emplois pour sauver des caribous ?

Par Joël Leblanc

ACTUALITÉS

ENTREVUE

6 PERTURBATEURS ENDOCRINIENS : LA MENACE INVISIBLE

Il faut réglementer l'usage des substances utilisées dans de nombreux cosmétiques, pesticides et autres composés industriels, dit l'épidémiologiste Rémy Slama.

Propos recueillis par Marine Corniou

9 À LA RECHERCHE DU TOMBEAU DES PIONNIERS

Retrouver l'ADN de Zacharie Cloutier serait un apport considérable pour la biologie.

Par Sylvain Lumbroso

10 L'ADN, CLÉ USB DE DEMAIN ?

Des chercheurs proposent de se servir de l'ADN pour archiver les données numériques.

Par Marine Corniou

12 LE PIRE CAUCHEMAR DES AMATEURS DE STEAK

Des milliers de personnes dans le monde deviennent allergiques à la viande à cause d'une tique. Le Québec est-il à l'abri ?

Par Jean François Bouthillette

EN COUVERTURE : ILLUSTRATION DE MASATO HATTORI

FINANCE

En attendant la prochaine crise…

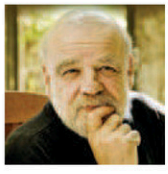
Un supplément réalisé en collaboration avec le réseau de l'Université du Québec.

RUBRIQUES

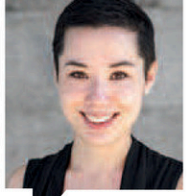
4 ÉDITORIAL La science dans la rue Par Marie Lambert-Chan **5 Au pied de la lettre** **48 Matières à lire**

16
Normand Baillargeon
Sauriez-vous résoudre le paradoxe de Newcomb?

47
Jean-François Cliche
La fibre santé



50
Serge Bouchard
Déclarons mythique la route 389



Éditorial Par Marie Lambert-Chan

LA SCIENCE DANS LA RUE

En réaction à l'élection de Donald Trump, des chercheurs manifesteront le 22 avril prochain pour défendre la science. Une initiative louable ou une fausse bonne idée ?

Par définition, la science est apolitique. Les chercheurs ne prennent jamais parti – sauf celui de la vérité, histoire de ne pas entacher leur crédibilité. Voilà pourquoi il existerait une ligne infranchissable entre la science et le militantisme.

Ce beau principe a volé en éclats le jour où Donald Trump a accédé à la Maison-Blanche. Indignés par les prises de position anti-science du milliardaire et son allergie aux faits les plus élémentaires, des savants ont troqué leur sarrau pour l'habit d'activiste. Campagnes de sensibilisation sur les réseaux sociaux, comités d'action politique, manifestations, lettres ouvertes : ils sont nombreux à se porter à la défense de la science. Le point culminant de cette mobilisation surviendra le 22 avril prochain, Jour de la Terre, lorsque des milliers de chercheurs participeront à la Marche pour la science à Washington et dans plus de 150 villes dans le monde.

Naomi Oreskes, historienne des sciences à l'université Harvard, voit l'initiative d'un bon œil. Les chercheurs devraient être « les sentinelles des données scientifiques », a-t-elle plaidé lors du dernier congrès de l'Association américaine pour l'avancement des sciences. « Nous vivons dans un monde où des gens tentent de réduire les faits au silence. Mais nous devons parler des faits parce que les faits ne peuvent parler pour eux-mêmes », a-t-elle dit.

Évidemment, la Marche pour la science ne plaît pas à tous. Des chercheurs craignent que les manifestants ne prêchent qu'à des convertis, prêtant le flanc à la critique en étant perçus comme un groupe d'intérêt, ou des partisans de la gauche.

Difficile de leur en vouloir. La prise de parole n'est jamais sans risque. Surtout à une époque où la science est instrumentalisée à des fins idéologiques. Parlez-en aux climatologues et aux évolutionnistes…

Ces inquiétudes ne sont pas vraiment justifiées, nous indique une récente étude de l'université George Mason au cours de laquelle 1 235 participants ont évalué 6 publications Facebook d'un climatologue fictif. Son premier message contenait uniquement des données factuelles, alors que les suivants versaient peu à peu dans l'opinion. Les participants ont certes remarqué le ton de plus en plus militant du chercheur au fil des publications, mais ils ne l'ont pas trouvé moins crédible pour autant. La recherche a aussi démontré que les opinions de ce climatologue n'ont pas terni la confiance des participants à l'égard de l'ensemble des chercheurs s'intéressant aux changements climatiques.

Bien sûr, il ne s'agit que d'une seule étude, mais elle suggère que le public serait plus « confortable » de voir les scientifiques s'engager pour une cause que ne le seraient ces derniers eux-mêmes. Cela explique sans doute pourquoi d'éminents chercheurs ont pris position au cours de l'histoire sans voir leur étoile pâlir. Albert Einstein est l'exemple le plus souvent cité. Même si on lui a conseillé de se taire, il n'a pas hésité à condamner le nazisme.

Calomniée pour avoir dénoncé l'utilisation des pesticides au début des années 1960, la biologiste américaine Rachel Carson a tenu bon, convaincue de la validité de ses données. Avec raison : son cri du cœur a contribué à la création de l'Agence de protection de l'environnement (celle-là même que l'administration Trump s'apprête à asphyxier par des compressions budgétaires draconiennes).

Plus près de nous, les chercheurs fédéraux canadiens ont ouvertement critiqué l'ancien gouvernement Harper pour son mépris envers la science et ses tentatives de musellement. Leur capital de confiance en a-t-il souffert ? Pas du tout !

Tirant des leçons de ce passé pas si lointain, l'historienne Naomi Oreskes a eu ces mots pour les scientifiques craintifs : « La peur de perdre sa crédibilité n'est que ça : de la peur. »

Des mots durs, mais drôlement nécessaires en ces temps incertains.

QUÉBEC SCIENCE

AVRIL-MAI 2017 VOLUME 55, NUMÉRO 7

Rédactrice en chef Marie Lambert-Chan
Reporters Marine Corniou, Mélissa Guillemette
Collaborateurs Normand Baillargeon, Serge Bouchard, Jean François Bouthillette, Jean-François Cliche, Anabel Cossette Civitella, Joël Leblanc, Sylvain Lumbroso, Renaud Manuguerra-Gagné, Brïte Pauchet, Etienne Plamondon Emond

Correcteur-réviseur Luc Asselin

Directeur artistique François Émond
Photographes/illustrateurs Nicolas Bradette, Cheung Chung-Tat, Frefon, Serge Gravel, Dominic Gravel, Masato Hattori, Julia Kaczorowska, Luc Melanson, Dushan Milic, Sarah Mongeau-Birkett, Renaud Philippe, Sbastien Thibault, Shenna Wang

Éditrice Suzanne Lareau
Coordonnatrice des opérations Michèle Daoust
Comptabilité Mimi Bensaid
Chargée de projet, marketing et partenariats Stéphanie Ravier
Attachée de Presse Stéphanie Couillard

Vice-présidente marketing et service à la clientèle Josée Monette

Publicité
Catherine Brochu Tél.: 418 694-2363
cbrochu@velo.qc.ca

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

Impression Transcontinental Interweb
Distribution Messageries Dynamiques
Parution: Mars 2017 (537e numéro)

Service aux abonnés
Pour vous abonner, vous réabonner ou offrir un abonnement-cadeau
www.quebecscience.qc.ca
Pour notifier un changement d'adresse.
Pour nous aviser d'un problème de livraison.
changementqs@velo.qc.ca

1251, rue Rachel Est
Montréal (Qc) H2J 2J9
Tél.: 514 521-8356 poste 504
ou 1 800 567-8356 poste 504
Tarifs d'abonnements
Canada: 1 an = 36 $ + taxes,
États-Unis: 69 $, Outre-mer: 107 $

Québec Science est publié par Vélo Québec Éditions
Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, Bibliothèque nationale du Canada: ISSN-0021-6127
Envoi Poste-Publications Convention no 40065387.

© Copyright 2017 – La Revue Québec Science. Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés.

Le magazine sert avant tout un public qui recherche une information libre et de qualité en matière de sciences et de technologies.

Indexé dans repère

Québec Science reçoit l'aide financière du ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations. Nous reconnaissons l'appui financier du gouvernement du Canada par l'entremise du Fonds du Canada pour les périodiques, qui relève de Patrimoine canadien.

FSC www.fsc.org MIXTE Papier issu de sources responsables FSC® C011825

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.

CMCA AUDITED Canada Économie, Science et Innovation Québec

Au pied de la **lettre**

courrier@quebecscience.qc.ca

SANTÉ FÉMININE

Notre dossier sur le sexe féminin a suscité beaucoup d'enthousiasme sur Facebook. *« Merci pour ce dossier instructif et ô combien nécessaire! »* nous dit **Cynthia Dubé**.

L'article « Une vie sous hormones », sur les effets secondaires des anovulants, a pour sa part provoqué quelques réponses bien senties.

« La première fois que j'ai pris la pilule, j'étais en dépression après quelques mois et, la deuxième fois, j'ai fait une embolie pulmonaire majeure. J'ai moins de 35 ans et je n'ai jamais fumé de ma vie. Alors la pilule pour moi et les femmes de ma famille, c'est non merci », témoigne **Jacinthe Bouchard**.

« Les hormones, même celles contenues dans le stérilet Mirena […], ont failli me rendre folle… Humeur dépressive sans raison, impression d'être "tout croche" en permanence, sautes d'humeur épouvantables… Plus jamais d'hormones pour moi! » ajoute **Valérie Garant**.

FORAGE SPATIAL

La lectrice **Isabelle Tremblay** philosophe après avoir pris connaissance de notre reportage « Klondike spatial », sur l'exploitation des ressources extraterrestres. *« J'espère qu'on le fera avec plus de sagesse et de respect… »*

PLANÈTES FASCINANTES

Sur le Web, notre article « Découverte de 3 planètes potentiellement habitables » présentant un nouveau système extrasolaire a réjoui plusieurs lecteurs. *« Levons notre verre (bien rempli de bière des trappistes) à cette magnifique découverte : le système solaire Trappist-1! Encore plus haut, encore plus loin, la vie m'épatera toujours! »*, a dit Loulou Major.

ERRATUM

Dans le numéro de mars 2017, l'article « Le chasseur de naines brunes » comportait quelques erreurs. Jonathan Gagné poursuit ses études à la Carnegie Institution for Science. Le rôle du scientifique en chef du Québec, Rémi Quirion, consiste à conseiller le gouvernement en matière de science et de recherche, et à diriger les Fonds de recherche du Québec (FRQ). La version corrigée de ce texte se trouve en ligne, sur notre site web. Toutes nos excuses à Jonathan Gagné et aux FRQ.

VOTRE DÉCOUVERTE DE L'ANNÉE 2016

DENIS BERNIER

ET LE GRAND GAGNANT EST…

Le professeur Sylvain Martel (sur la photo ci-contre, avec la rédactrice en chef de *Québec Science*, Marie Lambert-Chan) et son équipe du Laboratoire de nanorobotique de Polytechnique Montréal remportent le Prix du public du concours annuel des Découvertes de l'année. Ils ont récolté 36 % des quelque 3 500 votes de nos lecteurs.

En collaboration avec des chercheurs de l'Université de Montréal et de l'Université McGill, ils ont utilisé, chez la souris, des bactéries pour « naviguer » dans le système sanguin et administrer avec précision un médicament aux cellules cancéreuses, sans les effets secondaires habituels des chimiothérapies. Une avancée majeure dans la lutte contre le cancer.

Toutes nos félicitations !

Bar DES SCIENCES

Pourrons-nous vivre 140 ans?

L'espérance de vie des humains ne cesse de progresser et dépasse maintenant 80 ans, et les centenaires en bonne santé ne sont plus un phénomène rarissime. Les développements de la médecine et des biotechnologies laissent entrevoir des percées étonnantes en matière de longévité. Plus encore, le transhumanisme rêve de technologies qui pourraient nous mener un jour vers l'immortalité. Progrès, chimères ou cauchemars?

Invités

Céline Lafontaine, chercheuse au département de sociologie de l'Université de Montréal
Judes Poirier, directeur de l'Unité de neurobiologie moléculaire de l'Institut Douglas
Yannick Roy, doctorant en neurosciences à l'Université de Montréal et cofondateur de NeuroTechX

Le vendredi 7 avril 2017, de 17h30 à 19h, au Centre des sciences de Montréal, 2, rue de la Commune, Montréal.

L'entrée est gratuite.

QUÉBEC SCIENCE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Consulat général de France à Québec

ICI Première

LAURENCE PRAT

Les scientifiques sont unanimes : les perturbateurs endocriniens, ces substances que l'on retrouve dans de nombreux cosmétiques, pesticides et autres composés industriels, constituent une menace mondiale pour la santé. Ils interfèrent avec le système hormonal et brouillent carrément les signaux naturels de l'organisme. Ils sont soupçonnés d'augmenter les risques de nombreuses maladies, depuis les cancers (du sein, de la prostate, du testicule), jusqu'aux malformations sexuelles, en passant par l'infertilité, le diabète, l'obésité et les troubles du développement neurologique.

Il est urgent de réglementer ces substances, écrivaient une centaine de scientifiques nord-américains et européens dans une tribune publiée par *Le Monde* à la fin de 2016. L'un des signataires, l'épidémiologiste Rémy Slama, directeur de recherche à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale de France, et président du conseil scientifique du Programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens, dresse un état des connaissances sur la question.

Propos recueillis par Marine Corniou

WILDPIXEL/ISTOCKPHOTO

Perturbateurs endocriniens
LA MENACE INVISIBLE

On dit souvent que les perturbateurs endocriniens sont partout. Est-ce vrai ?

Il existe plusieurs centaines de substances qui sont des perturbateurs endocriniens (PE) ou susceptibles de l'être. Elles ont des natures très différentes; il peut s'agir de métaux, comme le mercure, ou de molécules complexes, comme le DDT – un insecticide –, ou les PCB [NDLR, utilisés comme isolants électriques].

Si ces derniers sont aujourd'hui interdits, beaucoup de PE font partie de notre vie quotidienne : le bisphénol A dans les contenants alimentaires; les retardateurs de flamme; les phtalates, dans certains plastiques; les parabènes, dans les cosmétiques; mais aussi certains médicaments et les pesticides qui se retrouvent dans nos assiettes…

De quelle façon perturbent-ils nos hormones ?

Chaque hormone se lie normalement à un récepteur, fixé sur le noyau des cellules, un peu comme une clé dans une serrure. Et ce récepteur ne réagit qu'en présence de cette hormone spécifique. Or certaines substances comme le bisphénol A parviennent à se lier aux récepteurs et sont reconnues, par erreur, comme étant de l'œstrogène. L'organisme agit donc comme s'il y avait des hormones, alors qu'il n'y en a pas.

D'autres substances bloquent les récepteurs et empêchent alors l'hormone naturelle d'agir. D'autres encore, en se fixant, entraînent l'effet opposé de l'hormone naturelle. Il faut savoir qu'on ne connaît pas encore tous les mécanismes en jeu, mais il s'agit d'un véritable piratage du système endocrinien.

En quoi ce brouillage du signal est-il dangereux pour la santé ?

Les effets sur la santé peuvent être de diverses natures, car le système hormonal intervient dans de nombreuses fonctions biologiques. Il contrôle par exemple le développement et la croissance du fœtus, ainsi que ceux de l'enfant, régule l'appétit, le métabolisme, le rythme cardiaque et la reproduction. En outre, il interagit avec le système nerveux central et le système immunitaire.

Pensons au déversement industriel de mercure dans la baie de Minamata, au Japon, dans les années 1950. On sait aujourd'hui que les troubles neurologiques des enfants nés de mères contaminées étaient, en grande partie, liés à des perturbations des hormones thyroïdiennes qui contrôlent le développement du cerveau du fœtus.

Ainsi, le problème n'est pas nouveau. Depuis quand s'inquiète-t-on des effets des PE sur la santé ?

Le terme « perturbateur endocrinien » est apparu dans la littérature scientifique en 1993. Mais des chercheurs travaillent sur ce type de substances depuis le milieu du XX^{e} siècle. Les premières prises de conscience ont été le drame de Minamata et le livre de la biologiste américaine Rachel Carson, *Printemps silencieux*, publié en 1962, qui a lancé l'alerte sur les pesticides organochlorés et leur impact sur la faune sauvage dans la région des Grands Lacs [NDLR, le DDT entraînait notamment un amincissement des coquilles d'œufs et des problèmes de reproduction chez les oiseaux].

Peut-on quantifier les risques ?

La science ne nous dit pas précisément

quel est l'impact global des PE sur toutes les pathologies. Cela nécessiterait des efforts de recherche colossaux.

Mais ce qui est sûr, c'est que le problème est réel pour l'espèce humaine. Les effets, potentiellement graves, sont observés dans certains cas à des doses très faibles.

Leonardo Trasande, de l'université de New York, a estimé récemment que le coût sanitaire annuel de l'exposition aux perturbateurs endocriniens (en se basant uniquement sur les substances et les effets les mieux connus) était de 100 à 200 milliards d'euros pour l'Union européenne et de 340 milliards de dollars aux États-Unis. C'est de l'ordre de 1 % du PIB en Europe [NDLR, et de plus de 2 % aux États-Unis].

Est-il possible d'encadrer l'utilisation des multiples substances qui perturbent le système hormonal ?

L'Europe est la première grande économie à avoir une réglementation spécifique sur les perturbateurs endocriniens.

Ainsi, plusieurs lois y font référence, notamment une législation de 2009 sur les pesticides qui dit que la population ne doit pas être exposée aux substances qualifiées de cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques ou aux perturbateurs endocriniens. Or en 2009, les critères scientifiques permettant d'identifier les PE n'étaient pas définis. Le Parlement européen a donc demandé à la Commission (qui est l'organe exécutif) de proposer une définition des PE pour 2013. Mais ces quatre ans n'ont pas suffi !

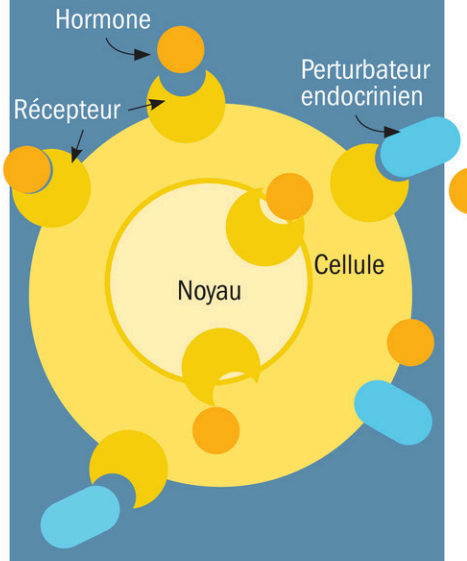
Ce n'est qu'en juin 2016 que les premières définitions ont été proposées et elles n'ont pas encore été acceptées [NDLR, le 28 février 2017, la Commission européenne a une nouvelle fois échoué à faire adopter sa définition par les États membres]. C'est autour de cette définition que porte le débat actuel et c'est ce qui a motivé notre lettre dans *Le Monde*. La définition, c'est le point de départ de toute action. Ne pas réussir à nommer un problème, c'est la meilleure manière de rester dans une situation de laisser-faire.

Qu'est-ce qui justifie de tels délais ?

Il n'y a pas de raison d'avoir besoin de plus de 7 ans pour définir un problème qui a pourtant été identifié scientifiquement il y a 25 ans ! La définition de l'OMS (voir l'encadré ci-contre) est valable et facile à adapter.

Il y a forcément des considérations politiques et économiques en jeu. La science est instrumentalisée pour une raison politique, comme elle l'est par ceux qui nient la réalité du changement climatique ou de ses causes anthropiques.

Les perturbateurs endocriniens piratent le système hormonal



Un perturbateur endocrinien est une substance ou un mélange exogène capable d'induire une perturbation endocrinienne dans un organisme, et donc d'entraîner des effets délétères sur cet organisme ou sur ses descendants, ou au sein de (sous-)populations.

(Source : OMS)

La tribune précise que « des individus financés par des intérêts industriels déforment délibérément des preuves scientifiques afin de créer une fausse impression de controverse ». Quelles sont les principales industries concernées ?

Le cœur du débat est la loi sur les pesticides, bien qu'il y ait d'autres domaines concernés. Cette loi repose sur une logique « d'exposition zéro » : si un pesticide est reconnu comme PE, il devra être interdit. Les industriels sont opposés à cette logique de réglementation par la dose zéro, qui les éloigne de la « dose sans effet » habituellement utilisée.

Or, cette dose est difficile à déterminer, surtout qu'on sait aujourd'hui qu'elle peut dépendre des autres substances présentes; c'est ce qu'on appelle l'effet cocktail. Ainsi, l'effet d'un mélange de deux substances peut être différent de la somme des effets de ces deux substances prises séparément.

Les considérations économiques ne sont pourtant pas valables, car le coût probable des PE sur notre santé est nettement supérieur au marché des pesticides.

La situation est-elle comparable en Amérique du Nord ?

De manière générale, la réglementation européenne sur les produits chimiques est plus contraignante que la réglementation nord-américaine, alors que c'est l'inverse pour les mesures sur la qualité de l'air et le tabagisme passif, par exemple. Aux États-Unis, la définition des PE fait juste référence à la perturbation du système hormonal, sans évoquer les effets négatifs sur la santé [NDLR, c'est aussi le cas au Canada].

Que peut-on faire à l'échelle individuelle pour se protéger ?

C'est illusoire de croire que l'action des citoyens sera suffisante. C'est une question d'une complexité telle, avec un nombre de substances tellement élevé, que le niveau de réaction le plus approprié est celui des États et des organismes internationaux.

Cela étant, il est possible de limiter son exposition à un certain nombre de substances, puisque les voies principales d'exposition sont l'alimentation et les cosmétiques.

On peut se demander si tel ou tel produit apporte vraiment un bénéfice, si on en a un réel besoin. Par ailleurs, la grossesse est une période de très grande sensibilité, donc mieux vaut éviter dans ce cas les cosmétiques en plus des médicaments, incluant l'acétaminophène et les anti-inflammatoires, et adopter une alimentation saine; a priori, le bio limite les expositions. Mais on manque de données pour avoir des recommandations validées sur le plan scientifique.

À LA RECHERCHE DU TOMBEAU DES PIONNIERS

Retrouver l'ADN d'un pionnier de la Nouvelle-France comme Zacharie Cloutier serait un apport considérable pour la biologie.

Par Sylvain Lumbroso

En quittant sa Normandie natale pour la Nouvelle-France, en 1634, Zacharie Cloutier devait être loin d'imaginer que des scientifiques s'intéresseraient à lui quatre siècles plus tard. En fait, c'est surtout son ADN qui intrigue des biologistes de l'Université de Montréal. Et pour cause, la majorité des Québécois d'origine française sont reliés génétiquement à ce lointain pionnier !

« Ce charpentier venu du Perche est arrivé très tôt dans la colonie avec des enfants en âge de se marier, qui se sont rapidement multipliés. Sa contribution génétique est donc énorme », relate Hubert Charbonneau, professeur émérite de démographie à l'Université de Montréal.

Pour les généticiens, comme Claudia Moreau, du CHU Sainte-Justine, retrouver sa dépouille – et ses gènes – serait donc une chance inouïe. « Ce serait tellement incroyable d'observer comment le génome a évolué sur une période de 400 ans. Cela ouvrirait des perspectives, notamment en matière de maladies génétiques », explique-t-elle.

Mais découvrir la tombe de Zacharie Cloutier n'est pas une mince affaire. On sait que l'homme est décédé le 17 septembre 1677 et qu'il est enterré à Château-Richer, petite ville située près de Québec. Pourtant, les chercheurs n'ont toujours pas localisé sa sépulture. « Zacharie est bien sur la liste de l'ancien cimetière, mais les registres des tombes ont été brûlés, car les concessions non renouvelées après 100 ans étaient cédées. La paroisse voulait éviter les disputes entre familles qui partageaient le même emplacement sans le savoir », explique Denis Jalbert, bénévole au centre de généalogie de Château-Richer.

Pis, les travaux d'agrandissement de l'église dans les années 1860 ajoutent à la confusion en empiétant sur le vieux cimetière. « À l'époque, lors de ce genre d'opération, on enterrait les dépouilles un peu plus loin. Comme il n'y a pas de documents, c'est très difficile de comprendre l'organisation, commente François Bélanger, archéologue de la Ville de Montréal. En plus, au début de la Nouvelle-France, les morts étaient inhumés sans objets ni pierre tombale, juste enroulés dans un linceul. »

Si on met un jour la main sur la dépouille de Zacharie Cloutier, elle passera probablement par le laboratoire d'Isabelle Ribot. Cette bioarchéologue de l'Université de Montréal reçoit régulièrement des restes provenant de cimetières anciens et elle leur fait subir de nombreux examens. Les os renseignent sur les 10 dernières années de vie; les dents, sur l'enfance. « On arrive à dresser des portraits de ces humains, dit-elle. C'est souvent un peu flou, mais nous parvenons à avoir une idée de leur type de nutrition, du métier exercé ou de la région d'origine. »

Parfois, les chercheurs tombent sur le gros lot: des portions entières d'ADN conservées. « C'est justement ce qui s'est produit lors de la fouille d'un cimetière à Sainte-Marie-de-Beauce en 2004 », révèle Isabelle Ribot qui, en collaboration avec Damian Labuda du centre de recherche du CHU Sainte-Justine, a lancé le processus d'identification des dépouilles. Les scientifiques ont prélevé de l'ADN sur des habitants actuels de Sainte-Marie et ont pu remonter leur filiation. En croisant les données génétiques avec la généalogie du Québec, ils tentent aujourd'hui d'associer des noms aux restes découverts. « On a bon espoir de faire émerger des candidats dans les prochains mois », s'enthousiasme Claudia Moreau qui participe à l'étude. Ce serait une première victoire, et la preuve qu'il est possible de retrouver Zacharie Cloutier.

Pour en savoir plus :

Venez assister à la conférence À la recherche du tombeau des pionniers *organisée dans le cadre du festival 24 heures de science, à Pointe-à-Callière, musée d'archéologie et d'histoire de Montréal, le samedi 13 mai à 15 h 00.*
Entrée gratuite en réservant sur notre site quebecscience.qc.ca

L'ADN, CLÉ USB DE DEMAIN?

Comment archiver toutes les informations numériques générées chaque année ? Des chercheurs proposent de se servir de l'ADN comme d'une clé USB… éternelle, ou presque.

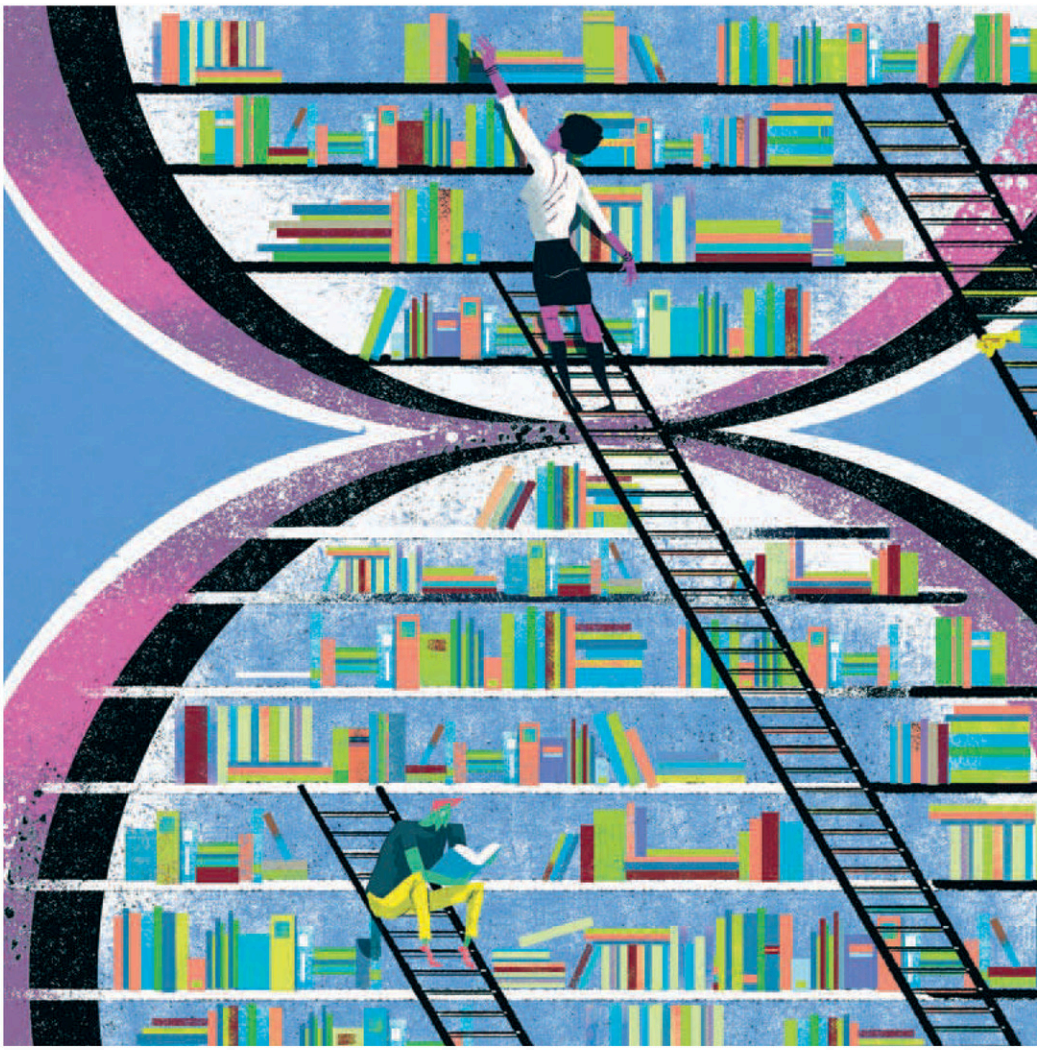
Par Marine Corniou

Commençons par une devinette. Où peut-on réunir en un seul endroit un film des frères Lumière de 1895, un bon d'achat d'Amazon de 50 $, un virus informatique, une publication sur la théorie de l'information et tout un système d'exploitation d'ordinateur ? Grâce à des chercheurs de l'université Columbia, tout ce contenu est désormais stocké sur un support aussi minuscule qu'improbable : des brins d'ADN.

L'exploit n'est pas si étonnant, quand on sait que l'ADN est une molécule qui porte l'information génétique de tous les êtres vivants, depuis la pâquerette jusqu'au pigeon, en passant par les bactéries et les humains. En piratant ce code universel, les chercheurs peuvent, en théorie, y inscrire n'importe quelle donnée numérique.

Pour comprendre, il faut s'imaginer l'ADN comme une succession de lettres (qui sont en fait des molécules, les nucléotides). Il en existe quatre différentes : A (adénine), C (cytosine), G (guanine), T (thymine). Dans la nature, ces suites de lettres constituent des codes complexes, des sortes de « phrases » que l'on appelle des gènes. Ceux-ci sont décryptés par les cellules : elles s'en servent comme des recettes leur permettant de fabriquer des protéines.

Mais pour stocker des données, ces lettres servent plutôt à traduire un langage numérique. « Les données numériques sont binaires, codées avec des 0 et des 1. C'est assez trivial de traduire un système binaire en base 4 [NDLR, c'est-à-dire avec 4 éléments, comme A, C, G, T]. On peut par exemple dire que les A et les T correspondent à 0 et que les C et les G correspondent à 1 », détaille Christophe Dessimoz, professeur au University College de Londres, qui a travaillé à l'Institut européen de bio-informatique (EBI) au Royaume-Uni sur le premier cryptage du genre.



Une fois le code déterminé, il suffit de fabriquer les brins d'ADN correspondants, en assemblant les lettres une par une (cette technique de synthèse d'ADN est déjà bien maîtrisée, et largement utilisée en recherche). Les données sont récupérées en faisant machine arrière, c'est-à-dire en décomposant l'ADN pour lire l'ordre des lettres (ce qu'on appelle le séquençage).

Voilà la théorie. En pratique, il y

DUSHAN MILIC

a évidemment quelques pièges. Par exemple, il est impossible de fabriquer une immense molécule d'ADN contenant des millions de bases, ou lettres. Il faut donc scinder l'information en de nombreux morceaux. « C'est un peu comme un puzzle. Pour s'y retrouver, il faut numéroter chaque brin portant l'information numérique codée, et utiliser une sorte de "code postal" qui permet de tout remettre dans l'ordre », ajoute M. Dessimoz qui est aussi chercheur à l'Université de Lausanne, en Suisse.

L'équipe de l'université Columbia a peaufiné ce système de puzzle. Sa technique permet d'encoder 60 % d'information de plus dans la même quantité de molécules qu'auparavant. Mieux encore, elle a copié les brins d'ADN une dizaine de fois sans que cela altère les données, apprend-on dans l'étude publiée par la revue *Science* en mars dernier.

Cette technique permettrait de stocker, dans un seul gramme d'ADN, 215 millions de gigaoctets – 200 000 fois plus que dans un ordinateur portable ! De quoi pulvériser en théorie le record, détenu pour l'instant par Microsoft et des chercheurs de l'université de Washington qui, à l'été 2016, ont stocké dans une éprouvette 200 mégaoctets de vidéoclips et de livres électroniques.

TROP DE DONNÉES !

Incroyablement stable et très compact, l'ADN pourrait bien être la clé de voûte du stockage des données à l'heure du *big data*. « Si toutes les données accessibles sur Internet étaient converties dans de l'ADN, cela tiendrait dans une boîte à chaussures », selon Microsoft.

La question est pressante. La Terre compte 3,5 milliards d'internautes qui génèrent 6 000 tweets, 40 000 recherches Google et 2 millions de courriels par *seconde*, qui échangent et produisent des monceaux de données, de vidéos, de pages web, etc. Même avec beaucoup d'imagination, il est difficile de se représenter l'immensité de l'univers numérique. D'autant que ce monde virtuel croît à une vitesse folle. D'ici 2020, sa taille devrait atteindre les 44 zettaoctets (44 000 milliards de gigaoctets, soit 10 fois plus qu'en 2013). Concrètement, c'est l'équivalent de 11 000 milliards de DVD !

En un mot, on produit aujourd'hui plus d'information que l'on peut physiquement en stocker, que ce soit dans les centres de données ou sur des supports de type clés USB, DVD et autres disques durs, dont l'espace est limité, tout comme leur durée de vie – quelques dizaines d'années tout au plus. Voilà qui impose d'effectuer régulièrement des copies de copies.

« Pour beaucoup d'archives des années 1950, 1960 ou 1970, on ne dispose déjà plus des lecteurs qui permettent de les récupérer. L'ADN est universel : tant qu'il y aura de la vie, ce sera pertinent de l'utiliser », explique Christophe Dessimoz.

La technique n'est pas parfaite. Les temps d'accès, c'est-à-dire d'écriture et de lecture, sont loin de pouvoir rivaliser avec ceux d'une clé USB. Quant aux coûts, ils restent prohibitifs à court terme. « La synthèse coûte encore cher, mais on a démontré en 2013 que c'est déjà plus économique d'utiliser de l'ADN que des bandes magnétiques si on veut stocker de l'information à très long terme, par exemple 5 000 ans. Et ça progresse vite : il existe déjà des séquenceurs d'ADN portatifs à moins de 1 000 $, avec un port USB. Ce n'est plus de la science-fiction », poursuit-il, ajoutant que des chercheurs proposent d'encapsuler l'ADN dans des billes de verre pour qu'il se conserve encore plus longtemps.

Qui sait ? Dans quelques millénaires, nos descendants liront peut-être cet article en fouillant dans des brins d'ADN.

LE PIRE CAUCHEMAR DES AMATEURS DE STEAK

Des milliers de personnes dans le monde deviennent allergiques à la viande à cause d'une simple morsure de tique. Le Québec est-il à l'abri ?

Par Jean François Bouthillette

Thomas Platts-Mills se souvient de cet homme venu le consulter dans sa clinique de Charlottesville, en Virginie, en 2006 : « Sa femme et lui étaient terrorisés, raconte l'allergologue-immunologue et professeur à la faculté de médecine de l'université de Virginie. Lui qui avait mangé de la viande sans problème toute sa vie, voilà qu'il avait eu de violentes réactions allergiques, après avoir mangé des hamburgers, soutenait-il. »

Vives douleurs au ventre, diarrhées apocalyptiques, mais surtout enflure des yeux, de la langue, de la gorge, difficulté à respirer : une vraie anaphylaxie. Il avait dû se rendre de toute urgence à l'hôpital et s'estimait chanceux d'avoir survécu. Et cet homme n'était pas seul. De temps à autre, un patient se présentait avec le même problème. Des allergies soudaines aux *burgers* ? Voilà qui était inouï… et passablement louche aux yeux du médecin spécialiste des réactions allergiques !

C'est pourtant lui qui, bientôt, allait trouver le fil conducteur et révéler la nature du problème en identifiant un nouvel allergène.

C'est en se penchant sur un autre problème que l'allergologue découvre le pot aux roses. À l'époque, son équipe de l'Asthma and Allergic Diseases Center de l'université de Virginie enquête sur les effets secondaires d'un nouveau médicament, le cetuximab. Ce traitement contre le cancer a suscité d'importantes réactions allergiques inexpliquées chez certains patients. « Un homme était tombé raide mort », souligne le docteur Platts-Mills.

L'allergologue remarque alors que ces patients, avant l'administration du médicament, avaient dans leur sang d'étranges

anticorps : des immunoglobulines E (IgE) spécifiquement programmées pour déclencher une vive réaction immunitaire en présence de galactose-alpha-1,3-galactose, ou alpha-gal, un sucre complexe.

Où trouve-t-on l'alpha-gal ? Dans le cetuximab fait à partir de cellules de souris. Mais aussi *dans la viande* de tous les mammifères non primates. Tiens, tiens… Le docteur Platts-Mills s'empresse alors de tester ses patients devenus allergiques à la viande du jour au lendemain. Dans leur sang, le même anticorps !

JAMES GATHANY/CDC

Amblyomma americanum, la tique étoilée

MAIS D'OÙ ÇA SORT ?

Fait intéressant, les réactions allergiques au cetuximab sont beaucoup plus fréquentes dans le sud-est des États-Unis – tout comme les cas rapportés d'allergie à la viande, sans lien avec le médicament. On se rend aussi compte que la distribution géographique de ces allergies à l'alpha-gal correspond à celle de la fièvre pourprée des montagnes Rocheuses.

Et qui transmet à l'humain la bactérie responsable de cette maladie ? *Amblyomma americanum*, la tique étoilée. « On s'est mis à questionner les patients qui se disaient allergiques à la viande, raconte le docteur Platts-Mills. Auriez-vous été mordu par une tique, par hasard ? Et, oui, la plupart l'avaient été ! » Au même moment, en Australie, on rapporte des cas d'allergie à la viande consécutive à des morsures de tiques.

Mais comment un tout petit acarien peut-il provoquer une allergie soudaine à un sucre qu'on a toléré sans problème toute sa vie, avalé avec chaque côtelette, chaque saucisson, chaque pâté chinois ?

« On ne comprend pas encore complètement le mécanisme, explique Hugo Chapdelaine, allergologue-immunologue au Centre hospitalier de l'Université de Montréal, qui s'intéresse au nouvel allergène. L'hypothèse, c'est que, lors de la morsure, le corps est exposé à l'alpha-gal présent dans la salive de la tique. Le système immunitaire peut alors se mettre à l'identifier comme un étranger dangereux. »

Sur le site de la morsure, les spécialistes remarquent en effet une réaction immunitaire. « Les biopsies indiquent la présence d'anticorps qui ne sont pas là normalement. Au cours des deux mois qui suivent la morsure, on observe aussi l'apparition des fameux IgE spécifiques à l'alpha-gal dans le sang. » Pas dans tous les cas, pour une raison qu'on ne s'explique pas encore.

Pour les malchanceux, c'est une nouvelle allergie. « Chaque fois qu'ils mangent de la viande, l'alpha-gal qu'elle contient est libérée dans l'organisme, ce qui déclenche la réaction. Une réaction différée, le temps de la digestion, quelques heures après le repas. »

Chez certains, c'est un inconfort – démangeaisons ou maux de ventre, par exemple. Chez d'autres, la réaction est plus violente, potentiellement mortelle.

UN PROBLÈME DE SANTÉ PUBLIQUE

Des cas ont été rapportés sur plusieurs continents, dans la foulée des découvertes américaines et australiennes. Le docteur Platts-Mills en a répertorié des milliers aux États-Unis. Jusque dans l'État de New York – autant dire à nos portes.

Pour l'instant, la tique étoilée ne vit pas au Québec. Cela dit, aux États-Unis, des experts ont démontré que la petite bête repousse les limites de son territoire, toujours plus à l'ouest, et toujours plus au nord. Déjà, elle est chez elle dans le Maine, au New Hampshire ou au Vermont. Et elle avance.

Les modèles des spécialistes, fondés sur les variations climatiques prévisibles, suggèrent que cette expansion devrait se poursuivre. Voilà qui fait penser au parcours d'une cousine : la tique à pattes noires – le vecteur de la maladie de Lyme. Étrangère au territoire canadien encore récemment, elle s'y est installée à demeure depuis quelques années.

L'Agence de la santé publique du Canada suit de près les déplacements de ces espèces qui amènent avec elles des risques d'infections de toutes sortes, en plus de cette allergie. Le réseau de surveillance des tiques mis en place en 1990 compte, entre autres, sur l'analyse systématique des tiques que trouvent médecins et vétérinaires dans chaque province. Chez nous, c'est le Laboratoire de santé publique du Québec qui identifie et répertorie ces « prises ».

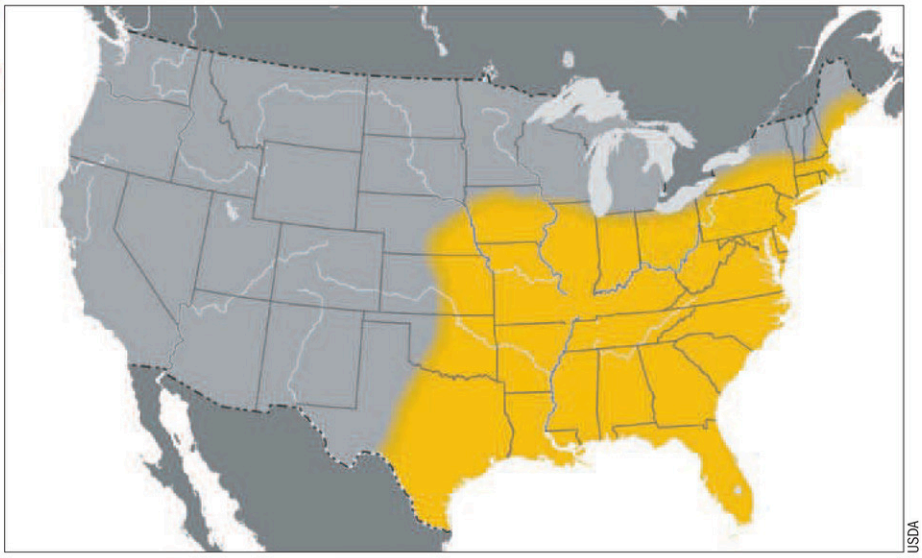
Karine Thivierge, responsable du programme de surveillance au Québec, confirme qu'on y a déjà trouvé quelques

tiques étoilées. « En 2001, on en a trouvé une sur un chien qui n'avait pas voyagé hors du Québec, dit-elle. De 2007 à 2015, on en a reçu 68 en tout. »

C'est encore bien peu, souligne la parasitologiste. « Ce sont probablement des tiques adventices : des tiques venues avec les oiseaux migrateurs, par exemple, et qui ne représentent pas une population d'*Amblyomma americanum* établie chez nous. »

Il reste qu'on ne peut plus exclure la possibilité d'être piqué par une tique étoilée au Québec. « Le risque est encore très faible, insiste la spécialiste, mais pas nul. »

Des études récentes démontrent que le climat du sud de la province est déjà favorable à la reproduction et à la survie d'une population de tiques étoilées, et qu'on peut s'attendre à ce qu'elles s'y installent d'ici quelques années, affirme Mme Thivierge.



USDA

Territoire actuel de la tique étoilée

De leur côté, les allergologues québécois se passent le mot. « On commence à voir nos premiers cas d'allergie à la viande, indique le docteur Chapdelaine qui en suit lui-même quelques-uns. Pour l'instant, ces cas se comptent sur les doigts d'une main, et ce sont des patients qui ont été mordus dans le sud-est américain. Mais on s'attend à ce que des gens soient mordus par ces tiques ici, tôt ou tard, et deviennent allergiques à la viande. »

Il faudra s'y habituer. Construire un mur à la frontière serait un exercice futile…

EXPO SCIENCES Hydro-Québec

« De mars à mai, rencontrez la relève scientifique québécoise en visitant les Expo-sciences Hydro-Québec ! »

- Luc Langevin, porte-parole national -

ENTRÉE GRATUITE - Heures d'ouverture au public disponibles au **exposciences.qc.ca**

RIVE-NORD (LAVAL, LAURENTIDES, LANAUDIÈRE)
16 au 18 mars
École Liberté-Jeunesse Sainte-Marthe-sur-le-Lac

EST DU QUÉBEC
17 au 19 mars
Cégep de Rimouski, Rimouski

ESTRIE
24 au 26 mars
Centre culturel de l'Université de Sherbrooke, Sherbrooke

OUTAOUAIS
10 et 11 mars
Université du Québec en Outaouais, Gatineau

MONTÉRÉGIE
23 au 25 mars
École secondaire du Mont-Bruno, Saint-Bruno-de-Montarville

CÔTE-NORD
24 au 26 mars
Agora du Centre éducatif l'Abri, Port-Cartier

ABITIBI-TÉMISCAMINGUE
31 mars et 1er avril
Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda

MAURICIE, CENTRE-DU-QUÉBEC
31 mars et 1er avril
École secondaire de l'Érablière, Saint-Félix-de-Valois

SAGUENAY–LAC-SAINT-JEAN
22 et 23 mars
Cégep de Jonquière, Jonquière

MONTRÉAL
Volet primaire
12 et 13 mai
Collège Reine-Marie, Montréal

Volet secondaire et collégial
30 mars au 1er avril
École secondaire Lucien-Pagé, Montréal

MONTREAL REGIONAL SCIENCE & TECHNOLOGY FAIR
26 au 28 mars
Université Concordia, EV building, Montréal

QUÉBEC ET CHAUDIÈRE-APPALACHES
16 au 18 mars
Collège Saint-Charles-Garnier, Québec

FINALE QUÉBÉCOISE
20 au 23 avril
École secondaire Mgr-A.-M.-Parent, Saint-Hubert

EXPOSCIENCES.QC.CA

Un programme du RÉSEAU TECHNOSCIENCE

Grand partenaire Économie, Science et Innovation Québec

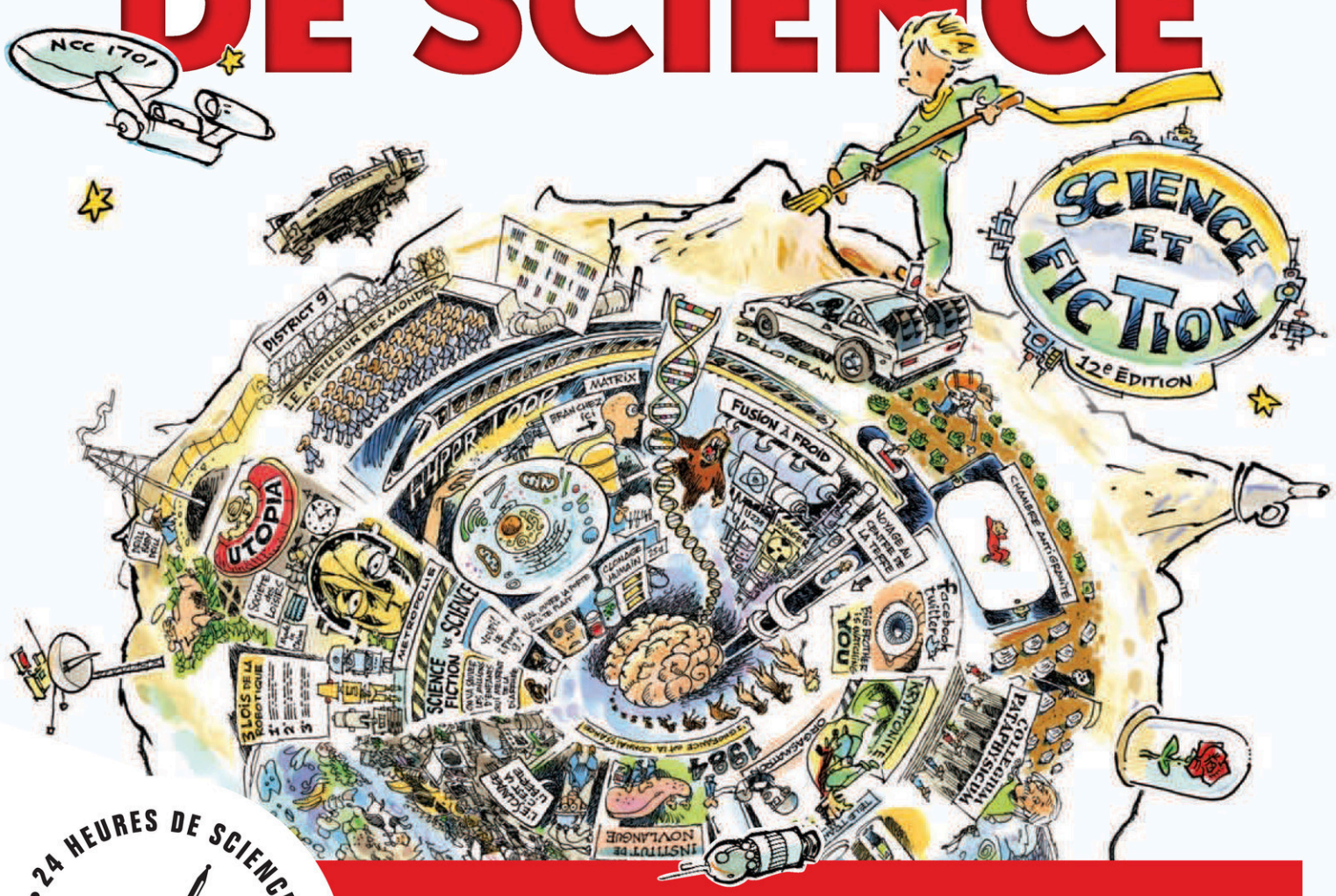
Partenaire présentateur Hydro Québec

Science pour TOUS!

12 ET 13 MAI 2017 PARTOUT AU QUÉBEC!

PLUS DE 300 ACTIVITÉS SCIENCE & TECHNO

24 HEURES DE SCIENCE ET PLUS



24 HEURES DE SCIENCE

SCIENCE24HEURES.COM

@24hdescience

24hdescience

DISPONIBLE SUR Google Play

Économie, Science et Innovation Québec

CRSNG NSERC

UNESCO — Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture — United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Commission canadienne pour l'UNESCO — Canadian Commission for UNESCO

ODYSSÉE des SCIENCES

FESTIVAL EURÊKA!

Par Normand Baillargeon

Sauriez-vous résoudre le paradoxe de Newcomb?

Depuis les années 1960, ce problème insoluble donne du fil à retordre aux scientifiques et aux penseurs.

Je fais cette fois appel à vous, lecteurs et lectrices de *Québec Science*, afin de connaître vos idées – et éventuellement vos solutions – relativement à un problème qui, depuis longtemps, tarabuste bien des gens, notamment en philosophie, en mathématiques, en théorie de la décision et en théorie des jeux : le fameux paradoxe de Newcomb.

Il n'y a pas, à ce jour, de solution unanimement acceptée.

Le paradoxe doit son nom à William A. Newcomb, un physicien, qui l'imagine vers 1960. Un ami le fait connaître au philosophe Robert Nozick, de l'université Harvard, qui publiera en 1969 le premier texte sur le sujet. Le grand vulgarisateur Martin Gardner y consacrera en 1974 une de ses célèbres chroniques de « Mathematical Games » dans la revue *Scientific American*, contribuant ainsi à populariser le paradoxe, très simple à formuler, mais incroyablement difficile à résoudre.

DESCRIPTION DU PARADOXE

Vous avez devant vous deux boîtes, A et B, et devez faire un choix : prendre les deux boîtes ou ne garder que la boîte B.

La boîte A est translucide et vous apercevez clairement qu'elle contient un billet de 1 000 $.

La boîte B est opaque, et vous ne pouvez donc connaître son contenu.

On vous informe qu'un prédicteur (un devin, un extraterrestre, un psychologue surdoué, un ordinateur, un ange, peu importe…) d'une très grande fiabilité (ce qui signifie que ses prédictions tendent très fortement à se réaliser, disons à près de 100 %) a décidé à l'avance du contenu de cette boîte B.

S'il a prédit que vous prendrez la boîte B, et seulement elle, il y a placé 1 000 000 $.

S'il a prédit que vous prendrez les deux boîtes (A et B), il a laissé la boîte B vide.

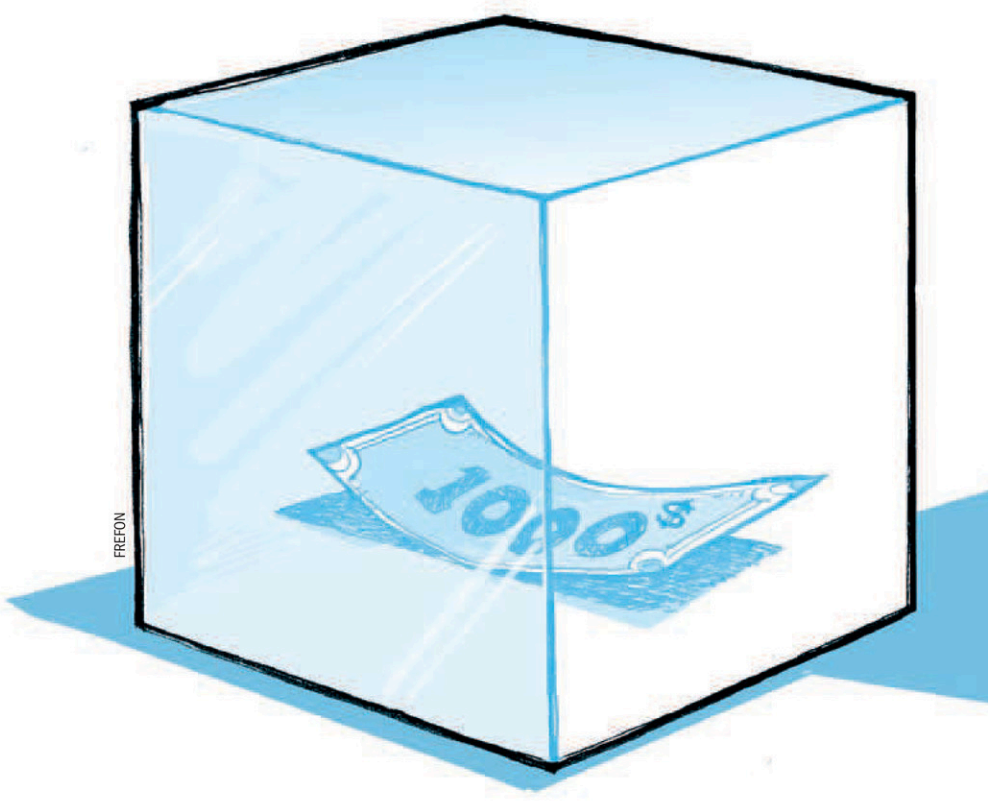
La veille, le prédicteur a donc mis l'argent dans la boîte B ou l'a laissée vide. Depuis, rien ni personne, pas même lui, n'a pu ou ne pourra altérer le contenu des boîtes. Celles-ci sont donc devant vous en l'état où il les a laissées.

Vous devez à présent décider quelle(s) boîte(s) vous allez prendre. La B ? La A et la B ? Comme vous êtes une personne raisonnable, vous ne déciderez pas au hasard (en jouant à pile ou face, disons), d'autant que le prédicteur sait d'avance ce que vous choisirez. Vous raisonnerez donc et pourrez ensuite justifier votre choix.

Le tableau 1 qui suit présente les

1

Votre choix selon le prédicteur	Votre choix	Rendement de la boîte A	Rendement de la boîte B	Rendement total
Boîtes A et B	Boîtes A et B	1 000 $	0 $	1 000 $
Boîtes A et B	Boîte B	X	0 $	0 $
Boîte B	Boîtes A et B	1 000 $	1 000 000 $	1 001 000 $
Boîte B	Boîte B	X	1 000 000 $	1 000 000 $



FREFON

possibilités qui s'offrent à vous et leurs conséquences monétaires.

Les gens à qui l'on expose le problème tendent à se diviser à peu près également en deux groupes : ceux qui prennent la boîte B et ceux qui prennent les deux boîtes, chaque groupe étant persuadé de faire le choix rationnel. Et c'est précisément là que surgit le paradoxe : de bonnes raisons justifient autant un choix que l'autre !

POURQUOI DEVRIEZ-VOUS PRENDRE LA BOÎTE B ?

Rappelez-vous, ce prédicteur est incroyablement clairvoyant. Donc, si vous prenez les deux boîtes, il l'aura très probablement prédit et il n'y aura rien dans la boîte B. Vous retournerez donc chez vous avec un maigre 1 000 $. Mais si vous prenez la boîte B, ce choix étant prévu par lui, le prédicteur y aura mis le million et vous rentrerez à la maison bien plus riche. Ce qu'il convient de faire est donc clair : il faut prendre la boîte B et elle seule.

Ce premier argument repose sur ce qu'on appelle, en théorie de la décision, l'« utilité espérée ».

Convenons d'établir l'efficacité du prédicteur à 90 %. Les calculs d'utilité qui conduisent à cette conclusion seraient alors les suivants :

Si on prend les deux boîtes :
(0,1 X 1 001 000 $) + (0,9 X 1 000 $) = 101 000 $

Si on ne prend que la boîte B :
(0,9 X 1 001 000 $) + (0,1 X 0 $) = 900 900 $

Choisir la boîte B donne donc une meilleure espérance de gain. Dossier clos ? Peut-être…

Si ce n'était qu'un autre solide raisonnement nous enjoint de prendre… les deux boîtes !

POURQUOI DEVRIEZ-VOUS PRENDRE LES DEUX BOÎTES ?

Au moment où vous vous apprêtez à faire votre choix, le prédicteur a déjà mis l'argent dans la boîte B ou l'a laissée vide. Les deux boîtes sont là, dans l'état où il les a laissées la veille et rien n'y changera quoi que ce soit. Il n'y a donc rien à perdre à tout rafler ! Si la boîte B est vide, ayant pris les deux boîtes, vous aurez au moins 1 000 $; si le million s'y trouve, vous l'aurez en plus de ces 1 000 $.

Ce choix est celui qu'on appelle en philosophie le « choix dominant », car c'est celui qui maximise les gains, quelle que soit la prédiction.

On peut visualiser ainsi l'argumentaire qui conduit à cette conclusion (**tableau 2**) :

Ainsi, dans toutes les situations, sélectionner les deux boîtes donne toujours un meilleur gain que s'emparer de la boîte B seule.

2

	Le prédicteur a prévu le choix de la boîte B	Le prédicteur a prévu le choix des deux boîtes
Vous prenez la boîte B	1 000 000 $	0 $
Vous prenez les deux boîtes	1 001 000 $	1 000 $

Manifestement, nous voici devant un paradoxe.

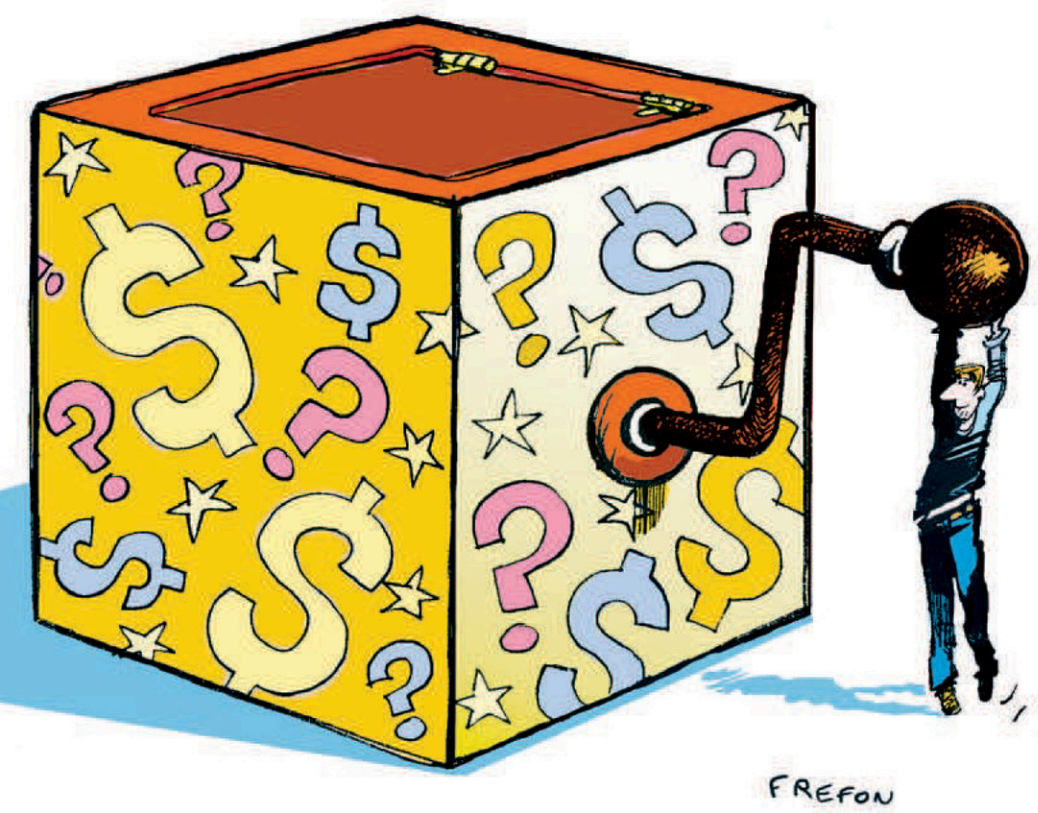
Qu'en pensez-vous ?

Avant de vous laisser la parole, notez que cette histoire soulève d'autres enjeux. Le paradoxe de Newcomb a, par exemple, suscité des discussions sur la causalité rétroactive, sur le libre arbitre dans un univers régi par le déterminisme et sur bien d'autres sujets.

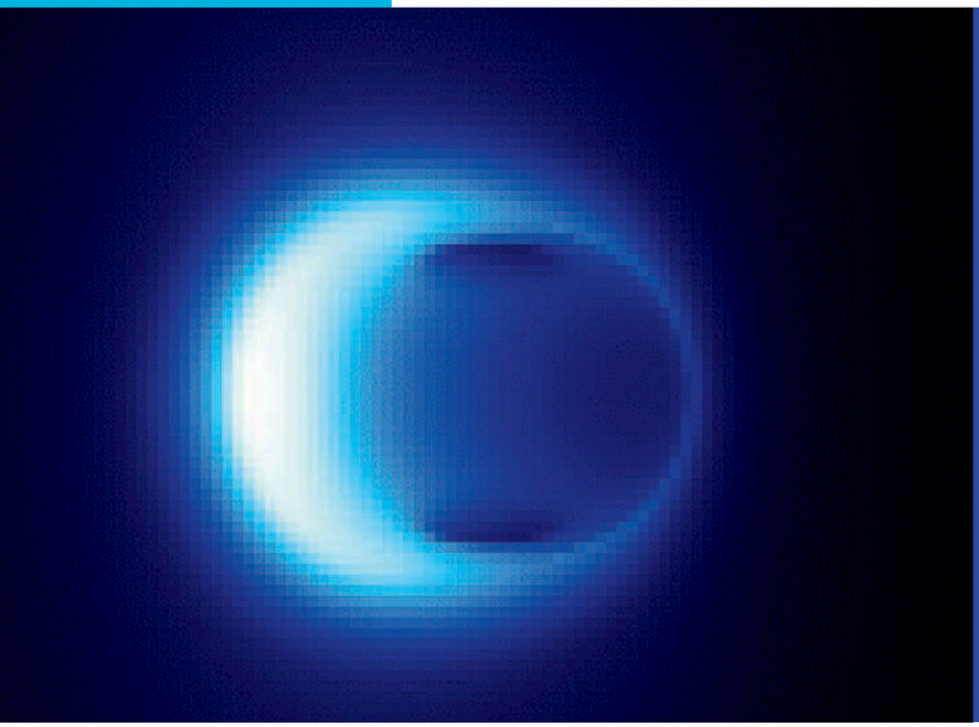
Mais je propose d'en rester à ce qui précède.

Qu'en dites-vous ? Quel choix faire ? Pourquoi ? Mais peut-être est-ce l'énoncé du problème qui est responsable du paradoxe ? Certaines des présuppositions sont-elles inacceptables ? Est-il possible de les reformuler en ce cas ?

J'attends vos propositions et j'ai bien hâte de vous lire.



Souhaitez-vous résoudre le paradoxe de Newcomb ? Écrivez-nous à l'adresse courrier@quebecscience.qc.ca ou sur notre page Facebook.

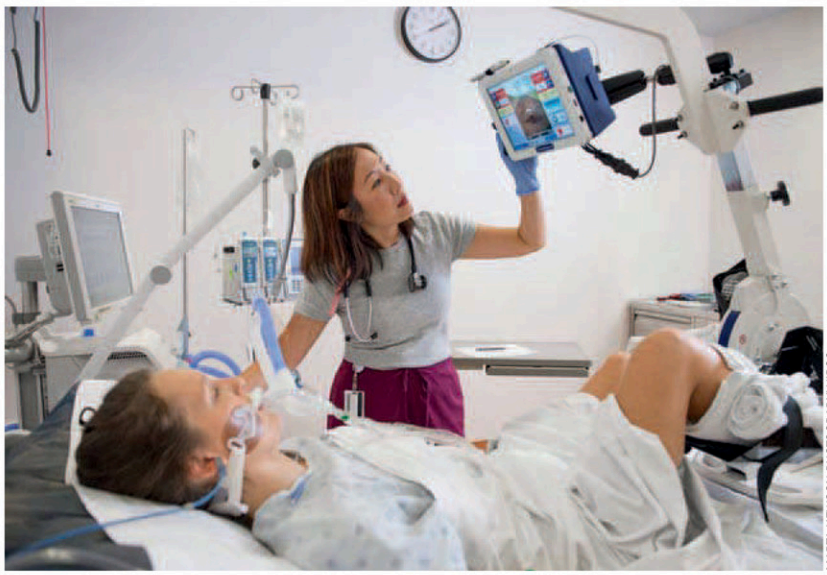


Un premier portrait de trou noir?

«Photographier» un trou noir, c'est l'exploit que s'apprêtent à effectuer, en avril, les astronomes du projet Event Horizon Telescope (EHT), un réseau constitué de huit radiotélescopes répartis sur toute la planète. Ensemble, ils constitueront un télescope virtuel au diamètre équivalent à celui de la Terre. Leur cible? Sagittarius A*, le trou noir super massif qui trône (du moins, c'est ce que les astronomes pensent) au centre de la Galaxie. La bête n'est pas simple à traquer; comme elle est très compacte et située à 27 000 années-lumière, la voir depuis la Terre équivaut à repérer une balle de golf sur la Lune! Si l'expérience fonctionne, il faudra attendre plusieurs mois avant que les algorithmes «traduisent» les données et reconstituent une image digne de ce nom.

Le vélo au lit

Pas moins de 55% des patients qui demeurent aux soins intensifs plus de huit jours perdent de la force et de la masse musculaire. Et cette faiblesse peut persister jusqu'à cinq ans après l'hospitalisation. La professeure de physiothérapie à l'université McMaster, Michelle Kho, propose de faire pédaler les patients dès la troisième journée après leur admission, même s'ils sont sous respiration artificielle, et sans qu'ils aient à se lever du lit! Son équipe a réalisé un premier essai pendant un an dans un établissement de Hamilton, en Ontario. À raison de 30 minutes par jour, 6 jours par semaine, les 33 patients ont roulé en moyenne l'équivalent de 9 km durant leur séjour, grâce à un système spécialement conçu pour le lit. Résultat? Le concept est «réaliste» et pourrait permettre aux patients d'obtenir leur congé plus tôt, et de sortir en meilleure forme. Une course vers la guérison, quoi!

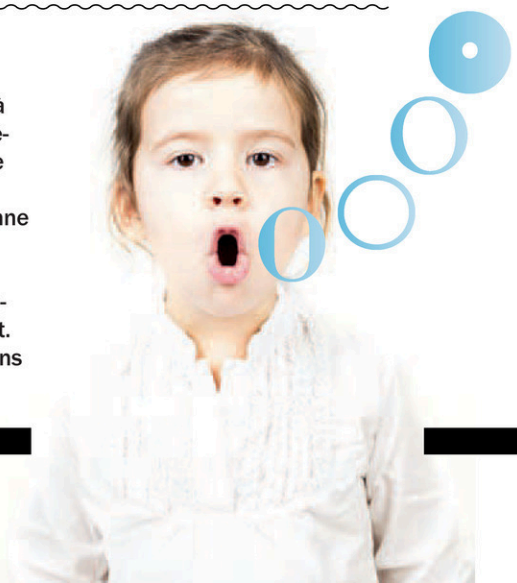


MARTA HEWSON PHOTOGRAPHY/IRSC

La maîtrise du *O*

La façon dont vous prononcez la lettre *O* est un véritable sujet d'étude à l'Université du Québec à Chicoutimi. Un étudiant à la maîtrise, Xavier St-Gelais, a enregistré la voix de participants de Québec, de Saguenay et de Lyon, en France. Il scrute présentement les ondes sonores à la recherche d'une signature régionale pour / ɔ /, qu'on entend dans «botte».

Le spectrogramme d'un son (un diagramme permettant de visualiser fréquence et intensité) donne une idée du positionnement de la bouche de la personne qui l'émet. Si le locuteur effectue un mouvement de la langue vers l'avant en prononçant la voyelle / ɔ /, on obtient un [œ], la voyelle entendue dans «seul». «Ce phénomène est mentionné depuis le XVI[e] siècle en français: on reprochait aux gens du peuple de prononcer "quemencer" au lieu de "commencer", explique l'étudiant. Il existe encore aujourd'hui et est assez bien décrit en France.» Xavier St-Gelais le trouvera-t-il dans l'accent de Québec et de Saguenay? On peut certainement «quemencer» à spéculer.



Tout est dans le titre

Dans les universités québécoises et canadiennes, entre les cours de méthodologie et d'initiation classiques, se glissent de petits bijoux de titres de cours. Nous vous en présentons quelques-uns fort originaux. On s'inscrit ?

Histoire de Satan
Université Concordia

Mon stress sans détresse
Université Laval

Didactique du kinball
Université Laval

Apprivoiser la mort
Université du Québec à Trois-Rivières

La science des tempêtes
Université McGill

Introduction aux mangas
Université McGill

Probabilités et jeux de hasard : poker 101
Université d'Ottawa

L'usage et l'abus de la beauté
Université Bishop

Poétique du rap
Université de Toronto

La science de Batman
Université de Victoria

Religion et Disney*
Université Memorial

*inclut un voyage «terrain», en Floride, à la relâche !

JOANNA GILKESON/USFWS

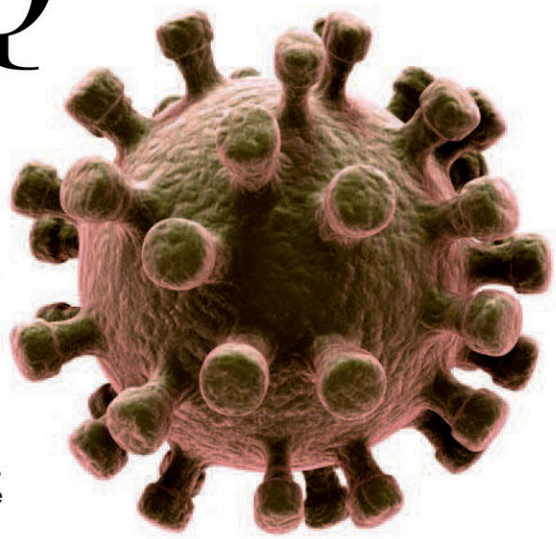
Ventouse effrayante

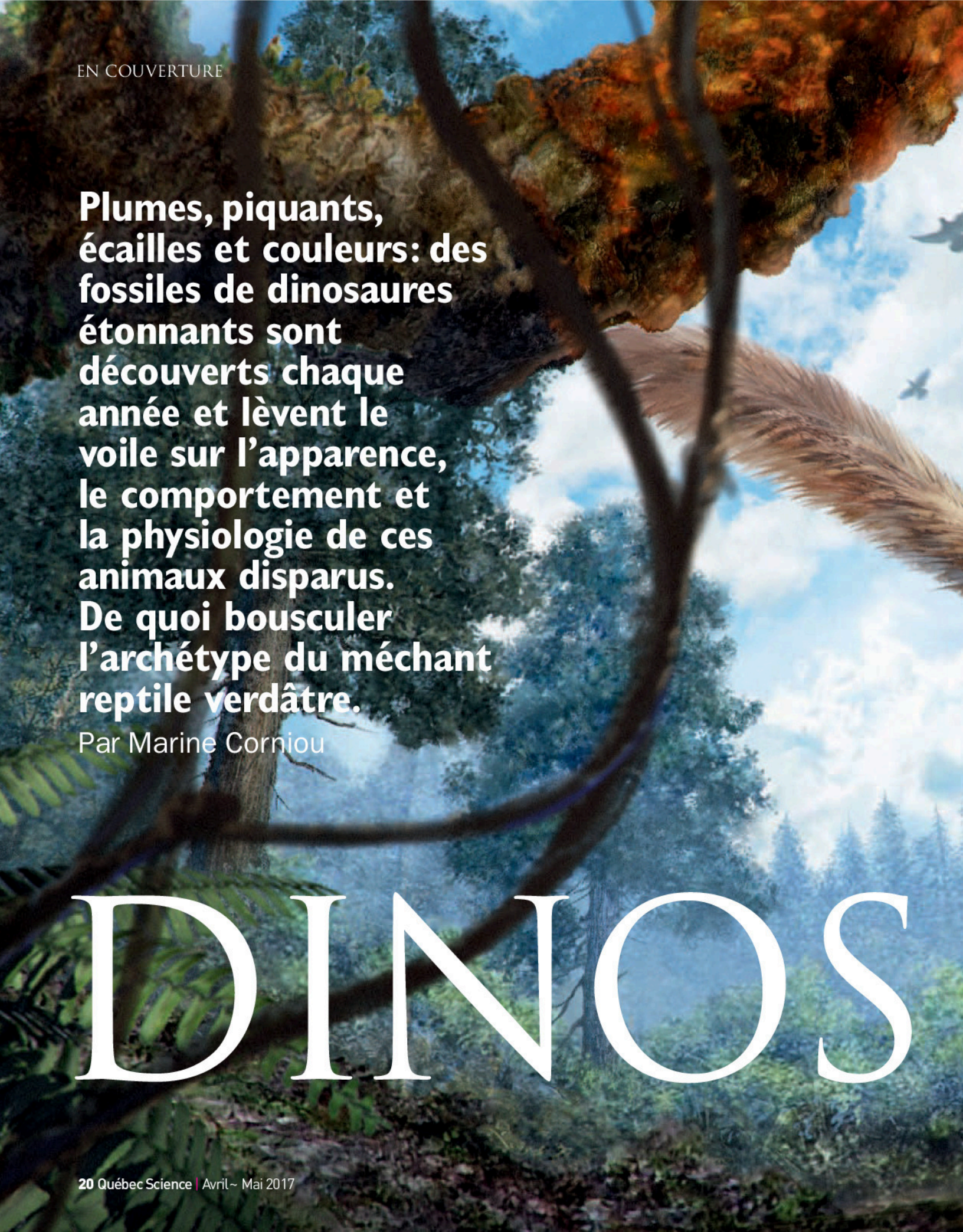
Voici la bouche de la lamproie marine, un poisson invasif qui a colonisé les Grands Lacs au XIX^e siècle. Peu sympathique, la lamproie fait des ravages écologiques en se fixant sur ses proies (saumons, truites, corégones) et en les vidant de leur sang. Grant Brown, biologiste à l'Université Concordia, a peut-être trouvé le moyen d'empêcher la bestiole de gagner du terrain : une substance odorante que ce poisson primitif libère en cas de danger. En diffusant ce signal d'alarme naturel dans un bras de rivière, le chercheur a constaté que les lamproies évitaient de remonter l'affluent. Cette «barrière chimique» pourrait être utilisée en combinaison avec un piège mis au point par des chercheurs du Michigan et approuvé l'an dernier par l'Agence américaine pour la protection de l'environnement, qui consiste à attirer les femelles avec une phéromone synthétique puis à les éliminer.

LE CHIFFRE

CINQ

C'est le nombre de personnes ayant été débarrassées du VIH grâce à un traitement testé à l'Institut de recherche sur le sida IrsiCaixa de Barcelone. L'une d'entre d'elles semble «guérie» depuis plus de huit mois; les autres, depuis plusieurs semaines. Combinant deux vaccins et un médicament qui active le virus pour le pousser à sortir des cellules, ce traitement n'a fonctionné que chez un tiers des 15 patients inclus dans l'étude. Néanmoins, il reste prometteur, puisqu'il permet, en cas de succès, d'arrêter la prise d'antirétroviraux.





Plumes, piquants, écailles et couleurs: des fossiles de dinosaures étonnants sont découverts chaque année et lèvent le voile sur l'apparence, le comportement et la physiologie de ces animaux disparus. De quoi bousculer l'archétype du méchant reptile verdâtre.

Par Marine Corniou

DINOS

On sait maintenant que les dinosaures carnivores, ou théropodes, étaient pour la plupart couverts de plumes.

2.0

ILLUSTRATION PAR CHEUNG CHUNG-TAT

Ils ont beau avoir été rayés de la carte il y a 66 millions d'années, on n'a jamais autant entendu parler des dinosaures. Rien qu'en 2016, une quarantaine de nouvelles espèces ont été décrites scientifiquement, parmi lesquelles deux géants à long cou trouvés en Allemagne et en Australie, un « mégaraptor » de 8 m déniché en Argentine, un petit dinosaure à bec en Chine ou encore un herbivore à quatre cornes en Utah.

C'est simple, en moyenne, une nouvelle espèce est découverte, quelque part sur la planète, tous les 10 jours depuis les années 1990. Un âge d'or qui s'explique par plusieurs facteurs, le premier n'étant pas très… scientifique. « Le film *Le Parc jurassique*, sorti en 1993, a beaucoup contribué à faire connaître la paléontologie. Les étudiants nés un peu avant cette époque finissent actuellement leur doctorat et viennent grossir les équipes de fouilles sur le terrain ! » explique François Therrien, paléontologue au Musée Royal Tyrrell de Drumheller, en Alberta, notant que l'engouement populaire s'est aussi traduit par une hausse des financements.

De nouveaux terrains de jeu se sont également ouverts aux chasseurs de fossiles, à commencer par la Chine, où l'on déterre des milliers d'ossements chaque année, la Mongolie, l'Argentine ou encore l'Utah, où d'anciens terrains privés sont aujourd'hui mis à la disposition des chercheurs.

Le Canada n'est pas en reste. « Les *badlands* de l'Alberta exposent des roches sédimentaires qui ont été formées par des rivières et des marécages au temps des dinosaures, à la fin du Crétacé. Nous sommes choyés », se réjouit le chercheur qui passe tous ses étés à déterrer des fossiles, dont celui d'un immense tricératops trouvé en 2012.

François Therrien, paléontologue au Musée Royal Tyrrell en Alberta

MUSÉE ROYAL TYRRELL

LA POINTE DE L'ICEBERG

On a beau employer les grands moyens, ces nouveaux fossiles ne représentent probablement qu'un mince échantillon de la biodiversité de l'époque. Combien d'espèces de dinosaures reste-t-il à découvrir ? Les paris sont ouverts.

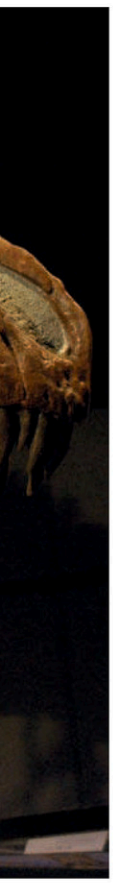
« Nous connaissons actuellement environ 1 500 espèces. C'est difficile d'estimer la diversité d'un groupe disparu, mais il faut se souvenir que les dinosaures ont régné sur la Terre pendant plus de 150 millions d'années ! Le nombre total d'espèces était probablement immense. On parle ici de dizaines ou de centaines de milliers, peut-être même de millions », explique Stephen Brusatte, paléontologue à l'université d'Édimbourg, en Écosse. Né en 1984, cet Américain d'origine n'était pas lui-même un fan du *Parc jurassique*; mais son petit frère, si ! C'est en l'aidant pour un projet de science qu'il a eu la piqûre.

En fait, tant mieux si les paléontologues sont plus nombreux que jamais, car ils ont du pain sur la planche. D'autant qu'ils ne se concentrent plus uniquement sur les gros morceaux. « Contrairement à ce qu'on pensait à une autre époque, les dinosaures n'étaient pas tous de gros animaux. Ils couvraient tout le spectre de taille, de minuscules à géants ! Le registre de fossiles est biaisé, car les gros os sont mieux préservés et donc plus faciles à découvrir », ajoute François Therrien.

Or ce sont justement les petits dinosaures trouvés au cours des 20 dernières années qui ont bouleversé la vision qu'on avait de ces « terribles lézards ». La principale surprise ? Loin du cliché du reptile verdâtre à écailles, les dinosaures avaient, bien souvent, des plumes.

« Les plumes sont sans conteste la découverte la plus cool ! affirme Stephen Brusatte. Elles ont révolutionné la façon dont on pense aux dinosaures – dont on imagine leur apparence, leur façon de

Fossile de *Sinosauropteryx*, le premier dinosaure à plumes découvert en Chine, en 1996.



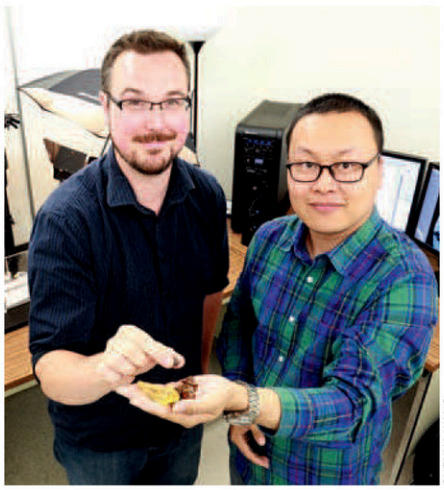
R.C. MCKELLAR, ROYAL SASKATCHEWAN MUSEUM

Conservée dans l'ambre, cette queue couverte de plumes appartenait à un dinosaure pas plus gros qu'un moineau. Elle a été analysée par Ryan McKellar (Canada) et Lida Xing (Chine), ci-dessous.

bouger et de se comporter. »

Imaginez le fameux *Tyrannosaurus rex*, avec ses 5 m de haut, ses 10 m de long, sa mâchoire énorme, ses griffes acérées… et son gracieux plumage ! Si l'image fait sourire, elle a pourtant de bonnes chances d'être fidèle à la réalité. « Nous n'avons pas encore découvert de traces des *T. rex* à plumes, mais il faut dire qu'on a trouvé très peu d'empreintes de leur peau, tempère François Therrien. Par contre, un de leurs ancêtres de 9 m de long, découvert en Chine en 2012, était totalement couvert de plumes. Il y a donc des chances pour que les tyrannosaures nord-américains aient eu des plumes, du moins sur certaines parties du corps. »

Sinosauropteryx, le premier spécimen à avoir ouvert le bal, a été découvert dans la province du Liaoning, dans le nord-est de la Chine, il y a tout juste 20 ans. Ses plumes n'ont pas été conservées, bien sûr, mais les empreintes qu'elles ont laissées dans la roche sont clairement visibles. Depuis, on a trouvé là-bas une vingtaine d'espèces plus ou moins emplumées. « C'est assez extraordinaire, observe Pascal Godefroit, paléontologue à l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique. Les fossiles chinois nous permettent de reconstituer toute



SHENNA WANG

l'évolution de la plume, depuis les formes plus primitives, qui ressemblent à des poils, jusqu'aux plumes de microraptors, par exemple, tout à fait identiques à celles des oiseaux actuels. Il en avait sur les quatre pattes, et savait planer. »

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à jeter un œil à cette queue de dinosaure de 3,6 cm, décrite en décembre 2016 par une équipe sino-canadienne. Figée dans l'ambre depuis 99 millions d'années, elle arbore des plumes parfaitement conservées.

Ce qui faisait encore débat il y a quelques

«Les plumes ont révolutionné la façon dont on pense aux dinosaures – dont on imagine leur apparence, leur façon de bouger et de se comporter.»
– Stephen Brusatte

Représentation de *Sinosauropteryx*

« Il suffit d'un fossile pour réaliser que les choses n'ont rien à voir avec ce qu'on imaginait. »
– Pascal Godefroit

années est désormais clair : « Tous ces fossiles apportent la preuve que les oiseaux ont bel et bien évolué à partir des dinosaures », explique Stephen Brusatte.

Les dinosaures ont beau être des reptiles, ils sont donc aussi les ancêtres directs des oiseaux, et même leurs cousins ; car oiseaux et dinosaures ont coexisté pendant pas mal de temps. Compliquée, leur généalogie ? « C'est un peu comme des poupées russes, concède le paléontologue. Mais on peut affirmer que les oiseaux sont des dinosaures. »

PLUMES OU ÉCAILLES ?

Mais les dinos étaient-ils tous des bêtes à plumes ? Depuis environ cinq ans, la question divise les spécialistes. Avant cela, la réponse était simple : le plumage, plus ou moins foisonnant, était l'apanage des dinosaures carnivores. En effet, tous les fossiles à plumes trouvés en Chine sont ceux de théropodes, une famille de carnassiers bipèdes à laquelle appartiennent les tyrannosaures et les vélociraptors, qui chassaient en meute dans les films de Steven Spielberg (sans qu'il y ait de preuves scientifiques à cela). Et justement, on sait que les oiseaux dérivent directement des théropodes emplumés. Logique, donc !

Quant aux autres groupes de dinosaures, les herbivores, tout indique qu'ils étaient dépourvus de plumage. De nombreux fossiles sur lesquels s'est imprimé l'épiderme de ces animaux montrent qu'ils avaient une peau nue, granuleuse, constituée d'écailles semblables à celles des lézards. Pas question de se représenter un tricératops doté d'une collerette duveteuse. Idem pour les diplodocus, stégosaures et autres ankylosaures à armure.

Quoique… Plusieurs découvertes récentes ont semé le doute, explique Pascal Godefroit. « Au début des années 2000, on a trouvé des sortes de piquants sur la queue des psittacosaures qui ne sont pas des théropodes », dit-il. Puis, en 2009, des chercheurs chinois ont décrit dans la revue *Nature* des filaments similaires trouvés chez *Tianyulong*, un herbivore très archaïque. Il reste qu'on est encore loin des plumes complexes des théropodes, rétorquent les sceptiques.

Mais voilà que, en 2014, Pascal Godefroit jette un nouveau pavé dans la mare. « On a trouvé un type de dinosaure primitif, en Sibérie, sur lequel on remarque des écailles, des structures simples autour du corps – qui ressemblent à des filaments – et des plumes plus élaborées autour des pattes », détaille le chercheur qui a décrit son protégé dans *Science*. Une surprise, puisque la bestiole de 1 m de long, baptisée *Kulindadromeus zabaikalicus*, est herbivore.

« Si on retrouve des plumes chez les dinosaures théropodes et certains herbivores, c'est peut-être que l'ancêtre commun de ces deux groupes avait aussi des plumes. Et que, par conséquent, tous les dinosaures pouvaient en avoir », conclut-il.

Le manque de fossiles et de données concernant les dinosaures herbivores les plus primitifs complique ce débat. « Mais c'est ce qui fait le charme de la paléontologie, s'amuse Pascal Godefroit. Il suffit d'un fossile pour réaliser que les choses n'ont rien à voir avec ce qu'on imaginait. »

Une chose est sûre : les plumes sont apparues bien avant la capacité à voler, ajoute-t-il. Elles servaient probablement à maintenir la chaleur corporelle, comme un duvet.

L'ÉLÉGANCE AVANT LE VOL

En 2008, François Therrien est lui aussi tombé sur un os… à plumes ! Des os, en fait : ceux de deux adultes « dinosaures autruches » de 4 m, ou ornithomimidés, et d'un bébé, enfouis depuis 75 millions d'années dans les *badlands* de l'Alberta. Cette espèce bien connue est documentée par de nombreux fossiles ailleurs dans le monde, mais sans trace de plumes. Cette fois, l'équipe a pu distinguer des lignes sombres le long de la colonne vertébrale des adultes, qui sont clairement des plumes

DORLING KINDERSLEY/DK IMAGES-ALXASAURUS/MATT MARTYNIUK-SINOSAUROPTERYX

Trouvée dans le Dakota du Nord, cette empreinte de peau est celle d'un edmontosaure, un herbivore à bec de canard.

MUSÉE D'HISTOIRE NATURELLE DE VIENNE

filamenteuses, dont on voit aussi les traces d'ancrage sur les os des ailes.

« C'était la première fois qu'on trouvait un ornithomimidé en Amérique du Nord, et la première fois que le plumage était visible. Mais seuls les adultes avaient des ailes, pas le jeune ! On a donc émis l'hypothèse que les ailes ont évolué en premier lieu pour la parade sexuelle, et c'est seulement plus tard qu'elles ont été adaptées à d'autres fonctions », souligne François Therrien qui a publié sa trouvaille dans *Science* en 2012.

« Chez les théropodes plus évolués, comme les oviraptors, on retrouve des plumes élaborées, ramifiées, avec un rachis central, au niveau des pattes avant et de la queue. Elles servaient sûrement à faire joli, pour attirer les partenaires, et peut-être à couver les œufs », confirme Pascal Godefroit.

Quant à la couleur de cette parure, elle a fait l'objet de plusieurs études, publiées depuis 2010, à la suite de la découverte de mélanosomes de dinosaures. Ces petits « sacs » cellulaires, que l'on trouve aussi chez les oiseaux modernes, produisent les pigments qui colorent les plumes. En fonction de leur forme (allongée ou arrondie, par exemple), on peut déduire le type de pigment produit… et la couleur du propriétaire.

Certes, les nuances les plus flamboyantes, comme le bleu, ne sont pas préservées, et les mélanosomes ont pu être déformés par la fossilisation. N'empêche que les dinos analysés arboraient vraisemblablement des tons roux et noirs.

Alxasaurus, avec ses 4 m de long, avait probablement des plumes.

LA FIN D'UN MONDE

Comment les dinosaures ont-ils disparu ? C'est la question qui hante les scientifiques depuis la découverte des premiers fossiles d'iguanodons dans les années 1820.

« L'immense majorité des paléontologues s'entendent pour dire que l'extinction s'est faite de façon soudaine, et que la cause principale est la chute d'un astéroïde survenue il y a 66 millions d'années », résume Stephen Brusatte, de l'université d'Édimbourg.

Il faut dire que l'écrasement de ce bolide large de 10 km, et dont on trouve l'impact dans le Yucatan, équivaut à l'explosion de plusieurs millions de bombes nucléaires. Il a dû déclencher d'immenses tsunamis, des séismes violents, des incendies, et mettre en suspension des tonnes d'aérosols et de poussières dans l'atmosphère, refroidissant brutalement la Terre et entravant la photosynthèse. Bilan, les trois quarts des espèces végétales et animales ont été rayées de la carte.

Mais certains doutent encore qu'il soit le seul coupable. Les dinosaures étaient-ils déjà en déclin lors du drame ? D'autres événements, comme des changements climatiques ou des éruptions volcaniques majeures, les avaient-ils fragilisés ? Nul ne le sait, mais une étude parue en janvier dans *PNAS* avance une autre hypothèse : les dinosaures auraient peut-être été desservis par leur lente reproduction. En observant les lignes de croissance présentes sur les dents d'embryons fossilisés de deux espèces (un protocératops et un *hypacrosaurus*), les chercheurs de la Florida State University ont calculé que les œufs pouvaient incuber pendant trois à six mois. Une éternité !

« Quand j'étais petit, je n'aurais jamais cru qu'il serait possible de déterminer la couleur des dinosaures ! » s'étonne encore Stephen Brusatte.

UNE FENÊTRE SUR LE COMPORTEMENT

Si les scientifiques font parler les squelettes, ils ont aussi, au cours des dernières années, mis la main sur des trésors que l'on n'espérait plus. Car la fossilisation ne permet pas seulement de préserver les os, mais aussi, parfois, certains tissus. En 2015, l'équipe de l'Américain Tim Cleland est parvenue à récupérer des vaisseaux sanguins vieux de 80 millions d'années, après avoir « déminéralisé » le fémur d'un dinosaure à bec de canard. Quelques années plus tôt, la même équipe avait décelé des fragments de collagène (un type de protéine très abondant dans les tissus animaux) par spectrométrie de masse. Et fin 2016, la découverte du premier fragment de cerveau fossilisé, appartenant à une espèce proche de l'iguanodon, un grand dinosaure herbivore, a été confirmée !

« La paléontologie est en train d'évoluer. Il est encore question de découvrir de nouvelles espèces, mais on essaie aussi de comprendre l'écosystème et le comportement de ces animaux », analyse François Therrien.

À preuve, il s'est lui-même penché sur les capacités olfactives d'une vingtaine d'espèces de dinosaures ! « Grâce aux CT-scan médicaux, on peut étudier leur boîte crânienne aux rayons X et reconstruire virtuellement la forme et la taille des bulbes olfactifs. On a ainsi vu que les tyrannosaures et les vélociraptors avaient un sens de l'odorat extrêmement développé, leur permettant de repérer des proies à distance. Alors que les ornithomimidés, eux, avaient peu d'odorat. »

Et ce n'est pas tout. La démarche, le mode de nidification, les techniques de chasse et la température corporelle des dinos font aujourd'hui l'objet de nombreuses publications.

Sans oublier leur intimité. La découverte en 2015 de traces de grattage, gravées il y a une centaine de millions d'années dans les grés sablonneux du Colorado, révèle que les théropodes se livraient à des parades nuptiales similaires à celles de certains oiseaux. Ces rainures seraient « des démonstrations de creusement de nids destinées à impressionner les femelles », selon la publication parue dans *Nature*.

Une découverte qui rapproche un peu François Therrien de son grand rêve : « Tomber sur un nid de tyrannosaures, avec des fossiles de mères couvertes de plumes en train de couver ! » De quoi faire d'une pierre deux coups : comprendre le mode de reproduction de ces prédateurs légendaires – « On n'a jamais trouvé d'œuf, ce qui est surprenant », dit-il –, et savoir enfin quelle allure ils avaient.

Stephen Brusatte, lui, aimerait comprendre pourquoi les oiseaux ont survécu à l'impact de l'astéroïde qui a abruptement mis fin à ce monde florissant (voir l'encadré à la page 25). « Pourquoi les petits dinosaures à plumes, très proches des oiseaux, ne s'en sont pas sortis ? » se demande-t-il.

On décèle ici une pointe de regret : celle de ne pas voir courir, dans les prairies actuelles, des troupeaux d'ornithomimidés… Et de devoir se contenter des dindons sauvages ! QS

LA RECHERCHE DANS LE RÉSEAU DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

FINANCE

En attendant LA PROCHAINE CRISE…

L'ÉCONOMIE MONDIALE, PLUS FRAGILE QUE JAMAIS

LA TECHNO SAUVERA-T-ELLE LA FINANCE ?

LA SCIENCE AU SECOURS DE VOTRE PORTEFEUILLE

Ce dossier est inséré dans le numéro d'avril-mai 2017 du magazine *Québec Science*. Il a été financé par l'Université du Québec et produit par le magazine *Québec Science*.

Le comité consultatif était formé de:
Marie Auclair, UQAM
Marc-Urbain Proulx, UQAC
Marc-André Villard, UQAR
Sébastien Charles, UQTR
Robert Bilterys, UQO
Stéphanie Duchesne, UQAT
Josée Charest, INRS
Josée Gauthier, ENAP
Caroline Chartrand, ÉTS
Éric Lamiot, TÉLUQ
Céline Poncelin de Raucourt, UQ
Valérie Reuillard, UQ
Marie Lambert-Chan, *Québec Science*

Coordination:
Marie Lambert-Chan et Valérie Reuillard

Rédaction:
Marie Lambert-Chan, Anabel Cossette Civitella, Etienne Plamondon Emond

Graphisme:
François Émond

Correction-révision:
Luc Asselin

Bibliothèque nationale du Canada:
ISSN-0021-6127

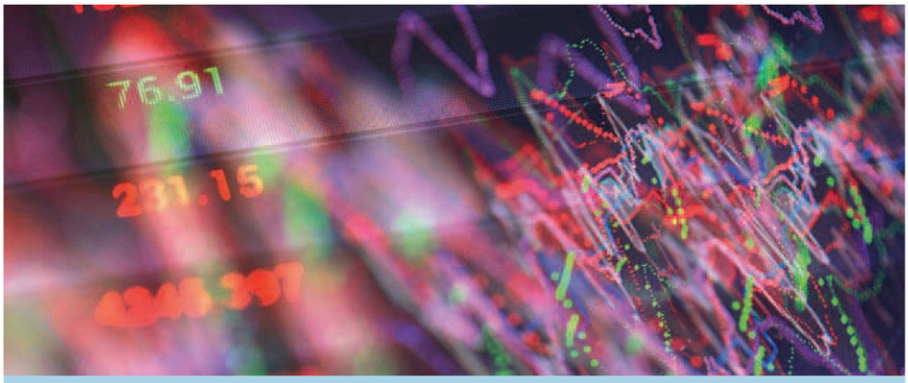
Les 10 établissements du réseau de l'Université du Québec ont pour mission de faciliter l'accessibilité à l'enseignement universitaire, de contribuer au développement scientifique du Québec et au développement de ses régions.

La science, chien de garde de l'économie ?

Depuis plus de un an, les Cassandre de l'économie annoncent qu'une nouvelle crise financière mondiale nous menace et qu'elle sera plus dévastatrice que celle de 2008. Elles n'ont pas tout à fait tort : partout sur la planète, les voyants sont au rouge.

Parmi ceux qui suivent de près l'activité financière se trouvent les scientifiques. Que ce soit à travers la loupe de l'économie, de la sociologie, du génie, des sciences administratives ou même de la physique, ils dissèquent les erreurs du passé et imaginent des solutions pour ne pas les répéter.

Ce dossier réunit des analyses et des résultats de recherche qui, parfois, n'ont rien de rassurant pour le portefeuille, mais qui, à d'autres moments, permettent de croire à une économie plus saine et plus solide.



III Attention, économie fragile !
Nous dirigeons-nous vers une récession ? Réponse d'un sociologue et d'un économiste.

V L'État, un équilibriste en période de récession
Comment les gouvernements jonglent-ils avec les dépenses et les revenus pour se sortir d'une crise ?

VII L'ignorance des analystes
En conseillant mal les investisseurs, les analystes financiers ont contribué à la crise de 2008.

VIII Pour éviter un autre désastre grec
Les taux directeurs bas ont limité les dommages de la dernière crise. Mais en sera-t-il toujours ainsi ?

X La *blockchain* sauvera-t-elle l'économie?
La technologie de stockage et de transmission d'informations suscite beaucoup d'espoir.

XI La physique pour prédire un krach
En mariant l'économie et la physique, on pourrait anticiper les crises.

XIII Les robots prennent les marchés de vitesse
Les transactions automatisées bousculent les ordres en Bourse, au point de créer des krachs éclairs.

XV Qui a peur des baby-boomers ?
L'arrivée massive à la retraite des baby-boomers inquiète les États déjà endettés.

XVI Endettés en période de crise
Qu'adviendrait-il des ménages endettés si une période d'instabilité financière survenait ?

SARAH MONGEAU-BIRKETT

Attention, économie fragile !

Brexit, montée du protectionnisme, spectre de guerres commerciales, banques centrales à bout de souffle : la planète économique est en proie à des soubresauts qui ne présagent rien de bon. Nous dirigeons-nous vers une nouvelle récession ? Pis, une crise financière ? Le sociologue ***Éric Pineault*** *et l'économiste* ***Pierre Fortin****, tous deux professeurs à l'Université du Québec à Montréal, se font peu rassurants.*

Le sociologue Éric Pineault (à gauche) et l'économiste Pierre Fortin

Québec Science : Le contexte économique mondial est pour le moins préoccupant. Croyez-vous qu'une crise semblable à celle de 2008 est sur le point d'éclater ?

Pierre Fortin : Difficile à dire, mais une chose est sûre : le risque de récession est là. Au cours des 50 dernières années, il s'est produit une récession tous les 9 ans. Ce phénomène a longtemps été provoqué par les banques centrales afin de combattre l'inflation…

Éric Pineault : … Jusqu'aux années 1990 où c'est plutôt le cycle financier mondial qui, avec ses propres crises récurrentes, est devenu le déclencheur de récessions. Pourquoi ? À cause de la déréglementation qui a permis aux institutions de créer de la valeur financière (et non de la valeur réelle) de deux façons : l'endettement et le gonflement des actifs. C'est ainsi qu'on a vu la bulle techno gonfler, puis éclater en 2001. Même chose pour la bulle immobilière en 2008.

PF : Voilà pourquoi la loi américaine Dodd-Frank est si importante [NDLR, législation garde-fou mise en œuvre par l'administration Obama pour empêcher les excès de l'activité financière]. Maintenant que le président Donald Trump souhaite procéder à son démantèlement, on ne peut que s'inquiéter. On reviendrait au système antérieur qui nous a donné 2008.

ÉP : Et l'ennui, c'est que, dans ce système, il n'est pas toujours facile de repérer quelle classe d'actifs fait l'objet de gonflement. Parfois, c'est clair. Prenez la crise de 2008. Dans ma thèse déposée en 2002, j'évoquais déjà que la prochaine crise serait liée au marché immobilier.

PF : J'ai moi aussi dit cela lors d'une conférence à la Caisse de dépôt et placement du Québec en 2005. On m'a accueilli avec un éclat de rire.

ÉP : En ce moment, je ne vois pas de signes apparents de bulle. Loin de me rassurer, cette incertitude m'effraie d'autant plus que notre économie mondiale ne cesse de

se fragiliser. Les ménages n'ont jamais été autant endettés. Les entreprises ne veulent pas investir et sont assises sur des montagnes d'argent. Les gouvernements n'ont plus le réflexe de répondre immédiatement à une récession par des dépenses automatiques – comme ils le font présentement avec des investissements dans les infrastructures, chose qui aurait dû être faite il y a sept ans – et ont tué la reprise économique en 2010 en ayant recours à des mesures d'austérité. Les grands groupes bancaires sont toujours plus concentrés, puissants et opaques, et les régulateurs internationaux n'ont pas suffisamment de pouvoir pour les contrôler. Si une crise survenait, je ne vois pas comment nous pourrions y faire face.

QS : Les banques centrales ne pourraient-elles pas intervenir, comme elles l'ont fait en 2008 ?

PF : Dans les récessions passées, on a réussi à relancer l'économie seulement grâce aux banques centrales qui diminuaient leur taux directeur [NDLR, taux d'intérêt à court terme fixé par une banque centrale qui permet de réguler l'activité économique]. Au cours des six dernières récessions, le taux directeur de la Banque du Canada a été abaissé en moyenne de sept points et demi de pourcentage. Or, depuis 2009, ce taux est déjà au plancher. Si un ralentissement se produit, la Banque n'aurait presque aucune marge de manœuvre pour abaisser les taux d'intérêt et redémarrer l'économie. Voilà pourquoi nous avons besoin d'une politique budgétaire provinciale et fédérale alerte, afin d'appuyer au besoin la politique monétaire affaiblie.

QS : Au même moment, on assiste à un retour en force des politiques protectionnistes aux États-Unis, au Royaume-Uni et possiblement en France où l'on parle de « Frexit ». Cela risque-t-il de déstabiliser davantage l'économie ?

ÉP : Oui, mais on observe déjà un décrochage entre la croissance des échanges internationaux et celle de l'économie mondiale. En 2015, la Banque du Canada a publié une étude à ce sujet. On y observe que, entre 1995 et 2015, le commerce international présentait un taux de croissance plus élevé que le PIB mondial. La stratégie de développement économique était alors évidente : il fallait que chaque pays aille chercher sa part du gâteau, sans quoi il serait exclu des échanges commerciaux. Depuis 2010, la tendance s'est inversée. Difficile de savoir pourquoi, mais une chose est sûre : le phénomène ne s'explique pas seulement par le protectionnisme. Il y a un changement structurel dans les moteurs de la croissance. Les nations n'agissent plus en se disant que leur économie se développera uniquement en s'ouvrant à l'extérieur.

QS : Vivra-t-on un jour dans un monde sans crise ni récession ?

ÉP : C'est ce que laisse croire la thèse de la stagnation séculaire qui, en résumé, avance que la croissance de nos économies sera à l'avenir si faible que les récessions disparaîtront… et les mécanismes de la croissance s'enrayeront. Pour certains, cela se produira en raison de l'offre. Les grandes innovations, celles qui ont des retombées économiques à long terme, se font plus rares. Ainsi, la découverte de l'électricité a eu des effets structurants pendant 30 à 40 ans, alors que Facebook aura encore des effets pendant 2, peut-être 3 ans. En ajoutant à cela le vieillissement de la main-d'œuvre, on ne peut espérer des occasions de croissance importante.

PF : Cette stagnation tendancielle émane aussi de la baisse démographique, ce qui a des répercussions sur le volume de consommation qui ne progresse pas aussi vite qu'il le devrait pour soutenir une croissance forte. Conséquemment, les entreprises sont moins enclines à agrandir leur parc d'équipement. Au Québec, en dehors du secteur immobilier, le volume d'investissement non résidentiel des entreprises a baissé de presque 20 % entre 2013 et 2016.

ÉP : Je prends cette théorie au sérieux. Si elle se révèle vraie, c'est grave. Parce que la croissance permet de résoudre les contradictions dans notre économie. C'est ce qui permet de répartir la richesse, de promettre un avenir meilleur aux générations futures…

PF : … Et quand il y a de la croissance, les gens sont plus généreux. On ne tend pas à bonifier le filet de protection pour les plus vulnérables quand l'économie est au neutre. Par exemple, c'est seulement lorsque l'économie québécoise a repris de la vigueur en 1996-1997, après une longue période de stagnation, que le gouvernement a instauré le système des garderies à cinq dollars, la prime au travail, les congés parentaux, etc.

ÉP : Quand on imagine la prochaine crise, on pense qu'elle aura des airs de 2008. Or, peut-être que nous sommes déjà dans une crise, une crise « stagnationniste », c'est-à-dire une « non-crise », où s'additionnent croissance larvée, repli identitaire, fermeture des frontières et diminution des investissements. Si c'est le cas, c'est un cocktail explosif tant pour l'économie que pour le tissu social. ■

Propos recueillis par Marie Lambert-Chan

L'État, un équilibriste en période de récession

Les gouvernements doivent jongler avec leurs dépenses et leurs revenus pour sortir leur pays d'une crise… et éviter de se retrouver en mauvaise posture lors de la suivante.

LUC MELANSON

Dès le début de l'année 2008, **Alain Paquet** se faisait apostropher en mêlée de presse au sujet d'une éventuelle récession. L'économiste était à ce moment député sous la bannière libérale, alors au pouvoir à Québec. Les déboires au sud de la frontière laissaient présager le pire. « Il y avait des éléments préoccupants, mais on n'était pas certain jusqu'à quel point », raconte-t-il dans son bureau au département d'économie de l'Université du Québec à Montréal (UQAM).

Il faut dire que, depuis 1929, aucune crise financière n'avait été contagieuse au point de provoquer une récession en Amérique du Nord. Même les dégâts du krach boursier de 1987 s'étaient limités au monde de la finance.

Quelques mois plus tard, M. Paquet était réélu et pouvait déjà voir « que les vents nous faisaient face et que ça allait brasser ». C'est mathématique : avec une récession, les profits des entreprises diminuent et il y a moins d'entrées fiscales pour les gouvernements. « Alors à moins de sabrer les dépenses, il y a un impact sur le déficit », explique-t-il.

D'autant plus que, au moment d'un marasme où les mises à pied se révèlent plus fréquentes, les dépenses relatives à l'assurance-emploi, à Ottawa, et à l'aide sociale, à Québec, tendent à augmenter. Quelle stratégie doit-on alors adopter ?

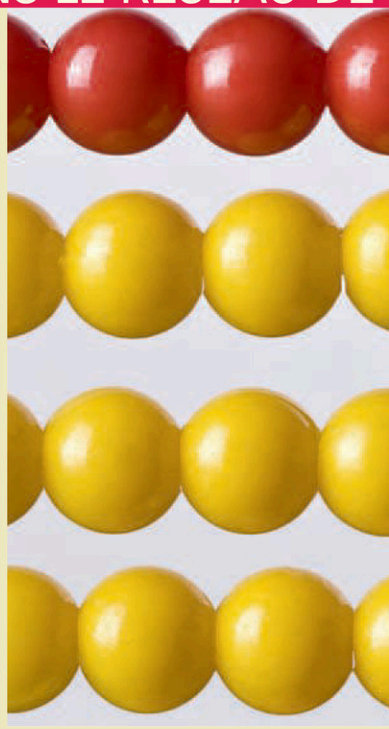
RELANCER L'ÉCONOMIE

Au sortir de la crise de 1929, l'économiste John Maynard Keynes avait suggéré aux États d'investir massivement dans les infrastructures et d'alléger la fiscalité pour relancer l'économie en période de récession, puisque les capitaux privés se font plus rares. Nos gouvernements ont-ils suivi cette recette éprouvée lors de la dernière crise ?

Celui du Québec venait d'amorcer de telles démarches, avant même la crise. Il avait annoncé des baisses d'impôt en 2007 et doublé les investissements annuels dans les infrastructures pour les porter à près de 9 milliards de dollars, alors que plusieurs d'entre elles se dégradaient.

Aux yeux de M. Paquet, les investissements dans les infrastructures ont permis « un certain contrôle sur le solde budgétaire ».

Parce que, en s'endettant pour mener de tels chantiers, l'État crée des emplois et réalise du même souffle un investissement à long terme, puisque les infrastructures amélioreront les capacités de produc-



tion du gouvernement et de l'ensemble des acteurs économiques dans les années suivantes. Les routes, par exemple, facilitent les déplacements de la main-d'œuvre et la livraison de produits et services.

De son côté, Ottawa a créé le Plan Chantiers Canada pour consacrer 40 milliards de dollars aux infrastructures entre 2007 et 2014.

Malgré le nuage sombre, les économies canadienne et québécoise s'en sont tirées mieux que celles des États-Unis et de l'Union européenne après la débâcle financière. « Le déficit budgétaire du gouvernement n'a pas eu besoin d'augmenter autant pour donner un coup de barre à l'économie », observe M. Paquet.

La résilience du Canada et du Québec ne serait pas seulement attribuable à cette stratégie. Après tout, l'administration Obama a aussi lancé des investissements dans les infrastructures aux États-Unis dont l'économie est demeurée durement éprouvée par la crise.

Le professeur rappelle que le secteur bancaire, d'où émanait la débâcle, était davantage réglementé au Canada. Aucun établissement financier du pays n'a dû être renfloué par l'État. Le département du Trésor américain, quant à lui, a déboursé des centaines de milliards de dollars pour renflouer des banques afin d'éviter que la faillite de ces dernières n'amplifie la crise.

REVENIR À L'ÉQUILIBRE BUDGÉTAIRE

Si contracter une dette peut être salutaire pour relancer l'économie, « on doit faire attention », prévient **Marie-Soleil Tremblay**, professeure agrégée à l'École d'administration publique (ENAP). Elle rappelle que les agences de notation évaluent la capacité des États de rembourser l'essentiel de leur dette et de payer les intérêts sur celle-ci. Elles peuvent abaisser leur note de crédit s'ils peinent à équilibrer leur budget, ce qui risque d'entraîner une hausse du taux d'intérêt et, en conséquence, leurs dépenses.

Toujours aux prises avec les soubresauts de la crise financière, plusieurs États, particulièrement en Europe, ont adopté des mesures d'austérité, soit une réduction de leurs dépenses, pour revenir rapidement à l'équilibre budgétaire après la crise. Dans certains cas, cette approche semble avoir plutôt freiné la reprise économique. Le débat fait rage : est-ce que ces pays ont agi trop vite ?

Selon Alain Paquet, cela dépend des endroits. Mais, pour le Québec, son point de vue est clair : « Je suis de ceux qui croient que, sept ans après la crise, il fallait retourner à l'équilibre budgétaire en ce qui concerne les dépenses courantes. »

Le Québec a retrouvé cet équilibre en 2016. Les mesures pour y arriver ont eu des effets sur les services livrés par l'État, d'où la grogne populaire. Mais M. Paquet ne croit pas que ces mesures soient responsables du faible taux de croissance du PIB réel enregistré par le Québec, qui est demeuré sous 1,5 % entre 2012 et 2015. « Une bonne partie est due aux exportations moins importantes vers les États-Unis […] où la reprise était lente, observe-t-il. De plus, le prix et la demande des matières premières – comme le Québec est un important exportateur de minerais – étaient relativement faibles avec cette sortie de crise économique mondiale. »

Ottawa, de son côté, a cessé de présenter un budget déficitaire en 2015. Le gouvernement Harper a alors passé la Loi fédérale sur l'équilibre budgétaire, abrogée par le gouvernement Trudeau en 2016. Ce dernier prévoit faire plus de 113 milliards de dollars en déficits pour les cinq prochaines années, dans le but de relancer une économie dont la croissance demeure faible.

> **Je suis de ceux qui croient que sept ans après la crise, il fallait retourner à l'équilibre budgétaire en ce qui concerne les dépenses courantes. – Alain Paquet**

« La majeure partie des dépenses actuelles [au fédéral] sont des dépenses courantes, observe Alain Paquet. Il y a un risque de perdre le contrôle. »

Marie-Soleil Tremblay s'inquiète de la position dans laquelle le Canada se retrouverait si la croissance économique, anticipée par le gouvernement fédéral, n'était pas au rendez-vous : « S'il continue à faire toutes ces dépenses, le déficit s'aggravera. S'il arrive une crise, il n'y aura pas de marge de manœuvre. »

Comme quoi peu importe le cycle économique dans lequel il se trouve, le gouvernement doit toujours garder un œil sur l'écart entre ses dépenses et ses revenus. ■

Par Etienne Plamondon Emond

L'ignorance des analystes

Les analystes financiers, en conseillant mal les investisseurs, ont contribué à la crise de 2008. Sans changement dans la gouvernance, il n'y a aucune raison que le désastre ne se reproduise pas.

Ils sont censés tout savoir sur les entreprises cotées en Bourse, connaître les pièges du marché, prédire les tendances économiques et… avoir du flair. Les analystes financiers détectent, pour leurs clients, les placements les plus avantageux. Mais est-ce vraiment le cas? Ont-ils réellement à cœur la situation financière de leurs clients et des marchés?

Ce n'est pas ce que laissent croire les résultats d'un article publié en 2013 dans le *Journal of Finance and Risk Perspectives*, par **Ahmed Marhfor**, professeur responsable de la maîtrise en administration des affaires pour cadres à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT), et son équipe.

Après avoir analysé le cas de 14 294 entreprises dans 44 pays, de 1995 à 2007, l'équipe a conclu que les activités des analystes financiers, contrairement à leur mandat, n'aident pas les investisseurs à placer leur épargne auprès des entreprises qui offraient les meilleurs projets d'investissement. Peu importe la compagnie, peu importe le pays où elle se trouve et peu importent les lois qui encadrent les activités des analystes financiers, en moyenne, l'apport de ces spécialistes est équivalent à… zéro!

INFORMER LE MARCHÉ

Pour mieux comprendre, il faut savoir que l'achat de titres et d'actions à la Bourse fonctionne un peu comme on emprunte de l'argent à la banque, explique Ahmed Marhfor. Cette dernière prête à faible taux d'intérêt aux personnes qui ont une bonne cote de crédit, mais à haut taux aux mauvais payeurs. De la même manière, les investisseurs sont prêts à allonger plus ou moins d'argent selon le caractère risqué ou non de l'entreprise sur laquelle ils misent. Par contre, « sur les marchés, on arrive plus difficilement à faire la différence entre les bonnes et les mauvaises entreprises », soit celles qui auront un bon rendement dans le futur et celles qui perdront de l'argent, ajoute-t-il. C'est ce qu'on appelle l'asymétrie d'information.

Les analystes financiers ont pour tâche de réduire l'asymétrie d'information. En théorie, un investisseur bien informé par l'analyste devrait choisir d'acheter les actions d'un projet qui crée de la valeur (par exemple, une nouvelle technologie de communication) et ne pas se préoccuper des mauvais projets qui ne donneront aucun rendement (par exemple, un nouveau type de lecteur VHS).

« Mais à cause de l'asymétrie d'information, de mauvais joueurs peuvent se glisser dans le marché et se faire financer par des gens mal informés », indique le professeur. Les bons projets, quant à eux, ne sont pas financés à leur juste valeur et sont incapables de trouver des fonds.

Dans le cas de la crise de 2008, les analystes financiers n'ont pas réussi à diminuer l'asymétrie d'information et à renseigner correctement les investisseurs des risques associés à leur choix. L'analyse exhaustive d'Ahmed Marhfor et ses collègues ne laisse rien présager de bon. « S'il n'y a pas de changement dans les manières de faire, tout laisse croire qu'une crise pourrait se reproduire », avertit le professeur.

Pourquoi le système fonctionne-t-il si mal? En fait, les analystes tirent leurs informations privilégiées de leur réseau. Que leurs prédictions soient justes ou erronées, ils sont payés à la commission, c'est-à-dire un pourcentage à chaque achat et vente de titres. « Ils sont à la fois juges et parties », commente Ahmed Marhfor.

« Le modèle suppose que tout le monde est rationnel et de bonne foi, souligne-t-il. Mais dans la vraie vie, ça ne marche pas. » Même s'ils savent qu'un projet n'aura pas de bon rendement, ils peuvent décider de ne pas en tenir compte et plaider l'inaptitude si on leur fait des reproches.

Que faire, alors? « Les crises financières se répètent; les scandales aussi. Il faut changer la gouvernance », dit Ahmed Marhfor. Malheureusement, les améliorations seront peut-être longues à venir. Au Québec, M. Marhfor croit que l'Autorité des marchés financiers manque de ressources pour réellement encadrer le travail des analystes. Quant aux États-Unis, si Barack Obama avait réussi à imposer une loi protégeant les investisseurs de propositions trop risquées, l'administration Trump veut maintenant faire marche arrière pour laisser un maximum de liberté aux marchés. ■

Par Anabel Cossette Civitella

La *blockchain* sauvera-t-elle l'économie?

La technologie de stockage et de transmission d'informations blockchain *serait en voie de révolutionner l'économie. Réalité ou utopie ?*

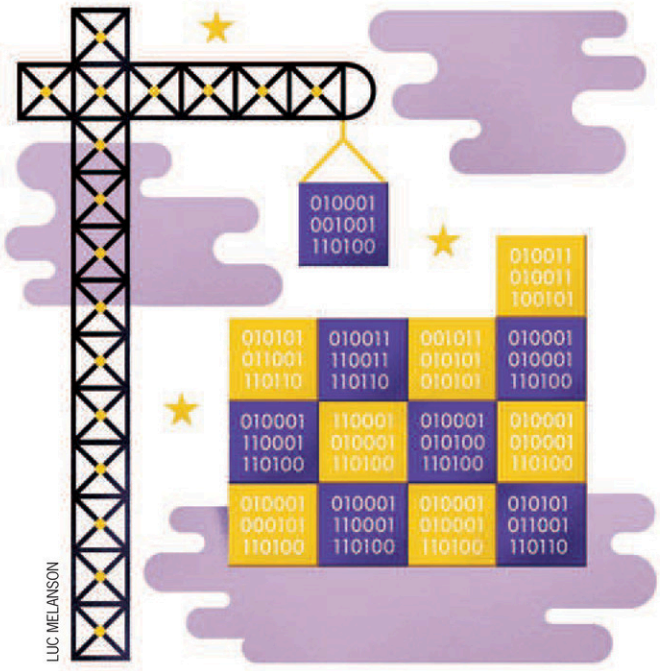
«La *blockchain*, c'est le meilleur outil au monde pour retracer les transactions», se plaît à répéter **Richard-Marc Lacasse**, directeur du programme de maîtrise en administration des affaires (MBA) pour cadres à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR). Il est, sans contredit, un adepte de ce système, une sorte de grand livre comptable virtuel qui – selon certaines projections – ferait économiser 20 milliards de dollars US par année aux banques, dès 2022. Comment? En supprimant les coûts des intermédiaires dans les transactions financières et en abolissant les autorités centrales.

Des entreprises faisant partie de l'économie de partage (comme Airbnb) y trouveraient aussi leur compte et pourraient augmenter leurs recettes de plusieurs milliards de dollars US. On prédit même que 10 % du produit mondial brut sera stocké sur ce type d'outil vers 2027. En bref, la *blockchain* laisse présager des transactions plus efficaces, rapides, transparentes et sécuritaires. Mais comment un seul système permet-il tout ça?

UNE CHAÎNE DE BLOCS

La chaîne de blocs (ou *blockchain*) est, comme son nom l'indique, une banque de données virtuelles ouverte constituée de «blocs» liés entre eux. Chaque bloc regroupe plusieurs transactions et fait référence au bloc précédent. Impossible, donc, de revenir en arrière et de modifier les transactions passées. Autre caution de ce «réseau de confiance»: l'information morcelée est copiée et stockée dans différents serveurs plutôt que dans un seul, ce qui rend l'ensemble transparent et très efficace.

Richard-Marc Lacasse décrit plus spécifiquement ce protocole, initialement conçu pour la monnaie électronique *bitcoin*, comme un grand livre comptable décentralisé, numérisé et hyper protégé, utile aux organisations désireuses de faire le suivi de toutes leurs transactions d'affaires. «Une fois entrée dans la chaîne de blocs sur le *cloud* [le nuage informatique], l'information est indélébile, comme un tatouage», dit celui qui est aussi directeur du FinTech Lab au campus de l'UQAR à Lévis. Voilà pourquoi le système est considéré impossible à falsifier.



LUC MELANSON

Dans un monde idéal, imagine Richard-Marc Lacasse, les États se doteraient du système *blockchain*. Les flux d'argent de toutes les organisations gouvernementales se trouveraient sur une chaîne de blocs publique pour en assurer la traçabilité et la transparence. Le système pourrait aussi s'étendre aux dossiers médicaux, aux aliments ou au marché des minerais; bref, à tous les secteurs qui comportent nombre d'intermédiaires. Par exemple, «l'industrie de la charité au Canada a besoin d'un bon ménage», dit-il, ajoutant que ce secteur est plombé chaque année par des fraudes totalisant un milliard de dollars. «En rendant disponibles toutes les transactions, fini le marché noir», croit le chercheur. À la Bourse, la *blockchain* aurait aussi la capacité de diminuer l'asymétrie d'informations entre les investisseurs, les firmes et les banques, une manière de rendre les investissements moins risqués et donc d'assurer une certaine stabilité des marchés (voir l'article «L'ignorance des analystes», à la page VII).

Pour l'instant, la *blockchain* séduit davantage les entreprises privées que les gouvernements. Outre Dubaï (où tous les documents officiels et les transactions du gouvernement seront sur une chaîne de blocs dès 2020) et de petits pays comme l'Estonie, le Honduras ou la Grèce, qui semblent intéressés à crypter certaines données publiques sur le *cloud*, les États prêts à se convertir restent rares. Et pour cause, le système demande une réorganisation complète des manières de faire; un projet coûteux et peu profitable si les pays partenaires d'affaires ne s'y mettent pas, eux aussi.

Ainsi, l'avenir de la *blockchain* n'est pas assuré. Les réticences sont nombreuses, même au sein de l'entreprise privée, entre autres parce qu'elle menace de nombreuses professions (notaires, auditeurs, fiduciaires, etc.) et suppose une divulgation de données confidentielles. À moins d'une volonté politique forte pour instaurer le système, Richard-Marc Lacasse craint donc qu'on se passe d'une technologie qui promet, pour lui, autant que l'avènement d'Internet. ■

Par Anabel Cossette Civitella

En février 2016, une grève générale contre la réforme des retraites paralyse la Grèce, enfoncée dans une crise économique et sociale depuis maintenant plusieurs années.

Pour éviter un autre *désastre grec*

En abaissant leurs taux directeurs, les banques centrales ont limité les dommages de la dernière crise financière. Mais risquent-elles d'en provoquer une autre en continuant d'agir ainsi ?

« Une structure flexible maximise les chances d'un bâtiment de rester debout lorsque la terre tremble. » C'est l'image qu'utilise **David Tessier**, professeur au département des sciences administratives de l'Université du Québec en Outaouais (UQO), pour parler de la politique monétaire des États. En variant les taux d'intérêt et les taux de change, les banques centrales permettent à leur pays de mieux absorber les secousses d'une crise économique. Et de rester debout !

La preuve ? Pensons à la Grèce qui incarne actuellement l'antithèse d'un système flexible, selon le professeur. Ce pays, enfoncé dans une crise économique et sociale depuis quelques années, ne possède plus de contrôle sur les taux d'intérêt et les taux de change depuis qu'il a adopté la politique monétaire de la Banque centrale européenne (BCE). « Il n'a plus aucune marge de manœuvre et il est sujet à tous les chocs », analyse David Tessier.

Lors de la crise financière de 2007 et 2008, la Banque du Canada et la Réserve fédérale américaine (Fed) se sont servies de cette flexibilité pour limiter les dégâts. Elles ont abaissé rapidement leurs taux directeurs. Ces derniers correspondent aux taux d'intérêt en vigueur lorsque les institutions financières du pays se prêtent des fonds pour la durée d'une journée. Les taux directeurs influencent ensuite l'ensemble des autres taux d'intérêt. « La banque centrale baisse les taux pour inciter les gens à consommer et à investir davantage », explique M. Tessier.

Ainsi, aux États-Unis, les taux directeurs sont passés

de 5,25 % au cours de l'été 2007 à une fourchette entre 0 % et 0,25 % à la fin de l'année 2008. Au Canada, ils ont chuté de 4,25 % à 0,25 % entre janvier 2008 et avril 2009.

David Tessier, qui a travaillé à la Banque du Canada de 1996 à 2008, juge que cette décision était la plus judicieuse. La BCE a réagi plus tard; elle a abaissé ses taux directeurs à partir de décembre 2008. « Elle aurait dû le faire avant. C'était trop peu, trop tard. Les coûts d'emprunt, pour les consommateurs et les firmes, étaient plus élevés que nécessaire et l'économie européenne a donc tourné au ralenti. »

DES TAUX AU PLANCHER

Mais la Fed et la Banque du Canada se sont retrouvées devant l'inconnu : jamais leurs taux directeurs n'étaient descendus à de tels niveaux. « Le problème, c'est que les taux d'intérêt étaient déjà très bas avant la crise », rappelle M. Tessier. Certains pays, comme la Suisse et le Japon, sont allés jusqu'à adopter des taux d'intérêt négatifs ! « C'est un indice que les gens sont nerveux, estime-t-il. Ils sont prêts à perdre un peu pour être certains de ne pas perdre beaucoup. »

Aux États-Unis, une baisse des taux directeurs jusqu'à zéro a été insuffisante. La Fed a acheté des obligations et des actifs financiers à plus longue échéance aux institutions financières privées. Cette mesure permet de créer de l'argent. En d'autres mots, elle fait fonctionner la planche à billets ! En mettant plus de monnaie en circulation, la Fed espérait refaire décoller l'économie pour de bon.

Cela dit, on peut conduire un cheval à l'abreuvoir, mais non le forcer à boire, rappelle David Tessier. « Ce n'est pas parce que les banques sont pleines de liquidités qu'elles vont nécessairement vouloir prêter. Et ce n'est pas parce que les taux d'intérêt sont bas que les ménages vont nécessairement vouloir emprunter. Dans le cas américain, les taux d'intérêt peuvent être bas, mais certains ont profité de ces liquidités, non pas pour consommer davantage, mais pour payer des dettes. Ce n'est pas ça qui stimule l'économie. » M. Tessier juge tout de même que l'opération a relativement bien fonctionné dans ce cas-ci.

Le Banque du Canada n'a pas été forcée d'avoir recours à une telle mesure, tout comme elle n'a pas eu besoin de remplir son mandat de prêteur de dernier ressort auprès d'institutions financières ou d'infrastructures de marchés financiers aux prises avec une pénurie de liquidités.

Elle est arrivée à maintenir l'inflation entre 1 % et 3 %, une cible instaurée en 1991 et renouvelée par le gouvernement en octobre 2016 pour les cinq prochaines années. Par ailleurs, cette cible explicite semble avoir prouvé son efficacité en rassurant tous les acteurs de l'économie.

En comparaison, la Fed n'avait pas de cible d'inflation avant la crise et elle s'est dotée en 2012 d'un objectif implicite d'environ 2 %.

VERS UNE NOUVELLE CRISE ?

En raison de la faible croissance, la Banque du Canada a néanmoins maintenu des taux directeurs bas, ces dernières années. Après une remontée à 1 % en 2010, ils ont été redescendus à 0,5 % en 2015 à cause de la dépression du marché pétrolier.

Le hic ? Cela favorise l'endettement des ménages canadiens, dont le ratio par rapport au revenu disponible frisait les 170 % en 2016.

La situation inquiète de nombreux observateurs, et avec raison : la crise de 2007-2008 aux États-Unis tire en partie ses origines d'une situation semblable. Après le choc du 11 septembre 2001, les taux d'intérêt ont été maintenus bas et les ménages se sont endettés. Combinée à la multiplication de produits financiers complexes adossés à des prêts hypothécaires risqués, la hausse des taux d'intérêt, à partir de 2005, a entraîné des défauts de paiement culminant dans l'effondrement des marchés.

La Banque du Canada se retrouve devant un dilemme : hausser ses taux directeurs pourrait ralentir une économie qui n'a pas encore repris tout son souffle, tandis que persister à des niveaux bas risque de générer une bulle immobilière. Selon David Tessier, la solution est davantage entre les mains du gouvernement fédéral. Celui-ci a d'ailleurs resserré les conditions d'octroi d'un prêt hypothécaire en octobre dernier.

En raison de la faible croissance, la Banque du Canada a maintenu des taux directeurs bas, ces dernières années. Le hic ? Cela favorise l'endettement des ménages canadiens.

La Banque du Canada ne demeure pas les bras croisés : en décembre 2015, elle a lancé un avertissement en publiant un rapport sur l'endettement des ménages et ses conséquences potentielles.

Une sortie en droite ligne avec un nouveau rôle qu'elle joue depuis 2002 : documenter et analyser les vulnérabilités de la stabilité financière et ses risques sur l'ensemble de l'économie pour orienter les décideurs. « Le problème était relativement nouveau et il n'y avait pas tant de matériel théorique ou académique, se rappelle David Tessier. Elle a développé tranquillement une expertise. On partait de presque rien. » Elle publie aussi deux fois par an une analyse de la résilience du système financier canadien. Comme quoi, il y a plusieurs façons d'assurer la stabilité de la maison ! ■

Par Etienne Plamondon Emond

La physique pour prédire *un krach*

Peu d'économistes avaient anticipé la dernière crise financière et leur crédibilité en a pris un coup. Et si leurs modèles mathématiques de prévisions ne tenaient plus la route ? Voilà pourquoi certains se tournent vers la physique.

Didier Sornette prétend avoir prédit l'éclatement des bulles financières chinoises en 2007 et 2009. L'homme, pourtant, est physicien de formation. Il est professeur à l'École polytechnique fédérale de Zurich où il étudie l'économophysique, une discipline qui aurait le potentiel inouï d'anticiper les crises économiques.

LUC MELANSON

Il n'est pas le seul à y croire. À Montréal, **Franck Jovanovic**, travaille aussi à rapprocher l'économie de la physique. Dans son bureau de la Télé-université du réseau de l'Université du Québec (TÉLUQ), ce professeur d'économie et de finances nous explique ce qui fait défaut aux modèles mathématiques de prévision utilisés traditionnellement par les économistes. Dans le milieu financier, la modélisation des prix et des risques est généralement basée sur une distribution de probabilité qui suit une courbe en forme de cloche. C'est ce qu'on appelle la loi de Gauss.

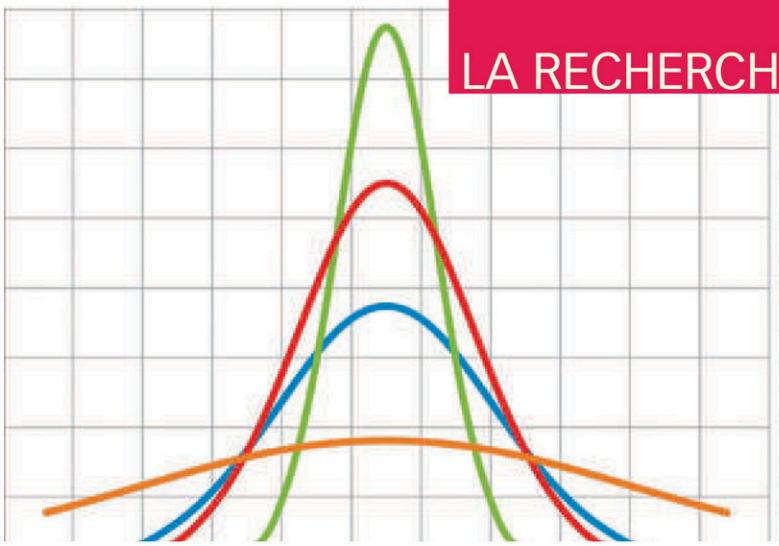
« Le problème avec le cadre gaussien, c'est qu'il admet uniquement de petites variations, signale-t-il. On ne peut pas avoir les grands écarts, parce que l'essentiel de la distribution est tourné autour de la moyenne. Dans 95 % des cas, les prévisions de prix, en Bourse, seront concentrées autour du dernier prix. On n'aura que de petits écarts à la tendance. »

Impossible donc d'y voir – et prévoir – des variations extrêmes, comme lors des crises économiques.

Avec les années, les économistes financiers y ont associé d'autres éléments, contraintes et calculs pour se rapprocher de la réalité. Néanmoins, ils peinent toujours à prédire correctement les points de rupture.

C'est pourquoi des chercheurs ont plutôt commencé à recourir à la physique statistique, plus précisément la modélisation des « phénomènes critiques », ces phénomènes de transition observés dans les systèmes thermodynamiques. Lorsque de l'eau chauffée à haute température passe d'un état liquide à un état gazeux, elle traverse une période durant laquelle elle se révèle simultanément liquide et gazeuse. Si des économistes financiers étudiaient cette transformation, ils observeraient sans doute que l'eau devient gaz, sans transition ni perturbation. Mais le modèle de physique statistique va plus loin et permet d'en extraire des variations extrêmes ou des écarts infinis.

Il est désormais appliqué à différentes sciences sociales, dont l'économie, à travers l'économophysique.

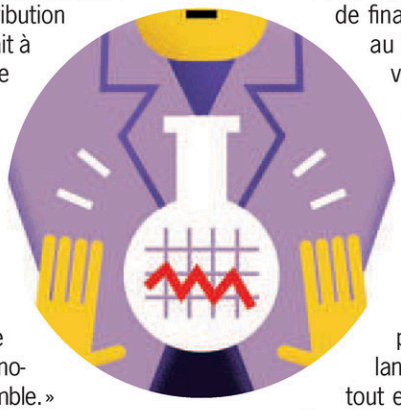


Les milieux de l'économie et de la physique, «deux des disciplines scientifiques les plus refermées sur elles-mêmes», auraient tout intérêt à dialoguer.

«Les problèmes des krachs sont intrinsèques au modèle, observe M. Jovanovic. Le fait de voir ce passage, du moins théoriquement, nous permet d'identifier des signaux qui nous y préparent et de gérer ses risques.»

RÉTABLIR LES DONNÉES ABERRANTES

Dans le cadre gaussien, les économistes avaient pris l'habitude d'enlever des données jugées aberrantes afin de coller à la distribution normale. Cette pratique se justifiait à une époque où l'entrée et la lecture de chiffres pouvaient être soumises à des erreurs. Mais avec l'informatisation accélérée de la collecte de données à partir des années 1990, le doute sur la validité d'informations en apparence incohérentes s'est dissipé.



Les physiciens observent plutôt la situation pour construire ensuite leurs modèles. «Ils partent du phénomène et le prennent dans son ensemble.»

C'est justement à partir de données souvent considérées aberrantes que l'économophysicien Didier Sornette aurait prédit un krach boursier et l'éclatement d'une bulle financière de moindre ampleur, survenus en Chine respectivement en 2007 et 2009. Dans chaque cas, des variations extrêmes à l'intérieur d'un cycle plutôt constant de croissance lui laissaient présager un point de rupture imminent.

«Je n'en suis pas rendu à dire qu'on serait capable d'éviter des krachs boursiers mais, dans tous les cas, on peut anticiper des changements de régime», dit M. Jovanovic. Ces retournements de tendances peuvent aussi prendre la forme d'un emballement ou d'un plateau selon le contexte, précise-t-il.

PARLER LE MÊME LANGAGE

Selon Franck Jovanovic, les milieux de l'économie et de la physique, «deux des disciplines scientifiques les plus refermées sur elles-mêmes», auraient tout intérêt à dialoguer. Pour l'instant, chaque camp rejette la conception de la science de l'autre.

Avec Christophe Schinckus, professeur de finances à l'université de Leicester, au Royaume-Uni, Frank Jovanovic vient de publier le livre *Econophysics and Financial Economics : An Emerging Dialogue* aux éditions Oxford University Press. «On a essayé de comprendre pourquoi ils n'arrivent pas à se parler, ce qui bloque et comment on peut arriver à surmonter ces barrières.» L'ouvrage s'est donné pour mission de traduire dans un langage accessible l'économophysique, tout en expliquant les fondements des deux disciplines.

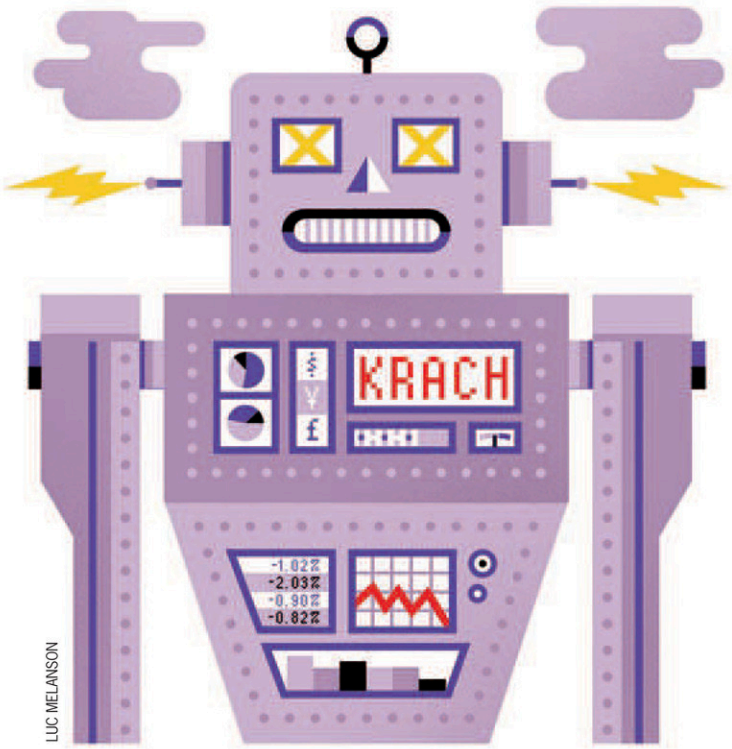
M. Jovanovic soulève l'importance de rattacher l'économophysique à «la petite histoire» de l'économie, afin que la personne travaillant dans les marchés financiers ou comme conseiller puisse s'en saisir. «Ses modèles sont encore complexes», admet-il.

Il constate en revanche que l'émergence de cette discipline s'apparente à celle de l'utilisation du cadre gaussien qui a tout d'abord servi à un noyau de fervents à l'extérieur des départements universitaires d'économie, avant qu'il ne devienne la norme à partir des années 1970. ■

Par Etienne Plamondon Emond

Les robots prennent les marchés de vitesse

Les transactions automatisées bousculent les ordres en Bourse, au point de créer des krachs financiers en un éclair.



LUC MELANSON

Le Dow Jones dégringole de plus de 9 % en à peine 20 minutes. Ce 6 mai 2010, entre 14 h 26 et 14 h 48, Wall Street panique devant cette chute aussi soudaine que vertigineuse. En cause, des milliers d'ordres de vente lancés frénétiquement par des algorithmes. Quelques dizaines de minutes plus tard, presque plus rien n'y paraissait.

L'événement est devenu le premier à être surnommé un « krach éclair », ou *flash crash* en anglais, une chute aussi rapide que son rétablissement. Il a mis en lumière une toute nouvelle réalité : une masse importante de transactions sont désormais réalisées par des robots, dont les temps de réaction sont fulgurants, comparativement au plus expérimenté des courtiers.

Les systèmes automatisés sont utilisés par des firmes de transactions à haute fréquence qui opéraient jusqu'alors dans l'ombre. Elles développent des technologies de plus en plus puissantes, installent leurs serveurs tout juste à côté des plateformes de négociation et peaufinent toujours leurs algorithmes pour gagner des microsecondes afin de prendre de court le marché. Leurs robots achètent et vendent en un clin d'œil des titres volatils, avec, à la clé, des profits qui s'accumulent selon le rythme des transactions.

Les systèmes automatisés sont particulièrement actifs à l'ouverture des marchés. Dès la fixation des prix, ils profitent, grâce à leur vitesse de réception et d'exécution, des mouvements qui suivent. « Avant, c'étaient les humains qui réalisaient ces transactions, mais maintenant ils n'en ont plus la possibilité. Les robots sont passés avant eux », observe **Alain April**, professeur en génie logiciel à l'École de technologie supérieure (ÉTS), qui a été initié aux transactions à haute fréquence par le biais du projet de recherche d'un étudiant qui analysait en temps réel des informations diffusées dans les médias pour améliorer les stratégies boursières des robots.

Déjà, les systèmes automatisés envahissent les marchés. Plus des deux tiers des transactions aux États-Unis seraient désormais réalisées par leur entremise, selon les différentes estimations. On n'a pas encore de portrait de ces activités au Canada.

LA COURSE EST LANCÉE

Lorsque des transactions à haute fréquence déstabilisent les marchés, comme ce fut le cas le 6 mai 2010, la correction est toujours rapide si la débâcle n'est pas liée à un événement de l'économie réelle.

Il reste que ces fluctuations temporaires peuvent entraîner de lourdes pertes financières, voire des

faillites, prévient un rapport sur les enjeux éthiques des transactions à haute fréquence, publié en octobre 2016 par la Commission de l'éthique en science et en technologie du Québec.

« On crée une volatilité extrême, observe **Maher Kooli**, professeur au département de finance de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Si un robot prend une position courte face à un titre [soit de vendeur pour parier sur la baisse de sa valeur] et qu'il n'y a pas d'autres investisseurs pour prendre une position inverse, on risque d'avoir un autre *flash crash*. »

Les robots sont néanmoins programmés pour tenir de tels paris uniquement sur des titres qui font déjà l'objet d'un grand volume de transactions et qui ne risquent donc pas d'être trop déstabilisés.

Maher Kooli craint aussi que ces développements entraînent la disparition des investisseurs individuels, soit les personnes qui font l'acquisition de valeurs mobilières pour leur propre compte, sans confier leur argent à des investisseurs institutionnels ou des firmes d'investissement. « Si j'entre dans un marché où il n'y a que des transactions à haute fréquence, dès le départ, je suis perdant. Je vais donc me retirer et chercher des véhicules d'investissement à beaucoup plus long terme. »

SURVEILLANCE À GRANDE VITESSE

Chose certaine, les fraudeurs profitent d'un champ libre dans l'univers des transactions à haute fréquence : les organismes de surveillance accusent un retard important pour identifier, documenter et sortir du marché les acteurs animés de mauvaises intentions. « On est encore dans une jungle et il faut donc s'attendre à tout », illustre Maher Kooli qui, avec Alain April, collabore à un projet de recherche visant entre autres à exploiter un serveur en colocation, à New York, afin d'étudier le comportement des transactions se déroulant à folle vitesse. Leur démarche permettrait de remarquer des failles. « Quand je regarde les données boursières brutes et que je refais un scénario en simulation, je trouve des défauts dans les données officielles », constate M. April. Il évoque des transactions affichées de manière incomplète, dont il est difficile de savoir si elles sont le résultat d'un défaut d'enregistrement ou d'une action volontaire. « Cela intéresse les régulateurs », précise-t-il.

Il évoque les démarches de la FINRA, l'association nationale d'agents de change aux États-Unis. « Les organisations de réglementation dans ce pays investissent davantage dans la technologie, pour suivre avec plus de précision l'ensemble des transactions, leur provenance et leurs résultats », dit-il.

Parmi les pratiques qui soulèvent la controverse, il y a la détection de gros ordres, nommés en anglais *front running*. Lorsqu'un investisseur envoie un ordre d'achat simultanément sur toutes les plateformes de négociation, les robots détectent cette information sur la première qui la reçoit. Ils achètent aussitôt les actions restantes sur les autres plateformes et les revendent à l'investisseur à un coût plus élevé. Plusieurs y voient un délit d'initié commis de manière détournée.

En réponse à cette tactique, la plateforme de négociation IEX a vu le jour en 2013. À l'aide d'un délai de 350 microsecondes, elle ralentit les ordres pour permettre une juste concurrence dans l'accès à l'information. Le New York Stock Exchange a lui-même ouvert une Bourse, en janvier dernier, avec un sursis similaire. Alain April anticipe néanmoins que, avec l'évolution technologique, toutes les plateformes de négociations finiront par combler leurs écarts et par fonctionner à la même vitesse.

Les deux professeurs s'entendent pour dire que les transactions à haute fréquence sont là pour rester, voire prendre de l'importance. Et selon eux, les gestionnaires de portefeuilles, les investisseurs institutionnels, les fonds de placement et les caisses de retraite devraient aussi s'y attarder. « On devrait s'y intéresser, comme on le fait pour chaque source qui génère du rendement, dit Maher Kooli. On a peur de la technologie, mais on se fait du tort si on n'"embarque" pas. » ■

Par Etienne Plamondon Emond

> **Si j'entre dans un marché où il n'y a que des transactions à haute fréquence, dès le départ, je suis perdant. Je vais donc me retirer et chercher des véhicules d'investissement à beaucoup plus long terme. – Maher Kooli**

Qui a peur des baby-boomers ?

L'arrivée massive à la retraite des baby-boomers inquiète les États déjà endettés. Quelles en seront les répercussions sur l'économie ?

Nés entre 1945 et 1960, les baby-boomers sont devenus des « papy-boomers », en droit de prendre une retraite bien méritée. Mais ces départs massifs de la vie active font craindre le pire : retrait des fonds de pension, perturbation des marchés et, à long terme, manque d'argent pour répondre aux besoins de la population vieillissante.

Pour y faire face, le Canada projette de dépenser 108 milliards de dollars dans son programme de Sécurité de la vieillesse, le régime de retraite le plus important du gouvernement, en 2030. Une augmentation de 70 milliards de dollars par rapport à 2010, dont 41 % sont attribuables à la retraite des baby-boomers.

Si le Canada devait sortir indemne de cette dépense supplémentaire, prédit **Vincent Morin**, directeur du département des sciences économiques et administratives de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), ce n'est pas le cas de tous les pays. En Europe, notamment, les régimes de retraite sont une véritable bombe à retardement pour l'économie.

« Les experts craignent que les déficits liés à plusieurs régimes publics, surtout ceux qui ne sont pas capitalisés [NDLR, payés à même les impôts des travailleurs], entraînent de nombreux pays dans une spirale d'endettement qui les mènerait à une situation de défaut de paiement », dit le professeur de finances.

Si de nombreux États peinent à rembourser leurs dettes, leurs taux d'emprunt pourraient grimper en flèche, menant à une crise de confiance. Et qui dit crise de confiance dit crise financière : « Si les prêteurs n'ont plus confiance dans le fait que les pays vont les rembourser, alors le mouvement de panique est lancé. On n'a qu'à penser à la Grèce, illustre Vincent Morin. Personne ne veut prêter à des gens en difficulté ! »

Qui plus est, dans quelques années, quand les REER et les fonds de pension des baby-boomers seront décaissés, il y aura de moins en moins d'argent à investir, explique-t-il.

« Quand les régimes de retraite ont commencé dans les années 1960-1970, on a donné des rentes généreuses à des gens qui n'avaient jamais cotisé. Ce système était basé sur le fait qu'il y avait de nombreux travailleurs et peu de retraités. Aujourd'hui, on se retrouve dans la situation inverse », dit Vincent Morin.

Cette pyramide démographique renversée a été anticipée dès les années 1980. Les États ont donc ajusté à la hausse les cotisations des travailleurs. Ce qui était imprévisible, en revanche, c'était la baisse historique des taux d'intérêt qui empêche désormais l'épargne de fructifier, relève Vincent Morin : « Il aurait fallu être alarmiste en 1990 pour prévoir les taux de 4 % qu'on observe aujourd'hui. »

SORTIES D'IMPASSE

Pour contrer la pénurie de travailleurs, de nombreux pays se tournent vers l'immigration, alors que d'autres pensent augmenter les taxes. Il faut plutôt forcer les gens à se prendre en main en mettant de l'argent de côté, croit Vincent Morin. « Je conseille à mes étudiants de ne pas compter sur le gouvernement. »

Il suggère également la mise en place de mesures incitant les aînés à rester sur le marché du travail. Après tout, ils sont plus en forme que la génération précédente. « Aujourd'hui, certaines personnes âgées de 70 ans font des marathons ! » souligne-t-il. En échange de quelques années de service supplémentaires, on leur offrirait une retraite plus généreuse.

« Ce qui est sûr, c'est que le discours devra changer. Le travail et l'expérience devront être encouragés », affirme Vincent Morin.

À l'opposé, il serait possible de pénaliser les retraites hâtives. « Mais ça, ce n'est pas facile à faire, sur le plan politique », admet-il. Car les baby-boomers restent encore des électeurs influents. ■

Par Anabel Cossette Civitella

Endettés en période de crise

Au cours des 25 dernières années, la dette totale des ménages par rapport au revenu disponible a presque doublé. Qu'adviendrait-il si une période d'instabilité financière survenait ?

LUC MELANSON

Le bas de laine des Canadiens est en péril. A la fin de l'année 2015, les ménages y déboursaient près de 170% de leur revenu afin de rembourser leurs dettes. Par comparaison, en 1990, la proportion était plutôt de 90%! L'une des causes de cet endettement record: les prêts hypothécaires et les taux d'intérêt historiquement bas, qui ont stimulé la consommation dans les dernières années. Qu'arriverait-il à tous ces ménages vulnérables s'il survenait une nouvelle crise financière?

Une instabilité économique augmenterait les taux d'intérêt, entraînerait une récession et, possiblement, de nombreuses pertes d'emplois, répond **Nicolas Boivin**, professeur titulaire au département des sciences comptables de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR).

«Ce ne sont pas les PDG qui perdent leur emploi en premier. Ce sont plutôt ceux situés au bas de l'échelle, les gens les plus endettés», estime le professeur. Ces surendettés courent plus de risques d'être au chômage, dans le pire des cas, de faire faillite et, enfin, de recourir à l'aide sociale. «On ne laissera personne sans filet, rappelle Nicolas Boivin, mais il faut comprendre que toutes ces mesures sont payées par les deniers publics.»

Une fois pris à la gorge, ces surendettés ne contribuent plus à la croissance économique du pays. «Au contraire, ils deviennent dépendants. Collectivement, on assume donc les coûts de cette dégringolade», dit Nicolas Boivin.

Outre la société, c'est aussi l'individu et son couple qui peuvent souffrir du surendettement! Après avoir sondé des milliers de ménages quant à leurs habitudes financières, **Hélène Belleau**, professeure en sociologie à l'INRS, s'est rendue à l'évidence que tout ce qui touche l'argent, hormis les dépenses quotidiennes, n'est pas un sujet facile. «La logique amoureuse fait en sorte qu'on se montre désintéressé, qu'on essaie de faire passer les intérêts du couple avant ses intérêts personnels; ce sont donc des questions très délicates à aborder», résume-t-elle. Pourtant, la chercheuse n'hésite pas à parler de «dettes transmises sexuellement»: des dettes accumulées par le ménage, qui peuvent peser lourd lors d'une séparation, du décès du conjoint ou au moment de la retraite.

POUR EN FINIR AVEC LES DETTES

Comment intégrer les rangs du (petit) tiers des ménages exempts de dettes? En misant sur la «littératie financière», insiste Nicolas Boivin. «Les jeunes sont lâchés dans une jungle de consommation, alors qu'ils ne connaissent rien à la finance.» Pour sortir de la spirale de l'endettement, Nicolas Boivin propose tout simplement de faire un budget, soit un tableau des entrées et sorties d'argent, tous les mois, et d'en tenir compte afin de respecter l'objectif fixé. Il propose aussi une deuxième méthode: additionner tous les prêts à rembourser au cours du mois et vérifier qu'ils n'augmentent pas.

Simple, dites-vous? En tout cas, c'est une technique éprouvée puisque, sur la moitié des Canadiens qui font un budget, plus de 90% le respectent! «Peu importe la méthode, elle sert de gouvernail», insiste le professeur.

Quant à ceux qui n'auront pas pris leurs dettes en main, la faillite les guette. Un bien vilain mot qui, quoiqu'on en pense, reste «une bonne dernière solution», affirme Nicolas Boivin. «Ça permet de brasser le sablier et de reconstruire sa vie financière», estime-t-il. ■

Par Anabel Cossette Civitella

L'actualité scientifique à la portée de tous !

Aussi offert en édition numérique. Gratuit pour les abonnés papier de *Québec Science*

ABONNEZ-VOUS À *QUÉBEC SCIENCE* !

quebecscience.qc.ca/abonnez-vous

1 an	2 ans	3 ans
36 $*	58 $*	81 $*
30 % de réduction sur le prix en kiosque	**44 % de réduction** sur le prix en kiosque	**48 % de réduction** sur le prix en kiosque

* Prix avant taxes

Fatigués d'être épuisés

Le syndrome de la fatigue chronique, une maladie imaginaire ? C'est ce qu'on a trop longtemps affirmé au sujet cet état réellement débilitant. Aujourd'hui, de nouvelles études et des patients combatifs commencent à changer la donne.

Par Renaud Manuguerra-Gagné

« Vous allez savoir ce que c'est d'être un homme de 80 ans ! » Lâchée par son médecin pendant une consultation, cette toute petite phrase a changé la vie de Benoît-Marc Boyer. À 37 ans, le prêtre et avocat travaillait sans relâche. C'était dans une autre vie : « Je me suis couché un soir et le lendemain je me suis réveillé vidé. Ça m'a frappé "comme une tonne de briques". Je devais m'appuyer aux murs pour me déplacer. » Les prises de sang et les tests ne donnent pourtant aucun résultat. Bien qu'il ait recouvré, depuis, un certain degré d'autonomie, il combat un état d'épuisement perpétuel qui l'accompagne encore, 14 ans plus tard.

Pour Claudine Prud'homme, la maladie a débuté de façon plus graduelle. « Ça s'est déclenché avec un mal de gorge, à l'automne 2007, raconte la vétérinaire, mère de deux enfants. On venait de vivre une période très stressante. J'ai continué mon travail à temps partiel, mais mes dernières consultations étaient impossibles à faire. J'écrivais tout, car je ne me rappelais de rien. Même monter l'escalier était une épreuve. » Elle a dû quitter son emploi et n'y est toujours pas retournée, neuf ans plus tard.

ILLUSTRATION : SÉBASTIEN THIBAULT

Leur mal ? Le « syndrome de la fatigue chronique », aussi appelé « encéphalomyélite myalgique », un trouble que la science peine à comprendre. « C'est probablement l'une des dernières énigmes non résolues de la médecine », indique d'emblée Alain Moreau, chercheur spécialiste des maladies musculo-squelettiques au CHU Sainte-Justine, qui mène des travaux sur les causes de l'encéphalomyélite myalgique. À tel point qu'une partie de la communauté médicale et scientifique met en doute l'existence même du syndrome.

DES VIES VOLÉES

Pourtant, les symptômes sont bien réels. Selon Statistique Canada, environ 400 000 Canadiens seraient concernés (la prévalence estimée est d'environ de 0,5 % à 2 %), en majorité des adultes entre 30 et 50 ans, et surtout des femmes. Tous se plaignent d'un état d'épuisement physique que ni le repos ni le sommeil ne permettent d'éliminer. Être debout, marcher ou aller à l'épicerie sont toutes des tâches qui peuvent demander des jours de récupération. La concentration et la mémoire sont elles aussi affectées. Parler ou être en groupe épuise rapidement les malades. Lire, écrire ou regarder une série télévisée devient une épreuve. « Un jour, une patiente m'a écrit un courriel de une page. Ce message lui a demandé une semaine de travail », confie Alain Moreau.

La maladie évolue en deux phases. Au début, les symptômes sont foudroyants et les malades sont cloués au lit. Avec le temps, certains patients retrouvent des forces, mais ne retournent jamais à leur niveau d'énergie d'antan. Les symptômes peuvent s'atténuer par moments, mais ils réapparaissent toujours. « Les jours où ça va mal sont comme les trois premiers mois, explique Benoît-Marc Boyer. Alors, tout est difficile. Les activités de la journée se limitent à se laver et essayer de manger, mais même la fourchette semble peser des tonnes. Ça me prend trois jours pour revenir à la normale ». Il y a pire : selon l'Association québécoise de l'encéphalomyélite myalgique (AQEM), environ 20 % des personnes atteintes ne sont même pas en mesure de quitter leur maison et passent le plus clair de leur temps au lit. À l'épuisement s'ajoutent des troubles du sommeil, des douleurs musculaires et des symptômes pseudo-grippaux. Selon certaines études, seulement 5 % des individus finissent par guérir définitivement, sans que l'on comprenne non plus pourquoi.

Environ 20 % des personnes atteintes ne sont même pas en mesure de quitter leur maison et passent le plus clair de leur temps au lit.

UN VIDE MÉDICAL

Pour ces victimes, la médecine offre encore bien peu de salut. Aucun traitement n'a fait ses preuves jusqu'à maintenant et le diagnostic lui-même pose problème : il y a une vingtaine de définitions différentes de la maladie ! Trop souvent, les médecins évoquent une origine psychosomatique. « Au début, on m'a parlé de dépression, se remémore Claudine Prud'homme. Alors, j'ai consulté un psychologue, je me questionnais et je me créais des problèmes à force de chercher une cause de dépression. » Il faut dire qu'il n'existe aucun examen biologique pour confirmer le diagnostic. Celui-ci repose sur plusieurs critères, dont le principal est la présence d'un épuisement extrême, après un effort, persistant plus de six mois. C'est seulement quand tout le reste a été écarté que les médecins concluent à l'encéphalomyélite myalgique.

Pourquoi un tel flou ? Parce que les causes de la maladie restent nébuleuses, malgré le fait que l'on connaisse ce mal depuis plus de 30 ans. Origine virale, génétique, neurologique, musculaire, immunitaire : toutes les hypothèses ont été émises, mais aucune ne fait encore consensus. Bien pis, cette confusion a freiné les efforts de recherche. Aux États-Unis, le budget total alloué par les National Institutes of Health (NIH) pour étudier l'encéphalomyélite myalgique n'était que de 7,5 millions de dollars US, en 2016, et passera à 15 millions de dollars US, en 2017. À titre comparatif, le budget pour la sclérose en plaques, qui toucherait presque deux fois moins d'Américains selon les dernières statistiques, est de 98 millions de dollars US. Pendant ce

temps, au Canada, une demande de financement regroupant des spécialistes de partout au pays a été refusée en 2016 par les Instituts de recherche en santé, sous prétexte qu'il ne s'agirait pas d'une véritable maladie. « Cela a suscité beaucoup de frustration, autant auprès des associations de patients que dans le milieu de la recherche, explique Annie Tourville de l'AQEM. Depuis, nous avons eu la chance de discuter avec des représentants des Instituts et ces derniers nous ont assuré qu'ils soutiendraient la recherche visant à comprendre les fondements biologiques de cette maladie. »

LES PATIENTS AU FRONT

Ce manque de données, assorti d'un biais orienté vers une origine psychosomatique de la maladie, a mené à des publications qui ont nui aux patients pendant de longues années. Celle qui a fait couler le plus d'encre est l'étude PACE, parue en 2011 dans le prestigieux journal médical *The Lancet*. Elle concluait qu'une combinaison d'exercice physique graduel et de thérapie cognitive pouvait améliorer les conditions de vie des malades, dont l'état serait perpétué par la crainte d'une rechute. Rapidement, des patients s'élèvent contre ces résultats, clamant que l'exercice graduel aggrave dramatiquement leurs symptômes. Les critiques à l'endroit de l'étude s'accumulent : sélection des sujets basée sur une définition incomplète de la maladie; protocole écartant les patients les plus malades; utilisation de données subjectives. En outre, les participants savaient quel traitement ils recevaient, ouvrant grand la porte à un effet placebo. Pis encore, les chercheurs auraient changé certains critères d'évaluation en cours d'étude.

Un tribunal britannique a finalement ordonné la publication des données brutes en septembre 2016. Depuis, des analyses préliminaires ont démontré que la combinaison d'exercice physique et de thérapie cognitive n'entraîne aucune amélioration significative de l'état des patients. « La quantité d'erreurs dans l'élaboration de cette étude et l'interprétation zélée des résultats laissent croire à un travail d'amateur », affirme Bruce Levin, professeur de biostatistiques à l'université Columbia, qui a révisé les données. Malgré tout, plusieurs membres de la communauté médicale continuent d'appliquer les recommandations de l'étude PACE qui sont non seulement inappropriées, mais auraient même des effets délétères. « Si une étude reconnue dit que l'exercice graduel fonctionne, les médecins vont le prescrire et les compagnies d'assurance vont l'exiger, remarque Annie Tourville. C'est très néfaste pour les patients (voir l'encadré ci-contre). »

LA QUÊTE D'UN BIOMARQUEUR

Heureusement, ces dernières années, de réels progrès ont été faits dans les laboratoires du monde entier, notamment quant à la quête de biomarqueurs fiables, une sorte de « signature » que l'on pourrait détecter chez toutes les personnes atteintes. Et qui permettrait, du même coup, de mieux comprendre les mécanismes de la maladie.

Des résultats publiés en décembre 2016 par une équipe norvégienne suggèrent ainsi que l'absence d'énergie chez les patients serait liée à une dysfonction des mitochondries. Ces « centrales énergétiques », présentes au cœur des cellules, utilisent le glucose comme carburant pour fournir de l'ATP, une forme d'énergie essentielle à toute activité cellulaire. Or, chez les personnes atteintes du syndrome, les mitochondries peineraient à convertir le glucose : elles utiliseraient donc des « carburants » de rechange, comme les graisses ou les acides aminés. En comparant le sang de 200 malades à celui de 100 sujets contrôle, les chercheurs ont en effet remarqué que le taux de certains acides aminés – ceux qui peuvent être utilisés par les mitochondries – était anormalement bas dans le sang des malades, principalement chez les femmes. Lorsque les mitochondries carburent aux acides aminés, elles relâchent de l'acide lactique, ce qui causerait des douleurs musculaires. Et elles sont bien moins efficaces (d'où le manque d'énergie).

Si l'hypothèse se confirme, il restera à comprendre ce qui déclenche un tel dysfonctionnement énergétique. Pour les auteurs de l'étude, il pourrait s'agir d'un trouble auto-immun qui survient lorsque le système de défense se retourne contre l'organisme. En 2015, l'équipe a en effet confirmé que le rituximab, un médicament s'attaquant aux lymphocytes B, des cellules immunitaires, pourrait réduire ou éliminer certains symptômes de la maladie. Une étude clinique est en cours et les résultats devraient être publiés d'ici quelques mois.

Autre indice, des études récentes ont démontré que certaines molécules impliquées dans l'inflammation (telles que

Des malades laissés à eux-mêmes

Inaptes au travail, les malades doivent recevoir l'aide de leurs assurances, une démarche loin d'être simple. Selon Annie Tourville de l'AQEM, plusieurs de leurs membres doivent se rendre devant les tribunaux. « Leur assureur ne reconnaît pas leur invalidité. » C'est le cas de Claudine Prud'homme. « J'ai livré une bataille juridique pendant trois ans, raconte-t-elle. Au début, mon assureur ne voulait rien rembourser. » Pour certains, cette lutte perpétuelle est insoutenable. « Il y a six fois plus de suicides chez les personnes atteintes que dans la population en général, explique Alain Moreau. Certains n'en voient tout simplement pas le bout. »

l'interféron gamma) n'étaient pas exprimées de façon normale chez les malades. De telles anomalies ont justement déjà été liées à certaines maladies auto-immunes, et seraient aussi impliquées dans des problèmes neurologiques aussi divers que l'alzheimer ou la dépression.

La piste d'un virus ou d'une bactérie est aussi envisagée, puisque de nombreux patients développent les symptômes à la suite d'un épisode infectieux. « Affectée par le même virus, une personne pourrait vivre une convalescence normale, tandis qu'une autre pourrait prendre deux à trois mois à s'en remettre et souffrir de fatigue chronique par la suite », explique Alain Moreau. À ce jour, aucun agent infectieux n'a toutefois été directement impliqué dans le déclenchement de la maladie.

Le rôle des bactéries a toutefois suscité un regain d'intérêt, dernièrement. Cette fois, du côté du microbiote, car des troubles intestinaux ont été observés chez plusieurs malades. Le lien entre ces bactéries « amies » et le fonctionnement du système nerveux central emballe les chercheurs. Deux études publiées en 2013 ont démontré un recul des symptômes chez 40 % à 50 % des patients soumis à un transfert de matière fécale afin de changer leur microbiote.

Cela étant, aucune de ces hypothèses ne s'applique à l'ensemble des malades. L'encéphalomyélite myalgique pourrait donc être une maladie multifactorielle qui réunit plusieurs affections distinctes menant à des symptômes semblables chez les patients, un phénomène qui a déjà été observé pour d'autres maladies comme le glaucome ou les troubles du spectre de l'autisme.

Ces découvertes pourraient toutefois être le début d'un renouveau dans l'histoire d'une maladie souvent étiquetée comme étant imaginaire. Mais la route sera longue avant que les malades puissent bénéficier de traitements efficaces. Benoît-Marc Boyer s'y est résigné : « J'ai plutôt tendance à croire que je vais rester comme ça jusqu'à la fin de mes jours, soupire-t-il. C'est sûr, je rêve de recommencer mon travail ou simplement d'être avec les gens, mais je pense à ceux qui l'ont plus dur que moi, qui sont prisonniers de leur maison, cloués à leur lit. C'est eux qu'il ne faut pas oublier. »

La piste épigénétique

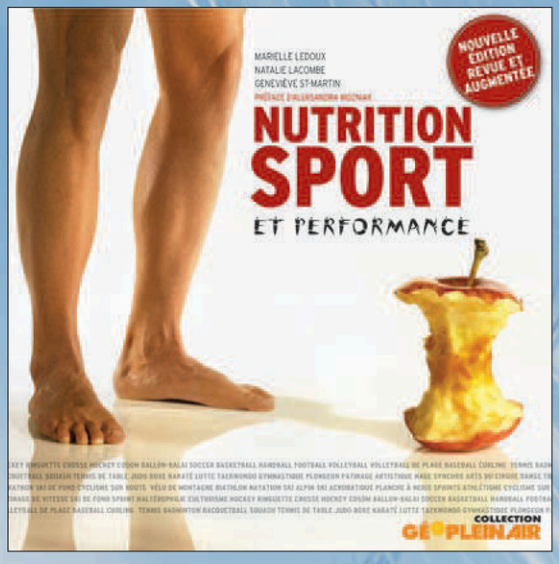
La grande variabilité d'éléments capables de déclencher l'encéphalomyélite myalgique a amené certains scientifiques à s'intéresser à de petites molécules, les microARN. Celles-ci peuvent faire le pont entre un événement, comme une infection ou un effort physique, et l'expression de nos gènes. Elles ont déjà été impliquées dans plusieurs affections, y compris des maladies auto-immunes et neurologiques. Ces dernières années, quantité de publications scientifiques ont d'ailleurs démontré un lien entre des microARN et l'encéphalomyélite myalgique. Ces molécules intéressent aussi Alain Moreau. « Les microARN permettraient à la fois de détecter la maladie de façon fiable et d'émettre un pronostic, explique-t-il. Ils pourraient même être des cibles thérapeutiques, car il a déjà été montré que certaines substances réduisent ou augmentent les microARN, dans le corps. »

LE DEVOIR MOBILE,
MAINTENANT DANS VOS PANTALONS.

Téléchargez l'application *Le Devoir* Mobile dès maintenant !

Télécharger dans l'App Store
DISPONIBLE SUR Google Play

PROCUREZ-VOUS
NOTRE GUIDE INCONTOURNABLE



NUTRITION, SPORT ET PERFORMANCE
2e édition

Tout ce qu'il faut savoir pour bien se nourrir quand on est actif. Notre *best seller*, vendu à plus de 33 000 exemplaires.

34,95 $*

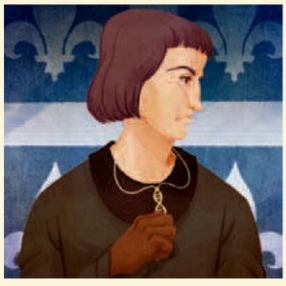
*Taxe en sus.

Vélo Québec ÉDITIONS

Contactez-nous : 514 521-8356 ou 1 800 567-8356, poste 504.
velo.qc.ca

Podcast
Québec Science

Écoutez notre passionnante enquête sur l'effet fondateur et découvrez comment le patrimoine génétique de nos ancêtres a façonné notre destin.



Comment nous écouter? Rendez-vous au www.quebecscience.qc.ca/podcast

TOTALISANT 2 M², LA PEAU EST LE PLUS GRAND ORGANE DU CORPS HUMAIN. ARMURE MAL AIMÉE, ELLE EST PARFOIS LOURDE À PORTER. DES CHERCHEURS VIENNENT TOUTEFOIS À NOTRE RESCOUSSE.

Par Mélissa Guillemette

LA PEAU QUE J'HABITE

Elle protège notre organisme des infections et des blessures, régule notre température corporelle et synthétise la vitamine D; la peau nous rend de grands services. Pourtant, qui aime la sienne ? Trop pâle ou trop foncée; sèche ou grasse; boutonneuse, fripée, tachetée, plaquée, marquée… Notre cuirasse est souvent une « peau de chagrin ».

L'industrie cosmétique exploite d'ailleurs cette insatisfaction. En 2015, le marché mondial des soins pour la peau valait plus de 127 milliards de dollars US, selon une évaluation de la firme Transparency Market Research. Faramineux !

Et parfois douteux… Ces produits n'ont pas nécessairement tous fait leurs preuves sur le plan scientifique. La « thérapie Dracula », ou traitement par plasma riche en plaquettes, par exemple, est offerte dans des cliniques dermatologiques privées, depuis Los Angeles jusqu'à Montréal. Elle propose de prélever une petite quantité de sang pour produire par centrifugation un plasma à haute concentration en plaquettes. On le réinjecte ensuite là où ça « plisse ». La mixture rafraîchirait l'apparence de la peau en stimulant la réparation des cellules et la production de collagène. Réalité ou chimère ? Difficile de trancher car, pour l'heure, les études

Le projet photographique WZORY («modèle», en polonais) présente des personnes atteintes du vitiligo, une maladie qui touche 1 % à 2 % de la population mondiale. La photographe Julia Kaczorowska souffre elle-même de cette affection caractérisée par une perte de la pigmentation de l'épiderme sur certaines régions du corps.

menées sur l'efficacité de la technique contre les rides ne comprennent qu'une poignée de patients.

Pourquoi cette obsession pour la disparition des boutons, cicatrices et autres crevasses ? C'est que, aujourd'hui, l'aspect de la peau n'est rien de moins qu'une indication de notre état de santé et de bonheur. Une étude publiée en 2016 dans *Dermatology and Therapy*, à laquelle a participé le dermatologue et professeur à l'université de Western Ontario Jerry Tan, est éloquente à ce sujet. Plus de 4 600 participants issus de 6 pays ont évalué les photos de personnes ayant – ou pas – des cicatrices d'acné dans le visage. Les photos ont été retouchées de façon à ce qu'un même visage soit évalué par certains avec des lésions et, par d'autres, sans lésions. Les participants ont jugé les modèles aux peaux imparfaites comme étant moins attirants, moins en santé, moins confiants, moins heureux et moins performants.

L'épiderme, la couche superficielle de la peau, a une épaisseur variable sur le corps : de 0,05 mm aux paupières à 1,5 mm à la plante du pied.

L'apparence de la peau est pourtant un signal erroné, remarque Marc Lafrance, professeur au département de sociologie et d'anthropologie de l'Université Concordia, qui étudie cet organe sous toutes ses coutures. « Si je suis blême et pas rasé, mes collègues vont se dire que je vais mal, illustre le sociologue. Il n'en est peut-être rien : j'ai plutôt la tête d'un homme qui vient de travailler comme un fou pendant deux semaines sur un projet qui le rend super heureux ! »

LE PASSEPORT PAR EXCELLENCE

Cela étant dit, la peau peut véritablement être la source d'un malaise psychologique profond, en particulier lorsqu'elle est le siège d'affections visibles. C'est ce que démontre une revue de la littérature publiée dans le *Journal of Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology* en octobre 2016.

Elle révèle que le vitiligo (une perte de la pigmentation de la peau sur certaines zones du corps, maladie dont le chanteur Michael Jackson était atteint et qui l'a poussé à totalement décolorer sa peau) affecte les relations amoureuses de plus de 50 % des patients concernés. Le psoriasis ébranle quant à lui non seulement les malades, mais aussi leurs proches qui affirment dans une proportion de 88 % avoir une qualité de vie diminuée. Le niveau d'anxiété et de dépression des patients et de leurs familles est d'ailleurs similaire. Enfin, 45 % des patients présentant de l'acné souffrent d'une forme de phobie sociale, contre 18 % des sujets contrôles.

Entre peau et psyché, il se trame une histoire que le professeur Marc Lafrance souhaite étudier en profondeur. Il sonde justement l'impact de l'acné chez les adultes, particulièrement les trentenaires et quarantenaires (on accepterait plus facilement les boutons chez les plus jeunes, d'après la littérature scientifique). Pas moins de 22 % des femmes et 3 % des hommes en souffrent au Canada, selon la Société canadienne de l'acné et de la rosacée.

Dans une première phase, Marc Lafrance a analysé les témoignages de personnes à la peau acnéique sur des forums spécialisés en ligne. Il mènera également des entrevues avec des patients d'une clinique de dermatologie ontarienne. « L'acné sévère est un handicap, constate-t-il. Il n'interfère pas avec le fonctionnement physique, mais énormément avec le fonctionnement social, car la peau est notre passeport par excellence. On constate que ces personnes sont victimes de discrimination sur le marché du travail et qu'elles vivent des difficultés amoureuses. Elles développent toutes sortes de stratégies pour se cacher du monde. »

À chacun son camouflage : alors que les femmes se maquillent, les hommes attirent l'attention sur autre chose que leur visage; leurs muscles, par exemple. Malgré leur vigilance, les individus à la peau boutonneuse ont sans cesse

RENAUD PHILIPPE

LA PEAU PEUT ÊTRE LA SOURCE D'UN MALAISE PSYCHOLOGIQUE PROFOND, EN PARTICULIER LORSQU'ELLE EST LE SIÈGE D'AFFECTIONS VISIBLES.

La chercheuse Véronique Moulin du Centre de recherche en organogénèse expérimentale de l'Université Laval (LOEX), à Québec

l'impression de perdre le contrôle de leur apparence. « Ils décrivent leur acné comme une force mystérieuse et monstrueuse sur laquelle ils n'ont pas toujours d'emprise. Ils ont beau bien manger et bien dormir, ils se réveillent le lendemain avec trois nouvelles lésions. C'est comme si leur peau était animée de sa propre vie ! »

SAUVER NOTRE PEAU

La science peut-elle redonner espoir à toutes ces âmes mal dans leur peau ? Certes, mais encore faut-il bien cerner les causes des maladies dermatologiques qui, encore aujourd'hui, donnent du fil à retordre aux chercheurs.

Jerry Tan, de l'université de Western Ontario, a récemment publié, avec des collègues, un article dans la revue scientifique *Dermatology and Therapy* dressant un bilan des connaissances et des inconnues sur l'acné et la rosacée. « Pour l'acné, on sait que les hormones, l'inflammation, la production accrue de sébum par les glandes, le blocage des pores de la peau et la bactérie *Propionibacterium acnes* sont tous des morceaux d'un même casse-tête, résume-t-il. Mais d'autres éléments jouent un rôle : la génétique, les aliments à index glycémique élevé et les produits laitiers. » Comment tout ça se combine et s'influence ? Les scientifiques « donneraient cher de leur peau » pour le savoir.

Quant à la rosacée, docteur Tan explique que des recherches s'intéressent présentement au rôle de l'exposition au soleil et des acariens cutanés appelés *Demodex* qui déclencheraient une réponse inflammatoire chez les personnes affectées.

Poids moyen d'une peau humaine : 4 kg (épiderme et derme)

Le vitiligo demeure aussi une énigme. Une composante génétique serait impliquée, sans que ce soit pour autant la seule cause, indique Lester Davids, professeur au département de

LA FIN DES RIDES ?

D'éminents scientifiques de partout dans le monde s'attellent à nous rendre notre peau de pêche. C'est le cas de chercheurs du Massachusetts Institute of Technology, à Cambridge. Leur compagnie Olivo Labs recherchait l'hiver dernier des femmes de 30 à 69 ans ayant de vilaines poches sous les yeux pour tester son nouveau produit qualifié de « deuxième peau ».

Tout a commencé il y a cinq ans, quand le professeur Richard Rox Anderson a lancé un défi aux membres de son équipe : créer un produit qui donnerait un air de jeunesse instantanément.

Résultat ? Un polymère à base de silicone invisible qui s'étend comme une crème et forme un film élastique lorsqu'on ajoute une deuxième formulation, qui agit en catalyseur. La technologie a été décrite en 2016 dans *Nature Materials*.

« Lorsqu'on pince la peau d'un bébé, elle reprend immédiatement sa forme, car elle est très élastique, explique Betty Yu, auteure principale de l'article scientifique. Avec l'âge, la peau perd cette capacité à se replacer sur-le-champ. Quand on applique nos deux produits, on obtient une espèce de filet ou de maillage, qui se colle à la peau et reproduit son élasticité d'antan. » Cette barrière étanche, qui tient pendant plusieurs heures, aiderait également à l'hydratation de la peau et à la diffusion de médicaments.

Betty Yu a été convaincue de la technologie quand elle l'a testée sur le visage de son père. Il faut dire que les membres de l'équipe du docteur Anderson étaient tous plutôt jeunes et n'avaient pas encore tellement de rides à perdre !

« Ce n'est pas du tout le genre de mon père de s'en faire avec son apparence. Mais quand je lui ai enlevé le produit, il a tout de suite vu la différence; ça l'a frappé d'un coup. Il avait l'air triste de ne plus avoir notre matériau sur son visage ! Évidemment, je l'ai réconforté, en lui disant que ce n'est pas l'apparence qui compte... »

biologie humaine à l'université du Cap, en Afrique du Sud (voir l'entrevue « Du mercure sur la peau », à la page 39). « Le vitiligo serait aussi provoqué par plusieurs facteurs, dont l'alimentation. Cependant, même après des années de recherches sur le sujet, on ne comprend pas pourquoi certains mélanocytes [les cellules de la peau responsables de la production de pigment] sont plus fragiles que d'autres sur un même corps et meurent. »

Du côté du psoriasis, de la sclérodermie (épaississement et durcissement anormal des tissus) et des cicatrices hypertrophiques (bombées et rouges), il subsiste encore beaucoup de questions sans réponse. Pour y voir plus clair, l'équipe du Centre de recherche en organogénèse expérimentale de l'Université Laval (LOEX), à Québec, fabrique des peaux affectées par ces problèmes. « On sait que, très souvent, une mauvaise communication entre les cellules en est la cause, mais pas toujours », explique la chercheuse et professeure à la faculté de médecine Véronique Moulin.

La perte d'élasticité de la peau est d'environ 3 % par décennie.

Le LOEX fabrique aussi de la peau saine, destinée à la greffe, pour les grands brûlés par exemple. D'ailleurs, un essai clinique est présentement en cours pour une version bicouche (épiderme et derme); les commentaires des patients sont encourageants. « À partir de l'équivalent d'un timbre-poste de peau du patient, on reconstruit la grandeur souhaitée en laboratoire avec très peu d'intervention de notre part. In vivo, les cellules sont capables de produire de la peau. Il n'y a donc pas de raison qu'elles ne puissent le faire dans une boîte de Petri. »

Pour accélérer le processus, d'autres chercheurs et entrepreneurs proposent d'utiliser les technologies d'impression 3D. Le concept : empiler les cellules de peau de façon ordonnée grâce à une imprimante qui utilise, en guise d'encre, des cellules du patient et un biomatériau pour soutenir la structure. Cette dernière est ensuite conservée à température contrôlée pour que les cellules se lient afin de former une peau fonctionnelle.

Véronique Moulin appelle néanmoins à la prudence devant les annonces parfois sensationnalistes qui émergent de ce domaine. « C'est une technologie qu'on suit mais, pour l'instant, on ne sait pas ce que ça donne réellement comme résultat. C'est encore embryonnaire. »

Dans tous les cas, la production de peau a ses limites, explique la professeure. Si on arrive à assurer sa fonction de barrière, on ne sait toujours pas comment reproduire les fonctions liées à la sudation, à la production de sébum (pour éviter le dessèchement) et à la sensation. Les patients peuvent donc avoir chaud dans leur nouvelle peau, devoir appliquer des crèmes hydratantes et souffrir de fourmillements agaçants. En outre : « On demeure incapable d'intégrer des

LA QUÊTE DU TEINT PARFAIT

Le dermatologue Todd Ridky se marre bien à l'autre bout du fil. « Il y a quelque chose de fou au sujet de l'humanité : les gens à la peau pâle veulent avoir une peau plus foncée. Et l'autre partie de la planète qui a la peau foncée en veut une plus pâle ! »

La dernière découverte de son laboratoire, à l'université de Pennsylvanie, pourrait combler tous ces insatisfaits. En effet, les chercheurs arrivent désormais à augmenter ou freiner sur demande la production de pigments, ou mélanine, sur des échantillons de peau en laboratoire et sur des modèles animaux.

Comment y sont-ils parvenus ? En étudiant le lien entre les hormones et la couleur de la peau. Les femmes enceintes le savent bien; la grossesse s'accompagne d'une augmentation importante du taux d'hormones et, pour certaines, de l'apparition de taches ou de lignes brunes sur l'épiderme, qui s'estompent après l'accouchement.

Cette pigmentation temporaire, évoquée depuis plus de 2 000 ans en médecine, n'était pourtant toujours pas comprise. « Ça n'avait aucun sens, s'exclame Todd Ridky. Les cellules de la peau responsables de la production de pigment, les mélanocytes, n'ont même pas de récepteurs pour la progestérone et les œstrogènes. »

Les chercheurs ont parcouru la littérature scientifique à la recherche d'un indice. « On a appris que les hormones sexuelles peuvent se lier à d'autres récepteurs chez les poissons et dans le tissu mammaire humain, dont deux qui sont des molécules de la même famille que celle qui régit le bronzage. » L'équipe a donc vérifié si ces récepteurs se trouvaient dans la peau humaine – eh oui !

Ils arrivent à les activer en laboratoire en utilisant des dérivés synthétiques de la progestérone et des œstrogènes.

Serait-ce une solution de rechange « santé » aux lits de bronzage cancérigènes et aux pommades blanchissantes à base de produits toxiques ? On ne le saura pas avant plusieurs années de recherche, car il faut tester l'efficacité et l'innocuité du concept sur le corps humain, ainsi que la formulation idéale, avant que de tels produits arrivent sur les tablettes.

Reste que Todd Ridky a déjà perçu le potentiel commercial de sa découverte et n'a pas tardé à se munir de brevets.

mélanocytes dans les peaux à greffer, précise Véronique Moulin. On arrive à le faire en laboratoire, mais pas dans les traitements. Les patients doivent donc se protéger du soleil constamment. »

PEAU NUMÉRIQUE

En attendant de construire une peau pareille en tous points à celle qui nous habille, on peut se tourner vers l'informatique. La toute nouvelle Chaire de recherche et d'innovation L'Oréal en biologie numérique à Québec travaille à produire une peau virtuelle afin d'en modéliser le fonctionnement et de comprendre les mécanismes de régénération.

Pour construire cette peau toute numérique, les bio-informaticiens utiliseront une gigantesque quantité de données biologiques fournies par la multinationale française, incluant le microbiome (les génomes de tous les micro-organismes qui colonisent la peau), le transcriptome (l'ensemble des molécules qui reflètent l'expression des gènes dans la peau) et le protéome (l'ensemble des protéines présentes dans les cellules cutanées).

« On veut agglomérer tout ça pour en extraire des informations, explique Arnaud Droit, titulaire de la Chaire et chercheur au Centre de recherche du CHU de Québec-Université Laval. Par exemple, on veut avoir une idée des bactéries présentes en différents endroits du corps. Certains médicaments causent une déstabilisation locale de la population bactérienne et on veut analyser le potentiel des crèmes qui favoriseraient la régénération bactérienne et contribueraient au processus de guérison. »

Finalement, la peau a vraiment une vie propre !

DU MERCURE SUR LA PEAU

En Afrique du Sud, et dans plusieurs pays du continent, les produits pour éclaircir la peau se vendent comme des petits pains chauds. Un phénomène inquiétant que le microbiologiste Lester Davids s'emploie à étudier à la fois sous l'angle biologique et anthropologique, en collaboration avec des collègues en sciences sociales. De passage à l'université du Cap, nous l'avons interviewé.

Existe-t-il des crèmes blanchissantes sécuritaires ?
Oui. Elles sont développées par de grandes compagnies de cosmétiques. Il existe aussi des produits plus forts, vendus sous prescription, aux personnes qui ont des problèmes de pigmentation.

On peut imaginer que c'est ce que Michael Jackson a utilisé pour éclaircir sa peau. Atteint du vitiligo, il a sûrement préféré tout décolorer avec un tel médicament plutôt que de tout camoufler. C'est d'ailleurs dommage qu'il ne soit pas devenu un ambassadeur du vitiligo.

Pour que ces produits soient sans danger, il faut suivre la posologie à la lettre, mais c'est loin d'être le cas de tout le monde.

Est-ce que ce sont ces produits que les Sud-Africains utilisent au quotidien ?
Ces crèmes sont trop chères pour les consommateurs africains. Elles sont donc diluées et modifiées par des trafiquants.

Nous avons effectué des tests sur 29 produits différents trouvés dans les marchés pour découvrir que deux composants sont fréquemment ajoutés : l'hydroquinone et le mercure.

Le taux d'hydroquinone y varie de 5 % à 15 %. Or, le pourcentage maximal autorisé dans une crème est de 2 %, quoique plusieurs pays, dont l'Afrique du Sud, l'interdisent en dehors des produits prescrits par un médecin.

Quant au mercure, 75 % des crèmes analysées en contenaient 20 fois plus que le dosage permis. On connaît pourtant bien les dangers du mercure et le fait qu'il demeure dans le sang très longtemps.

Ces crèmes fonctionnent-elles ?
Oui… mais elles abîment la peau de façon irréversible. Ce qui pousse les consommateurs à les utiliser ? Le fait que plusieurs vedettes soient devenues des ambassadrices pour de tels cosmétiques; mais évidemment, pas de la version de contrebande. Néanmoins, au marché local, la publicité affichant Beyoncé sera placée à côté de ces produits modifiés.

MÉLISSA GUILLEMETTE

Le microbiologiste Lester Davids de l'université du Cap, en Afrique du Sud

Avec votre collègue anthropologue Susan Levine, vous avez étudié les raisons qui poussent les consommateurs à se procurer ces crèmes toxiques en Afrique du Sud. Quelles sont-elles ?
Il y a plusieurs raisons, mais les gens veulent pâlir leur peau principalement pour améliorer leur estime de soi, pour trouver un emploi, pour trouver un amoureux, pour être acceptés et pour se faire des amis.

Ce sont surtout les femmes qui les utilisent, mais on remarque que les hommes veulent également éclaircir leur peau pour séduire.

Et qu'ils aient la peau pâle ou foncée, les gens ne veulent jamais inverser complètement leur carnation, mais juste obtenir un ton plus pâle ou plus foncé. Dans tous les cas, c'est insensé !

LA GUERRE CAR

DU BOU

DOMINIC GRENIER/MFFP

DANS LES RÉGIONS FORESTIÈRES DU QUÉBEC, UNE GUERRE MÉDIATIQUE ET POLITIQUE FAIT RAGE. DOIT-ON SACRIFIER DES EMPLOIS POUR SAUVER DES CARIBOUS ?

Par Joël Leblanc

Il n'y a pas plus capricieux qu'un caribou. Coupez des arbres dans son domaine et il s'éloigne, frustré. Construisez des routes en forêt et il hésite à s'en approcher à moins de 4 km ou 5 km. Parcourez les bois régulièrement et il angoisse. Il paraît qu'il a en plus besoin d'un territoire intouché de 800 km² à 1 000 km² pour être heureux. Quel égoïste !

Pas surprenant que ce cervidé n'aime pas les bûcherons. Au Québec, chaque année, plus de 9 200 travailleurs et leur machinerie prélèvent des arbres et réaménagent ainsi la forêt. En zone boréale, principalement dans les régions administratives du Nord-du-Québec, du Saguenay–Lac-Saint-Jean et de la

1. Dominic Grenier, technicien de la faune au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, manipule un caribou forestier avec l'aide d'un pilote d'hélicoptère.
2. Des techniciens fixent les boulons du collier télémétrique GPS posé autour du cou de l'animal.
3. Des caribous forestiers en pleine course lors d'une séance de capture réalisée au Saguenay–Lac-Saint-Jean en 2004, dans le secteur du lac Portneuf.

Côte-Nord, l'industrie avance toujours plus loin au nord, où les populations de caribous forestiers, un écotype du caribou des bois, se retranchent.

Alors que l'animal a déjà occupé quasiment tout le sud québécois, on compte maintenant moins de 8 500 bêtes. « Leur mortalité est trop élevée par rapport aux naissances, faisant en sorte que la population décroît depuis plusieurs décennies », constate Martin-Hugues St-Laurent, chercheur en écologie animale et en conservation à l'Université du Québec à Rimouski (UQAR). Un constat partagé par tous les spécialistes qui, comme lui, se penchent sur la situation. Alertés, les gouvernements canadien et québécois ont placé le caribou forestier sur leur liste d'espèces en danger, respectivement en 2002 et 2005.

En vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, le Québec a donc mis sur pied une équipe afin de proposer un plan pour rétablir les populations. Constituée de représentants de l'industrie forestière, des Premières Nations, d'Hydro-Québec et de chercheurs de différents ministères et universités, l'équipe a accouché d'un premier plan en 2005, adopté en 2008, et qui s'appliquait jusqu'en 2012.

Dans ses recommandations, l'équipe demandait entre autres à l'exploitation forestière de garder intacts de grands massifs forestiers, de l'ordre de 800 km^2. Mais un tel plan n'a pas automatiquement force de loi. Les industriels n'ont suivi les recommandations qu'en partie et les « massifs » épargnés durant cette période n'ont jamais dépassé les 200 km^2. Sans surprise, le caribou forestier a poursuivi son déclin.

« LE CARIBOU EST EN DÉCLIN À CAUSE LA PRÉDATION QUI EST ELLE-MÊME DES PERTURBATIONS EXAGÉRÉES DE PAR L'EXPLOITATION FORESTIÈRE.

BRANLE-BAS SCIENTIFIQUE

Ce premier plan a-t-il été vain ? Pas tout à fait, puisqu'il prescrivait aussi d'approfondir les connaissances sur l'animal et son habitat. « L'espèce a bénéficié d'un effort de recherche spectaculaire », selon Martin-Hugues St-Laurent. Le jeune chercheur fait partie d'un effort de guerre sans précédent, regroupant des spécialistes de nombreuses institutions et de ministères.

Relevés aériens en hélicoptère, capture puis libération de centaines de caribous afin d'évaluer leur état de santé, pose de colliers émetteurs et suivi des déplacements quasiment en temps réel, analyses d'ADN, inventaires, etc. « On n'a jamais si bien connu l'espèce, continue-t-il. On a identifié maintenant les préférences du caribou en matière d'habitat, l'impact de la construction de routes en forêt, les modélisations de l'évolution des perturbations, etc. »

Même son de cloche à l'Université Laval, où travaille Daniel Fortin, spécialiste des relations entre prédateurs et proies. « Nous avons passé des milliers d'heures sur le terrain, avec les protocoles de recherche les plus rigoureux. Nous avons maintenant un portrait bien net : le caribou est en déclin à cause d'une hausse de la prédation qui est elle-même la conséquence des perturbations

1. DOMINIC GRENIER-MFFP/2-3. SERGE GRAVEL-MFFP

3

D'UNE HAUSSE DE LA CONSÉQUENCE L'HABITAT PROVOQUÉES

exagérées de l'habitat provoquées par l'exploitation forestière. »

C'est que les coupes entraînent des bouleversements profonds de la végétation. « L'espèce a besoin de forêts de conifères matures et de lichens, explique Daniel Fortin. Après une coupe, ce sont souvent des feuillus qui envahissent les parterres. Cela favorise les orignaux, qui s'installent en grand nombre. Or, les orignaux sont suivis par leurs prédateurs, les loups qui ne se gênent pas pour tuer un caribou quand ils en rencontrent un. Même chose pour l'ours qui est attiré par les petits fruits qui abondent après une coupe, et qui peut manger un faon par opportunisme. »

Globalement, les chercheurs ont pu établir des seuils de perturbation au-delà desquels les caribous sont en péril. « Dans un habitat perturbé à plus de 35 %, les chances de voir les caribous se maintenir sur le long terme ne sont que de 60 %. La mortalité des faons et des adultes y est trop élevée pour assurer la conservation du caribou, » explique Martin-Hugues St-Laurent.

Ce 35 % est donc considéré comme un seuil à ne pas dépasser pour le caribou. Pourtant, en ce moment, certaines zones exploitées sont perturbées à 95 %.

PRISE 2

Forte de ce savoir neuf, l'équipe de rétablissement, à laquelle Martin-Hugues St-Laurent s'est joint, a pondu en 2013 un nouveau plan. « Cette fois, le document a plus de mordant, explique le chercheur. On y recommande de créer une ou plusieurs grandes zones de protection, de l'ordre de la dizaine de milliers de kilomètres carrés, où l'exploitation forestière sera interdite. » Le plan préconise aussi de respecter la fameuse limite de 35 % de perturbation du territoire dans tout secteur exploité.

NICOLAS BRADETTE

> **LA BALLE EST MAINTENANT DANS LE CAMP DU GOUVERNEMENT QUI HÉSITE MANIFESTEMENT ENTRE TENTER DE SAUVER DES CARIBOUS ET PRÉSERVER UNE INDUSTRIE IMPORTANTE DANS DES RÉGIONS DÉJÀ FRAGILES.**

Selon l'industrie forestière, un tel plan lui serait fatal : baisses des volumes de bois récoltable, pertes d'emplois, fermeture d'usines, etc. Avant même la sortie officielle du plan, des rumeurs et des prédictions affolantes se sont propagées dans des médias régionaux. Et ça continue depuis.

La situation a viré à la guerre médiatique : d'un côté les arguments socioéconomiques des travailleurs forestiers effrayés de perdre leurs emplois; de l'autre, ceux des scientifiques (voir l'encadré « Les arguments de l'industrie forestière sous la loupe » à la page 45).

Le dossier est devenu politique : en 2014, Philippe Couillard, en pleine campagne électorale dans le comté de Roberval, avait promis qu'aucune « job » ne serait perdue à cause du caribou, s'il était élu.

L'année suivante, la situation s'envenime quand l'Institut économique de Montréal (IEDM) publie des notes démontrant les possibles ravages économiques que l'application du plan entraînerait dans les régions touchées. Il s'est même commis avec un « documentaire » qui, sous un vernis faussement scientifique, manipule la perception du public en exposant surtout le désarroi des travailleurs.

Le Conseil de l'industrie forestière du Québec, qui était membre-donateur de l'IEDM au moment de la diffusion du documentaire, a préféré ne pas nous accorder d'entrevue, mais a promis de réagir à ce reportage.

Tout récemment, c'est le maire de La Doré, au Lac-Saint-Jean, qui proposait de faire l'élevage des caribous forestiers dans un immense enclos (et de les relâcher une fois matures) pour éviter de nuire à l'industrie.

Chose certaine, la situation du caribou affecte déjà l'industrie. En 2013, la compagnie Produits forestiers Résolu a perdu la certification du Forest Stewardship Council (FSC) dans deux zones de coupe du Saguenay–Lac-St-Jean. L'une des raisons : des pratiques forestières

peu respectueuses du caribou forestier. L'entreprise a alors perdu de gros clients qui exigent des produits provenant de forêts bien aménagées.

UN PLAN À MOITIÉ SUR LA GLACE

La balle est maintenant dans le camp du gouvernement qui hésite manifestement entre tenter de sauver des caribous et préserver une industrie importante dans des régions déjà fragiles.

Pour le moment, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a scindé le plan en deux phases. Il avait annoncé la mise en œuvre de la première partie en avril 2016, laquelle prévoyait la protection de forêts dites intactes, la création de vastes espaces protégés et l'étude de la *possibilité* de modifier le tracé de la limite nordique des forêts attribuables. Une table de concertation a aussi été mise sur pied.

Au bureau du Forestier en chef, dont l'une des tâches est d'évaluer les stocks annuels de bois pouvant être prélevés en forêt boréale, on a tenu compte des nouvelles contraintes. « Notre plan quinquennal 2018-2023 inclut les recommandations de la Phase 1 dans les calculs de possibilités forestières, explique la porte-parole Lise Guérin. Pour la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean, par exemple, seule une unité d'aménagement subit une baisse de 2 %, soit un peu moins de 20 000 m^3 de bois, principalement par la soustraction de quelques massifs forestiers. »

Et la seconde phase du plan ? Les demandes d'entrevue avec les porte-parole du Ministère n'ayant pas abouti, il est difficile d'en dire plus sur son entrée en vigueur qui prévoit une analyse approfondie des conséquences socioéconomiques avant l'adoption d'une stratégie à long terme. Au bureau du Forestier en chef, on nous précise que le plan quinquennal pourra être rouvert et modifié pour tenir compte d'éventuelles nouvelles consignes, à la demande expresse du ministre.

Toute cette bureaucratie use la patience des biologistes, pour qui la « Phase 1 » est insuffisante. « Retarder ainsi l'application du plan de rétablissement est à l'avantage des compagnies », clame

MUSÉE McCORD

LES ARGUMENTS DE L'INDUSTRIE FORESTIÈRE SOUS LA LOUPE

1 Pour chaque caribou sauvé, on risque de perdre 31 emplois et 3,8 millions de dollars.

C'est l'un des arguments les plus entendus depuis 2012, des chiffres qui ont eu l'effet d'une bombe dans les régions concernées. Lorsqu'on creuse pour en trouver la source officielle, on réalise qu'ils sont extrapolés d'une seule statistique : une réduction annuelle du bois disponible pour la récolte de 3 millions de mètres cubes. Or, en 2012, le Forestier en chef n'avait pas encore terminé ses analyses en la matière.

Alors, d'où vient ce « 3 millions » ? Il s'agit d'une évaluation préliminaire tirée d'un document de travail du gouvernement et datant de 2012. Les fameux chiffres sont donc basés sur une hypothèse qui n'est plus valide.

2 Les inventaires du Ministère démontrent que le nombre de caribous a doublé dans le secteur du Saguenay, malgré une exploitation intense.

C'est une interprétation hâtive des inventaires, dénonce Daniel Fortin, biologiste à l'Université Laval. « Un inventaire réalisé en 1999 et un second en 2012 démontrent effectivement que la population est passée de 115 à 247 bêtes durant cette période. Mais un inventaire n'a de sens que si on le compare à plusieurs autres inventaires. Sans compter que le nombre n'est pas tout, il faut surtout estimer le nombre de faons par femelle pour avoir une idée de la tendance démographique de l'espèce. Et ça, ça n'augure rien de bon, car les faons sont trop rares. »

À l'UQAR, Martin-Hugues St-Laurent renchérit : « C'est comme si on survolait les plaines d'Abraham deux fois en 13 ans et qu'on tentait d'estimer l'évolution de la ville de Québec en comptant les têtes. »

3 Le caribou forestier n'est même pas une espèce, ni même une sous-espèce. C'est juste un écotype.

C'est vrai. Même s'il s'en distingue génétiquement, un écotype est une sous-division d'une sous-espèce. Mais l'argument est boiteux, réplique Martin-Hugues St-Laurent : « Les lois sur les espèces en péril peuvent s'appliquer à toute unité ou population, ce qui peut très bien être un écotype. »

4 Et si le déclin du caribou était dû au réchauffement climatique ou à une autre cause ?

La recherche scientifique des 10 dernières années a tracé un lien clair de cause à effet entre les activités forestières, l'augmentation de la prédation et le déclin du caribou.

> **LES CONSÉQUENCES SOCIOÉCONOMIQUES, ON LES CONNAÎT ET ELLES SONT MINIMES. QU'ATTEND LE MINISTRE? – ALAIN BRANCHAUD**

Martin-Hugues St-Laurent.

La Société pour la Nature et les Parcs section Québec (SNAP-Québec) s'impatiente aussi, surtout qu'il semble tout à fait possible de ménager la chèvre et le chou. « En décembre dernier, nous avons fait pression, avec succès, pour que le Ministère rende publics quatre rapports scientifiques qui démontrent qu'il est possible d'agir en faveur du caribou sans trop nuire aux forestières », raconte Alain Branchaud, directeur général de l'organisme, qui œuvre aussi dans l'équipe de rétablissement.

Dans l'un d'eux, daté d'avril 2015, des cartes précises délimitent entre autres une zone d'environ 10 000 km² qui offre un excellent potentiel de protection dans les montagnes Blanches, au nord-ouest du réservoir Manicouagan. Le secteur « se démarque clairement comme étant celui à prioriser », indique le rapport rédigé par l'équipe de rétablissement. Bien que 45 % de ce territoire soit en forêt exploitable, une proportion importante est située dans une unité d'aménagement abandonnée par la compagnie Kruger depuis 2007. Peu d'emplois menacés dans ce coin, donc.

« Au total, explique Alain Branchaud, l'équipe propose de soustraire aux forestières entre 4 % et 15 % de la forêt exploitable. Mais, de toute façon, chaque année, près de 20 % du volume de bois autorisé n'est pas prélevé par les forestières; il y a donc du jeu. On est loin des annonces sensationnalistes de certains médias. Les conséquences socioéconomiques, on les connaît et elles sont minimes. Qu'attend le ministre ? »

Pour toute réponse, on a eu la déclaration laconique de janvier dernier du ministre Luc Blanchette, lors de la première rencontre de la table de concertation pour la mise en œuvre du plan de rétablissement, qui rassemble tous les acteurs concernés : « Nous prenons les moyens pour protéger le caribou forestier tout en protégeant l'industrie forestière, les 60 000 familles et les régions qui en dépendent. »

Pendant qu'on se perd en discussions, le caribou, lui, poursuit son déclin. Quel impatient !

Ceci est la dernière chronique *Les grandes questions du monde*. Jean-François Cliche vous proposera une nouvelle formule dans le prochain numéro.

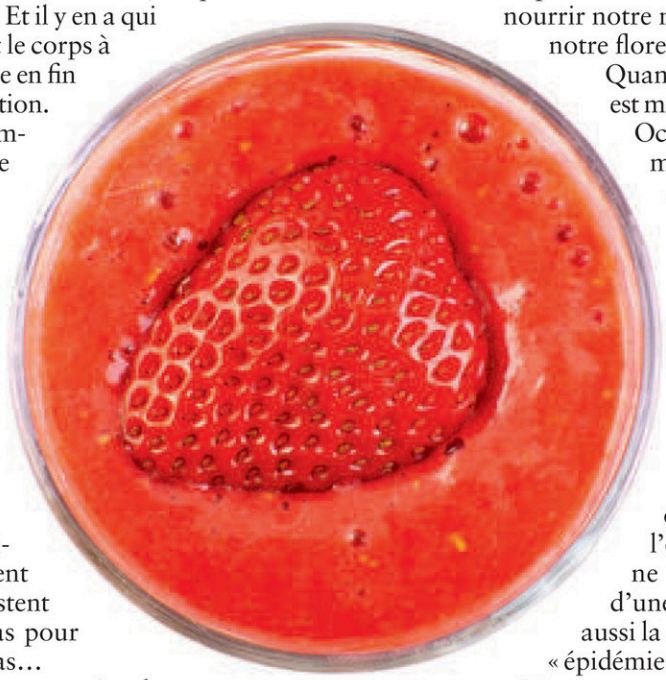
La fibre santé

« Les jus de fruits sont un concentré de sucre dont on a retiré les fibres. Cela fait qu'on consomme plus de sucre, car les fibres contribuent beaucoup à la satiété. Mais qu'en est-il des smoothies et des compotes ? Et si je remplace les fibres par un aliment riche en protéines comme le tofu, est-ce que cela peut compenser ? » demande François Morel.

Ce que l'on appelle « fibres », ce sont essentiellement de longues chaînes de molécules de sucre qui, sous cette forme, ne sont pas absorbables par notre système digestif.

Elles demeurent toutefois utiles. Il en existe des « solubles » qui vont se gorger d'eau, prendre du volume et accroître la viscosité de ce que nous avons dans le ventre, ce qui déclenche la sensation de satiété. Et il y en a qui sont insolubles; celles-là forcent le corps à ajouter de l'eau à la matière fécale en fin de course, ce qui aide à l'élimination.

« Si les fibres sont presque complètement évacuées des jus – une orange en contient 3 g contre 0,25 g pour 125 ml de jus d'orange, soit 12 fois moins –, ce n'est pas le cas des *smoothies* et des compotes, qui conservent toutes leurs fibres », explique Simone Lemieux, professeure de l'École de nutrition de l'Université Laval. Le fait de les broyer n'y change rien. « C'est l'équivalent de les mâcher avec nos dents », dit-elle.



Et ce sont des molécules chimiquement très stables qui résistent bien à la cuisson et donc, subsistent dans les compotes. Ce n'est pas pour rien que nous ne les digérons pas…

Le cas des protéines est une autre paire de manches, cependant. Du strict point de vue de la satiété, manger du tofu peut compenser pour l'absence de fibres, parce que les protéines produisent elles aussi cet effet. « On pense que les protéines pourraient être des messagers pour certaines hormones régulatrices de l'appétit », explique Mme Lemieux. Un peu comme si notre système digestif avait des « détecteurs de protéines » qui, après une certaine quantité, envoient un signal de satiété.

Mais, et il y a un très, très gros « mais » : les protéines ne peuvent absolument pas remplir les autres fonctions des fibres. Ni pour faciliter le transit intestinal ni pour nourrir les milliards de bactéries qui peuplent notre intestin. Car si nous ne pouvons pas briser ces chaînes de sucres, une bonne partie de notre flore intestinale, elle, y parvient très bien. Elle en a carrément besoin.

Les autres nutriments, dont les protéines, sont quant à eux absorbés par l'intestin et contribuent plus ou moins à nourrir notre microbiote. Or on n'affame pas notre flore intestinale sans conséquence !

Quand on mange peu de fibres, ce qui est malheureusement souvent le cas en Occident, la flore intestinale devient moins diversifiée. Certains groupes qui ont besoin de fibres, comme les *bacteroidetes*, perdent du terrain au profit d'autres sortes de bactéries qui peuvent plus facilement s'en passer, comme les *firmicutes*. Ces dernières sont des habitantes très fréquentes de nos intestins et ne sont pas nocives en elles-mêmes. Mais il a été démontré qu'un ratio *bacteroidetes-firmicutes* où ces dernières prédominent est lié à l'obésité. Il est possible que cela ne soit pas seulement le résultat d'une mauvaise alimentation, mais aussi la source d'une partie de l'actuelle « épidémie » de surpoids.

D'autres groupes de bactéries, comme les *faecalibacteria*, sont connues pour avoir des propriétés anti-inflammatoires et elles aussi ont besoin de fibres. Des études ont démontré que les bactéries qui en sont privées ont tendance à se nourrir du mucus qui recouvre et protège l'intestin, ce qui peut faciliter l'infection de la paroi intestinale par des pathogènes. Est-il besoin de préciser qu'une diète pauvre en fibres est associée à des maladies inflammatoires de l'intestin ?

Bref, si les protéines sont un nutriment très important, rien ne remplace les fibres !

Le journaliste anglais Johny Pitts et le jeune Lavallois Thomas Ribeiro

L'avenir est jeune

Protéger les droits territoriaux des Autochtones du Brésil, monter une station de radio dans un bidonville de la Sierra Leone, rendre l'éducation supérieure accessible aux réfugiés. Voilà quelques projets audacieux imaginés par 10 jeunes de moins de 20 ans. Dans *Le manifeste de la jeunesse* (Édito), Johny Pitts, journaliste et animateur de la BBC, retrace leur parcours fait d'espoir, de doutes, d'échecs et de labeur. De passage à Montréal, l'auteur nous a accordé une entrevue.

Propos recueillis par Brïte Pauchet

Vous avez fait le tour du monde pour rencontrer des jeunes inspirants. Pourquoi ?
Je voulais comprendre ce qui a poussé ces 10 adolescents à concrétiser leurs rêves. Où vivent-ils ? Quelles sont leurs conditions matérielles ? Comment sont-ils entourés ? Les causes sont très variées, collées à leur propre réalité. Au Royaume-Uni, par exemple, Fahma Mohamed fait campagne contre les mutilations génitales féminines, vêtue du long voile noir traditionnel de son pays d'origine, la Somalie.

On dit souvent que les adolescents sont apathiques. Qu'en est-il ?
Il n'y a pas d'idée reçue plus fausse que ça. Les jeunes débordent de rêves et d'énergie. Ils sont le monde de demain. Les ados que j'ai rencontrés voient grand et c'est ce qui leur donne une motivation exceptionnelle. Leur objectif est bien ancré dans leur tête. Les propos de Joshua Wong, un jeune activiste hongkongais, l'illustrent bien : « Tant que j'ai les idéaux et la force de la jeunesse, je vais les utiliser du mieux que je peux pour réaliser les changements que j'estime nécessaires. »

Considérez-vous avoir rencontré des génies ?
Absolument pas. La notion de génie comble notre désir de facilité. En réalité, ces jeunes travaillent fort. La Canadienne Maya Burhanpurkar a mené des études poussées, toute seule chez elle, afin de mettre au point un antibiotique inspiré des épices de la cuisine indienne. Le Néerlandais Boyan Slata a lancé Ocean Cleanup, un projet fou consistant à nettoyer les océans des déchets de plastique, qui a été critiqué pour son manque de réalisme. Même si elle devait échouer à grande échelle, son idée a débouché sur un prototype capable de récupérer les plastiques dans les rivières. Et en Sierra Leone, Kelvin Doe a créé, sans aucune ressource, une station de radio pour informer les citoyens d'un bidonville. Le succès de tous ces jeunes découle de leur persévérance et de leur détermination sans faille. Tous ont un sens profond des responsabilités. QS

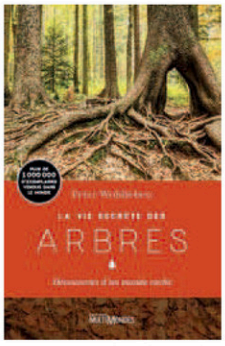
UN ADO QUÉBÉCOIS REMARQUABLE

Parmi les 10 jeunes qui ont retenu l'attention de Johny Pitts se trouve Thomas Ribeiro, un élève de cinquième secondaire à l'école Laval Senior Academy. En 2016, cet apprenti chercheur a remporté un joli succès aux Expo-sciences et aux concours scientifiques internationaux grâce à un projet aussi ingénieux qu'étonnant. Au lieu de considérer le méthane et le dioxyde de carbone comme des déchets, Thomas Ribeiro les transforme en ressources à exploiter. Il utilise des bactéries qui se nourrissent de méthane et de la mousse de sphaigne des milieux humides lavallois pour approvisionner en énergie une centrale électrique. Utiliser les gaz à effet de serre pour lutter contre les changements climatiques, qui l'aurait cru ?

PHOTO : JEAN-FRANÇOIS HAMELIN

À lire aussi

LE CHARME DISCRET DES ARBRES



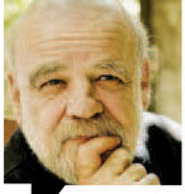
L'histoire de ce livre ressemble à celle du *Charme discret de l'intestin*, un best-seller écrit par une Allemande, étudiante en médecine. Cette fois, c'est la vie des arbres qui nous est contée, par un garde forestier, Peter Wohlleben. Depuis sa sortie en Allemagne en mai 2015, le livre a été vendu à plus de un million d'exemplaires dans le monde ! Avec une certaine candeur, des mots simples et touchants, l'auteur mêle ses observations et les connaissances scientifiques actuelles pour décrire l'incroyable réseau social des arbres qui communiquent, s'entraident, « goûtent », se souviennent, soignent leurs voisins et ont l'instinct maternel… De quoi changer notre regard sur la forêt. M.C.

La vie secrète des arbres – Découvertes d'un monde caché, Peter Wohlleben, Éditions MultiMondes, 2017, 259 p.

LE TEMPS DE BRASSER LA CAGE

Tant au Québec qu'ailleurs au Canada, nous sommes loin d'opérer la transition énergétique dont nous avons besoin, dit Normand Mousseau qui a coprésidé la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec. La faute à la sclérose gouvernementale, aux cibles floues, aux lobbys et aux solutions technologiques tapageuses qui perdent l'objectif de vue. Pour arriver à une société couplant faibles émissions de carbone et bonne qualité de vie, il faut maintenant « brasser la cage, prendre des risques », argue le professeur de physique à l'Université de Montréal. M.G.

Gagner la guerre du climat – Douze mythes à déboulonner, Normand Mousseau, Boréal, 2017, 256 p.



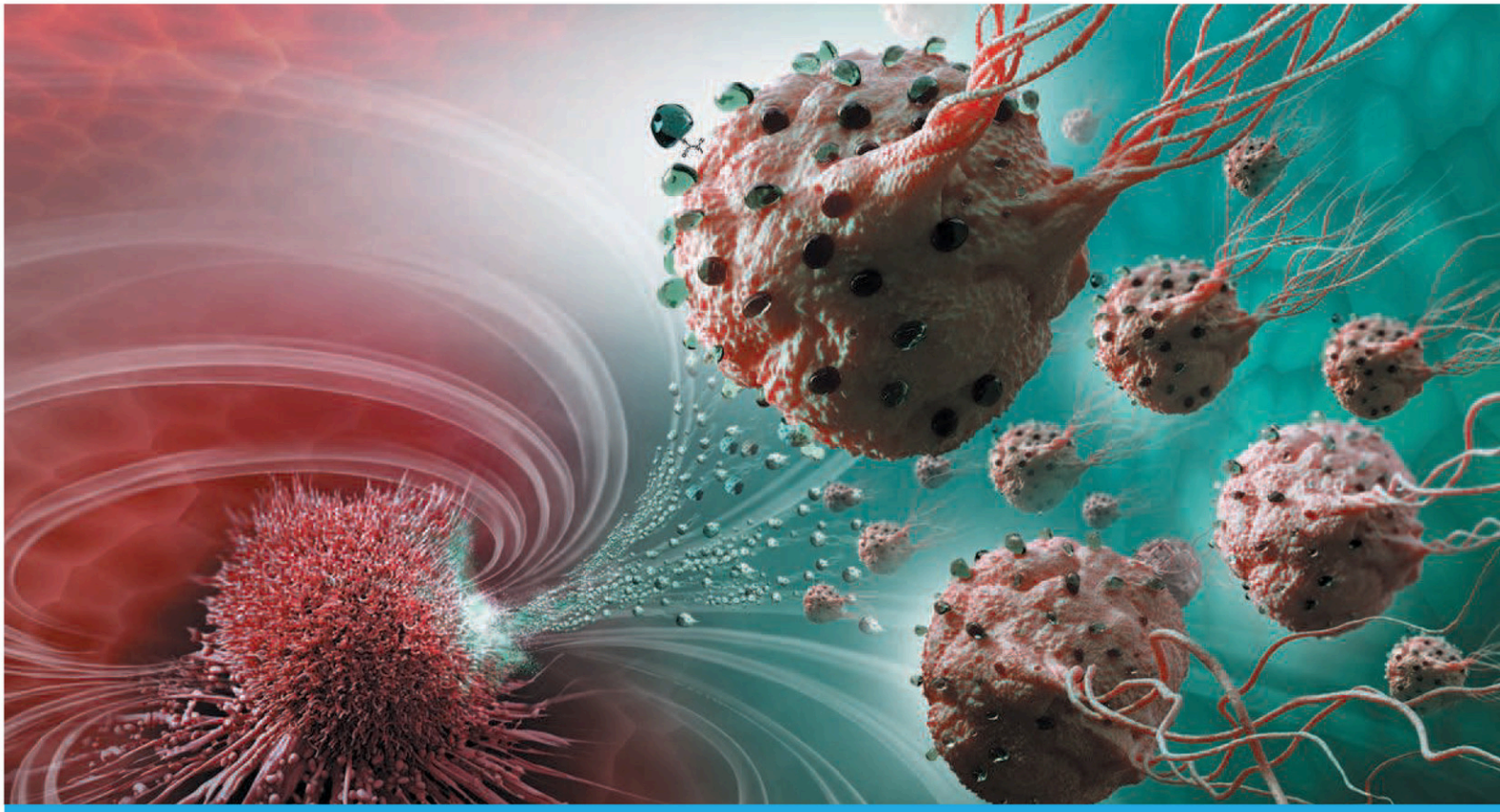
Déclarons mythique la route 389

En 1973, durant les années de sa construction, j'ai bien connu la route de la baie James. C'était au temps des ponts de glace, des trains routiers surdimensionnés; 620 km de chemin coulant, de neige tapée, de poudreuse, de froids extrêmes et d'isolement complet. C'était la découverte de la taïga, sa tranquillité, son éternité, de quoi raconter des histoires à dormir debout. On voyait des petites hardes de caribous des bois en travers de la route, des loups écrasés, de remarquables aurores boréales, des camionneurs en panne qui faisaient brûler leurs énormes pneus de rechange pour se réchauffer, se rassurer, signaler leur présence au cœur de cette grande obscurité. Je me souviens des convois bloqués par le blizzard, des sandwichs au jambon, des cafés et des cafés, des yeux rougis, des grosses fatigues. Il y a quelques années, on m'a demandé d'écrire un court texte en l'honneur de ces camionneurs héroïques qui ont roulé jour et nuit, 100 heures par semaine, sur cette route dangereuse, au temps mythique des origines, charriant de « l'huile à chauffage », des matériaux de construction, de la machinerie, de la nourriture, kilomètre par kilomètre, vers le Nord, vers les grands chantiers. Mon texte apparaît sur une plaque, au kilomètre 488, je crois. Tourisme Baie-James a tout fait pour mettre ce parcours en valeur, mais il n'est pas facile d'attirer les Québécois au-delà du 50e parallèle, si bien que, finalement, malgré tous les efforts, nous n'avons jamais fait grand cas du trajet qui va de Matagami à Chisasibi. Combien de fois ai-je proposé à tel producteur, tel diffuseur de réaliser un documentaire, un film, une série radiophonique pour témoigner de ce tracé historique qui traverse le *Eeyou Itchi* – le pays des Cris –, pour sacraliser cette immensité boréale, authentique joyau de notre patrimoine sauvage ? On le sait, les décideurs préfèrent acheter des productions étrangères qui valorisent les routes d'ailleurs, les héros d'ailleurs, l'extrême d'ailleurs.

De la même manière, c'est bien discrètement que la route 389 est apparue sur notre territoire, vous savez, cette route du Plan Nord, grand serpent de sable qui s'est lentement asphalté. Pendant longtemps, sur l'interminable 138 qui passe à Baie-Comeau, de petits panneaux verts à peine visibles annonçaient ce nouveau chemin nordique. Sous les mots Fermont, Labrador, une flèche minuscule. On aurait dit une jonction de route secondaire régionale. Très secondaire, sans cérémonie et sans manière. Cela eût-il coûté si cher d'aménager une véritable halte routière et d'y planter un écriteau qui aurait reflété l'envergure de l'affaire : « Vous êtes sur la route 389, la belle trans-labradorienne qui vous mène de Baie-Comeau à Goose Bay, grandiose équipée au cœur du subarctique québécois. Vous allez traverser le pays des Innus le long de la rivière Manicouagan, puis des monts Groulx : 567 km de méditation au fil des anciens portages, des anciennes chasses. Bienvenue sur la voie sacrée des grands nomades. »

Combien de personnes ai-je rencontrées qui, connaissant ma passion de la route et des camions, m'ont parlé de la « route de l'extrême » dans les Territoires du Nord-Ouest, impressionnées par cette route longue de 400 km qui remonte vers les mines de diamant au nord-est du Grand lac des Esclaves, un tracé parallèle à l'ancienne route de glace qui allait de Yellowknife à Port Radium, et jusqu'au lac Satuh ? À cause de la télévision, les gros camions qui roulent en hiver sur les routes isolées du Yukon, de l'Alaska et du Nunavut excitent notre imagination, tandis que nos propres convois qui relèvent des défis sur les routes de notre Nord nous laissent de glace.

J'aimerais être fonctionnaire au ministère des Transports, dans le bureau de la Beauté des routes, au service des Chemins légendaires, parmi l'équipe des archives ou des communications, travaillant à la mise en valeur de l'interminable 138, de l'historique 132, de la mystérieuse 117. Je m'imagine en réunion avec des ingénieurs, des économistes, des entrepreneurs et des politiciens, tentant de donner vie à chaque kilomètre de la route 389, pour que ce *landmark*, comme on dit si justement en anglais, soit magnifié, respecté, entretenu. Que la 389 devienne une route-à-penser, un cloître dans les épinettes, une prière pour les routiers.



LES NANOROBOTS ANTICANCER DU Pr SYLVAIN MARTEL REÇOIVENT LE PRIX DU PUBLIC QUÉBEC SCIENCE *DÉCOUVERTE DE L'ANNÉE 2016* !

NANOROBOTS À L'ASSAUT DES TUMEURS

Comment faire pour amener un médicament jusqu'aux cellules tumorales, et à elles uniquement, pour ne pas endommager les cellules saines ?

Pour répondre à ce défi, le Pr Sylvain Martel et son équipe développent une stratégie originale qui consiste à faire transporter le médicament par des robots miniatures circulant dans les voies sanguines. Tels des vaisseaux de guerre miniatures, ces nanorobots pilotés par champs magnétiques se rendent jusqu'à la tumeur où ils vont larguer leur chargement.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE

TOUTES NOS FÉLICITATIONS AU Pr MARTEL !

POLYMTL.CA/CANCER

VIVE
LA VIE
AU
PLANÉTARIUM
RIO TINTO ALCAN
LES JEUDIS SOIRS À 8$
© NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona
VIAU
espacepourlavie.ca
vive 375
espace pour la vie montréal