



SPÉCIAL TEMPS DES FÊTES

VOTRE FOIE, CE HÉROS

Les conseils du
Pharmacien

Le jour où l'homme
a commencé à boire

DE LA
NOUVELLE
GLACE
POUR NOS
ARÉNAS



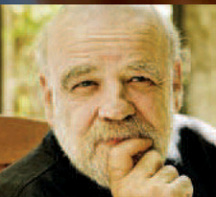
Décembre 2015 QUEBECSCIENCE.QC.CA

QUÉBEC SCIENCE

DAVID Suzuki

INTERVIEWÉ PAR LUCIE PAGÉ

«Ceux qui font fi
de la science
devraient être
jugés pour crimes
intergénérationnels.»



SERGE
BOUCHARD

Au pays
de la petite
enfance



NORMAND
BAILLARGEON

Un nouvel
ennemi:
le déni

PP 4006387

7 78313 03815 6 12 6,45\$

MESSAGERIE DYNAMIQUE 10682

LE MONDE EST PETIT  NOUS VOYONS GRAND



PLAÇONS LA PRÉVENTION AU CŒUR
D'UNE MEILLEURE SANTÉ



BRANCHONS NOS TECHNOLOGIES
SUR L'AVENIR



CROISONS L'ART AVEC LA TECHNOLOGIE,
LA RECHERCHE CULTURELLE AVEC
LA CONSCIENCE SOCIALE



CARTOGRAPHIONS LES SOURCES
DE LA DÉPENDANCE ET DU DÉSIR

ENSEMBLE, REPENSONS LE MONDE

CONCORDIA.CA



Spécial temps des fêtes

18 La bataille du foie

Robuste, résilient et multitâches, le foie est la pierre angulaire de notre corps. Pourtant, on ne s'y intéresse guère; on le néglige, même. Radiographie d'un organe méconnu.

Par Marie Lambert-Chan

24 Le mythe de la détox

On a fait ripaille pendant les fêtes, on se plaint d'avoir «le foie engorgé» ou «mal au foie». Le pharmacien Olivier Bernard – alias le Pharmacien – nous met en garde contre les fausses idées de détox. **Propos recueillis par Marie Lambert-Chan**

27 Le p'tit coup de l'évolution

Homo sapiens buvait déjà bien avant d'inventer la bière. En témoignent les enzymes de notre foie depuis 10 millions d'années.

Par Joël Leblanc



ARCHÉOLOGIE

31 Toutankhamon cache-t-il Néfertiti?

Disparue il y a 3 000 ans, la mystérieuse Néfertiti, puissante reine d'Égypte, pourrait bien se trouver dans une pièce du tombeau de Toutankhamon. L'idée fait monter la fièvre chez les égyptologues.

Par Martine Letarte



INGÉNIERIE

34 Le palais des glaces

Il y a un génie des glaces à Québec. Il a fait la patinoire du nouvel amphithéâtre.

Par Guillaume Roy



CHANGEMENTS CLIMATIQUES

40 Les leçons du Sud

Ils sont loin d'être les plus grands producteurs de gaz à effet de serre de la planète. Pourtant, les pays du Sud sont gravement touchés par les changements climatiques qui causent des phénomènes météorologiques extrêmes comme des pluies intenses, des inondations et des sécheresses. Voici comment ils tentent d'y faire face.

Par Bouchra Ouatik

ACTUALITÉS

ENTREVUE

6 SAGE ET INDIGNÉ

Pour David Suzuki, ceux et celles qui font fi de la science devraient être jugés pour « crimes intergénérationnels ».

Propos recueillis par Lucie Pagé



10 LE SOLEIL NON COUPABLE!



Les changements climatiques provoqués par le Soleil? Bel exemple de science improbable!

Par Joël Leblanc

16 PLUS DE FEU DANS LA CHEMINÉE?

Chaleureux, rassembleur, romantique... mais polluant! Le poêle à bois, roi des hivers québécois, serait-il condamné? Rassurons-nous, la technologie vient à sa rescousse.

Par Maxime Bilodeau



AU CENTRE L'année-lumière

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

RUBRIQUES

4 BILLET Il est minuit moins un degré Par Raymond Lemieux **5 AU PIED DE LA LETTRE** **47 SUR LA TOILE** Par Hélène Matteau

CHRONIQUES



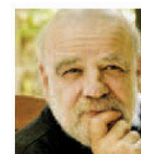
12
Normand Baillargeon
Un nouvel ennemi :
le dénielisme



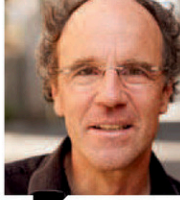
17
Jean-Pierre Rogel
Trop de hot-dogs
sur Terre



49
Jean-François Cliche
N'ajustez pas
votre appareil



50
Serge Bouchard
Au pays de
la petite enfance



Billet

Par Raymond Lemieux

Il est minuit moins un degré



Ce n'est quasiment rien, au thermomètre planétaire. Mais quelques petits degrés en plus, et notre civilisation cessera d'être viable. Il a fallu la science pour nous ouvrir les yeux. Il nous faut maintenant sortir du pétrin.

Même si on le voit se lever à l'est et se coucher à l'ouest, plus personne ne pense que le Soleil tourne autour de la Terre. C'est ce que la science a un jour démontré, même si cela allait à l'encontre de notre perception. Il en était de même avec la météo et le climat. On a des hivers froids et des étés chauds. Tout est normal? Non! On sait depuis peu que l'équilibre climatique est au fond bien précaire. On peut ne pas y croire, comme jadis on réfutait Galilée, mais les preuves du réchauffement climatique sont incontestables. Un bel acquis de la science. Mais un gigantesque défi humain.

Récapitulons très simplement: en 100 ans, la composition chimique de l'atmosphère a changé. On y mesure aujourd'hui 400 parties par million (ppm) de dioxyde de carbone, alors que ça n'a jamais dépassé 300 millions de ppm depuis un million d'années. C'est une conséquence de notre industrialisation dopée par le pétrole, le charbon et le gaz. Et ça continue, puisque nous émettons encore chaque année près de 50 gigatonnes de CO₂. C'est ce qui accentue l'effet de serre et fait augmenter la température moyenne de la planète. Oh! pas de beaucoup! Pour le moment, juste d'un peu moins de 1 °C. Si peu? Mais ce n'est pas fini. Et là est le problème. Au rythme où nous crachons du carbone dans l'air, nous sommes à la veille de dépasser 2 °C d'augmentation, voire 3 °C. C'est une poussée de fièvre comme la planète n'en a jamais eue. Jamais!

Il est sensible, le climat. La température moyenne de la Terre est de 15 °C. Pour quelques degrés de moins (c'est déjà arrivé), le Bouclier canadien s'est couvert d'une couche de glace épaisse de 3 km.

Pour quelques degrés de plus – la tendance actuelle –, nous nous retrouverions avec une montée des océans de 6 m à 8 m. Bref, des villes entières englouties; une production agricole en chute. On ne pourrait pas vraiment s'adapter à ça. En faisant leurs calculs, mesures et analyses, les climatologues ont fixé la limite critique au-delà de laquelle la mécanique s'emballerait. Il nous reste une marge d'un seul petit degré! Au rythme où nous polluons, les chercheurs estiment que cela arrivera en 2030. Dans 15 ans. La bataille climatique du XXI^e siècle entre dans une période fatidique. Il faut freiner nos ardeurs carbonifères. Et c'est toute la machine économique et notre production énergétique qui sont remises en cause.

Le rendez-vous de Paris, la Conférence mondiale sur le climat, revêt ainsi – ne nous le cachons pas sous prétexte d'éviter l'alarmisme –, un caractère dramatique. Chose certaine, ce n'est plus le moment de soulever de pseudo-doutes pseudo scientifiques à ce propos – c'est tellement plus facile de discuter que d'agir pour transformer notre système de production énergétique!

La science a su nous révéler avec certitude un phénomène qui ne nous était pas évident au quotidien. Aujourd'hui, cette prise de conscience sur le climat nous invite à changer à jamais notre rapport à la Terre. L'éducation devrait d'ailleurs consolider la place de ce savoir dans notre bagage collectif. Comme on a su le faire avec la découverte de Galilée, il y a 500 ans, quand il a démontré, contre toute apparence, que le Soleil ne tournait pas autour de la Terre. C'est ainsi que notre économie cessera de graviter autour du baril de pétrole. ☑

QUÉBEC SCIENCE

DÉCEMBRE 2015 VOLUME 54, NUMÉRO 4

Rédacteur en chef Raymond Lemieux
r.lemieux@quebecscience.qc.ca

Reporters Marine Corniou, Mélissa Guillemette
Collaborateurs Normand Baillargeon, Maxime Bilodeau, Serge Bouchard, Jean-François Cliche, Marie Lambert-Chan, Joël Leblanc, Martine Letarte, Bouchra Ouatik, Hélène Matteau, Lucie Pagé, Jean-Pierre Rogel et Guillaume Roy

Édition Hélène Matteau
Correcteur-réviseur Luc Asselin

Directeur artistique François Émond
Photographes/illustrateurs Frefon, Christian Fleury, Virginie Gosselin, Jean-François Leblanc, Ron Levine

Éditrice Suzanne Lareau
Administration et distribution Michèle Daoust
Comptabilité Mimi Bensaïd
Chargée de projet, marketing et partenariats Stéphanie Ravier
Attachée de Presse Stéphanie Couillard

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

Dominique Roberge Tél.: 514 623-0234
droberge@velo.qc.ca

SITE INTERNET
www.quebecscience.qc.ca

Abonnements
Canada: 1 an = 35 \$ + taxes,
États-Unis: 64 \$, Outre-mer: 95 \$
Parution: Novembre 2015 (526^e 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.
changementsqs@velo.qc.ca
Service aux abonnés: 1251, rue Rachel Est,
Montréal (Qc) H2J 2J9
Tél.: 514 521-8356 poste 504
ou 1 800 567-8356 poste 504

Impression Transcontinental Interweb
Distribution Messageries Dynamiques

Québec Science est publié par Vélo Québec Éditions
Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec,
Bibliothèque nationale du Canada: ISSN-0021-6127
Envoi Poste-Publications Convention n° 40065387.
© Copyright 2015 – 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. La direction laisse aux auteurs l'entière responsabilité de leurs textes. Les manuscrits soumis à Québec Science ne sont pas retournés.

Indexé dans **repère**



MAGAZINES DU QUÉBEC



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.

La Revue Québec Science
1251, rue Rachel Est
Montréal (Québec) H2J 2J9
514 521-8356
courrier@quebecscience.qc.ca



Sage et indigné

Pour David Suzuki, ceux et celles qui font fi de la science devraient être jugés pour « crimes intergénérationnels ».

Chez les Cris, on l'appelle *Kimisominaw*, ce qui veut dire « notre grand-père », surnom affectueux, comme celui que portait Nelson Mandela – *Tata* dans la langue xhosa –, des mots qui veulent dire sage père ou grand sage, et qui désignent des gens reconnus pour leur humanité et leur sens de la justice. À l'aube de ses 80 ans, David Suzuki, 6 fois grand-papa, tremble et rage devant l'état de la planète que nous laisserons aux jeunes. Son message est pourtant clair; il le claironne si brillamment depuis 50 ans: la survie de l'espèce humaine dépend de celle de la nature.

Gaïa finira par avoir raison de la cupidité de Wall Street qui croit que la planète est une poubelle magique et que ses ressources sont illimitées. L'humanité est au bord du précipice. En fait, selon ce généticien, militant écologiste et grand communicateur, elle commence même à « pendre dans le vide ». Aussi en appelle-t-il à un changement de conscience. Au Canada, par exemple, les dégâts de l'ère Harper sont incommensurables, à tel point que David Suzuki croit que ceux qui font fi de la science devraient être jugés pour « crimes intergénérationnels ».

D'ailleurs à quoi sert la science, si ce n'est à assurer la pérennité de l'humanité?

L'heure est si grave que *Kimisominaw* doute parfois que ses petits-enfants puissent mourir de mort naturelle.

Propos recueillis par Lucie Pagé

Nous savons ce que votre tête de scientifique pense de l'état de l'environnement. Votre cœur de père, lui, dit quoi?

Severn, ma fille aînée issue de mon deuxième mariage, milite depuis l'âge de cinq ans. En 1992 – elle avait 12 ans –, elle a prononcé un vibrant discours au premier Sommet de la Terre à Rio. Elle connaît donc très bien l'état de la planète. Alors, le jour où elle m'a annoncé qu'elle était enceinte, j'ai été sous le choc! J'ai dit: « Sev! Tu connais l'état de la Terre! Comment peux-tu y amener un bébé? » Elle a répondu: « Oui. Mais refuser de faire un enfant, c'est abandonner la lutte. Mon enfant, c'est mon engagement envers la Terre. La raison pour laquelle je me battrai jusqu'au bout. » Je n'ai rien eu à redire. Elle avait raison.

Les politiciens et les P.D.G. de grandes compagnies ont aussi des enfants...

Oui, mais ils jouent un jeu. Laissez-moi vous raconter une histoire. Un jour, j'ai reçu la visite d'un P.D.G. de l'une des plus grandes compagnies de sables bitumineux. Je lui ai dit: « Vous pouvez entrer dans mon bureau, mais à une condition; que vous laissiez votre chapeau de P.D.G. à la porte et qu'on discute d'humain à humain, parce que je ne veux pas me battre avec vous. Avant de négocier quoi que ce soit, nous devons nous entendre sur ce qui est essentiel pour vivre. » Il n'était pas

« Je n'aurais jamais imaginé que l'on inventerait un système où l'argent viendrait avant toute autre chose; même avant la vie. »

JEAN-FRANÇOIS LEBLANC



COP21-CMP11
PARIS 2015

content. Sans ce chapeau, il se sentait nu. Je lui ai d'abord demandé ce qu'était la chose la plus importante pour tout être humain. Je vous jure que des signes de « piastres » sont apparus dans ses yeux ! J'ai répondu pour lui : si nous manquons d'air pendant plus de trois minutes, nous mourons ! Et si nous respirons de l'air pollué, nous sommes malades. Alors, il faudrait d'abord nous entendre sur le fait que l'air est le premier besoin de tout être humain. Ensuite, sans eau pendant trois ou quatre jours, c'est la mort ! Et si nous buvons de l'eau polluée, nous sommes malades. Il faut donc mettre l'eau sur la liste, avec l'air. Ensuite, si nous ne mangeons pas pendant quatre à six semaines, nous mourons. Et si nous mangeons de la nourriture empoisonnée, nous sommes malades. Or, la majorité de nos aliments viennent de la terre. Donc, la terre doit aussi être sur la liste. Enfin, toute l'énergie que nous brûlons, celle de notre corps et celle de l'environnement – le bois, le charbon, le pétrole –, vient du Soleil. Les plantes captent la lumière par photosynthèse et la convertissent en énergie que nous utilisons quand nous mangeons des plantes ou des animaux. La photosynthèse est donc aussi une priorité. Alors, ne pouvons-nous pas, d'humain à humain, nous entendre sur le fait que ce sont là les trois priorités de la vie ?

A-t-il acquiescé ?

Comment le pouvait-il ? Retourner chez ses actionnaires et dire – « David Suzuki a raison, il faut protéger l'air, l'eau et la terre » ? Il aurait été congédié sur-le-champ ! Notre système économique ne se soucie pas de ces choses. C'est la raison pour laquelle nous sommes maintenant au bord du précipice. Je n'aurais jamais imaginé que l'on inventerait un système où l'argent viendrait avant toute autre chose ; même avant la vie.

Alors pourquoi écoutons-nous la propagande au lieu de la vérité ? Les politiciens au lieu des scientifiques ?

Les politiciens sont au service des grandes sociétés qui financent leurs campagnes électorales. On nous vend l'idée que l'économie, c'est tout ; que c'est un gros dragon qu'il faut absolument nourrir, même s'il est insatiable. C'est complètement dingue !

Pourtant, le dernier rapport de la Banque mondiale et d'autres rapports de grands économistes parlent de catastrophe si on n'agit pas tout de suite.

C'est ce que je ne comprends pas. Même Nicholas Stern [NDLR : économiste, ancien

vice-président de la Banque mondiale et auteur du Rapport Stern sur l'économie du changement climatique en 2006] a dit que, pour éviter les changements climatiques, il faut investir 3 % de notre PIB. Mais si nous ne faisons rien maintenant, cela nous en coûtera éventuellement 20 % !

À votre avis, ceux qui font fi de la science, comme Stephen Harper, sont-ils coupables ? Absolument ! Ils devraient être jugés pour « crimes intergénérationnels », car c'est de cela qu'il s'agit. Le problème, c'est que nous n'avons pas les moyens légaux pour porter de telles accusations. Si vous êtes P.D.G. d'une compagnie et que vous ignorez ou supprimez délibérément de l'information dans le cadre de votre travail, vous allez en prison pour « aveuglement volontaire ». Je crois que l'ex-premier ministre Stephen Harper a été volontairement aveugle. Le problème, c'est que sa cécité aura des effets incalculables à long terme, sur la vie de nos enfants et de nos petits-enfants. La science est claire : il faut à tout prix laisser 80 % des réserves de combustibles fossiles connues là où elles sont. Cela implique de mettre un terme à l'exploitation des sables bitumineux, entre autres. Ainsi, on élimine du même coup tous les litiges au sujet des pipelines. Il faut aussi mettre un prix sur le carbone. Harper a toujours dit que ça allait détruire l'économie. Et il est censé être économiste ? Regardez la Suède ! Elle a imposé une taxe de 133 \$ par tonne en 1991 (168 \$ en 2014). Entre 1991 et 2008, elle a réduit ses émissions de 40 % et son économie a crû de 44 % !

Ce sont des chiffres éloquentes.

Exactement ! Si ce n'est pas suffisant pour jeter Harper en prison, je ne sais pas ce qui l'est !

Si la nouvelle génération suit nos pas, ce sera un suicide planétaire. Les jeunes doivent tracer un nouveau chemin. Ils ont donc besoin de nouveaux outils. Lesquels ?

Le défi n'est ni technologique, ni politique, ni économique. C'est notre conscience qu'il faut changer radicalement. C'est d'ailleurs le raisonnement derrière le mouvement Bleu Terre [NDLR : un projet de la Fondation David Suzuki]. Nous voulons inscrire dans la constitution

canadienne le droit à un environnement sain et propre, comme cela s'est fait dans 110 États du monde. Pour le moment, si une compagnie verse du poison dans une rivière, c'est au peuple de prouver que cela lui sera néfaste. C'est insensé.

Les Autochtones ont-ils un rôle à jouer ?

Sans eux, nous aurions déjà perdu beaucoup plus ! Regardez où sont les points chauds pour les luttes environnementales et vous les retrouverez. Les Autochtones sont toujours sur la ligne de front.

Et ailleurs dans le monde, est-ce que ça bouge un peu ?

Je dois avouer que l'entente de 2014 entre les États-Unis et la Chine m'a jeté par terre. Les deux plus grands pollueurs de la planète s'étaient alors engagés à réduire les gaz à effet de serre (GES) de façon significative. Une sacrée belle surprise ! Nous verrons à la Conférence des Nations unies sur les changements climatiques à Paris (COP 21) s'ils sont vraiment sérieux. Mais il y a eu une autre surprise, un cadeau tombé – je ne dirai pas du ciel, parce que je suis athée – de quelque part. Il s'agit de l'encyclique *Laudato Si* du pape François I^{er} sur la sauvegarde de la maison commune. J'aurais tant aimé l'avoir écrite ! Je l'ai lue plusieurs fois. Et je pleure chaque fois. Parce qu'il a fait quelque chose que personne d'entre nous n'avait fait avant : il a pris les problèmes comme la faim, la pauvreté, l'injustice sociale, la surconsommation, la pollution, et a opposé au tout une profonde moralité. Vous savez, la moralité n'est pas un mot qui émane du chœur des écoles d'économie. Et pourtant, c'est la base du vivre ensemble.

Votre boule de cristal vous dit quoi sur l'issue de la COP21 ?

Écoutez, il y a eu 20 COP. Vingt échecs. Pourquoi la 21^e réussirait-elle ? Il faut un changement de perspective. C'est-à-dire comprendre que la planète n'est pas divisée en 195 parcelles, associées respectivement aux 195 pays, mais que la Terre est un tout et qu'il faut une conscience collective pour y vivre sainement. Il faut un drapeau de la Terre auquel tout le monde prête allégeance. Mais nous avons besoin d'aide.

« Je veux être capable de regarder mes petits-enfants dans les yeux et de leur dire : Je ne suis qu'un homme. Je n'ai pas pu sauver le monde, mais j'ai fait du mieux que j'ai pu. »



PHOTOS : JEAN-FRANÇOIS LEBLANC

Où d'une grande catastrophe ?

Quand est arrivé l'ouragan Katrina, j'ai cru que cela permettrait un changement. Même chose avec Sandy, puis Fukushima. Mais non. Lors de la crise économique de 2008, je me suis dit : « Ça y est ! On va changer ! » On a plutôt renfloué et remis en place un système brisé qui ne fonctionne pas. C'est de la folie ! La meilleure chose qui puisse nous arriver, c'est que tout le système s'effondre.

Pleurez-vous parfois devant ce désastre prévisible ?

Plus maintenant. Mais je me mets en colère.

Et votre cœur de grand-père, celui de Kimi-sominaw, il dit quoi ?

Si nous n'agissons pas immédiatement, nous devons vivre dans un monde dévasté. Peut-être quelques centaines de milliers de personnes survivront-elles, peut-être pas. Mais ce sera terrible ; ça, je le sais. Quand je vois mes petits-enfants, ils me remplissent d'une joie sans nom même si je suis très inquiet de leur avenir. Un collègue me disait récemment, et plusieurs scientifiques commencent à l'affirmer, que la fonte du pergélisol sera catastrophique pour l'humanité. Non seulement il ne captera plus les GES, mais il émettra le méthane qu'il



Pour en savoir plus :

Discours de Severn Suzuki, premier Sommet de la Terre à Rio, 1992
<https://www.youtube.com/watch?v=oJJGuIZvFLM>

Bleu Terre, un projet de la Fondation David Suzuki
www.bleuterre.ca

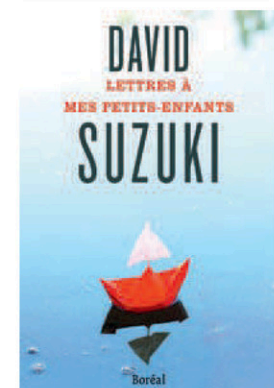
Fondation David Suzuki
www.davidsuzuki.org

Texte intégral de la lettre encyclique *Laudato Si* du pape François I^{er} sur la sauvegarde de la maison commune
http://w2.vatican.va/content/francesco/fr/encyclicals/documents/pa-pa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html

À lire:

Lettres à mes petits-enfants, David Suzuki, Boréal, 2015.

Demain, il sera trop tard, mon fils, Lucie Pagé, avec la collaboration de Kami Naidoo-Pagé et de Jay Naidoo, Stanké, 2014.



emmagasiné depuis toujours. C'est une chose trop atroce à imaginer... [Il marque une pause.] J'adore mes petits-enfants. Je suis content qu'ils soient nés.

Quel âge a le plus jeune ?

Un an.

Nous n'avons plus le luxe du temps.

Je sais. Nous sommes comme ce coyote – vous savez, dans le dessin animé – qui a dépassé le bord du précipice et qui court dans le vide. [Il imite la scène.] Et puis là, il se retourne et dit « *Holy shit!* », et puis « *Boum!* » [Il laisse tomber les bras et regarde par terre.] C'est ma plus grande peur : qu'on ait dépassé la limite; qu'on ait franchi le point de non-retour.

L'avons-nous effectivement franchi ?

Je ne sais pas.

Vous êtes-vous forgé un cœur de pierre ? Avez-vous abandonné ?

Je ne peux pas abandonner ! Mais j'espère mourir comme mon père, entouré de ma famille. Je veux être capable de regarder mes petits-enfants dans les yeux et de leur dire : « Je ne suis qu'un homme. Je n'ai pas pu sauver le monde, mais j'ai fait du mieux que j'ai pu. » C'est tout ce que je pourrai dire : j'ai fait du mieux que j'ai pu. ☹



Lucie Pagé, auteure de *Demain, il sera trop tard, mon fils*, et David Suzuki qui signe *Lettres à mes petits-enfants*.

Le Soleil non coupable!

*Les changements climatiques provoqués par le Soleil?
Bel exemple de science improbable!*

Par Joël Leblanc

Au matin du 19 novembre 2014, les automobilistes montréalais qui s'agglutinent sur l'autoroute 40 remarquent un nouveau panneau publicitaire dans l'arrondissement Anjou. «Le Soleil est le principal facteur des changements climatiques. Pas vous. Pas le CO₂», peut-on lire avec en image de fond une éruption solaire, le tout signé par Friends of Science, une organisation de Calgary fondée par une firme de relations publiques et financée par des intérêts pétroliers. Les médias sociaux ne tardent pas à s'enflammer. Une semaine plus tard, l'Association des communicateurs scientifiques du Québec (ACS) riposte en faisant installer trois panneaux qui remettent les pendules à l'heure: «Ce que

la science dit VRAIMENT: Le climat change. À cause de nous.»

«Il fallait absolument répliquer à cette désinformation, explique la journaliste scientifique Binh An Vu Van, alors présidente de l'ACS. Il fallait réagir pour



empêcher ces messages dangereux de s'implanter; des messages qui minaient nos efforts pour contrer les changements climatiques.» Près d'une centaine de plaintes ont aussi été déposées auprès

des Normes canadiennes de la publicité pour représentation mensongère. Verdict: les plaignants ont eu raison et Friends of Science a dû retirer ses publicités de déniastes (voir la chronique de Normand Baillargeon en page 12).

Tous ces panneaux sont maintenant disparus. Il reste que certaines personnes doutent toujours de l'influence de l'espèce humaine dans le phénomène du réchauffement actuel. Et si elles avaient raison? Si c'était la faute du Soleil? «Bien sûr que non! s'exclame Shaun Lovejoy, professeur au département de physique de l'Université McGill à Montréal. À preuve, la température moyenne sur Terre ayant monté de 1 °C depuis le XIX^e siècle, cela signifie

que l'augmentation du rayonnement solaire aurait dû être d'environ 1,2%. Or, les variations de l'activité solaire, qui s'étalent sur un cycle moyen d'à peu près 11 ans¹, sont de l'ordre de 0,10% à 0,15%. Pour réchauffer la Terre de 1°C, il aurait donc fallu une augmentation de l'activité solaire 10 fois plus grande que les variations naturelles. Rien de tel n'a été mesuré.»

À ce sujet, dans un article publié en 2014 par la revue *Climate Dynamics*, le professeur Lovejoy présentait justement des calculs sur les probabilités qu'un réchauffement soit d'origine naturelle. Avant la révolution industrielle, écrivait-il, les variations de température étaient d'environ 0,2°C par siècle. L'augmentation de 1°C en un peu plus de un siècle représente donc cinq fois cette variation. «C'est énorme, lance le chercheur. J'ai calculé que la probabilité que ça survienne naturellement est de moins de 1 sur 1 000. C'est dire que nous pouvons rejeter cette théorie solaire avec plus de 99,9% de certitude. La seule autre hypothèse qui reste, c'est que ce réchauffement soit dû à l'homme. Aucun scientifique sérieux n'a pensé que le Soleil pouvait être en cause.»

Mais les déniéristes, qui exigent des preuves plus tangibles que des calculs théoriques et probabilistes, font remarquer que le registre des taches solaires, qui donne une idée indirecte de l'activité de l'astre depuis les premières observations de Galilée il y a 400 ans, montre un accroissement de l'intensité des pics d'activité solaire au cours des dernières décennies.

Foutaises encore, selon Frédéric Clette, physicien solaire à l'Observatoire royal de Belgique, qui vient d'analyser tout le registre des taches solaires. Des astronomes ont observé le Soleil et ses taches sans discontinuité depuis 1610, explique-t-il. Nous avons les dessins et les notes de plus de 500 observateurs sur 4 siècles. «C'est l'observation scientifique la plus longue de toute l'humanité», dit M. Clette.

Et alors? Il existe deux listes officielles de taches solaires et elles divergent à certains moments. Aidé de plusieurs collaborateurs, le physicien a repéré des erreurs dans les deux. «Quant à la plus ancienne, un pic d'activité semblait apparaître au XX^e siècle, mais il est dû à un changement de la méthode de comptage par l'Observatoire de Zurich. Et dans la plus récente (1998), on a estimé les taches

«Avant la révolution industrielle, les variations de température étaient d'environ 0,2 °C par siècle. L'augmentation de 1 °C en un peu plus de un siècle représente donc cinq fois cette variation. C'est énorme.»

à partir de plaques photographiques, à une époque où les négatifs avaient un grain très gros et où les images n'étaient pas toujours claires.»

La correction de ces erreurs, et de bien d'autres, a amené Frédéric Clette à noter une augmentation de l'activité solaire au XVII^e et XVIII^e siècle et à la réduire au

XX^e. «Globalement, les deux séries racontent la même histoire: il n'y a pas eu d'augmentation de l'activité solaire. L'intensité est la même depuis le minimum de Maunder, une période de 70 ans pendant laquelle le Soleil a été très tranquille. Le paramètre Soleil étant constant depuis 1715, il faut donc chercher ailleurs la cause du réchauffement actuel.»

Selon nos chercheurs, on s'égare à infirmer une hypothèse que l'on sait improbable, alors qu'il faudrait mettre toutes nos ressources et nos énergies à trouver comment se libérer de l'économie du carbone. «Je ne perdrais pas mon temps à démontrer l'invalidité de l'hypothèse si ça n'était des retombées politiques et sociales, reconnaît Shaun Lovejoy. Il s'agit d'une action plus politique que scientifique.»

¹ Pour en savoir plus sur le cycle de variation de l'activité solaire de 11 ans, consulter les éditions de décembre 2009-janvier 2010 et d'avril-mai 2014 de Québec Science.

Dans 10 000 ans, nous aurons l'hiver en juillet et l'été en janvier

Dans la valse sans fin qui unit la Terre au Soleil, tout n'est pas si stable qu'il y paraît. D'abord, l'obliquité de l'axe de rotation de la Terre fait que, tantôt, c'est son pôle Nord qui reçoit plus d'énergie solaire; tantôt, son pôle Sud. C'est ce qui amène l'alternance des saisons, temporellement opposées dans les deux hémisphères, sur un cycle de 365,25 jours. Cet axe varie entre 22,1° et 24,5° sur une période de 41 000 ans, ce qui peut influencer la rigueur des hivers ou la chaleur des étés.

Mais cet axe de rotation change aussi de façon plus globale, un peu comme une toupie qui, lorsqu'elle tourne sur elle-même, s'incline d'un côté puis de l'autre de façon continue en traçant sur le sol des cercles imaginaires. C'est ce qu'on appelle la précession climatique qui déplace un peu les saisons au cours des années et dont le cycle se complète en 21 000 ans. Dans 10 000 ans, nous aurons l'hiver en juillet et l'été en janvier.

À tout cela s'ajoutent les modifications de la trajectoire de notre planète autour du Soleil. On parle d'excentricité: l'orbite terrestre passe d'un cercle presque parfait à une ellipse plus allongée puis redevient circulaire en 100 000 ans, ce qui fait varier la distance Terre-Soleil, donc la quantité d'énergie qui nous parvient de l'étoile.

En 1930, l'astronome et climatologue serbe Milutin Milankovitch lie ces variations célestes aux périodes glaciaires, intuition qui sera validée dans les années 1970 par des données plus précises sur les ères climatiques. «L'un des cycles de Milankovitch - l'obliquité - correspond effectivement aux registres des températures du globe pour la période s'étendant de 2,5 millions d'années à 700 000 ans avant aujourd'hui, précise Shaun Lovejoy, physicien à l'Université McGill. Ensuite, c'est beaucoup moins clair. Mais l'important, c'est l'échelle de temps: ces influences astronomiques, si elles sont réelles, agissent sur des périodes de milliers d'années. L'actuel réchauffement, sur 120 ans seulement, est beaucoup trop rapide pour être attribué à d'autres causes que l'homme.»



Un nouvel ennemi: le déni

Il n'y a pas de réchauffement climatique. La cigarette n'est pas nocive. Les vaccins tuent. Et nier la vérité, voire l'évidence, c'est souvent bon pour les affaires.

Au milieu des années 1950, le scepticisme scientifique voyait le jour, sous l'impulsion, entre autres, de Martin Gardner, esprit libre et grand vulgarisateur états-unien. Le mouvement se proposait de mettre le rationalisme au service d'un travail de déboulonnage des croyances aberrantes ou mal fondées.

Cette forme d'hygiène de l'esprit se justifie par des raisons intrinsèques – on veut penser le plus clairement possible –, mais aussi par des raisons instrumentales. Il arrive en effet que certaines des croyances ainsi démontées soient nuisibles, voire dangereuses, aux personnes crédules; par exemple en matière de santé. (Et parfois fort lucratives pour qui en fait la promotion.)

Mais voilà que, depuis quelques années, un nouvel ennemi se profile. Celui-ci réclame de la part des sceptiques un enrichissement de leur arsenal et de leur pratique. Ce nouvel ennemi, c'est le « déni ».

Le mot désigne le refus systématique, buté et doctrinaire, de certains faits avérés; même de certaines théories pourtant admises par la communauté scientifique (ou à tout le moins considérées comme très probables). La paternité du concept, transmis et entretenu sur le site web denialism.com, reviendrait aux frères Mark et Chris Hoofnagle, respectivement professeur de droit et chirurgien aux États-Unis.

On pourra être tenté de traduire leur *denialism* par « négationnisme ». Cependant, ce serait oublier que ce mot désigne déjà, en français, le refus d'admettre la réalité de la Shoah, un fait historiquement prouvé. Cela constitue bien, sur le terrain de l'histoire, une forme de déni, mais ce n'est pas la seule. Les personnes qui refusent d'admettre l'efficacité et l'innocuité quasi totale des vaccins sont aussi des déni. Tout comme celles qui refusent d'admettre la réalité du réchauffement climatique anthropique; qui ne croient pas que le VIH cause le sida; ou qui refusent d'admettre la théorie de l'évolution.

Cette nouvelle réalité nous contraint à soulever quelques questions. Comment en expliquer l'apparition? Quelles stratégies argumentatives particulières les déni déploient-ils? Et celle qui pourrait bien être la plus importante de toutes: comment lutter efficacement contre ces idées, étant admis qu'elles peuvent avoir et ont souvent des conséquences dramatiques sur l'ensemble de la société?

Le déni peut être compris si on se le représente comme une prise de position, soutenue par des motifs idéologiques, économiques ou religieux, visant à s'« autocréditer » en attaquant le consensus scientifique au moyen d'un arsenal de stratégies rhétoriques soigneusement mises au point. Parfois assez habiles, ces stratégies peuvent jeter le doute chez des personnes peu informées.

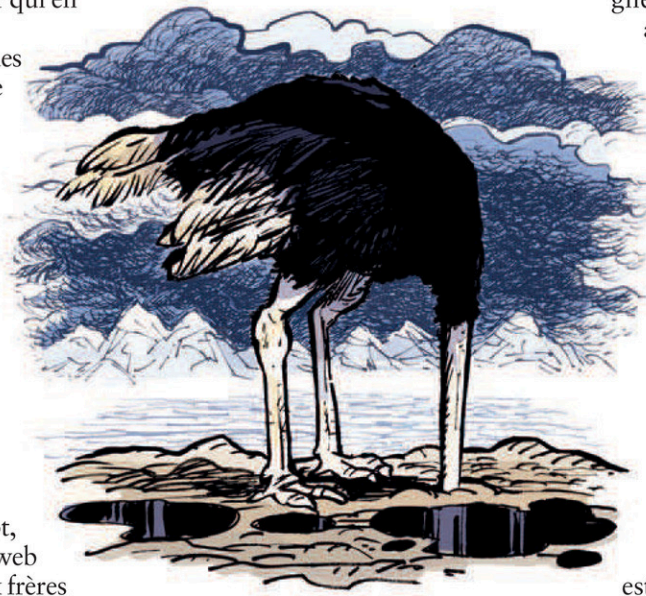
On jouera ainsi sur le fait que, au contraire d'un dogme, une théorie scientifique est susceptible d'être révisée et améliorée, et d'autant plus si elle porte sur un sujet complexe. Elle présente ainsi, à tout moment, des points encore débattus, des inconnues, des divergences de résultats, des imperfections, des tensions, des désaccords. Cette caractéristique est systématiquement exploitée par les déni, grâce à une sélection des faits.

Un parfait exemple de ce procédé est l'évocation, par les déni de l'évolution, de « trous » ou de chaînons manquants, dans l'histoire des fossiles.

Ils exploiteront de la même manière les cas d'erreurs humaines, voire de fraudes, pour jeter le doute sur tout un ensemble de recherches et de travaux, sinon pour carrément les discréditer. Peut-être en donnant à penser qu'une conspiration (disons de scientifiques en mal de subventions) explique telle ou telle théorie.

Le déni procède enfin à une sorte de dévoilement, puis de retournement de la pensée critique contre elle-même. Voici un exemple de cette manière de faire.

On sait que l'appel à la foule est le plus souvent un sophisme: le fait que la majorité pense une chose ne rend pas cette chose



vraie pour autant. Imaginons donc que le déniériste argue que le consensus des scientifiques aptes à se prononcer sur la réalité du réchauffement climatique anthropique est un appel à la foule et que la science ne se décide pas par consensus. Quoique séduisante, cette erreur de raisonnement est bien grossière. Car la foule, ici, est celle des experts. C'est parce qu'ils sont en mesure d'examiner la question que leur jugement fait autorité; pas parce qu'ils sont nombreux à penser de la même façon.

Le résultat visé par les déniéristes est de susciter un doute, dans le public, quant à la vérité de la théorie scientifique. Ce doute, espèrent-ils, pourra faire en sorte que les médias traitent leur position à égalité avec celle des scientifiques.

Le déniériste fait désormais l'objet d'études multidisciplinaires, auxquelles collaborent des chercheurs de nombreux horizons. L'enjeu n'est pas que théorique ou philosophique. Le déniériste est aussi un réel problème politique et même, bien souvent, une mise en scène motivée par des intérêts économiques. Les déniéristes, ne l'oublions pas, ce sont aussi ces cigarettiers qui ont triché pour cacher la nocivité de leur produit. Ces entreprises, comme Exxon Mobil, qui financent des recherches dont l'objectif est de nier soit la réalité du

Le résultat visé par les déniéristes est de susciter un doute, dans le public, quant à la vérité de la théorie scientifique. Ce doute, espèrent-ils, pourra faire en sorte que les médias traitent leur position à égalité avec celle des scientifiques.

réchauffement climatique, soit le rôle qu'y joue l'activité humaine. Ce sont des individus comme les frères Koch, des multimilliardaires libertariens aux États-Unis, qui entretiennent des organismes de désinformation œuvrant dans le même sens que leurs opinions.

La conversation démocratique est alors mise à mal, en même temps que deux de ses indispensables alliées: la science et la recherche scientifique, en tant qu'institutions régies par des idéaux normatifs comme la vérité, la diffusion des résultats et l'impartialité. Il faudra donc amorcer de sérieux échanges sur ce qu'il convient

de faire pour combattre le déniériste, dans l'indispensable respect de la liberté d'expression, de la liberté académique et du droit à la dissidence, y compris en science. Vaste programme.

Je me permettrai cependant deux modestes réflexions. La première étant qu'il est du devoir des scientifiques de s'impliquer dans ce débat. Venez; on vous attend, on vous espère.

La deuxième est que, pour cette lutte, dans certains cas à tout le moins, outre l'indispensable dénonciation de la partialité, de l'ignorance et de la duplicité, le recours à l'humour et au ridicule peut s'avérer extrêmement efficace.



Photos: Diane Dufresne et Yvan Monette, Patrice Francoeur

À VÉLO QUÉBEC VOYAGES L'HIVER SERA CHAUD...

CUBA, HOLGUÍN
en boucles
27 décembre au 3 janvier
7 au 14 février
27 février au 5 mars
5 au 12 mars
2 au 9 avril

CUBA, VARADERO
en boucles
27 décembre au 3 janvier
13 au 20 mars
9 au 16 avril

COSTA RICA
11 au 18 février

LES ÎLES DE GUADELOUPE
en boucles*

20 au 27 mars

PUERTO RICO **NOUVEAU**

27 mars au 3 avril

SONOMA ET NAPA VALLEY*
9 au 16 avril

TUCSON en boucles*
16 au 23 avril

UTAH
23 au 30 avril

Et bien plus encore...

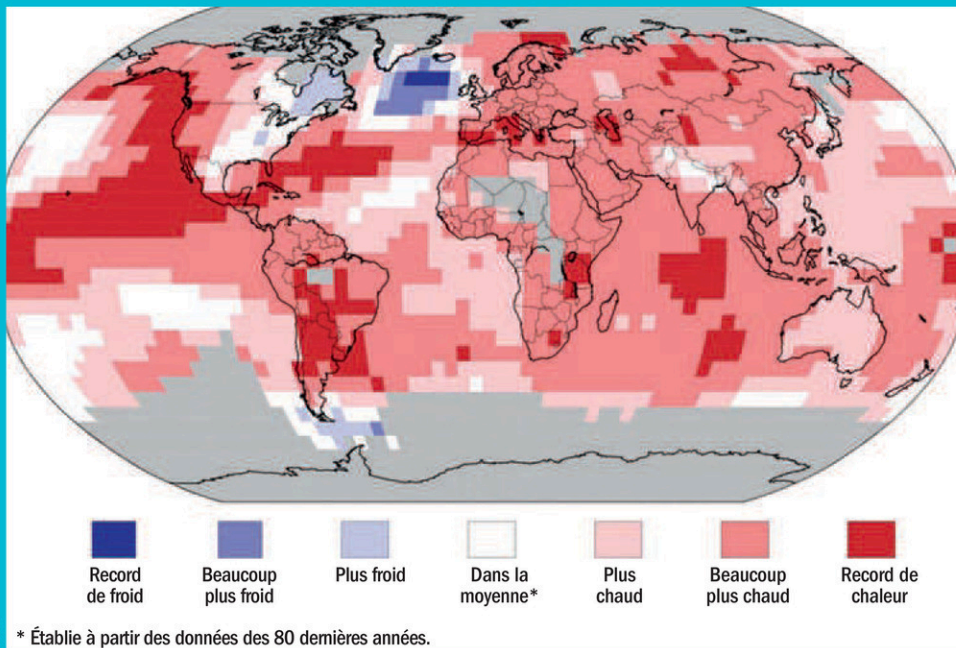
*DESTINATIONS EN LIBERTÉ

Les Îles de Guadeloupe en boucles, Sonoma et Napa Valley, Tucson en boucles ainsi que plusieurs destinations européennes vous sont aussi offertes, au moment vous convenant, en formule En liberté. Contactez-nous.

RÉSERVEZ MAINTENANT
veloquebecvoyages.com

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





NOAA

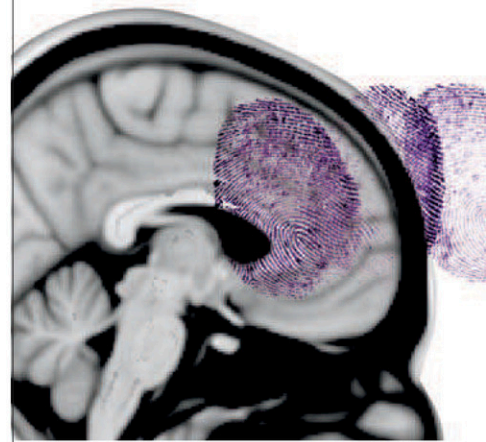
* Établie à partir des données des 80 dernières années.

Alerte bleue

Les huit premiers mois de 2015 ont été plus chauds que la normale sur l'ensemble de la planète, révèle cette carte de l'Agence d'observation océanique et atmosphérique des États-Unis. À l'exception, cependant, de quelques rares zones bleues (dont le Québec), et particulièrement de cette tache bleu foncé dans l'Atlantique, au sud du Groenland.

Le phénomène pourrait s'expliquer par un ralentissement de la circulation dans l'océan, attribuable à la fonte des glaciers. Un important apport d'eau douce dans les courants venant du nord bloquerait le mélange habituel avec les courants d'eau salée du sud, en raison des différences de densité.

Si cette théorie se confirme, et que le phénomène s'accélère, le climat de l'Europe et celui de l'Amérique du Nord seront sans nul doute affectés.



PASSONS LE MOT

Pierre, Jean et Jacqueline lisent le même mot. Surprise, leur cerveau ne réagit pas pareillement. Cela confère à chacun une empreinte cérébrale unique, aussi personnelle que l'empreinte digitale ou le scan de la rétine. C'est ce que viennent de découvrir des chercheurs de l'université de New York à Binghamton. La vérification de nos ondes cérébrales remplacera-t-elle un jour nos passeports et nos mots de passe ? Peut-être. Il faudra d'abord ultra simplifier l'encéphalographie...



PAPA PANIQUE

Pas facile de se faire à l'idée de devenir papa. Plus de 13 % des futurs pères présentent un taux élevé de symptômes dépressifs au cours du dernier trimestre de grossesse de leur conjointe, selon une étude réalisée à l'Institut de recherche du Centre universitaire de santé McGill. À quand un suivi de grossesse pour les messieurs?

expo



MUSÉE ROYAL 22^e RÉGIMENT

PARA : c'est ainsi qu'on surnomme le parachutiste canadien, un fantassin pas comme les autres. L'exposition nous le fait découvrir, dans un contexte historique aussi bien que dans une perspective actuelle. Ce qu'il est. Ce qu'il fait et comment. Ses missions, ses objectifs. Du 11 novembre 2015 au 4 septembre 2016, au Musée Royal 22^e Régiment, à la Citadelle de Québec.



460

C'est le nombre de cellules sensibles à la température que contient chaque centimètre carré de notre peau.



LES HOMOPHOBES SUR LE DIVAN

Si l'homosexualité a longtemps été considérée comme une maladie mentale, aujourd'hui, c'est l'homophobie qu'on soupçonne d'être une pathologie, à en croire une étude publiée dans *The Journal of Sexual Medicine*.

Des chercheurs italiens ont évalué le niveau d'homophobie de 551 étudiants et leur santé psychologique. Ils ont découvert que les sujets homophobes ont souvent un problème d'attachement, des mécanismes de défense immatures et une personnalité caractérisée par l'agressivité et la colère.

Selon l'auteur principal de cette étude, l'endocrinologue et sexologue Emmanuele A. Jannini, de l'université de Rome Tor Vergata, l'homophobie pourrait un jour figurer dans le *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM)*, la référence internationale en matière de psychiatrie.

Devant la fragilité de la planète :
« Il est temps de passer à l'action ! Nos neurones peuvent servir à trouver des solutions plus intelligentes que la cupidité et les rendements à court terme. »

Gilles Bœuf, biologiste, conseiller scientifique pour l'environnement, la biodiversité et le climat au ministère français de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.



AUTISME

Un prototype multisensoriel

Son nom : Moti.

Ce que c'est : un petit robot jouet, très résistant, en forme de boule.

À quoi ça sert : à capter l'attention de l'enfant autiste, à l'éveiller à la communication en l'incitant à réagir, à l'aider à tisser des liens, à stimuler ses fonctions sensorielles, à renforcer ses « bons » comportements.

Comment ça fonctionne : un minirobot, dans la boule, la fait rouler, émettre des sons et de la musique, s'allumer, changer de couleur, vibrer... Bref, réagir de différentes manières quand l'enfant entre en contact avec lui. Le parent, ou l'éducateur, peut servir d'intermédiaire et programmer le jouet en fonction des besoins de l'enfant.

Voir une vidéo : <https://vimeo.com/100504959>.

À savoir : créé par un jeune ingénieur français en biotechnologie, Ladislav de Toldi, en collaboration avec des spécialistes de l'autisme, des parents et des chercheurs.

Commentaire de Jo-Ann Lauzon, directrice générale de la Fédération québécoise de l'autisme :

« Il semble que, pour plusieurs enfants autistes, l'utilisation de ce type de technologie permet de faire des apprentissages intéressants, particulièrement au niveau des comportements sociaux et de la communication. À ce jour, la seule critique entendue est que ce matériel éducatif risque de coûter très cher. » Reste donc à voir.

Plus de feu dans la cheminée ?

Chaleureux, rassembleur, romantique... mais polluant! Le poêle à bois, roi des hivers québécois, serait-il condamné? Rassurons-nous, la technologie vient à sa rescousse.

Par Maxime Bilodeau

Marc Bédard « tripe » sur le chauffage au bois. Sa maison unifamiliale est située en banlieue de Québec; et ce pompier de 39 ans la tient au chaud exclusivement grâce à un poêle à semi-combustion lente. Des ventilateurs diffusent uniformément la chaleur dans les pièces.

Marc brûle chaque année une vingtaine de cordes de bois, récoltées sur la terre familiale de huit hectares située à Saint-Antoine-de-Tilly. Pruches, merisiers et hêtres, tout est bûché, scié, fendu, pilé et séché presque deux ans à l'avance. « J'aime le confort que me procure le chauffage au bois », assure le père de famille qui ne compte plus le temps consacré chaque année à l'entreprise. Chez lui, la « culture du chauffage au bois » se transmet de génération en génération, dit-il.

Malheureusement, n'en déplaise à Marc, chauffer au bois entraîne chaque année près de 2000 décès prématurés, révèle une étude de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) publiée en 2008; rien qu'à Montréal, la Direction de la santé publique parle de près de 900 décès. Les grands responsables: les contaminants atmosphériques issus de la combustion du bois, comme le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils (COV), l'oxyde d'azote (NOx), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Mais, surtout, les particules inférieures à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) qui pénètrent profondément dans les poumons et irritent les voies respiratoires.

Les particules fines contenues dans la « boucane » sont si préoccupantes pour la santé, que la Ville de Montréal a adopté une réglementation sur le chauffage au bois en août 2015. Dès le 1^{er} octobre 2018, les poêles à bois et les foyers émettant plus de 2,5 grammes de particules par heure (g/h) seront interdits dans les 19 arrondissements de la métropole. Objectif: réduire de 80 % les émissions de particules fines. À ce jour, Montréal est la seule municipalité québécoise à avoir adopté de telles mesures.

Chez les spécialistes, cette décision de la Ville est perçue comme une victoire. D'autant plus que la version initiale du règlement, qui prévoyait d'interdire purement et simplement l'installation de nouveaux appareils de chauffage au bois, permettait l'utilisation sans restriction des 50 000 vieux modèles déjà installés. Ces derniers sont réputés très polluants – on


parle d'émissions de l'ordre de 70 g/h de particules fines, soit 15 fois le seuil maximal de 4,5 g/h actuellement en vigueur partout en Amérique du Nord!

« Je trouvais stupide le scénario de l'interdiction », admet Jamal Chaouki, professeur titulaire en génie chimique à l'École polytechnique de Montréal et spécialiste des questions de combustion. Le bois, rappelle-t-il, est une source énergétique abondante au Québec; il ne doit pas être négligé. « De toute façon, ajoute-t-il, s'il n'est pas utilisé, il pourrit dans les forêts, relâchant le CO₂ qu'il contient. Aussi bien le brûler et en tirer de l'énergie! »

Même son de cloche du côté de l'Association des professionnels du chauffage. « Les technologies actuelles ne sont plus comparables à celles des vieux poêles à bois », affirme Chantal Demers, directrice générale de l'organisme qui regroupe 250 membres et partenaires de l'industrie du chauffage d'appoint. Présence d'une deuxième arrivée d'air qui favorise la double combustion, isolants qui préservent la chaleur, briques réfractaires, déflecteurs. Dans les poêles modernes, tout est optimisé afin de garder la chaleur et réduire les émissions polluantes.

Pour s'en convaincre, il suffit d'observer ce qui sort de la cheminée. « Dans le cas d'un vieux poêle, on verra une généreuse fumée blanche, tandis que, dans celui d'un appareil homologué par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA), ce sera de la vapeur d'eau », garantit Chantal Demers. Les fabricants d'appareils de chauffage au bois n'auront pas le choix: ils devront améliorer le design de leurs produits afin de se conformer à la norme de 2,5 g/h que l'EPA compte mettre en place en 2020.

Combien coûtent ces nouveaux poêles conformes? Cher: de 3 000 \$ à 5 000 \$ pour l'appareil, l'installation et la main-d'œuvre. Parfois même plus. Il y a sept ans, Marc Bédard a payé plus de 12 000 \$ pour le sien, aménagement compris. Un choix qu'il ne regrette pas, bien au contraire: « Chez nous, le poêle est l'attrait principal. Nos invités se regroupent spontanément autour, c'est inmanquable! »

Sans doute les fêtes, sans lui, seraient-elles un peu... froides! 





Trop de hot-dogs sur Terre

Ce n'est plus seulement une question de santé ou de goût. La production industrielle de la viande bon marché menace la planète. Pouvons-nous y faire quelque chose ?

Découvrir comment est fabriqué un hot-dog n'est déjà pas trop rassurant. Il y a quelques années, la chaîne de télévision canadienne Discovery Channel avait présenté un documentaire qui avait coupé l'appétit à plus d'un amateur. Des parties indistinctes de viande de bœuf et de porc passaient dans des broyeurs industriels, formant un mélange grumelleux auquel on ajoutait une pâte lisse à base de bas morceaux de poulet, nous disait-on. On incorporait alors de l'air, du sel, du sirop de maïs et de mystérieux « agents de conservation », avant de fourrer le tout dans des boyaux synthétiques et de les cuire au four.

Le 4 juillet dernier, à Coney Island, à New York, devant des milliers de spectateurs, Matt Stonie, 22 ans, réussissait à avaler 62 hot-dogs en 10 minutes, battant de justesse le champion en titre qui n'en a englouti « que » 60. Ce concours est organisé depuis 1919 par la chaîne de fast-food Nathan's Famous.

Fait surprenant, les « performances » des concurrents d'aujourd'hui sont très supérieures à celles de leurs prédécesseurs, le nombre moyen de hot-dogs ingurgités ne cessant d'augmenter. Explication ? L'épreuve s'est allongée de plusieurs minutes et les concurrents peuvent tremper leurs saucisses dans l'eau et boire en même temps, ce qui leur permet d'en avaler plus. Élément encore plus significatif, me semble-t-il, le concours de Coney Island est devenu une très grosse affaire commerciale : processus de sélection à l'échelle du pays, commanditaires, publicité, champions, entraîneurs... et enthousiasme des médias, toujours prêts à couvrir l'événement et à célébrer la goinfrerie la plus stupide qui soit.

Avec ou sans ketchup, l'indigestion guette; arrêtons-nous donc là. Je n'en veux pas particulièrement à la saucisse de Frankfort servie chaude dans un petit pain. Mais la projeter ainsi au centre des modèles alimentaires a quelque chose d'indécent dans un monde en proie à des problèmes croissants d'obésité. Un hot-dog reste un aliment dont tout nutritionniste vous dira qu'il ne faut pas abuser si on veut se nourrir sainement. Selon une étude parue en 2010 dans la revue scientifique *Circulation*, manger chaque jour aussi peu que 57 g de ce type de viande augmente le risque de diabète de 19 % et celui de maladie cardiaque de 42 %. Sur ce plan aussi, arrêtons-nous; le message est clair.

Une dimension moins connue de ce que j'ai envie d'appeler « le drame du hot-dog » concerne le coût écologique de cette nourriture. Globalement, la production mondiale de porcs, de volailles et de bovins ne cesse d'augmenter, sans qu'on réussisse pour autant à nourrir la planète. Selon les derniers chiffres de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), les pâturages couvrent désormais 68 % de

toutes les terres agricoles, tandis que le fourrage occupe 35 % des terres arables.

Les pays du Sud, en particulier, font face à des problèmes de déforestation massive, d'érosion des sols et de pollution des eaux liés à la pression de l'industrie alimentaire mondiale. Au Brésil, on

déboise l'Amazonie pour faire place à des pâturages où paissent des bœufs destinés à l'exportation. En Afrique, de riches investisseurs privés achètent chaque année des millions d'hectares de surfaces agricoles, pour les consacrer à des cultures d'exportation. Cela déstabilise les sociétés rurales et accroît l'insécurité alimentaire.

Autre enjeu environnemental, et non des moindres dans le contexte du réchauffement climatique : l'élevage est aujourd'hui responsable de 15 % des émissions annuelles de gaz à effet de serre dans le monde. Prendre des mesures pour juguler cette croissance est l'un des enjeux de la conférence de Paris sur le climat, qui se déroule en ce moment; il faudra surveiller ce qui en sortira.

De plus en plus de voix s'élèvent pour dire que le modèle actuel de production de viande n'est pas soutenable à long terme pour notre Terre. Sommes-nous tous alors condamnés, à moyen terme, à devenir végétariens ? On verra bien. C'est une question redoutable, dans ses dimensions économiques, politiques et sociales. Mais sur le plan individuel, quiconque choisit aujourd'hui de réduire au maximum sa consommation de viande (à tout le moins, de viande produite industriellement) ou quiconque choisit carrément de s'en passer me semble franchir un premier pas bénéfique à sa santé... et à celle de la planète.

Finalement, manger est peut-être bien, selon l'expression du militant paysan du Kentucky Wendell Berry, « un acte agricole ». Agricole et environnemental. C'est tout bête à dire, mais c'est bien vrai, dans le fond : ce qu'on mange oriente le monde.



LA BATAILLE DU FOIE

Robuste, résilient et multitâches, le foie est la pierre angulaire de notre corps. Pourtant, on ne s'y intéresse guère; on le néglige, même. Radiographie d'un organe méconnu.

Par Marie Lambert-Chan

D'abord, il nettoie le sang – dont il pompe 1,4 litre à la minute – de l'alcool et des médicaments que nous ingérons, ainsi que des déchets, comme l'ammoniac, que nous produisons naturellement. Ensuite, il se charge de fabriquer et de fournir une foule d'éléments essentiels au bon fonctionnement de notre corps : du glucose pour lui procurer de l'énergie; des enzymes et des protéines pour assurer sa résistance aux infections et aider le sang à coaguler; et de la bile pour lui permettre de digérer puis d'excréter les substances toxiques. Il stocke les vitamines et les minéraux, régule le cholestérol, sécrète et équilibre les hormones sexuelles et thyroïdiennes, décompose les vieux globules rouges, etc. Merveilleux foie! En tout, il est responsable de plus de 500 fonctions essentielles à la bonne marche du corps humain. C'est le plus gros et le plus lourd de nos organes internes. « Et c'est sans doute le plus important », affirme le docteur Marc Bilodeau, hépatologue et cher-

cheur au Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM).

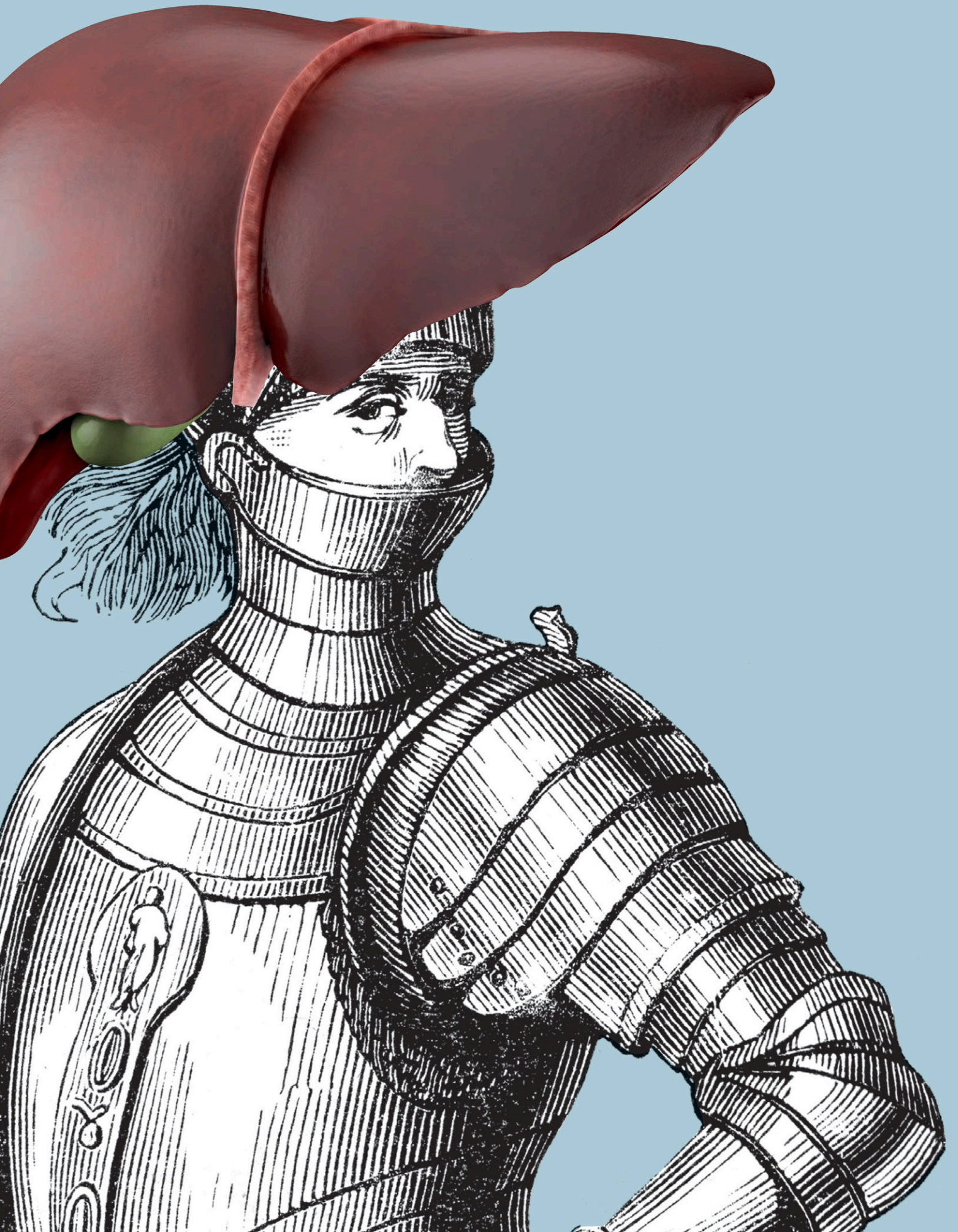
Comme s'il était conscient de ce rôle prépondérant, le foie refuse de se laisser abattre facilement. Hyper robuste, il poursuit son petit bonhomme de chemin même quand les deux tiers de sa masse sont mis hors d'usage par la maladie. Sa résilience laisse pantois : il est le seul organe à pouvoir se régénérer. Si on lui enlève une partie, celle qui lui reste croîtra jusqu'à ce qu'il ait retrouvé son volume originel – au bout de quelques semaines.

Avec de telles performances, le foie devrait occuper une place de choix dans notre imaginaire collectif. Mais, au panthéon des organes, il est plutôt refoulé au deuxième sous-sol, en compagnie de la rate, du pancréas et de la vésicule biliaire. C'est que le foie n'a ni l'énergie du cœur ni la prestance du cerveau. C'est un travailleur de l'ombre. « Nous voyons ce qui sort de notre vessie et de nos intestins, nous sentons notre cœur battre et nos poumons se soulever, nous sommes bien conscients que notre cerveau est actif, mais nous n'observons jamais direc-

tement le travail du foie, corrobore le docteur Bilodeau. De plus, nous ne percevons pas sa présence; pas plus que les fruits de son labeur. À tel point qu'une personne atteinte d'une hépatite chronique n'en ressent les premiers symptômes que de 20 à 30 ans après avoir été infectée. Le foie a l'habitude d'encaisser les coups jusqu'à ce qu'il n'en puisse plus. C'est un organe qui vit et souffre en silence. »

En conséquence, nous ne manifestons envers lui que peu ou pas d'intérêt. « Les gens savent que c'est un abat qui se sert avec des oignons, que l'alcool est l'ennemi du foie et que les hépatites B et C sont des maladies à ne pas attraper, mais c'est à peu près tout! » s'exclame le docteur Eric Yoshida, président du comité consultatif médical de la Fondation canadienne du foie (FCF) et gastro-entérologue à l'hôpital général de Vancouver. Il n'en a pas toujours été ainsi. Dans l'Antiquité, le foie occupait le haut du pavé. Les Grecs affirmaient qu'il était le siège de l'âme.

Aujourd'hui, on connaît si mal le foie que même les expressions qui s'y réfèrent font



L'USINE F

fausse route. « Crise de foie, mal au foie, foie engorgé, foie fatigué: ça n'existe pas! » s'exclame le pharmacien Olivier Bernard, qui s'amuse à déboulonner les mythes scientifiques et médicaux dans son blogue *Le Pharmacien* (lire l'entrevue à la page 24). « En vérité, les gens qui se plaignent de leur foie souffrent de problèmes de digestion ou de ballonnements, poursuit-il. Comme quoi le foie est exploité comme une catégorie poubelle où sont balancés tous les maux abdominaux. »

Lil n'y a pas que Monsieur et Madame Tout-le-Monde qui ignorent le b. a.-ba du foie. Par exemple, le Centre d'aide aux personnes atteintes de l'hépatite C (CAPAHC) offre une formation à des professionnels œuvrant auprès de clientèles infectées par ce virus ou à risque de l'être. Ce sont des travailleurs de rue, des travailleurs sociaux, des infirmières. Un chapitre entier du cours est consacré au foie. « Certains d'entre eux ne savent même pas si leur foie se trouve à droite ou à gauche », s'étonne Laurence Mersilian, directrice du Centre. (La bonne réponse : à droite.)

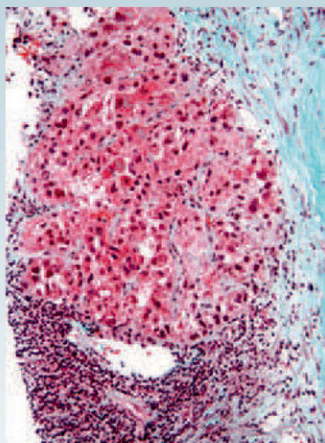
Même des médecins affichent une méconnaissance à l'égard du foie et de ses maladies. Ainsi, un sondage Ipsos-Reid mené en 2012 pour le compte de la FCF

VIRGINIE GOSSELIN



QUAND ON LUI FAIT LA VIE DURE

Le foie est vulnérable à une centaine de maladies, voici les plus graves.



CARCINOME HÉPATOCELLULAIRE

C'est la forme la plus courante de cancer primaire du foie. Le carcinome prend naissance dans les cellules hépatiques. La présence d'une maladie chronique du foie accroît les risques de ce type de cancer. Ce n'est qu'à un stade avancé que les premiers symptômes se manifestent: jaunisse, liquide dans l'abdomen, perte de poids et d'appétit, douleur abdominale. Le taux de mortalité du

carcinome hépatocellulaire est en augmentation au pays.

CIRRHOSE

C'est à la cirrhose qu'aboutissent la plupart des maladies chroniques du foie. À ce stade, l'organe est couvert de cicatrices. Chez une partie des patients, elle peut rester asymptomatique jusqu'à ce que se produisent des complications, comme une hémorragie interne, l'accumulation de liquide dans l'abdomen ou un comportement

erratique. Les patients cirrhotiques sont évidemment plus à risque de souffrir d'un cancer du foie.

HÉPATITE B

Plus contagieuse que le VIH, l'hépatite B est une infection virale transmise par le sang ou d'autres liquides corporels. Elle provoque l'inflammation du foie. Après avoir traversé une phase aiguë, la maladie peut devenir chronique



Aujourd'hui, on connaît si mal le foie que même les expressions qui s'y réfèrent font fausse route. « Crise de foie, mal au foie, foie engorgé, foie fatigué : ça n'existe pas ! »

Marc Bilodeau, hépatologue et chercheur au Centre hospitalier de l'Université de Montréal : « Quand le foie va mal, le corps entier va vraiment mal. Ce n'est pas beau à voir. »

révélaient que seulement 35 % des omnipraticiens canadiens croyaient connaître très bien les symptômes de l'hépatite C et 57 % ne savaient pas qu'il s'agit d'une maladie curable.

« Quand je donne des conférences de formation continue, je dis parfois à mes collègues, dans l'assistance, que deux organes nous font peur : le cerveau et le foie », raconte le docteur Fernando Alvarez, hépatologue pédiatrique au CHU Sainte-Justine. Il faut dire qu'une centaine de maladies peuvent attaquer le foie et que plusieurs d'entre elles sont peu fréquentes. « Or, pour pouvoir poser un diagnostic, il faut déjà en avoir une idée, ce qui n'est pas toujours évident avec des infections rares », constate-t-il.

Quant aux maladies du foie les plus communes, comme les hépatites virales, elles passent trop souvent sous le radar. En 2013, dans un rapport de 75 pages sur les maladies du foie au Canada, la

FCF notait que les omnipraticiens « sont peu sensibilisés à l'hépatite B et à l'hépatite C ainsi qu'aux conséquences d'une infection » et qu'ils « ont besoin de plus de formation sur le diagnostic des maladies du foie, l'évaluation des niveaux de gravité de ces maladies et les options thérapeutiques disponibles ».

À ce chapitre, Laurence Mersilian en a entendu des vertes et des pas mûres depuis la fondation de son Centre en 2003. « Les personnes qui le fréquentent nous rapportent des choses terribles, dit-elle. Certaines se font dire par leur médecin de famille que leur virus [de l'hépatite C] est en dormance, que c'est comme s'ils ne l'avaient plus », alors que l'infection est toujours là et entraîne des dommages sournois. Laurence Mersilian en sait quelque chose : pendant 20 ans, elle a souffert de fatigue chronique sans jamais se douter qu'il s'agissait d'un symptôme de l'hépatite C. « J'ai sans

chez 5 % des adultes. De ce groupe, entre 15 % et 20 % développeront une cirrhose. L'hépatite B chronique est une maladie silencieuse : les premiers symptômes apparaissent seulement quand le foie est très endommagé. Heureusement, il existe des traitements, ainsi qu'un vaccin.

HÉPATITE C

Le virus de l'hépatite C se transmet également par le sang. C'est l'une des maladies du foie les plus répandues dans le monde et aucun vaccin ne peut encore la prévenir. Le quart des personnes

infectées élimineront spontanément le virus au cours des six premiers mois. Chez les autres, l'hépatite évoluera vers la chronicité – souvent à leur insu, puisqu'elle est asymptomatique. Dans ce groupe, 1 personne sur 4 court le risque de souffrir, 20 ou 30 ans plus tard, d'une cirrhose, d'une insuffisance hépatique ou d'un cancer du foie. L'hépatite C est aujourd'hui curable.



MALADIE ALCOOLIQUE DU FOIE

Provoquée par une consommation d'alcool, de modérée à excessive, toujours de longue durée, cette pathologie finit par causer des lésions qui se muent au fil du temps en cirrhose. Près de la moitié des patients qui reçoivent un diagnostic de cirrhose alcoolique meurent dans les cinq années suivantes. La bonne nouvelle : avant que la maladie n'atteigne un stade avancé, il est possible d'en guérir... en pratiquant l'abstinence.

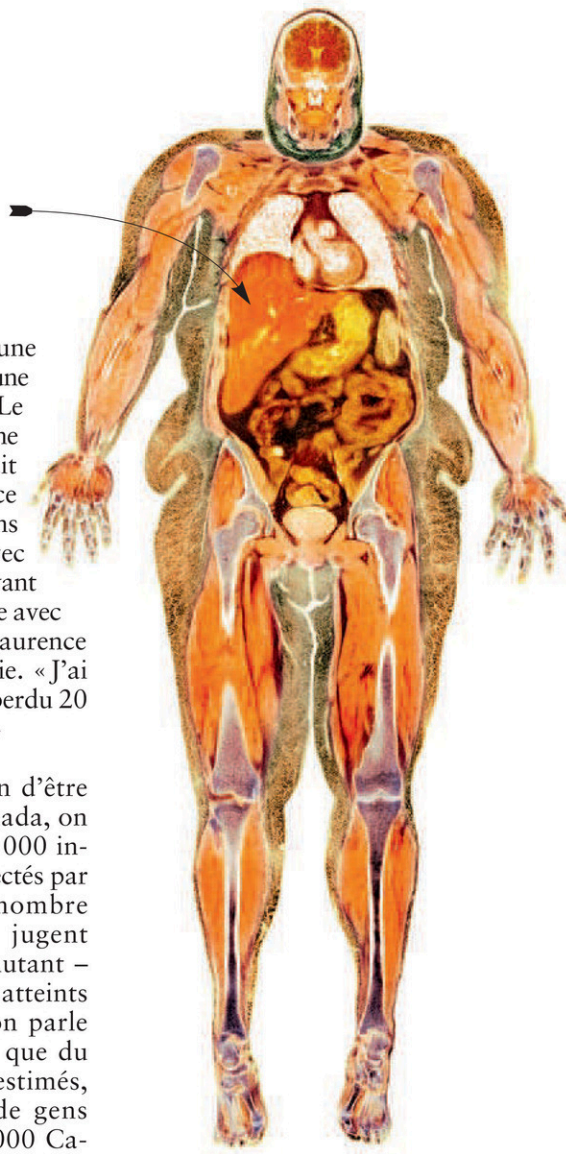
STÉATOSE HÉPATIQUE NON ALCOOLIQUE

La stéatose hépatique non alcoolique (foie gras) résulte d'une accumulation de graisses dans les cellules du foie. Elle provoque des lésions semblables à celles de la maladie alcoolique du foie. Les personnes obèses sont toutes à risque de stéatose hépatique. Pour le moment, le seul remède consiste à adopter une alimentation saine et à faire régulièrement de l'activité physique.

doute contracté le virus lors d'une transfusion sanguine au cours d'une césarienne », soupçonne-t-elle. Le diagnostic est tombé en 2001. Une biopsie révélait que son foie était couvert de cicatrices fibreuses, ce qu'on appelle la fibrose. « Dix ans de plus et je me retrouvais avec une cirrhose [NDLR: l'étape suivant la fibrose grave], peut-être même avec un cancer du foie », dit-elle. Laurence Mersilian est aujourd'hui guérie. « J'ai été chanceuse, certes, mais j'ai perdu 20 ans de ma vie à être fatiguée... »

Ce drame est loin d'être unique. Au Canada, on estime que 240 000 individus sont infectés par l'hépatite C, nombre que plusieurs jugent conservateur. Autant – sinon plus – de gens seraient atteints de l'hépatite B. « Pourtant, on parle bien moins de ces infections que du VIH qui, selon les derniers estimés, touchent beaucoup moins de gens [NDLR: entre 71 000 et 72 000 Canadiens en 2011] », déplore Naglaa Shoukry, chercheuse au Centre de recherche du CHUM et directrice du Réseau national de collaboration sur l'hépatite C. Les hépatites virales sont considérées comme une véritable épidémie. Le Sud-Est asiatique vit une crise de l'hépatite B sans précédent. En Égypte, 20 % de la population est porteuse du virus de l'hépatite C. L'Organisation mondiale de la santé estime que, à l'échelle internationale, 240 millions de personnes souffrent de l'hépatite B; et 150 millions, de l'hépatite C. La majorité de ces gens ignorent tout de leur condition, car le dépistage systématique n'existe pas.

Autre maladie du foie à l'étendue insoupçonnée : la stéatose hépatique non alcoolique. C'est-à-dire l'accumulation de graisse dans le foie. En raison de l'épidémie galopante d'obésité, une personne sur trois ou quatre en serait atteinte dans les pays occidentaux – encore une fois, à son insu – ce qui en fait la maladie du foie la plus fréquente de toutes. La plupart des individus



Autre maladie du foie à l'étendue insoupçonnée: la stéatose hépatique non alcoolique. C'est-à-dire l'accumulation de graisse dans le foie. En raison de l'épidémie galopante d'obésité, une personne sur trois ou quatre en serait atteinte dans les pays occidentaux.

ayant un foie gras en resteront à ce stade, sans plus de complication. « Mais 30 % d'entre eux développeront une stéatohépatite, c'est-à-dire une stéatose avec de l'inflammation, qui peut se transformer en cirrhose, puis en cancer », affirme la docteure Giada Sebastiani, hépatologue et directrice du centre diagnostique pour les maladies du foie du Centre universitaire de santé McGill. Désormais, la moitié de sa clientèle est composée de patients présentant un foie gras et ce nombre est appelé à augmenter.

Le phénomène n'épargne pas les enfants. « À ma clinique, chaque semaine, je rencontre un ou deux nouveaux cas d'enfants avec un foie gras. J'ai même traité un garçon de 14 ans qui souffrait d'une cirrhose, chose exceptionnelle en pédiatrie », indique le docteur Alvarez que cette tendance inquiète beaucoup. « Si seulement 1 % des enfants atteints de stéatose simple deviennent, à l'âge adulte, des patients souffrant d'une stéatohépatite ou d'une cirrhose, vous multipliez par 10 les besoins de transplantations hépatiques », avance-t-il. Les spécialistes projettent que d'ici 2030, la stéatose hépatique deviendra la première cause de transplantation du foie, devant les hépatites et la maladie alcoolique du foie. Problème, il n'y a pas suffisamment de donneurs d'organes pour répondre à la demande. « Nous serons bientôt devant une situation impossible où il nous faudra davantage de foies sains, mais où il y aura de plus en plus de foies malades », craint Giada Sebastiani.

Déjà dramatique, le bilan des maladies du foie s'alourdit encore devant la hausse toujours inexplicée des hépatites auto-immunes, sans compter les répercussions des excès d'alcool sur le foie. Le nombre exact d'individus aux prises avec une maladie alcoolique du foie demeure inconnu, mais la progression de la consommation d'alcool laisse croire aux hépatologues qu'il y en a beaucoup plus qu'on le croit. Au Canada, en 2000, chaque personne buvait, en moyenne, 7,6 L d'alcool par année. Ce chiffre est passé à 8,2 L en 2010. « Chaque augmentation de 1 L de la

LE CELI FÉRIQUE. ZÉRO IMPÔT.* ET TOUS LES CONSEILS QU'IL VOUS FAUT.

Communiquez avec notre Service-conseil
pour mettre en place une stratégie
optimale pour vous.

514 788-6485 | 1 800 291-0337



FÉRIQUE: il y a du génie là-dedans!

ferique.com

* Certaines conditions s'appliquent. Les règles relatives au CELI doivent être respectées. Pour plus d'informations, veuillez communiquer avec l'équipe du Service-conseil de Services d'investissement FÉRIQUE. FÉRIQUE est une marque déposée de Gestion FÉRIQUE et est utilisée sous licence par sa filiale, Services d'investissement FÉRIQUE. Gestion FÉRIQUE est un gestionnaire de fonds d'investissement et assume la gestion des Fonds FÉRIQUE. Services d'investissement FÉRIQUE est un courtier en épargne collective et cabinet de planification financière et est le placeur principal des Fonds FÉRIQUE. Un placement dans un organisme de placement collectif peut donner lieu à des frais de courtage, des commissions de suivi, des frais de gestion et d'autres frais. Les ratios de frais de gestion varient d'une année à l'autre. Veuillez lire le prospectus avant d'effectuer un placement. Le taux de rendement sert uniquement à illustrer les effets du taux de croissance composé et ne vise pas à refléter les valeurs futures d'un Fonds ou le rendement d'un placement dans un Fonds. Les organismes de placement collectif ne sont pas garantis, leur valeur fluctue souvent et leur rendement passé n'est pas indicatif de leur rendement futur.

consommation par personne par année est associée à un accroissement de 16 % de la mortalité liée à la cirrhose chez les hommes, et de 12 % chez les femmes», souligne le rapport de la FCF. Faites le calcul...

« Le foie est attaqué de toutes parts. Le coût humain et social est terrible », déclare Eric Yoshida. En effet, entre 2005 et 2013, les décès causés par les maladies du foie ont bondi de près de 30 %. Trop de patients sont diagnostiqués sur le tard et souffrent atrocement. « Quand le foie va mal, le corps entier va vraiment mal. Ce n'est pas beau à voir », commente Marc Bilodeau. Les patients cirrhotiques ont la peau jaune et sont extrêmement maigres, à l'exception de leur ventre énorme, distendu par l'ascite, une accumulation de liquide dans l'abdomen. Leur foie est méconnaissable : ses lobes spongieux couleur marron sont à présent verts et durs comme de la roche. L'état mental de ces patients se détériore également, car, selon la théorie souvent avancée mais pas entièrement confirmée, leur foie n'arrive plus à se débarrasser de l'ammoniac qui, libéré dans le sang, se rend au cerveau et provoque un ralentissement de l'activité cérébrale. C'est l'encéphalopathie hépatique. Elle s'accompagne de symptômes troublants, mais réversibles si le foie est bien traité : agitation, dépression, irritabilité, changements de personnalité, désorientation, confusion, tremblements, paranoïa, etc.

Des cas aussi lourds, le docteur Bilodeau en voit de plus en plus. Il comprend mal qu'on s'intéresse si peu aux maladies du foie, malgré la gravité de la situation : « Ça reste des maladies laissées-pour-compte. J'oserai même dire honteuses. Le mot "hépatite" reste entaché d'une stigmatisation importante. » D'aucuns y associent spontanément l'usage de drogues injectables et les rapports sexuels non protégés – des causes de transmission connues, qui ne sont toutefois pas les seules. Par exemple, il est courant que les immigrants en provenance de pays où l'hépatite B est endémique aient été infectés par leur mère. « Parfois, c'est de la malchance : on peut contracter le virus de l'hépatite C en se faisant tatouer avec des instruments mal stérilisés, ou encore en utilisant le rasoir d'une personne infectée qui ignore elle-

Suite à la page 26

OLIVIER BERNARD ALIAS LE PHARMACIEN

LE MYTHE LA DÉTOX

On a fait ripaille pendant les fêtes, on se plaint d'avoir «le foie engorgé» ou «mal au foie». Branle-bas de combat: il faut se débarrasser des toxines accumulées, grâce à des produits naturels ou à des cures proposées sur le Web. Ah oui? Le pharmacien Olivier Bernard – alias le Pharmacien – blogueur à l'affût des affabulations à saveur médicale, nous remet en mémoire certaines notions de base d'anatomie et de physiologie.

Propos recueillis par Marie Lambert-Chan

Avons-nous raison de vouloir nettoyer notre foie?

A L'idée de « détoxifier » le foie vient d'une conception erronée de sa fonction. Les gens perçoivent cet organe comme le filtre d'une piscine qui retient tous les déchets. Or, qu'est-ce qu'on fait si on veut que la piscine reste propre? On nettoie le filtre! L'ennui, c'est que le foie ne fonctionne pas tout à fait de cette manière. Son rôle ne consiste pas tant à retenir les déchets qu'à transformer des molécules en vue de les éliminer.

Pourtant, sur les emballages de produits naturels, on peut lire toutes sortes d'allégations comme « nettoie le foie », « soutient la fonction hépatique », « soulage le foie engorgé ».

La réglementation pour les produits naturels est tellement permissive que les compagnies peuvent affirmer ce qu'elles veulent sur les emballages. Parmi les allégations que vous mentionnez, la seule qui soit acceptable d'un point de vue scientifique est le soutien de la fonction hépatique. Cependant, qu'est-ce que cela signifie dans ce cas? Votre fonction hépatique a-t-elle besoin d'être soutenue? Si oui, de quelle façon? Ce genre d'affirmation peut être attrayante pour des consommateurs, mais elle ne veut malheureusement rien dire.

Quel est l'effet réel des plantes médicinales généralement recommandées pour le foie?

La plupart des herbes médicinales proposées pour supposément soutenir la fonction hépatique, comme le chardon-Marie et l'artichaut, stimulent la production de bile. C'est rarement efficace, excepté chez une personne ayant une production biliaire insuffisante qui lui cause des problèmes de digestion. Mais à ce moment-là, il est question de digestion et non de fonction hépatique. Dans certains cas, ces plantes peuvent même causer du tort. Par exemple, chez un individu aux prises avec des calculs biliaires, stimuler la production de bile risque d'entraîner une surcharge de la vésicule déjà malmenée. Quant aux gens atteints de maladies chroniques du foie, je leur conseille

DE



fermement de s'abstenir de consommer ces plantes parce qu'on ignore les effets qu'elles pourraient provoquer chez eux.

Les jus verts sont-ils meilleurs?

Si vous mettez des fruits et des légumes dans un extracteur à jus, vous obtiendrez essentiellement un concentré d'eau sucrée avec des minéraux et des vitamines, sans protéine ni fibre. C'est mieux qu'un jus commercial dans la mesure où on n'y trouve pas de sucre ajouté. Mais en pratique, cela n'aide pas le foie; il s'agit ici de la digestion. C'est sûr qu'une personne qui fait une cure de jus verts après avoir trop mangé se sentira moins ballonnée.

Qu'en est-il des aliments amers, le citron en particulier? Ses vertus curatives pour le foie sont vantées sur le Web.

On a affaire ici à un mélange de croyances. Des idées erronées sont véhiculées au sujet des répercussions de taux d'acidité élevés dans le corps. Par exemple, certains prétendent que l'arthrite est causée par un trop-plein d'acidité, ce qui est faux. Néanmoins, des produits tablent sur cette croyance et prétendent combattre l'acidité. Dans ce discours, le citron est évoqué comme un aliment alcalinisant qui provoque des réactions chimiques et désacidifie le corps. Mais ce n'est pas vrai du tout. Que boire de l'eau citronnée puisse avoir un effet quelconque sur l'acidité globale de l'organisme, c'est impensable. Le corps est une machine d'homéostasie, c'est-à-dire qui vise à rester en équilibre. Le pH des liquides corporels est régulé par les reins et les poumons. Si quelqu'un mange des aliments plus acides, aussitôt ces organes s'ajustent pour éliminer l'acidité en trop. Et le foie? Je ne vois pas trop ce qu'il vient faire ici.

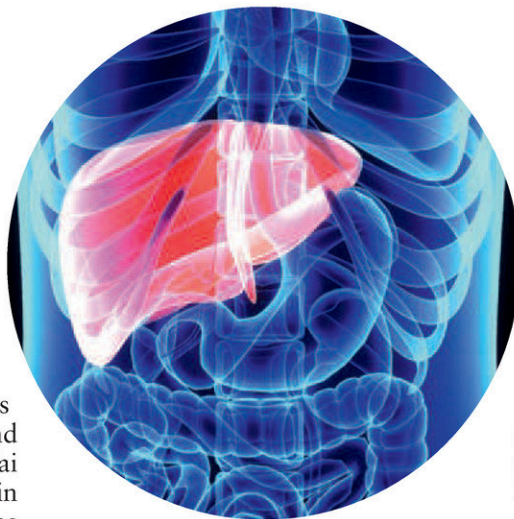
Que dire de «l'expulsion hépatique», une méthode consistant à boire une grande quantité d'huile d'olive mélangée à des sels d'Epsom?

Je n'avais jamais entendu cette expression auparavant. Par contre, n'essayez pas ça à la maison! Boire de l'huile est dangereux en raison des risques d'aspiration. Si par malheur une personne s'étouffe en avalant de l'huile, le liquide restera prisonnier de ses bronches et de ses poumons, et une mort rapide peut s'ensuivre. C'est d'ailleurs pour cela qu'on ne recommande plus l'huile minérale comme laxatif.

Alors, détoxifier le foie, c'est inutile?

Tout à fait. ☒





Suite de la page 24

même sa condition », rappelle Naglaa Shoukry.

Les préjugés à l'égard des maladies du foie ne datent pas d'hier. « Quand j'étais résident, dans les années 1980, j'ai vu des collègues manifester du dédain pour les maladies hépatiques, comme cette docteure qui a balayé un cas du revers de la main simplement parce que le patient concerné était alcoolique », se remémore Marc Bilodeau. Il faut dire que, à l'époque, il y avait très peu à faire pour ces patients, car l'hépatologie n'était guère avancée. « Depuis, se réjouit le médecin, on a connu une révolution diagnostique et thérapeutique. On a identifié le virus de l'hépatite C et les gènes de maladies hépatiques héréditaires comme la maladie de Wilson [NDLR: liée à une accumulation de cuivre dans l'organisme] et l'hémochromatose [NDLR: due à une surcharge de fer dans l'organisme]. On a grandement amélioré la transplantation du foie. Au début de ma carrière, les gens subissaient une soixantaine de transfusions sanguines au cours d'une greffe, une procédure extrêmement lourde. On a vu apparaître le vaccin contre l'hépatite B et des traitements efficaces pour les hépatites B et C. Le chemin parcouru est extraordinaire! »

Le foie et ses maladies auraient cependant besoin d'une seconde révolution, autant scientifique qu'économique. De grandes lacunes persistent. Le monde attend impatientement un vaccin contre l'hépatite C qui ne verra sans doute pas le jour avant nombre d'années. Plusieurs demandent davantage de tests de dépistage de l'hépatite C (aux États-Unis, les centres pour le contrôle et la prévention des maladies ont même recommandé que tous les individus nés entre 1945 et 1965 soient testés). Des médecins spécialistes réclament davantage de ressources. « Pour le cancer du foie, on n'est même pas capable d'avoir une infirmière pivot pour assurer, en cours de traitement, l'accès des malades aux ressources spécialisées. À un moment

DES PERCÉES PROMETTEUSES

Les propriétés uniques du foie offrent un monde de possibilités aux chercheurs de la planète, notamment à ceux qui travaillent en immunologie.

« Quand on greffe un foie à un patient, on doit lui administrer des immunosuppresseurs qui affaiblissent son système immunitaire afin que ce dernier ne rejette pas l'organe. La dose d'immunosuppresseurs est moins importante que dans les cas de transplantation de cœur, de poumons ou de reins, car le foie est en lui-même un régulateur du système immunitaire », explique le docteur Simon Turcotte, chirurgien hépatobiliaire et chercheur en cancérologie sur les cancers hépatobiliaires et pancréatiques au CHUM.

Des scientifiques ont d'ailleurs mis au point des médicaments immunomodulateurs, qui stimulent cette propriété du foie, de sorte que l'administration d'immunosuppresseurs aux patients greffés ne serait plus nécessaire, permettant de réduire le nombre de décès causés par des complications liées aux immunosuppresseurs. Les immunomodulateurs sont toutefois au stade des études précliniques et ne seront pas mis en marché avant plusieurs années.


Il existe également des immunomodulateurs, appelés Immune Checkpoint Inhibitors, qui aident à combattre le cancer du foie. Ceux-là sont rendus à l'étape des essais cliniques. « Les taux de réponse des patients sont plus significatifs que ce qui a été observé jusqu'ici avec les chimiothérapies traditionnelles et les thérapies ciblées, signale le docteur Turcotte. On ne peut pas encore parler de guérison, mais cette solution offre plus d'espoir aux patients. »

Des scientifiques cherchent de leur côté à générer un nouveau foie à partir de cellules souches. S'ils ont réussi à reproduire en laboratoire des hépatocytes – des cellules du foie –, ils ont encore fort à faire pour en arriver à un foie entier. « Il faut mettre au point l'architecture de soutien du foie à laquelle pourront s'accrocher ces hépatocytes, explique Simon Turcotte. Or, le foie est un organe complexe, traversé par des vaisseaux. On attend donc toujours une percée dans ce domaine. »

donné, on va échapper des patients », craint Marc Bilodeau.

Un grand travail de sensibilisation doit également être entrepris pour défaire les mythes entourant les hépatites. Il faut aussi combattre l'apologie de la consommation d'alcool dans les médias, de même qu'il faut contrer la consommation de la malbouffe, car les saines habitudes de vie demeurent les seules mesures valables pour prévenir et freiner la maladie alcoolique du foie et le foie gras. « L'industrie agroalimentaire s'en met plein les poches au détriment de la santé de nos enfants, en les séduisant à coups de publicités de mets gras et sucrés. En tant que pédiatre, ça me fait mal au cœur », dénonce avec dépit Fernando Alvarez.

Et puis il y a l'argent, le nerf de la guerre. Encore une fois, le foie fait figure de parent pauvre. Entre 1990 et 2013, les instituts de recherche en santé du Canada ont accordé 11 millions de dollars à l'hépatite B, 93 millions de dollars à l'hépatite C et 518 millions de dollars au VIH. Du côté des médicaments, les prix demeurent prohibitifs : les nouveaux médicaments sans interféron contre l'hépatite C – qui ne provoquent pas les effets secondaires éprouvants des générations précédentes de traitements – coûtent entre 55 000 \$ et 60 000 \$ par patient. Le gouvernement du Québec a d'ailleurs choisi de ne rembourser que les plus malades, car la facture serait astronomique pour la Régie de l'assurance maladie du Québec si elle acceptait tous les patients.

La bataille s'annonce rude. Tant pis. Car si un organe mérite qu'on le défende, c'est bien le foie. « Vous savez, c'est un organe noble qui ne demande pas grand-chose, mais qui, au bout du compte, paie les conséquences de notre indifférence », observe le docteur Fernando Alvarez. N'est-il pas temps de lui dire merci? 

Suite du dossier à la page 27



LA RECHERCHE DANS LE RÉSEAU DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

L'ANNÉE-LUMIÈRE

Mises à l'honneur en 2015 par les Nations unies, les technologies de la lumière bouleversent le monde de la recherche. Et le Québec n'est pas en reste.

Cette image lumineuse est un sujet d'expérimentation pour Philippe Boissonnet, professeur d'arts visuels et médiatiques à l'Université du Québec à Trois-Rivières. Nous voyons ici le détail d'un hologramme intitulé *La conscience des limites: galileo.*

QU'EST-CE QUE LA LUMIÈRE ?

À la fois onde et particule, la lumière a donné du fil à retordre aux physiciens depuis l'Antiquité.

Ce dossier est inséré dans le numéro de décembre 2015 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
Sébastien Charles, UQTR
Stéphane Allaire, UQAC
Frédéric Deschenaux, UQAR
André Manseau, UQO
Josée Charest, INRS
Josée Gauthier, ENAP
Sylvain G. Cloutier, ÉTS
Éric Lamiot, TÉLUQ
Céline Poncelin de Raucourt, UQ
Valérie Reuillard, UQ
David H. Mercier, UQ
Raymond Lemieux, *Québec Science*

Coordination:

Raymond Lemieux
et Valérie Reuillard

Rédaction:

Marine Corniou

Graphisme:

Maxime Girard

Révision: Hélène Matteau

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.

Elle a permis l'essor de la vie sur Terre et symbolise le divin dans toutes les religions. Elle rythme notre quotidien. Elle est un outil privilégié pour les ingénieurs et a toujours fasciné les physiciens. La lumière a amené quantité de découvertes scientifiques. Mise à l'honneur par les Nations unies, qui ont déclaré 2015 l'Année internationale de la lumière et des technologies fondées sur la lumière, elle est, au plan scientifique, l'un des phénomènes les plus complexes et mystérieux à saisir.

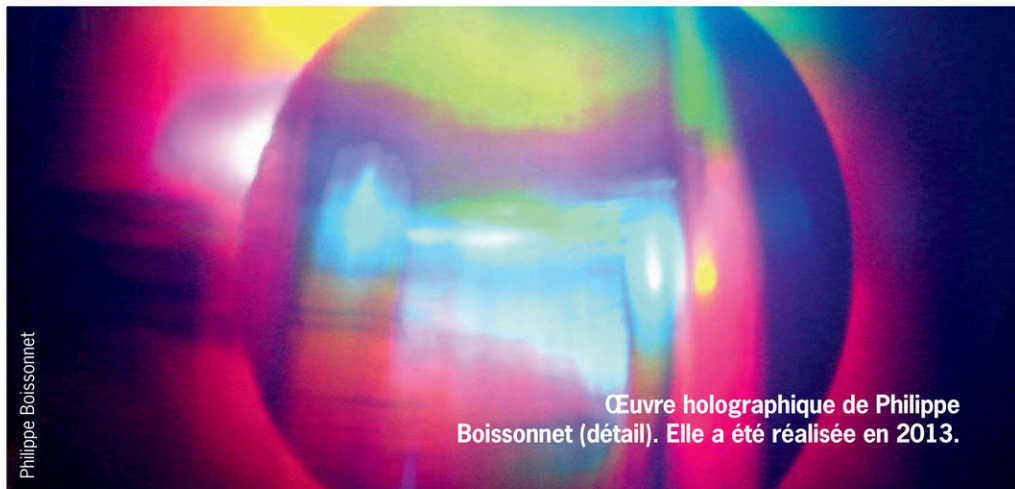
« Les scientifiques se sont interrogés très tôt sur la nature de la lumière. On a longtemps cru que c'était l'œil qui l'émettait et éclairait les objets », rappelle **Yves Gingras**, professeur d'histoire et de sociologie des sciences à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). C'est aux alentours de l'an 1000 que le scientifique arabe Ibn al-Haytham met à mal cette théorie et démontre que l'œil est un instrument d'optique et non pas un générateur de lumière.

Cela dit, la « géométrie » de la lumière, elle, est comprise très tôt. « Dès l'Antiquité, notamment grâce à Ptolémée, on décrit les lois de la réflexion de la lumière sur les miroirs, par exemple », poursuit l'historien. Ibn al-Haytham reprend aussi les travaux de Ptolémée et les complète, étudiant la réfraction, c'est-à-dire la déviation d'un rayon lumineux lorsqu'il passe d'un milieu à un autre; par exemple de l'air à l'eau. Le savant est aussi l'un des premiers à soupçonner que la vitesse de la lumière est finie. Celle-ci ne sera évaluée précisément qu'en 1676 par l'astronome danois Ole Römer.

Mais l'histoire de la lumière ne s'est pas arrêtée là. Elle continue même à être un sujet de science et de technologie largement étudié, notamment en ce qui concerne la mise au point et l'utilisation de lasers. Et le dossier que nous vous proposons ici vous permettra d'entrer de plain-pied dans la recherche de pointe en ce qui concerne notre futur lumineux. ■

Un dossier réalisé par Marine Corniou

SOMMAIRE



Philippe Boissonnet

Œuvre holographique de Philippe Boissonnet (détail). Elle a été réalisée en 2013.

Une énigme très ancienne III

Il y a 3,8 milliards d'années, la Grande Oxydation
Et la lumière fut
Une brève histoire de la lumière

L'invention du siècle ? VI

La lumière mise en boîte
Les lasers pour « voir » la matière
En mode accéléré

Un spectre d'innovations XI

La photonique contre les micro-embouteillages
L'âge des cristaux
La vie en vraies couleurs
La signature de l'eau
Éclairer le futur



Labo lux

UNE ÉNIGME TRÈS ANCIENNE



Jeremy Burgess/SPL

IL Y A 3,8 MILLIARDS D'ANNÉES **LA GRANDE OXYDATION**

Si l'on ne sait pas exactement comment la vie est apparue sur Terre, une chose est sûre, c'est le « domptage » de la lumière qui a permis aux organismes primitifs de conquérir la planète et de rendre l'atmosphère respirable.

La Terre, jadis, était peu propice à la vie. «La couche d'ozone n'existait pas et les premières bactéries devaient donc résister aux ultraviolets qui bombardaient la Terre», explique **Philippe Juneau**, professeur au département des sciences biologiques de l'UQAM.

Quant au taux d'oxygène dans l'atmosphère, il équivalait alors à 0,001% du taux actuel. La planète bleue est irrespirable! Un peu plus de 1 milliard d'années plus tard, pourtant, tout change. C'est la «Grande Oxydation» qui correspond à une augmentation brutale de la concentration d'oxygène dans l'air.

Que s'est-il passé? Cette bouffée d'oxygène, c'est majoritairement aux cyanobactéries qu'on la doit. «Ce sont les bactéries qu'on appelle à tort des algues bleu vert. Elles font partie des premiers organismes apparus sur Terre», précise le biologiste.

Leur coup de génie, c'est d'avoir «inventé» la photosynthèse, cette capacité à exploiter la lumière du soleil pour produire de l'énergie en libérant de l'oxygène. Une innovation qui permettra à la vie de quitter les fonds océaniques et de conquérir progressivement toute la planète. Car sous l'effet du rayonnement UV, l'apparition d'oxygène a permis

l'accumulation d'ozone dans les couches supérieures de l'atmosphère, créant ainsi un milieu plus clément et permettant l'émergence de formes de vie plus complexes.

Aujourd'hui encore, la photosynthèse est à la base de la chaîne du vivant, permettant la prolifération du phytoplancton. C'est le seul mécanisme capable d'assurer le renouvellement constant de l'oxygène.

«La photosynthèse est le cœur de la vie sur Terre, reprend le chercheur. Il y a plusieurs hypothèses quant à la date d'apparition des premières réactions photosynthétiques, mais nous savons que c'est survenu très tôt dans l'histoire de notre planète.»

En se nourrissant de lumière pour créer de la matière carbonée, les premières cyanobactéries ont ouvert la voie de la photosynthèse

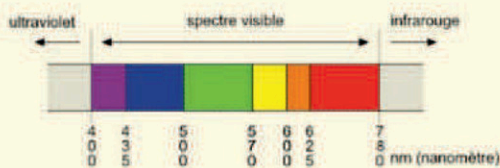
à tous les végétaux, apparus des millions d'années plus tard. En effet, les chloroplastes, ces petits organites qui réalisent la photosynthèse chez les plantes, sont très probablement issus d'une cyanobactérie «absorbée» par une autre cellule – un phénomène appelé endosymbiose.

Ces bactéries ancestrales n'ont pas disparu. Elles constituent la majorité du phytoplancton, et

C'est en se nourrissant de lumière pour créer la matière carbonée que les premières cyanobactéries ont ouvert la voie de la photosynthèse à tous les végétaux.

LE SPECTRE DE LUMIÈRE

La lumière visible par l'œil humain est composée de l'ensemble des ondes dont la longueur est comprise entre 380 nanomètres (nm) et 780 nm (un nanomètre est égal à un milliardième de millimètre). Dans cet intervalle appelé spectre, chaque longueur d'onde correspond à une couleur. Le spectre visible n'est qu'un fragment du spectre électromagnétique; les autres longueurs d'onde correspondent à celles que l'on ne voit pas, soit le rayonnement UV, les micro-ondes, les rayons X, etc. Cependant, on parle souvent de « lumière » infrarouge ou ultraviolette. ■



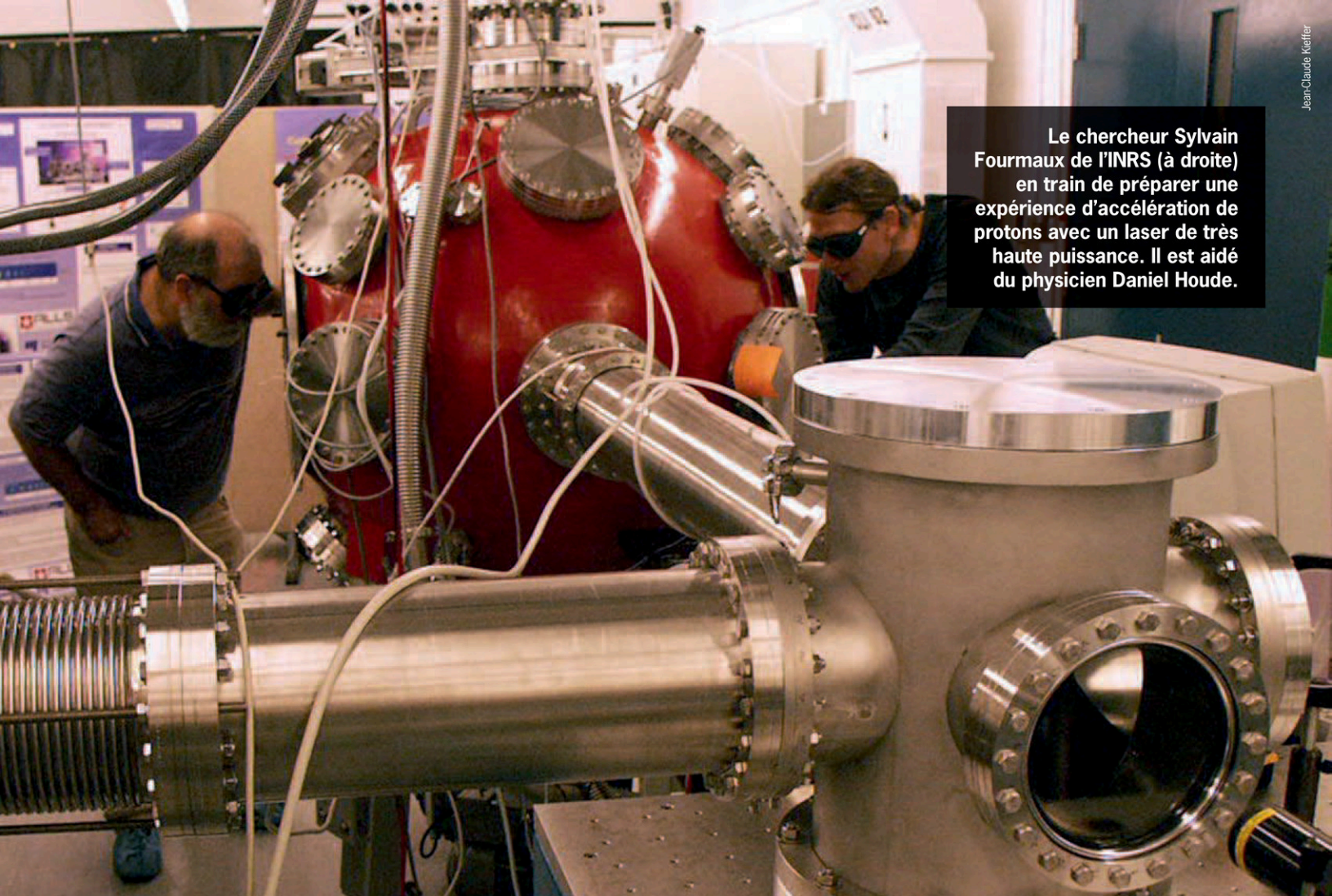
on les trouve absolument partout sur le globe, que ce soit dans l'eau douce ou salée, dans la glace ou les déserts, dans les eaux thermales brûlantes ou même sur les rochers, où elles vivent en symbiose avec un champignon pour former du lichen. À quoi doivent-elles leur succès? «Elles possèdent des pigments qui leur permettent d'exploiter la majeure partie du spectre de la lumière», précise Philippe Juneau, spécialiste de ces micro-organismes. Il faut savoir que, afin de capter la lumière, les organismes photosynthétiques font appel à plusieurs pigments, le plus connu et le plus abondant étant la chlorophylle. Au contact des photons, les électrons de ces pigments s'excitent – sont «énergisés» – et sont transférés de molécules en molécules. Grâce à ces réactions en chaîne, les cellules parviennent à produire de l'énergie chimique

à partir d'eau; cela leur permet, dans un second temps, de fabriquer des glucides à partir du dioxyde de carbone de l'air.

Pour exploiter au mieux la matière première lumineuse, les pigments doivent pouvoir capter le plus de longueurs d'onde possible – c'est-à-dire, le plus de couleurs du spectre possible. La chlorophylle, à elle seule, est loin du compte. «Elle n'absorbe pas dans le vert, c'est pourquoi les plantes apparaissent vertes. D'autres pigments, les caroténoïdes, sont aussi omniprésents chez les plantes, mais les cyanobactéries possèdent en plus des phycocyanines et des phycoérythrine qui absorbent la lumière là où la chlorophylle n'est pas efficace», ajoute Philippe Juneau. Résultat, elles profitent au maximum des photons du soleil. Certaines études ont même démontré que les cyanobactéries pouvaient changer leur pigmen-

ET LA LUMIÈRE FUT...

De légendes en croyances, de contes en mythologies, les peuples du monde entier ont imaginé toutes sortes d'histoires pour expliquer la naissance du Soleil ou celle de la lumière, souvent perçus comme des incarnations du divin. Mais la lumière et ses origines fascinent aussi les cosmologistes. Il faut dire qu'il est encore possible d'observer, aujourd'hui, la première lueur de l'Univers, émise 380 000 ans après le big-bang. Petit retour en arrière. Juste après sa naissance, l'Univers ressemble à une soupe extrêmement dense et chaude de particules (de noyaux d'hydrogène et d'électrons), totalement opaque. Avec l'inflation, c'est-à-dire l'expansion brutale du cosmos, cette purée de pois se dilate et se refroidit, jusqu'à atteindre 2 700 °C au bout de 380 000 ans. C'est à cette température que les atomes commencent à se former, libérant d'un coup les photons jusqu'ici englués dans la « soupe ». Le cosmos devient soudainement transparent; la lumière fuse. Ce « flash » originel nous parvient, encore aujourd'hui, après un long voyage de 13,8 milliards d'années. Cette « lumière » arrive en fait sous forme d'émission très faible, dans le domaine de longueur d'onde des micro-ondes (entre l'infrarouge et les ondes radio). Elle est décelable par certains télescopes.



Le chercheur Sylvain Fourmaux de l'INRS (à droite) en train de préparer une expérience d'accélération de protons avec un laser de très haute puissance. Il est aidé du physicien Daniel Houde.

« Ces lasers permettent de voir les réactions chimiques se produire en temps réel, car toutes les réactions à l'échelle de l'atome ou des molécules se produisent sur des échelles de temps extrêmement brèves », précise le chercheur. Tel un stroboscope, le laser femtoseconde bombarde donc la matière vivante pour prendre des clichés instantanés des molécules.

« Actuellement, le laser "tire" environ 10 coups par seconde, mais la prochaine génération pourrait aller jusqu'à 1 000 coups par seconde. Le but est de visualiser de façon dynamique les molécules complexes, comme la myoglobine. Cette enzyme change de configuration pour transporter et relâcher l'oxygène au niveau des muscles, en une fraction de seconde. En la martelant avec un laser, on peut induire ce changement de structure et le visualiser », ajoute-t-il. Il devient donc possible de suivre les mouvements des atomes qui se séparent ou se rapprochent au sein d'une molécule, et même de détecter les transferts d'électrons entre atomes.

En 2014, l'équipe du professeur **François Légaré** a ainsi réussi à faire un « film moléculaire » révélant la transformation d'une molécule naturelle,

l'acétylène, en vinylidène, une molécule présente dans le plastique. « Nous avons réussi à suivre le déplacement d'un proton, qui saute d'un côté à l'autre de la molécule lors de ce réarrangement. Obtenir des images dynamiques des systèmes chimiques, c'est l'avenir de l'imagerie », explique François Légaré dont l'exploit a été publié dans la revue *Nature Communications* et s'avère prometteur pour la recherche en chimie, biologie ou pharmacologie.

Et ce n'est pas tout ! Les lasers peuvent aussi constituer des sources de rayonnement utiles en imagerie médicale. « Lorsqu'on fait interagir le laser avec un solide, on peut focaliser l'énergie sur une toute petite surface, de quelques micromètres carrés, ce qui fait chauffer la matière et entraîne l'émission de rayons X », reprend Jean-Claude Kieffer. Ces sources de rayons X sont 50 à 100 fois plus faibles que les sources conventionnelles utilisées en médecine : « Cela nous permet d'avoir des images à très haut contraste et de bien meilleure résolution, poursuit-il. Ces sources pourraient être utilisées en médecine d'ici trois ans, et elles pourraient constituer des outils puissants pour la détection de tumeurs précoces. » ■



Jean-Claude Kieffer,
professeur au Centre
Énergie Matériaux

tation en quelques jours lorsqu'on les expose à une lumière d'une certaine longueur d'onde, histoire de capter plus efficacement cette couleur dominante.

«En laboratoire, les cyanobactéries sont utilisées comme des organismes modèles pour étudier la photosynthèse», indique le biologiste. Hélas, les «algues bleu vert» ont aujourd'hui mauvaise presse. Avec leur forte capacité d'adaptation, elles ont une fâcheuse tendance à envahir les lacs, libérant des substances toxiques. «Le problème, aujourd'hui, ce sont les variations dans l'état de notre environnement qui engendrent dans certains

cas un déséquilibre entre les algues et les cyanobactéries, et favorisent leur prolifération», déplore Philippe Juneau, qui étudie le phénomène. Ce qui ne devrait pas nous faire oublier les fiers services qu'elles ont rendus au monde du vivant. ■

UNE BRÈVE HISTOIRE DE LA LUMIÈRE EN TROIS TEMPS

Newton. Au XVII^e siècle, Isaac Newton franchit une étape majeure en décomposant, à l'aide d'un prisme, le spectre de la lumière blanche et en démontrant qu'il est composé de plusieurs couleurs. Le physicien théorise aussi sur la nature de la lumière. Pour lui, chaque couleur correspond à des «corpuscules» se déplaçant à des vitesses différentes.

Huygens. À peu près au même moment, le physicien hollandais Christiaan Huygens décrit au contraire la lumière comme une onde, similaire à celles que l'on peut observer à la surface de l'eau. C'est la théorie qui va dominer jusqu'au XX^e siècle.

Einstein. Le conflit sur la nature corpusculaire ou ondulatoire de la lumière va durer jusqu'à ce que les travaux de physique d'Albert Einstein, en 1909, permettent de trancher. «Pour expliquer l'effet "photoélectrique" [NDLR: correspondant à l'émission d'électrons observée lorsque de la lumière UV frappe une surface métallique], Einstein conclut que la lumière est à la fois un faisceau de particules et une onde. C'est ce qu'on appelle la dualité onde-corpuscule. Il qualifie lui-même ses travaux de révolutionnaires», note l'historien Yves Gingras.

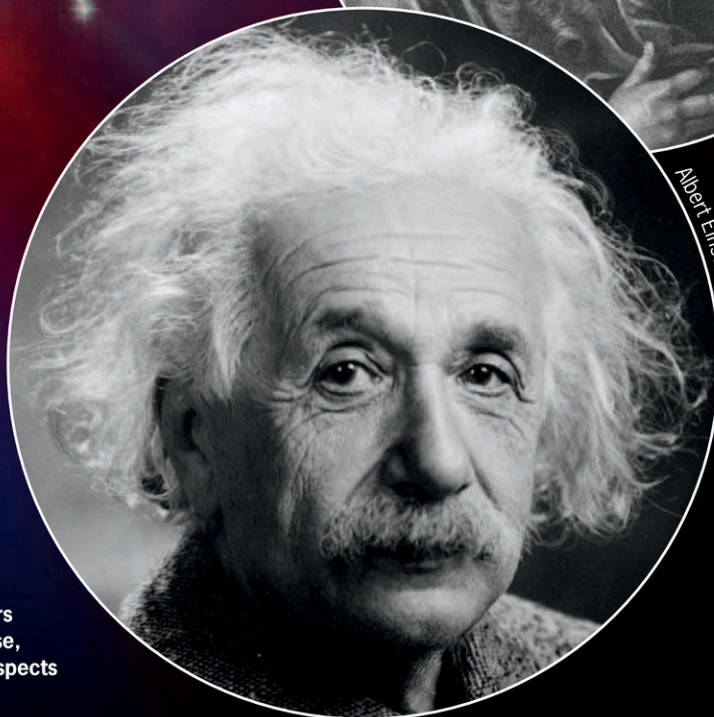
Avouons que le concept est encore difficile à saisir. La lumière se comporte tantôt comme une onde électromagnétique, tantôt comme un flux de particules (les photons). D'ailleurs, en mars dernier, des chercheurs de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse, ont réussi à «photographier» simultanément les deux aspects de la lumière, en utilisant un flux d'électrons.



Isaac Newton



Christiaan Huygens



Albert Einstein

L'INVENTION DU SIÈCLE ?



LA LUMIÈRE MISE EN BOÎTE

Les lasers sont partout : dans l'industrie, dans la vie quotidienne et dans les laboratoires de recherche. Mais il a fallu des décennies avant que les scientifiques parviennent ainsi à domestiquer la lumière.

Les équipements de système laser nécessitent des ajustements minutieux comme le fait ici le technicien François Poitras de l'INRS à Varennes.

Quand le physicien états-unien Theodore Maiman met au point le premier laser en 1960, la communauté scientifique est loin de se douter qu'une révolution est en marche. La découverte intrigue, mais elle est qualifiée de « solution dont on cherche encore le problème »... Aujourd'hui, les lasers sont partout. Ils permettent de générer et de stocker de l'information (fibres optiques, CD, etc.), de pratiquer des interventions chirurgicales, de découper des matériaux, de décaper des bâtiments, d'analyser la matière, de faire de la microscopie ou de l'astronomie, ou encore de guider des missiles. « Je ne fais plus vraiment le compte, mais au-delà de 50 prix Nobel, que ce soit en chimie, en physique ou en médecine, sont liés à l'utilisation des lasers », aime à rappeler **Sylvain Cloutier**, professeur au département de génie électrique de l'École de technologie supérieure (ÉTS).

Il faut dire que la lumière émise par les lasers n'a rien de banal. Elle est même radicalement différente de la lumière naturelle. Alors que cette dernière est constituée d'ondes qui se déplacent dans toutes les directions, le faisceau laser, lui, est très directionnel et se propage sans diverger, ou très peu. Alors que la lumière du jour est composée de toutes les couleurs (ou longueurs d'onde) de l'arc-en-ciel, la lumière laser est soit faite d'une seule longueur d'onde,

lorsque le rayonnement est continu – comme dans les pointeurs laser –, ou de plusieurs longueurs d'onde très proches les unes des autres, lorsque le laser émet plutôt des flashes de lumière (impulsions) de durée définie. Enfin, dans la lumière « classique »,

On est aujourd'hui capable de générer des impulsions laser ultracourtes, de moins de 1 milliardième de seconde.

les différentes ondes sont chaotiques et indépendantes les unes des autres. « Dans un flash laser, les différentes ondes sont « en phase ». On force toutes les ondes à se déplacer dans la même direction pour qu'elles puissent communiquer (interférer) ensemble et créer ce qu'on appelle l'impulsion », explique **François Légaré**,

spécialiste des lasers au Centre Énergie Matériaux Télécommunications de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) à Varennes.

Pour domestiquer ainsi la lumière, il a fallu des décennies de travail théorique, initié par Einstein en 1905. Derrière le mot « laser » se cache d'ailleurs un acronyme complexe, issu de la langue anglaise, signifiant « amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement ». Comme son nom l'indique – de façon assez obscure, convenons-en ! – le laser consiste donc à amplifier la lumière et à l'ordonner. Il se compose d'un milieu amplificateur (il peut s'agir d'un gaz, d'un liquide ou d'un solide), d'une cavité composée de deux miroirs qui « emprisonne » la lumière et d'une source externe d'énergie pour exciter le milieu amplificateur.

Pour comprendre, un rappel s'impose : lorsqu'un atome reçoit un photon, il l'absorbe et atteint un niveau d'énergie supérieur. On dit qu'il est excité, c'est un état qui ne dure pas. En repassant à un niveau plus bas d'énergie, il émet à nouveau un photon, dans une direction aléatoire. Cependant, Albert Einstein a découvert que, lorsqu'un atome déjà excité reçoit un photon, il en émet deux dans la même direction, c'est l'émission stimulée. Ce qui permet d'obtenir une lumière homogène (on dit « cohérente »).

Dans le laser, en excitant le milieu amplificateur (ce qu'on appelle le « pompage optique », à l'aide de décharges électriques ou d'un autre laser), on transmet donc de l'énergie aux atomes pour les faire passer dans un état excité. Les atomes émettent alors un photon chacun, lequel rencontre un autre atome qui va l'absorber, et qui va émettre deux photons de façon « stimulée », et ainsi de suite. L'effet de cascade permet d'amplifier rapidement le rayonnement, d'autant que les photons rebondissent sur les miroirs de la cavité laser et traversent plusieurs fois le milieu actif. Finalement, l'un des miroirs partiellement réfléchissants laisse s'échapper de la lumière : c'est le faisceau laser.

Si le premier laser a fonctionné avec un cristal de rubis, l'arsenal optique des chercheurs s'est beaucoup diversifié depuis. Et on est aujourd'hui capable de générer des impulsions laser ultracourtes, de moins de 1 millionième de milliardième de seconde. François Légaré, qui est directeur du Laboratoire de sources femtosecondes (LSF) de l'INRS, s'intéresse justement à ces outils. « Ce sont les lasers basés sur des cristaux de titane-saphir comme milieu amplificateur qui sont les plus utilisés pour cela, mais ils ont leurs limites. En les faisant interagir avec un gaz, on peut par contre convertir leur longueur d'onde vers une longueur d'onde plus



Christian Fleury

François Légaré, directeur du Laboratoire de sources femtosecondes de l'INRS, vient de recevoir la prestigieuse médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes.

courte, ce qui permet de générer des impulsions attosecondes (10^{-18} seconde, soit 1 milliardième de milliardième de seconde) plutôt que femtosecondes (10^{-15} seconde)», explique le spécialiste.

Le but? « Observer les dynamiques d'électrons, qui sont des éléments de base des atomes, et qui, lorsqu'ils sont échangés entre différents atomes, permettent de créer des liaisons chimiques, donc des molécules », dit-il. Par exemple, les atomes dans une molécule vibrent à l'échelle de la femtoseconde, et un électron fait le tour d'un atome d'hydrogène en 152 attosecondes. « Quand on veut photographier une Formule 1 qui met une minute à faire le tour du circuit, il faut un appareil photo rapide. C'est pareil pour les électrons : il faut faire des flashes de lumière plus courts que 152 attosecondes! » ajoute le scientifique qui vient de recevoir la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes pour sa contribution dans le domaine de l'imagerie... ultrarapide. ■

L'AVÈNEMENT DES TÉRAHERTZ

Situées entre les domaines micro-onde et infrarouge (entre 0,1 térahertz (THz) et 15 THz), les ondes térahertz sont longtemps restées une portion inexplorée du spectre électromagnétique, parce qu'il était difficile de les détecter et de les produire. « Les impulsions lasers ultracourtes permettent maintenant de les générer et de les détecter », explique **François Blanchard**, chercheur à l'ÉTS qui travaille étroitement avec l'université de Kyoto, au Japon, où il a terminé un postdoctorat sur la microscopie des térahertz. « Les techniques de laser associées à ces ondes sont particulières. Elles permettent de mesurer l'amplitude et la phase de l'onde, comme pour l'électricité. Et depuis 10 ans, la recherche dans le domaine explose! »

L'intérêt? Les applications sont nombreuses, car ces rayons passent à travers plusieurs matériaux opaques, comme le plastique, le papier, le bois ou les vêtements. « Mais elles sont moins énergétiques et donc en principe moins dangereuses que les rayons X, poursuit-il. Ces ondes sont fortement absorbées par l'eau. Elles ont donc un grand intérêt en médecine pour, par exemple, visualiser les cellules cancéreuses de la peau, puisque ces dernières n'absorbent pas les ondes de la même manière que les cellules saines. »

Jusqu'ici, les térahertz ont surtout été utilisées dans le domaine de la sécurité des transports. De nombreux voyageurs s'y sont déjà exposés dans les aéroports, en passant dans les « scanners corporels » qui permettent littéralement de voir à travers les vêtements. Il faut dire que les photons térahertz permettent de caractériser finement, sans contact, les composants d'une substance solide, liquide ou même gazeuse. C'est ce qu'on appelle la spectroscopie térahertz. D'où l'idée de les utiliser pour repérer des explosifs, comme le RDX (ou cyclotriméthylènetrinitramine) qui pourrait être caché sous les vêtements ou dans des paquets. « Avec ces ondes, on peut même détecter la présence d'objets métalliques dans le chocolat. On pourrait aller jusqu'à déterminer son taux de sucre », précise François Blanchard.

Du côté de la recherche, les ondes térahertz permettent de sonder la matière et d'évaluer la conductivité des matériaux de pointe comme le graphène et la pérovskite, qui serviront pour le stockage et la conversion plus efficace de l'énergie solaire. « Elles constituent un outil fantastique pour le développement et la caractérisation des matériaux », note le chercheur.

LES LASERS POUR «VOIR» LA MATIÈRE

La lumière sait faire parler les matériaux, et peut révéler leurs propriétés cachées. L'interaction «laser-matière» est au centre de nombreux domaines de recherche.

On les trouve dans les lecteurs de code-barres ou de DVD, dans l'industrie pour la découpe métallique ou l'impression 3D, dans les photocopieuses ou les imprimantes, ou encore au bloc opératoire d'un hôpital. Les lasers sont partout. Y compris, bien sûr, dans les laboratoires, où ils constituent un outil précieux pour étudier les matériaux ou les tissus vivants. «Comme le laser focalise énormément d'énergie sur une petite surface, il peut faire vibrer les matériaux, les exciter. De notre côté, en regardant comment le matériau réagit, on peut obtenir des informations précises sur ses propriétés fondamentales et électroniques», explique **Sylvain Cloutier**, professeur au département de génie électrique de l'ÉTS.

L'étude des interactions laser-matière est désormais au cœur de l'innovation, dans tous les domaines, qu'il s'agisse de l'aéronautique ou des nanotechnologies. Le chercheur a même, par le passé, travaillé en collaboration avec des restaurateurs d'œuvres d'art aux États-Unis, qui cherchaient à caractériser le type de peinture utilisée sur un tableau. «Leur crainte était que, en restaurant la couleur avec un autre pigment, il y ait des réactions chimiques inattendues. Grâce au laser, on peut découvrir la "signature moléculaire" des peintures utilisées et éviter les mauvaises surprises», explique-t-il.

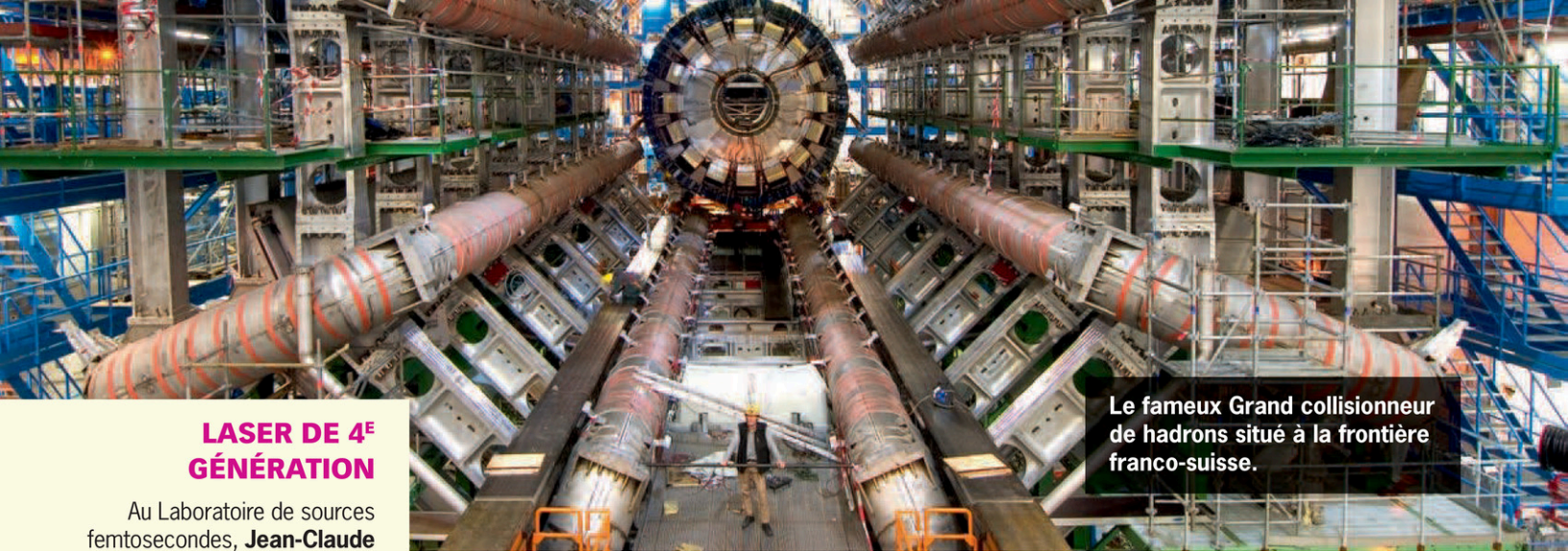
À l'ÉTS, Sylvain Cloutier a troqué les toiles de maître contre des semi-conducteurs. «Le cœur de ma recherche, c'est de développer de nouveaux matériaux avec des propriétés uniques. On a par exemple découvert qu'en perçant des nano-trous dans le silicium, on pouvait modifier ses propriétés», poursuit-il.

De quoi inventer des revêtements de surface uniques pour l'aérospatiale ou encore créer des cellules photovoltaïques imprimables capables de se plier. «L'idée, c'est de développer des matériaux un peu moins performants que ce qui se fait actuellement, mais à un coût de production environ 1% de ce qu'il est présentement. Par exemple, plutôt que d'utiliser un bloc entier de semi-conducteur, dont la synthèse est très onéreuse, on utilise



des nanoparticules de silicium qui s'accrochent l'une à l'autre grâce à une molécule "velcro". Les nanobilles s'assemblent couche par couche. Bien que la performance soit un peu diminuée par rapport au silicium pur, cela coûte tout de même beaucoup moins cher. En changeant la molécule velcro utilisée, on pourrait encore modifier les propriétés du matériau», observe l'ingénieur.

Si les lasers permettent d'en savoir plus sur les matériaux composites de demain, à l'INRS, au Laboratoire de sources femtosecondes LSF, **Jean-Claude Kieffer** les emploie pour en savoir plus sur... la matière vivante. «Notre installation est unique au Canada et est dotée de lasers ultracourts qui génèrent des impulsions de 20 à 30 femtosecondes (10^{-15} seconde)», explique-t-il. Inventés il y a 25 ans, ces lasers femtosecondes ne prennent réellement leur essor que depuis une dizaine d'années. En concentrant l'énergie des impulsions en un temps très court, de l'ordre du millionième de milliardième de seconde, ils permettent d'atteindre une puissance énorme, d'environ 200 térawatts (10^{12} watts) (à comparer à la puissance de production électrique de la planète Terre d'environ 4 térawatts!).



LASER DE 4^E GÉNÉRATION

Au Laboratoire de sources femtosecondes, **Jean-Claude Kieffer** focalise son énergie sur un projet ambitieux: la création d'un laser dit à électrons libres, en collaboration avec le Centre canadien de rayonnement synchrotron situé à Saskatoon.

Contrairement aux lasers classiques qui utilisent des atomes ou des molécules excités pour amplifier la lumière, cette nouvelle génération de lasers fonctionne grâce à un faisceau d'électrons libres – c'est-à-dire non liés à des atomes – accélérés à une vitesse proche de celle de la lumière. «On fait passer ces électrons dans un onduleur, c'est-à-dire une série d'aimants, et ils se mettent à osciller ainsi qu'à émettre de la lumière», explique le physicien.

Les lasers à électrons libres permettent d'émettre des impulsions très courtes et d'ajuster la fréquence dans une gamme très large, depuis l'infrarouge jusqu'aux rayons X, en modifiant la vitesse des électrons. Mais leur coût est prohibitif: il n'en existe pour l'instant que deux dans le monde, un en Allemagne et l'autre aux États-Unis, à Stanford. Ce dernier, le Linac Coherent Light Source (LCLS), le plus puissant du monde, produit des impulsions de rayons X au moins 1 milliard de fois plus intenses que les sources conventionnelles les plus puissantes. «Notre but est de créer un laser à électrons libres à un coût très réduit: il devrait être opérationnel dès 2016», annonce M. Kieffer.

Le fameux Grand collisionneur de hadrons situé à la frontière franco-suisse.

Maximilien Brice / CERN

EN MODE ACCÉLÉRÉ

Les lasers femtosecondes repoussent les frontières de la physique.

C'est la plus grosse machine jamais construite par l'homme. Avec son anneau d'une longueur de 27 km, le Grand collisionneur de hadrons (LHC) de Genève est un terrain de jeu de rêve pour les physiciens. Mais tous les chercheurs ne disposent pas d'un accélérateur de ce calibre, pour dévoiler les secrets fondamentaux de la matière! **Jean-Claude Kieffer**, lui, a trouvé la parade. Dans son Laboratoire de sources femtosecondes, à l'INRS, ce sont les lasers qu'il utilise pour accélérer les électrons.

«Les lasers nous permettent de créer de mini-accélérateurs de particules, explique-t-il. En fait, on se sert de la lumière comme d'un piston qui exerce une pression sur la matière et l'accélère.»

Son laboratoire, leader canadien dans le domaine, expérimente deux techniques d'accélération: par plasma et par champ laser. Alors que le laser agit directement sur les électrons, l'accélération laser-plasma s'obtient de façon indirecte. «Les impulsions laser ultracourtes interagissent d'abord avec un gaz et l'ionisent au fur et à mesure, créant des particules chargées. Dans ce plasma, il apparaît alors des sortes de vagues, sur lesquelles les électrons "surfent" pour accélérer», explique le chercheur.

Comme un sillage laissé à la surface de l'eau par un bateau, ces ondes créent en fait des champs électriques intenses capables d'accélérer les particules rapidement et sur de très courtes distances. «À titre de comparaison, on atteint une vitesse donnée en 1 cm, tandis que les accélérateurs linéaires y parviennent en 100 m!» indique-t-il.

En décembre dernier, l'accélérateur laser-plasma le plus puissant du monde, situé au Lawrence Berkley

National Laboratory aux États-Unis, a permis d'accélérer des électrons jusqu'à une valeur d'énergie de 4,25 gigaélectronvolts (GeV) dans un tube long de 9 cm. Soit un gradient d'énergie 1 000 fois plus important que ce que des accélérateurs de particules classiques, permettent d'obtenir! C'est dire l'enthousiasme que suscitent ces nouveaux outils, capables de «propulser» avec une puissance extrême les électrons, mais aussi les protons ou les ions. À l'INRS aussi, on s'apprête à battre des records. Grâce à un financement privé, le laboratoire va pouvoir augmenter, dès janvier 2016, la puissance de ses installations laser, qui passeront de 200 à 500 térawatts, ce qui équivaut à quelques centaines de fois la puissance de toutes les centrales électriques du monde.

Mais ce n'est pas tout: en réduisant considérablement la taille et le coût des dispositifs requis pour accélérer les particules, les lasers femtosecondes ouvrent la voie à de nombreuses applications industrielles et médicales. C'est d'ailleurs une source de motivation pour Jean-Claude Kieffer qui espère notamment mettre au point de nouveaux outils de protonthérapie. Cette technique consiste à détruire les cellules cancéreuses en les bombardant avec un faisceau de protons très précis, minimisant les «dommages collatéraux». Actuellement, elle implique des accélérateurs conventionnels (de gros cyclotrons) dans lesquels des champs magnétiques et électriques accélèrent les protons de façon circulaire jusqu'à atteindre les énergies nécessaires. Sans surprise, peu d'institutions dans le monde peuvent aujourd'hui offrir à leurs patients la protonthérapie, surtout indiquée pour traiter les cancers du cerveau et de l'œil. Mais les lasers femtosecondes pourraient la démocratiser.

«Lorsque l'on bombarde une cible solide avec un laser à impulsions ultracourtes, on fait chauffer la matière; les électrons sont expulsés, arrachant avec eux des ions et des protons, par effet de fronde», explique le physicien. Résultat, on peut générer des faisceaux de protons avec des machines bien plus compactes qu'un cyclotron. On pourrait donc en installer dans les hôpitaux à un coût moindre. ■

LA PHOTONIQUE CONTRE LES EMBOUTEILLAGES

La fibre optique permet de transmettre de l'information sur de très longues distances à une vitesse fulgurante. Mais pour éviter la congestion des réseaux de télécommunications, on mise sur de nouvelles puces de silicium.

Voyageant à 300 000 km/s, la lumière est tellement rapide qu'on a cru, jusqu'au XVII^e siècle, qu'elle était instantanée. «L'idée d'utiliser la lumière pour communiquer ne date pas d'hier, rappelle **Sylvain Cloutier**. Déjà, dans l'Antiquité, les Grecs utilisaient des signaux lumineux pour la navigation.»

Aujourd'hui, c'est à la lumière que l'on doit nos connexions internet haut débit et notre monde «branché». Un incroyable réseau de fibres optiques sillonne en effet la planète, reliant les grandes métropoles entre elles et les continents par des câbles sous-marins.

Si les moyens se sont perfectionnés depuis les premiers phares, le concept reste globalement le même: «On envoie des impulsions lumineuses, un peu comme un code morse. Les fibres optiques permettent de transporter ces signaux lumineux du point A au point B», résume le professeur au département de génie électrique de l'ÉTS à Montréal.

Ces fils de verre souples et fins, mis au point dans les années 1970, sont constitués de deux matériaux à base de silice, le cœur et la gaine, qui ont des indices de réfraction différents. De quoi confiner et guider la lumière qui se réfléchit sur l'interface entre le cœur et la gaine et se propage ainsi avec un minimum de perte. «Grâce aux lasers, on peut générer des impulsions très courtes pour véhiculer énormé-

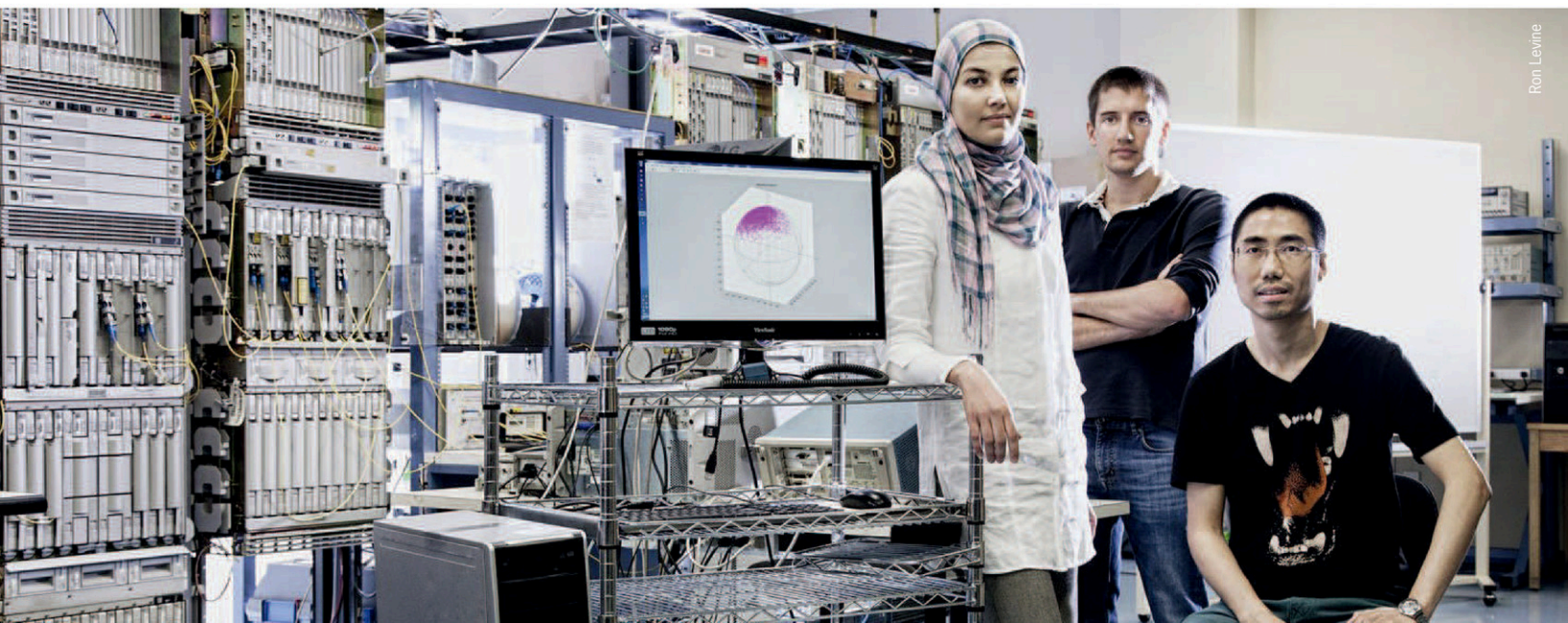
ment d'information», précise Sylvain Cloutier.

L'efficacité des fibres optiques n'est plus à démontrer. «Alors qu'une paire de fils de cuivre pour le téléphone peut transmettre jusqu'à 3 000 conversations simultanées sur une distance de quelques centaines de mètres tout au plus, grâce à des électrons, une fibre optique peut en transmettre plus de 1 million sur des distances pouvant atteindre 10 000 km, grâce aux photons!» indique **Christine Tremblay**, professeure et fondatrice du Laboratoire de technologies de réseaux au département de génie électrique de l'ÉTS.

Pour atteindre de telles capacités de transmission, on utilise la technique de multiplexage en longueur d'onde appelée WDM. «Un tel système de transmission permet de transporter dans une seule fibre optique presque une centaine d'ondes lumineuses de couleurs différentes, chacune portant indépendamment son flux de données. Les systèmes actuels transportent environ 100 gigabits par seconde par longueur d'onde, ce qui est considérable», précise la chercheuse spécialiste des réseaux de télécommunications.

«À la fin des années 1990, la fibre optique est devenue le moyen de transmission de choix pour les grandes distances. Mais si on peut se permettre d'en installer entre New York et Montréal, par exemple, les équipements optiques qui sont situés

De nombreux étudiants-chercheurs s'initient aux défis de communication que représente la circulation de l'information sur les réseaux électroniques. Ici, au Laboratoire de technologies de réseaux (de gauche à droite): Ferial Nabet, Thomas Brugière et Zhenyu Xu s'intéressent à la question.



Ron Levine

à chaque extrémité sont encore très chers», ajoute **Michaël Ménard**, chercheur du Laboratoire de microtechnologies et de microsystèmes (Micro²) de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Résultat, dans les réseaux locaux et les nœuds de commutation, l'électron est encore souvent le seul maître à bord, ce qui ralentit considérablement le flux des données. Ainsi, dans le cas d'Internet, les routeurs électroniques doivent convertir, trier et mémoriser une quantité colossale de paquets de données «lumineuses», qui arrivent de manière pratiquement simultanée. Et le trafic des données numériques, qui se fait majoritairement par le biais des centres de données (*data centers*), repose encore essentiellement sur des transmissions électriques.

«Or, nos besoins en capacité augmentent sans cesse. L'optique doit donc pénétrer dans des réseaux plus courts», poursuit le chercheur. Car les fils de cuivre saturent, un peu comme le pont Cham-

vidéos en ligne, du partage de fichiers, etc.

«Les composants photoniques utilisés aujourd'hui font appel à des semi-conducteurs comme l'arséniure de gallium ou le phosphore d'indium, propices à la fabrication de lasers, mais coûteux. Notre but est de mettre au point des circuits intégrés capables de manipuler des signaux optiques, en utilisant le silicium, le matériau le plus utilisé dans l'électronique, pour une production à grande échelle et à coût réduit», ajoute-t-il.

Mais il y a encore des obstacles à franchir, notamment pour assurer la fiabilité des dispositifs. De plus, si le silicium conduit bien la lumière, il ne permet pas de la générer efficacement, contrairement au phosphore d'indium, par exemple. Il faut donc ruser. «Les approches émergentes consistent à intégrer un morceau micro-métrique de phosphore d'indium sur le silicium pour y générer la lumière et faire en sorte que tout soit sur la même puce», indique le

chercheur. Et les applications commerciales commencent déjà à voir le jour. Plusieurs entreprises, comme Intel et IBM, qui développent la photonique sur silicium depuis une quinzaine d'années, prévoient de l'implanter prochainement dans certains centres de données et supercalculateurs pour connecter des serveurs distants de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. Micro², quant à lui, s'est associé en mars dernier à la *start-up* Aeponyx pour intégrer des composantes optiques dans les centres de données.

De son côté, Christine Tremblay mise sur la photonique sur silicium pour fabriquer des outils de télécommunication plus compacts et moins énergivores. Avec une équipe de l'université Jiao Tong de Shanghai, en Chine, elle développe et teste des circuits optiques sur puce de silicium pour «traiter» l'information au bout des fibres optiques. «Il s'agit de micro-anneaux qui ont un diamètre entre 10 micromètres (μm) et 20 μm , et qui agissent un peu comme des carrefours giratoires. Ils permettent de guider, d'extraire les longueurs d'onde et de les diriger vers les bonnes voies de sortie, explique-t-elle. Sur une puce

de 2 cm sur 1 cm, nous pouvons mettre plusieurs centaines de micro-anneaux!» s'enthousiasme-t-elle. Outre la compacité, la photonique sur silicium offre l'immense avantage de fonctionner avec des tensions très faibles, de quelques volts seulement.

«Cela permet d'avoir des dispositifs qui consomment beaucoup moins d'énergie, et qui sont aussi très flexibles, car il est possible d'agir sur la lumière et de manipuler le signal activement et non seulement de le guider de façon passive», précise la chercheuse.

Cumulant bien des avantages, la photonique sur silicium devrait donc devenir la norme dans les décennies à venir. «Elle permet de régler beaucoup de problèmes liés à la densité croissante des câblages dans les centres de réseaux», conclut Christine Tremblay. ■

Pour coupler un signal lumineux à une puce photonique, cette étudiante-chercheuse de l'ÉTS aligne les fibres dites «d'entrée» et de «sortie». Il faut aujourd'hui répondre aux besoins croissants de transport d'information. Cela passe par de meilleures technologies.

plain aux heures de pointe... Pourra-t-on s'affranchir complètement des liaisons électriques, en passant à l'ère du tout optique? C'est en tout cas vers cet objectif que convergent de nombreuses recherches, dont celles de Christine Tremblay et de Michaël Ménard.

«L'idée est de miniaturiser et d'intégrer des dispositifs qui manipulent la lumière sur des puces en silicium», résume l'ingénieur, en montrant un prototype de puce optique, sur laquelle sont disposés des «guides d'onde», de minuscules fibres optiques, en silicium.

En remplaçant les liaisons électriques entre les puces ou les microprocesseurs par des guides d'onde et des circuits optiques, la «photonique intégrée sur silicium» est la solution qui s'impose pour faire face à la croissance effrénée du nombre d'appareils mobiles intelligents, des services offerts sur Internet, du visionnage de

Émilie Tournévache

L'ÂGE DES CRISTAUX

Faire parler les sédiments avec la lumière, c'est ce à quoi s'applique le géologue Michel Lamothe.

L'entrée du laboratoire dirigé par **Michel Lamothe**, au département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), ressemble à un antre de magicien. Deux étudiants poussent une porte en forme de demi-cylindre noir qu'ils font pivoter avant de disparaître. De l'autre côté de ce sas, l'obscurité est presque totale. Seules quelques lampes recouvertes de filtres rouge foncé permettent de distinguer les paillasses sur lesquelles s'entassent des échantillons de roches et de sable provenant de partout dans le monde. Ces vieilles pierres attendent de révéler leurs secrets.

«En éclairant les échantillons avec des faisceaux lumineux, on peut savoir à quel moment ces roches ont été enfouies. C'est une méthode de datation qui permet de remonter jusqu'à 500 000 ans en arrière, soit 10 fois plus loin que les autres méthodes de datation», explique le chercheur.

Ainsi, la luminescence stimulée optiquement – c'est le nom de la technique – permet de faire parler les sédiments pour, par exemple, reconstituer l'histoire des glaciations ou encore déterminer le moment où des céramiques ancestrales ont été enfouies dans le sol. Michel Lamothe revient d'ailleurs d'Alaska, où il a analysé des échantillons provenant de glaciers – son premier centre d'intérêt –, mais aussi de sites archéologiques datant de 13 000 à 14 000 ans.

«Des chercheurs de partout m'appellent pour des projets de datation. Notamment, en archéologie, il nous est par exemple possible de dire en quelques minutes si une roche a été chauffée, et donc si elle provient d'un foyer préhistorique», précise le géologue.

La luminescence n'a pourtant rien de magique. Les roches enfouies, irradiées au fil des ans par la radioactivité naturelle, ont la propriété d'émettre de la lumière lorsqu'elles sont soumises à une stimulation thermique (c'est la thermoluminescence) ou lumineuse (c'est la luminescence stimulée optiquement ou OSL). La quantité de lumière qu'elles émettent est alors proportionnelle à leur âge, ou plutôt à la durée de leur enfouissement dans le sol.

«Il faut savoir que les cristaux, dans les roches, sont imparfaits. Il existe, çà et là, des "trous", appelés "vacances". C'est principalement le cas dans les cristaux de quartz et de feldspath, des minéraux que l'on retrouve dans tous les sédiments et toutes les céramiques», explique Michel Lamothe. Au fil des ans, la radioactivité de l'environnement contribue à dégrader ces cristaux et à éjecter des électrons des atomes. Ces électrons errants sont susceptibles de venir se nicher dans les trous, au sein des défauts cristallins.

«Ils se retrouvent piégés, mais restent instables. Si on envoie de l'énergie, en chauffant le cristal ou en l'éclairant avec un faisceau de lumière, on peut les déloger», précise-t-il. Ce faisant, ils libèrent des photons. «On parle en réalité de millions de milliards d'électrons et de photons», ajoute ce spécialiste mondial de la luminescence, tout en plaçant un échantillon-test dans une machine d'OSL. En quelques secondes, l'échantillon, de la taille d'une pièce de 10¢, devient littéralement phosphorescent, émettant une jolie lumière bleutée dans la pénombre du laboratoire. «Le nombre d'électrons piégés dépend de la quantité totale de radiations auxquelles le cristal a été exposé au fil du temps. En mesurant la lumière émise et la radioactivité environnante, dont le débit est constant dans le temps, on peut savoir depuis quand le sédiment était enfoui», résume Michel Lamothe.

On comprend que les échantillons doivent être protégés contre toute lumière, jusqu'au moment de leur datation. «On doit utiliser un faisceau ayant une longueur d'onde différente de celle que renverra la roche pour réaliser la mesure», poursuit le géologue. Bien que la marge d'erreur soit actuellement entre 5% et 8%, cette méthode est prometteuse. «Elle a un gros potentiel d'application, que ce soit en archéologie ou en paléoclimatologie, que ce soit pour connaître la variation historique des niveaux marins, et même pour authentifier des œuvres d'art», dit Michel Lamothe, dont l'un des projets porte sur la datation de peintures rupestres dans des grottes d'Afrique du Sud. Il a même été jusqu'à mener une étude de faisabilité pour utiliser la méthode sur Mars! ■



Le travail en laboratoire de luminescence se fait en lumière tamisée et filtrée pour longueur d'onde se rapprochant de l'orange.



Le site archéologique de Wonderkrater, en Afrique du Sud est un lieu clé pour la recherche en paléoclimatologie. Michel Lamothe a été appelé à y travailler pour déterminer la datation de certaines découvertes.

LA VIE EN VRAIES COULEURS

Comment les ampoules DEL peuvent-elles imiter la lumière du soleil ?

Des étudiants de l'École de technologie supérieure à Montréal ont relevé le défi.

Voir la « vraie » couleur des choses n'est pas si simple. À preuve, cet étrange débat qui a enflammé les réseaux sociaux il y a quelques mois, après la diffusion d'une banale photo de robe rayée. La robe était-elle noire et bleue, ou dorée et blanche ? En une semaine, le monde était divisé sur la question, chacun défendant avec véhémence sa propre vision de la chose.

En réalité, la robe était bleue, mais cela importe peu (la photo était surexposée et certaines personnes corrigeaient inconsciemment le défaut, se fiant davantage à leur correction qu'à leur vision). Ce que rappelle cette anecdote, c'est que les couleurs sont « fabriquées » et interprétées par le cerveau. « On sait que la perception des couleurs est relative et dépend de l'éclairage », indique Sylvain Cloutier. Ainsi, un citron éclairé avec une lumière rouge apparaîtra rouge; éclairé par une lumière bleue, il semblera noir.

Or, notre œil est habitué à la lumière du soleil, une lumière « blanche naturelle » qui résulte de la somme de radiations de différentes longueurs d'onde, allant du violet au rouge (les fameuses couleurs de l'arc-en-ciel). C'est cette lumière qui nous permet d'apprécier avec le plus d'exactitude les diverses nuances des couleurs (on dit qu'elle a un excellent indice de rendu de couleur).

Restituer cet aspect naturel a toujours été un défi dans le domaine de l'éclairage. Depuis les lampes au sodium jaunes jusqu'aux néons blafards, pas facile de produire une lumière agréable. « La lumière du jour offre un indice de rendu de couleur très proche de 100. Les ampoules à incandescence, elles, ont un rendu de couleur d'environ 90, alors que celui des DEL conventionnelles tourne autour de 78 ou 80, précise Sylvain Cloutier. Si bien qu'avec les DEL, on économise sur la facture, mais leur rendu de couleur n'est pas très naturel. »

La lumière bleutée des DEL leur a en effet longtemps porté pré-

judice. Mais François Roy-Moisan et Gabriel Dupras, deux étudiants à la maîtrise à l'ÉTS, pourraient bien avoir résolu le problème, en produisant un éclairage à DEL plus vrai que nature... ou presque. « On a atteint un rendu de couleur supérieur à 99 », indiquent-ils.

Fortes de ce succès, en janvier dernier, ils ont créé la start-up Sol-lum Technologies. Premier objectif, proposer leur produit à des musées. « Notre éclairage imite la lumière du soleil, mais sans les rayons nocifs, c'est-à-dire les rayons ultraviolets et infrarouges qui peuvent endommager les œuvres d'art », explique François Roy-Moisan. Mieux, il est ajustable, pouvant fournir diverses nuances de couleurs selon le désir de l'utilisateur.

Comment ont-ils réussi cette prouesse ?

Il faut savoir que chaque diode émet dans une longueur d'onde bien précise. En fait, les diodes sont fabriquées à partir de l'empilement de couches de différents matériaux semi-conducteurs. En faisant varier les matériaux et les épaisseurs de chaque couche, on fait varier la couleur émise.

Les deux étudiants ont donc analysé la composition du spectre visible de la lumière du jour (qui contient plus de radiations bleu vert que de rouges, par exemple) et l'ont reproduite. « On a disposé de multiples diodes différentes de façon bien précise, et on les a réglées pour ajuster la couleur finale », expliquent-ils, fiers d'avoir breveté leur technique.

Leur imitation quasi parfaite de la lumière du jour, qui tient dans un luminaire de 10 cm sur 10 cm, pourrait avoir de nombreuses applications. « Comme on peut moduler la lumière, le dispositif pourrait également être utilisé dans des serres, où il permettrait de reproduire la lumière du printemps, de l'été, de l'automne ou de l'hiver de façon cyclique ou encore d'obtenir la lumière du matin, du midi ou du soir », ajoute François Roy-Moisan. Cet éclairage pourrait aussi être employé en chirurgie, ou dans les transports. ■



François Roy-Moisan et Gabriel Dupras ont réinventé la lumière du Soleil.

LA RÉVOLUTION DEL

Depuis les lampadaires de rue jusqu'aux musées, en passant par les phares de voiture et les lampes de salon, la diode électroluminescente est en train de révolutionner l'éclairage.

Sur tous les continents, les vieilles ampoules à filament rendent l'âme les unes après les autres. Depuis le 1^{er} janvier 2014 au Canada et depuis fin 2012 en Europe, elles sont progressivement retirées des étalages des magasins.

Nos veillées se déroulent désormais sous les ampoules fluocompactes et les diodes électroluminescentes (DEL, ou LED pour Light Emitting Diode). Mais au train où elles gagnent des parts de marché, ces dernières pourraient vite devenir la norme afin d'éclairer le monde: on estime que, fin 2016, elles auront conquis 45% du marché mondial, et 70% en 2020 (selon une étude du cabinet McKinsey). Plusieurs villes,

dont Los Angeles ou Pittsburgh, ont déjà opté pour l'éclairage public aux DEL. Et Montréal envisage de changer 110 000 lampadaires au sodium en faveur des lampes à DEL.

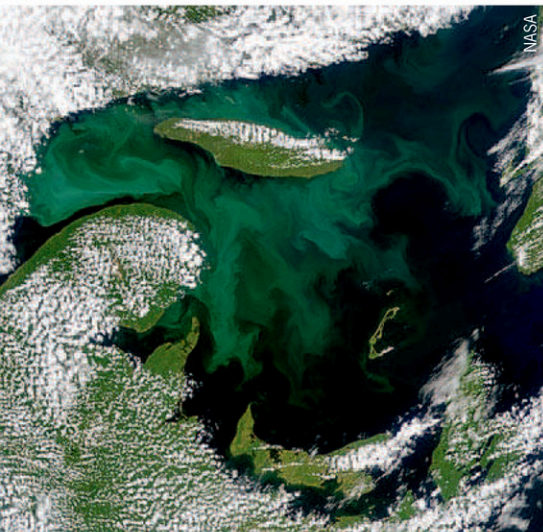
Il faut dire qu'elles cumulent les qualités: insensibles aux chocs, leur durée de vie peut atteindre 40 000 heures, contre 8 000 pour les lampes fluocompactes. « La DEL est constituée de couches de matériaux semi-conducteurs, dont la propriété intrinsèque est d'émettre de la lumière quand on y fait passer un courant électrique », précise Sylvain Cloutier de l'ÉTS.

Résultat, la DEL émet très peu de chaleur et est donc très économe en énergie. Un atout considérable, quand on sait que 20% de l'électricité mondiale sont utilisés pour l'éclairage.

« Malheureusement les DEL sont encore chères, mais on travaille à les rendre plus abordables », affirme M. Cloutier.

Les océanographes ont recours à des bouées pour prendre des mesures qui leur permettent de comprendre la dynamique marine du Saint-Laurent. Elles sont notamment dotées de capteurs qui calculent la quantité de lumière que reçoit l'estuaire, une donnée déterminante pour suivre l'activité de photosynthèse de cet écosystème.

Gabriel Ladouceur



La photo montre ce que l'on appelle un **bloom** de phytoplanctons, survenu en août 1999 dans l'estuaire du Saint-Laurent. Il faut une bonne quantité de lumière pour que le phénomène se produise.

LA SIGNATURE DE L'EAU

L'analyse de la couleur des océans permet d'en savoir plus sur leur activité biologique.

Simon Bélanger passe une bonne partie de son temps en bateau, au large de Rimouski. Mais il prend aussi de la hauteur pour observer le fleuve. Directeur du Laboratoire d'optique aquatique et de télédétection de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR), il surveille le Saint-Laurent grâce aux images captées depuis les satellites. «On sait que la couleur de l'eau change en fonction des constituants. La télédétection permet de déduire la richesse en sédiments, matières organiques et en phytoplancton des eaux», explique-t-il.

C'est cette «signature spectrale» de l'eau, qui diffère selon l'activité biologique et les écosystèmes, que le chercheur compare aux données du terrain. «Entre 90% et 100% de la lumière qui arrive dans les océans est absorbée par la colonne d'eau, poursuit-il. Il y a donc très peu de lumière rétrodiffusée, mais cette réflectance captée par les satellites

donne de nombreuses indications sur la santé de l'océan.» Par exemple, la chlorophylle du phytoplancton absorbe la lumière rouge; la composition de la lumière réfléchie permet donc de déduire le niveau de productivité du phytoplancton.

L'équipe de l'UQAR travaille de près avec Pêches et Océan Canada. «Le Ministère a mis en place un système de monitoring de l'eau au large de Rimouski grâce à des bouées qui mesurent la température, la salinité, etc., ajoute Simon Bélanger. Il y a aussi des capteurs optiques, et nous utilisons leurs données pour valider les informations des satellites et affiner les méthodes de télédétection.» De quoi se préparer à faire le décodage des données des satellites *Sentinel-3*, dont la mise en orbite est prévue entre 2015 et 2017 par l'Agence spatiale européenne, et qui sont destinés à la surveillance de l'environnement. ■

ÉCLAIRER LE FUTUR

**Pour Federico Rosei,
la lumière, c'est avant
tout de l'énergie.
Et ce pourrait être
l'énergie de demain.**

Le curriculum vitæ du physicien **Federico Rosei** a de quoi impressionner. Membre de l'Académie européenne des sciences ainsi que de la Société royale du Canada, il a reçu, entre autres, le prix international Bessel de la Fondation Alexander von Humboldt, en reconnaissance de ses travaux sur les nanomatériaux en 2011, la médaille Herzberg du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) du Canada, la médaille Rutherford en chimie de la Société royale du Canada en 2011, etc. La liste de ses récompenses est longue! L'an passé, c'est le Conseil culturel mondial qui lui a remis le prix José Vasconcelos en éducation. Le rapport avec la physique? La conviction profonde qu'a le professeur Rosei qu'il est possible de combler l'écart technologique des pays en développement, et de contribuer ainsi à changer le monde.

Fort de ses compétences dans le domaine des matériaux photovoltaïques, il s'est donné comme mission de promouvoir les énergies renouvelables, et en particulier l'énergie solaire. Il a mis sur pied en 2014 la Chaire de l'UNESCO sur les matériaux et les technologies pour la conversion, l'économie et le stockage de l'énergie, dont il est titulaire. «Le but est de valoriser les échanges scientifiques avec les pays en développement et le transfert de connaissances en matière d'énergie solaire, explique-t-il. Car je pense qu'il est plus sage d'enseigner à quelqu'un à pêcher que de lui donner du poisson.»

Dans ce cadre, il a déjà noué des partenariats avec des universités de nombreux pays, depuis la Chine jusqu'au Mexique, en passant par le Bénin, l'Inde, le Vietnam et l'Algérie, entre autres. «Lorsqu'on est proche de l'Équateur, le soleil se couche tôt, et de façon très soudaine. De nombreux villageois se retrouvent donc dans le noir à 18 h, et les enfants ne peuvent pas étudier le soir. Le fait d'avoir accès à un éclairage fiable peut faire une grosse différence pour promouvoir l'éducation», affirme-t-il. Le Centre Énergie Matériaux Télécommunications de l'INRS,

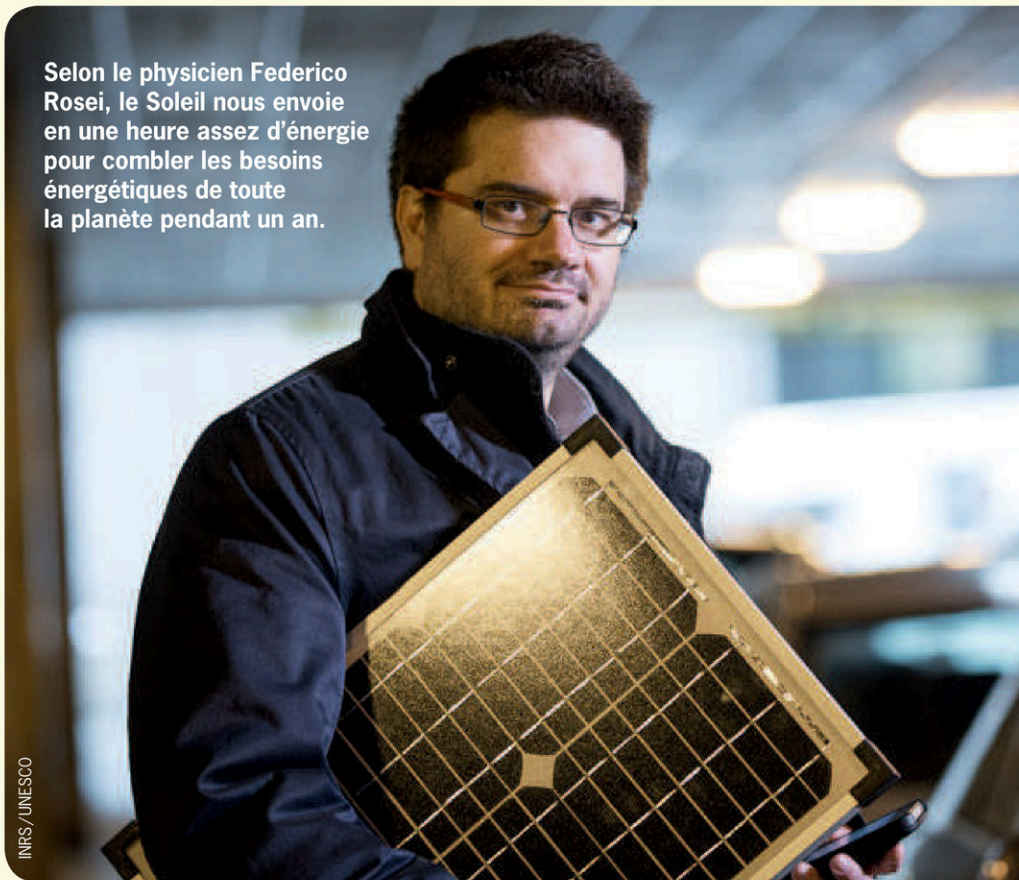
où le chercheur encadre une équipe de 30 personnes, est donc le pôle névralgique de cette chaire Nord-Sud, qui forme des étudiants étrangers, propose des programmes d'échanges et des bourses de doctorat.

«Le solaire, c'est la technologie de l'avenir. Le Soleil nous envoie en une heure assez d'énergie pour combler les besoins énergétiques de toute la planète pendant un an, explique Federico Rosei. Pourtant, cette énergie ne représente encore que 2% du

professeur Rosei. Il a eu l'idée d'utiliser une nouvelle classe de matériaux, dits «multi-ferroïques», pour recouvrir des cellules solaires à base de silicium afin d'accroître leur rendement. Ces matériaux, constitués notamment de bismuth, de fer, de chrome et d'oxygène, sont abondants et assez peu coûteux, et permettraient aussi de prolonger la longévité des panneaux solaires.

«Le plus grand problème des énergies renouvelables reste le stockage», souligne le professeur Rosei. Là encore, les chercheurs

Selon le physicien Federico Rosei, le Soleil nous envoie en une heure assez d'énergie pour combler les besoins énergétiques de toute la planète pendant un an.



gâteau énergétique mondial.»

L'homme, modeste, est toutefois conscient des défis. «Quand on touche à l'énergie, on se heurte à des enjeux politiques et sociaux; aux lobbies des énergies fossiles», indique-t-il. Ce qui ne l'empêche pas d'être optimiste: «Pendant longtemps, le solaire était freiné par un problème de coût. Aujourd'hui, les prix ont beaucoup baissé, même si cela s'est fait aux dépens de la stabilité et de la durée de vie des matériaux.»

Pour améliorer les cellules photovoltaïques sans augmenter leur coût, plusieurs pistes sont envisagées par la communauté scientifique. L'une d'elles a été développée en 2014 par **Riad Nechache**, de l'équipe du

du monde, dont une douzaine à l'INRS, ont mis l'épaulé à la roue. «Mais il y a aussi un choix à faire. Par exemple, si une voiture électrique doit être rechargée tous les 150 km, mais que cela est bénéfique pour l'environnement, c'est un inconvénient qui en vaut peut-être la peine», estime-t-il. Une chose est sûre, Federico Rosei est un homme de convictions. Et sa volonté d'aller de l'avant est encore plus forte depuis qu'il a rencontré Al Gore dans le cadre du Sommet des Amériques sur le climat, en juillet dernier à Toronto. Paradoxalement, croit-il, c'est peut-être le Soleil qui nous sauvera du réchauffement climatique. ■



LE P'TIT COUP DE L'ÉVOLUTION

Homo sapiens buvait déjà bien avant d'inventer la bière. En témoignent les enzymes de notre foie, qui détoxifient notre organisme depuis 10 millions d'années.

Par Joël Leblanc

FF est un adulte mature. De temps à autre, il sort boire avec des amis, puis retourne chez lui, un peu éméché. Rien de bien singulier, si ce n'est que FF est un chimpanzé sauvage.

Le « bar » qu'il fréquente est une palmeraie d'Afrique occidentale. Près du village de Bossou, à l'extrême sud-est de la Guinée, des villageois entaillent les palmiers à raphia (*Raphia farinifera*), comme nos acériculteurs entaillent leurs érables, pour en soutirer la sève et fabriquer du vin de palme. Puis, ils fixent

à l'arbre un contenant de plastique afin de recueillir le liquide blanchâtre et laissent la gravité faire son travail. En quelques heures à peine, une fermentation naturelle s'amorce dans le godet où l'alcool s'accumule graduellement.

Entre deux passages des villageois, les chimpanzés du coin ne se gênent pas pour venir trinquer. Kimberley Hockings, spécialiste en écologie comportementale à l'université Brookes d'Oxford, au Royaume-Uni, les a vus faire. « La première fois, ça a vraiment suscité mon intérêt, se souvient-elle.

Mais je n'ai pu observer ce comportement qu'à quelques occasions. Alors, j'ai contacté d'autres chercheurs qui ont travaillé avec cette communauté de singes au cours des 20 dernières années et je leur ai demandé de fouiller leurs cahiers de notes. »

Le résultat est un article collaboratif, publié en juin dernier dans la revue *Royal Society Open Science*, fondé sur 51 observations de consommation d'alcool par les chimpanzés. On y apprend même que les singes se confectionnent des « cuillères » à partir de feuilles; qu'ils

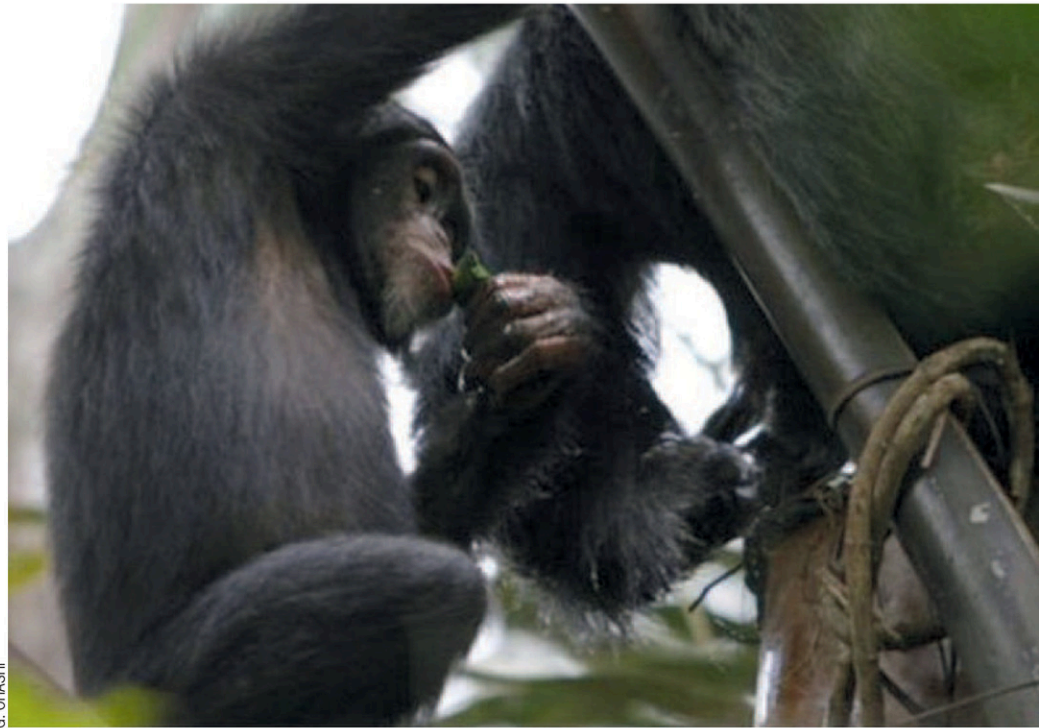
ÇA S'ARROSE!

les plongent dans le liquide puis les portent à leur bouche environ neuf fois à la minute. Et on ne parle pas de petit jus : les mesures des chercheurs ont révélé que le vin de palme avait une teneur moyenne en alcool de 3,1 %, certaines cuvées pouvant atteindre 6,9 %. Si les quantités étaient d'ordinaire restreintes, certains individus pouvaient en avaler jusqu'à 3 L ! De quoi être bien « paf » !

« Nous avons parfois noté des signes d'ébriété chez les buveurs après leur apéro, ajoute la chercheuse. Certains tombaient endormis, sur place, tout de suite après avoir bu la sève fermentée ! Pourtant, même s'il est nutritif, le liquide n'a pas bon goût. Après 24 heures, il devient acide et vinaigré. Moi, je le trouve imbuvable ! »

La preuve n'est donc plus à faire : même si ça n'a pas bon goût, nous ne sommes pas les seuls primates à boire volontairement de l'alcool. C'est grâce à une biochimie interne qui s'est élaborée il y a 10 millions d'années que cela a été rendu possible. Avec les gorilles, les chimpanzés et bonobos, nous faisons donc partie d'un petit groupe sélect dont les organismes sont capables de dégrader efficacement l'alcool, grâce à des enzymes spécialisées qui se trouvent notamment dans notre foie.

Il faut ce qu'il faut ! Car l'éthanol, produit de la fermentation naturelle des sucres, est toxique. Un fruit tombé de son arbre et qui fermente depuis un moment est dangereux pour la santé ; la plupart des animaux dédaigneront d'en manger. Mais comme les ressources sont parfois rares et qu'à fruit tombé on ne regarde pas la pourriture, l'évolution a doté les animaux frugivores d'enzymes



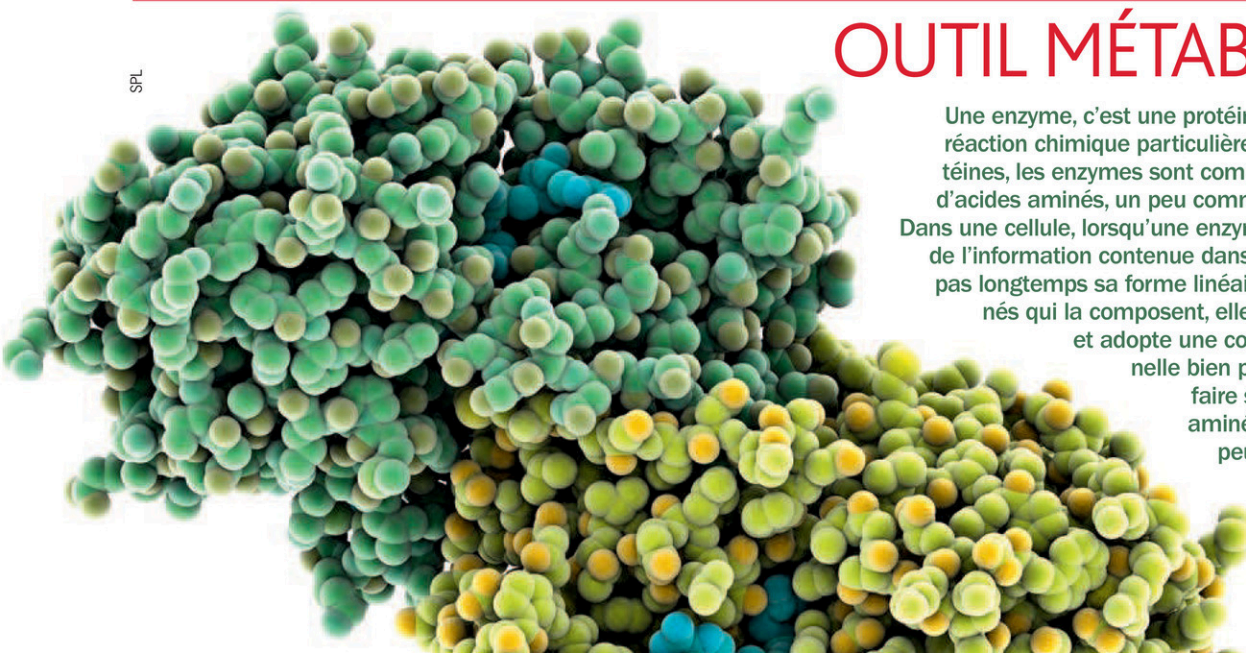
Sur cette image, on voit le chimpanzé FF (devenu célèbre) se servir une rasade de sève de palme en utilisant une feuille comme cuillère.

pouvant détoxifier leur organisme de l'éthanol qu'ils pourraient ingérer.

Afin de décomposer l'alcool, les animaux ont développé une famille d'enzymes appelées alcool déshydrogénases, ou ADH. Lorsqu'elles rencontrent une molécule d'éthanol, ces enzymes la transforment en acétaldéhyde, un composé qui sera à son tour transformé en acide acétique inoffensif par d'autres enzymes. Mais les ADH, qu'à peu près toutes les cellules de l'organisme peuvent produire pour se défendre d'une agression toxique, peuvent facilement être débordées

si les quantités d'éthanol sont trop élevées. Il peut s'ensuire l'ébriété, voire le coma éthylique et la mort.

Cependant, chez les hominidés, raconte Matthew Carrigan, biologiste à la Foundation for Applied Molecular Evolution à Gainesville, en Floride, une mutation est survenue, rendant l'une de ces enzymes, l'ADH4, extrêmement performante. Sa vitesse de réaction a été multipliée par 40 ! « Cette mutation est survenue chez l'ancêtre commun des humains, des chimpanzés et des gorilles, avant que chacune des lignées ne prenne



OUTIL MÉTABOLIQUE

Une enzyme, c'est une protéine qui sert à faciliter une réaction chimique particulière. Comme toutes les protéines, les enzymes sont composées d'une succession d'acides aminés, un peu comme les perles d'un collier. Dans une cellule, lorsqu'une enzyme est fabriquée à partir de l'information contenue dans les gènes, elle ne garde pas longtemps sa forme linéaire. Selon les acides aminés qui la composent, elle se replie sur elle-même et adopte une configuration tridimensionnelle bien précise qui la rend apte à faire son travail. Un seul acide aminé différent et la molécule peut s'en trouver complètement transformée.

sa direction évolutive particulière, précise-t-il. Il se pourrait bien que cet aïeul soit *Ouranopithecus macedoniensis*, dont nous connaissons quelques fossiles et qui vivait à cette époque.»

Matthew Carrigan et plusieurs de ses collègues de différentes universités ont publié un article, en janvier 2015 dans les *Proceedings of the National Academy of Sciences*, où ils révèlent l'ancienneté de ce mécanisme de tolérance élevée à l'alcool. La mutation, en permettant à l'ADH4 de s'attaquer plus efficacement et plus rapidement à l'éthanol, aurait permis à *Ouranopithecus macedoniensis* d'ingérer de plus grandes quantités d'alcool sans en être trop affecté. Et cela coïncide avec le moment où l'on estime que nos ancêtres primates ont quitté les arbres et commencé à vivre au sol.

« Quand on vit dans les arbres, poursuit Matthew Carrigan, on peut se nourrir de fruits frais cueillis directement sur les branches. Mais si on se déplace sur le sol, on risque de ramasser des fruits tombés, partiellement fermentés. » La sélection naturelle a donc favorisé les hominidés qui pouvaient, jusqu'à un certain point, tolérer l'intoxi-

cation. Dans un milieu où rôdent les prédateurs, pouvoir se nourrir rapidement sans risquer de perdre sa vigilance et de devenir une proie constitue un net avantage. Mieux : consommer des fruits fermentés, c'est nutritif. L'éthanol, en effet, apporte 7,1 kilocalories par gramme (kcal/g), bien plus que ce que fournissent les glucides non fermentés (4,1 kcal/g).

Présente dans le foie, mais aussi dans les muqueuses de la bouche, de l'œsophage, de l'estomac et de l'intestin, ADH4 est l'une des premières enzymes qui agissent sur l'alcool qu'on ingère. En comparant sa structure, qui compte 380 acides aminés, chez deux espèces évolutivement proches, le macaque et le babouin, l'équipe de Matthew Carrigan est arrivée à déduire de quoi avait l'air l'enzyme chez leur ancêtre commun. Les chercheurs ont recréé cette enzyme en laboratoire,

testé son efficacité, puis répété l'exercice en la comparant avec celle du vervet, l'espèce voisine du groupe macaque-babouin.

« Nous avons refait l'expérience avec 19 espèces de primates et nous avons pu retracer l'histoire évolutive de l'enzyme ADH4 au cours des dernières 75 millions d'années. À chaque étape de l'arbre généalogique, nous avons repéré quels acides aminés avaient subi une mutation. C'est comme ça que nous avons découvert que l'enzyme ancestrale de l'humain, du chimpanzé, du bonobo et du gorille était pleinement fonctionnelle. Mais quand on recule dans le temps jusqu'au moment de la dichotomie avec l'orang-outang, il y a quelque 18 millions d'années, on voit que la différence ne tient qu'à un seul acide aminé : une alanine a été remplacée par une valine. »

C'est ce petit changement, au sein d'une modeste enzyme, dû à une mutation, qui a multiplié par 40 la capacité du foie à métaboliser l'éthanol et qui a permis à quelques primates aventuriers de mieux survivre au sol, d'engendrer une plus grande progéniture et de transmettre cet avantage

à leurs descendants.

Une découverte qui bouscule une idée reçue. Jusqu'ici, on croyait que la capacité à métaboliser l'alcool était apparue quand nos ancêtres avaient commencé à faire volontairement fermenter de la bière et du vin, il y a tout au plus 15 000 ans. Nous savons maintenant que notre espèce a toujours eu cette aptitude. Aussi certains chercheurs se demandent-ils si nous n'aurions pas mis au point la technique de fermentation contrôlée justement pour assouvir notre prédilection naturelle pour l'éthanol... D'autres pensent même que nous aurions inventé la culture céréalière, il y a 10 000 ans, non pas pour nous assurer d'avoir de la farine à manger, mais de la bière à boire !

Autrement dit, avant que d'être *sapiens*, l'*Homo* aurait été, comme son cousin FF le chimpanzé, un joyeux *ebrietus*... Et se serait organisé, au fil des siècles et des « partys », pour le rester !



La sélection naturelle a donc favorisé les hominidés qui pouvaient, jusqu'à un certain point, tolérer l'intoxication.

ET L'ALCOOLISME?

Pour les habitants de l'île Saint-Christophe, dans les Petites Antilles, les touristes font partie intégrante du décor. Les singes aussi. Puisque les quelques vervets introduits d'Afrique il y a 300 ans ont engendré une colonie de près de 40 000 individus en liberté. Plusieurs d'entre eux ont pris l'habitude de fréquenter les plages afin de chiper leurs cocktails aux vacanciers endormis. Les singes ivres qui titubent et s'écroulent amusent les touristes et intéressent les chercheurs.

Roberta Palmour, professeure de génétique humaine à l'Université McGill à Montréal, a assisté plusieurs fois à leur manège. Elle se rend sur l'île deux ou trois fois par année pour étudier ces petits primates. Si environ 15 % d'entre eux ne boivent pas du tout ou très peu, a-t-elle remarqué, 65 % sont des buveurs sociaux, préférant l'alcool dilué dans du jus de fruits, et seulement en compagnie d'autres singes. Autour de 15 % aussi sont des buveurs réguliers, qui prennent leur alcool pur. Et enfin, 5 % sont de gros buveurs : ils avalent vite, se battent avec les autres et boivent jusqu'au coma. Si l'alcool est abondant, ils finissent par en mourir au bout de deux ou trois mois. De là à conclure que l'alcoolisme est naturel chez les primates, il n'y a qu'un pas...

« Cette distribution des comportements ressemble beaucoup à celle des communautés humaines, souligne la chercheuse. Comme chez nous, il y a naturellement des alcooliques et des buveurs plus raisonnables. Moi qui m'intéresse à la génétique des problèmes psychiatriques, je peux dire que cette communauté de singes m'a appris beaucoup de choses. »

Surtout qu'il n'existe pas un gène majeur pour l'alcoolisme, mais plutôt un grand nombre de gènes qui contribuent à la susceptibilité d'un individu à tomber dans l'abus. « Chez ces singes, le fait d'être alcoolique – ou pas – dépend de la façon dont leur cerveau traite l'information ; de la manière selon laquelle ils répondent à l'environnement et de plein d'autres facteurs. Plutôt qu'une maladie, l'alcoolisme est une condition possible chez les singes qui ont un certain profil et cette condition ne s'exprime pas en absence d'alcool. Comme chez les humains. »

À NOËL, ABONNEZ VOS PROCHES ET PROFITEZ D'UN TARIF EXCEPTIONNEL



OFFREZ AUTANT D'ABONNEMENTS QUE VOUS LE SOUHAITEZ!



Québec Science examine les questions relatives à la science et à la technologie, et pose un regard scientifique sur les grands sujets d'actualité. Découvrez!
8 numéros par année



Géo Plein Air flaire les tendances: équipements et destinations, entraînement et nutrition, test de produits et guides d'achat. Respirez!
6 numéros par année



Vélo Mag parle vélo sous toutes ses formes; test de matériel, guides d'achat, destinations, compétitions, entraînement et nutrition. Roulez!
6 numéros par année

VELO.QC.CA/NOEL

OU

contactez le service à la clientèle par téléphone avant le 18 décembre 2015
au 514 521-8356 ou 1 800 567-8356, poste 504

* Cette offre d'abonnement se termine le 31 décembre 2015. Taxes en sus.

ÉCONOMISEZ
JUSQU'À 72%
SUR LE PRIX
EN KIOSQUE



Toutankhamon cache-t-il Néfertiti?

Disparue il y a 3 000 ans, la mystérieuse Néfertiti, puissante reine d'Égypte, pourrait bien se trouver dans une pièce du tombeau de Toutankhamon. L'idée fait monter la fièvre chez les égyptologues.

Par Martine Letarte

L'hypothèse est séduisante : dans la chambre où reposait le jeune pharaon Toutankhamon, deux murs dissimuleraient des portes. Et c'est derrière elles que se trouverait la royale momie de Néfertiti, la femme la plus recherchée du monde!

La théorie ne provient pas d'un hurluberlu, comme on pourrait le penser, mais du réputé égyptologue Carl Nicholas Reeves, spécialiste de la XVIII^e dynastie.

Les précieux tombeaux de la Vallée des rois piquent la curiosité des archéologues depuis toujours, mais les autorités égyptiennes y autorisent rarement les fouilles. Le projet de ce chercheur britannique attaché à l'université d'Arizona a cependant suscité leur intérêt. Et, à la fin de septembre dernier, Carl Nicholas Reeves a réalisé ses premiers examens dans la tombe de Toutankhamon. À l'issue des analyses, l'égyptologue et ministre égyptien des Antiquités et du Patrimoine, Mamdouh Al-Damaty, a dit avoir bon espoir qu'on trouvera au moins une chambre derrière les murs de la tombe.

Les deux murs en question sont couverts de scènes peintes. En 2014, Carl Nicholas Reeves a obtenu des images de ces fresques à l'aide de scanners numériques à haute résolution dans le cadre d'un projet de reproduction à l'identique à l'intention des touristes. En les analysant, il a remarqué des fissures et des

traces verticales que seule cette nouvelle technologie permettait de déceler. « C'est qu'on peut supprimer les couleurs et, ainsi, voir ce qui est dissimulé sous la peinture », a expliqué l'égyptologue anglais. Mamdouh Al-Damaty a quant à lui noté des similitudes entre la surface des murs et celle qui dissimulait l'entrée du tombeau de Toutankhamon, découvert en 1922 par Howard Carter.

C'est grâce au géoradar (voir l'encadré à la page 33) qu'on pourra bientôt valider ou non l'hypothèse des portes. « Puis, lorsque nous serons certains à 100 % de trouver quelque chose derrière ces murs, nous réaliserons d'autres études pour savoir comment y accéder tout en préservant les scènes peintes », a précisé, enthousiaste, Mamdouh Al-Damaty lors d'une conférence de presse, le 1^{er} octobre au Caire, en compagnie de Carl Nicholas Reeves. À ses yeux, la mise au jour de chambres secrètes dans le tombeau KV62 pourrait bien constituer « la plus importante découverte du XXI^e siècle ».

Tous les spécialistes s'entendent pour dire que le tombeau de Toutankhamon, mort vers l'âge de 19 ans, est inhabituel pour un pharaon. « Il est très petit, dit Jean Revez, égyptologue, pro-

fesseur d'histoire à l'Université de Québec à Montréal. On explique cela par le fait que Toutankhamon étant mort jeune, on n'aurait pas eu le temps d'aménager un tombeau aux dimensions dignes d'un pharaon. » Carl Nicholas Reeves, de son côté, croit même que le tombeau du jeune roi pourrait avoir été, à l'origine, celui de Néfertiti...

Chose certaine, cette période ancienne de l'histoire égyptienne reste particulièrement mystérieuse. Toutankhamon, onzième pharaon de la XVIII^e dynastie, fils d'Akhenaton, est né vers 1345 et est mort vers 1327 avant notre ère. « C'est que le règne d'Akhenaton a été très différent des autres. C'est aussi pour cela qu'on s'y est particulièrement intéressé », souligne M. Revez.

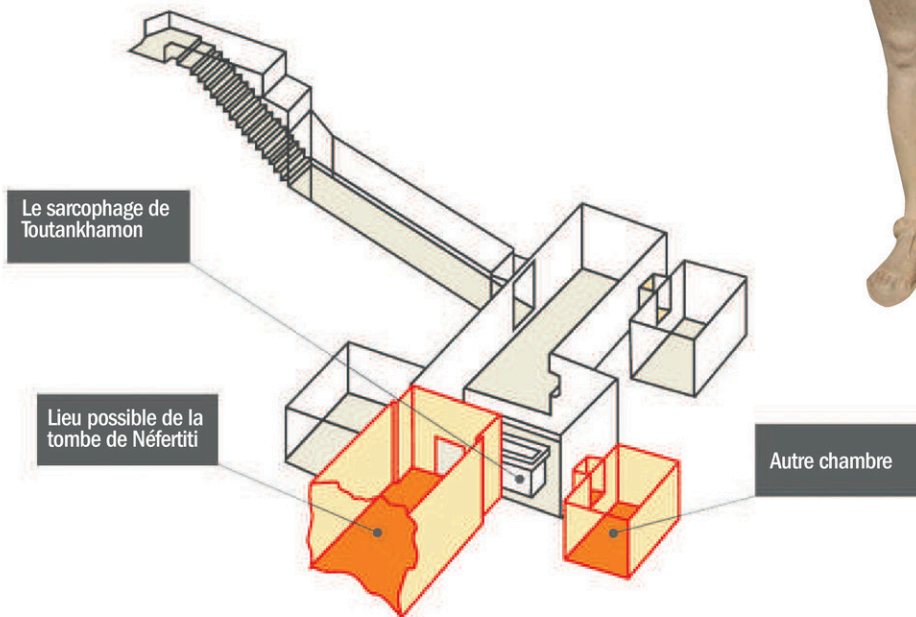
En rupture majeure avec son époque, le père de Toutankhamon a en effet bouleversé la société égyptienne, en instaurant une forme de monothéisme autour du culte d'Aton, un dieu solaire. Il a même créé de toutes pièces, en plein désert, Akhetaton, une ville dont le nom signifie « l'horizon d'Aton », aujourd'hui Amarna. Akhenaton a quitté Thèbes, alors siège du pouvoir et ville la plus importante d'Égypte, pour s'y installer.

« Traditionnellement, l'Égypte adorait plusieurs dieux. En l'espace de seulement 17 ans, Akhenaton a procédé à un réel renversement des valeurs, explique M. Revez.

La documentation concernant cette époque est assez confuse; elle nous est parvenue par bribes et est rédigée en plusieurs langues, soit l'égyptien, le hittite et le babylonien. Cela prête à différentes interprétations. Mais moins on en sait, plus on cherche et plus on écrit sur le sujet; et la découverte de documents fait bien sûr évoluer nos théories. »

Ainsi, de nouveaux artefacts pourraient permettre une meilleure compréhension de cette période de l'histoire. « Il serait intéressant, par exemple, de trouver un cercueil, car les cercueils sont toujours associés à un nom et à un titre; du mobilier funéraire ou des bijoux, espère M. Revez. Ces éléments nous permettraient de confirmer ou d'infirmer bien des hypothèses. »

Comme celle qui veut que Néfertiti soit la mère de Toutankhamon? Car bien qu'on connaisse son visage, largement re-



THEBAIN MAPPING PROJECT



Carl Nicholas Reeves (au centre) dans la chambre funéraire de Toutankhamon le 28 septembre dernier. Derrière le mur, une autre sépulture?

Qu'est-ce qu'un géoradar?

L'équipe de Carl Nicholas Reeves a choisi d'utiliser un géoradar, aussi appelé radar à pénétration de sol, pour vérifier s'il y a bien une chambre derrière le mur du tombeau de Toutankhamon.

Utilisé en génie civil depuis les années 1970, le géoradar permet notamment de mesurer l'épaisseur d'une dalle de béton, d'y détecter les armatures d'acier ou une fissure majeure.

Le principe du radar est simple : il émet des ondes électromagnétiques dans le sol. Chaque matériau a ses propres propriétés de propagation. Lorsque les ondes rencontrent un matériau différent, ou un vide, une partie des ondes est réfléchi. Le récepteur du radar



Les recherches par géoradar pour trouver le tombeau de Champlain à Québec

décèle ces ondes réfléchies. Puis, au moyen d'un logiciel spécifique, ces données sont traitées et une image en trois dimensions du milieu exploré est reconstruite.

Depuis les années 1980, on a aussi utilisé le géoradar en archéologie. Jamal Rhazi, ingénieur physique, chercheur au Centre de recherche sur les infrastructures en béton à l'Université de Sherbrooke et spécialiste de ces radars, a d'ailleurs été amené, il y a quelques années à travailler à Québec à la recherche (restée infructueuse) du tombeau de Samuel de Champlain.

Pour l'ingénieur, il est fort possible qu'on voie tout de suite, avec un radar, si une pièce se trouve derrière ce mur du tombeau de Toutankhamon. « Et si cette pièce existe bel et bien, puis si sa configuration et les caractéristiques du radar le permettent, on pourrait éventuellement y voir des objets. »

produit par des statuettes et des bas-reliefs, cette reine est encore entourée de mystère. On sait qu'elle était l'une des épouses d'Akhenaton, le père du jeune roi, et qu'elle lui a donné six filles. « On a découvert récemment, dans la tombe de la deuxième fille d'Akhenaton, une scène peinte représentant une nourrice tenant dans ses bras un enfant royal, qui serait Toutankhamon, raconte Jean Revez. Elle est entourée de Néfertiti et d'Akhenaton. Il serait donc logique que Néfertiti soit la mère. »

D'autres égyptologues croient cependant que la mère de Toutankhamon est « Young Lady », une momie découverte en 1898 dans la Vallée des rois. Des tests génétiques réalisés il y a quelques années vont en ce sens. « C'est certain que Young Lady et Toutankhamon sont de la même famille, mais sont-ils vraiment mère et fils? » se demande M. Revez.

Néfertiti était d'une très grande beauté; et son influence, hors du commun. « Elle semble de plus avoir exercé, comme reine, un pouvoir exceptionnel, affirme Jean Revez. Dans plusieurs scènes, elle est représentée avec les atours et les prérogatives d'un pharaon. Par exemple, on la voit face à son mari Akhenaton, chacun assis sur un trône gravé d'un symbole habituellement réservé aux pharaons. »

Serait-elle allée jusqu'à prendre le pouvoir pendant une courte période, juste avant Toutankhamon? Des signes per-

mettent à certains égyptologues d'y croire.

Entre le règne d'Akhenaton et celui de Toutankhamon, environ quatre ans se sont écoulés. Le pharaon Smenkhkaré, très peu connu, aurait régné très brièvement, puis une femme, Ânkh-Khéperouré Néferneferouaton, aurait pris le pouvoir.

Si plusieurs pensent que cette femme est Mérytaton, fille aînée d'Akhenaton et de Néfertiti, l'historien Jean Revez, comme d'autres avant lui, croit plutôt qu'il s'agit de Néfertiti. « Avant, on pensait qu'elle était morte en l'an 12 du règne d'Akhenaton mais, récemment, on a découvert des documents où elle est citée en l'an 16, soit un an avant la fin du règne. Alors peut-être qu'elle a survécu à son mari. De plus, il y a une ressemblance dans les noms Néfertiti et Néferneferouaton. » Et puis, on a retrouvé aussi dans le tombeau de Toutankhamon des éléments féminins, comme la représentation d'un roi avec des seins. Est-ce l'image d'Ânk-Khéperouré Néferneferouaton, dont la momie se trouverait derrière le mur?

« C'est plausible, affirme M. Revez. Mais il reste à le prouver. » À suivre! 25

> Pour en savoir plus

Pour lire (en anglais) la thèse de l'égyptologue Carl Nicholas Reeves : www.academia.edu/14406398/The_Burial_of_Nefertiti_2015

LOREM

LE PALAIS D

**Il y a un génie des glaces
à Québec. Il a fait la patinoire
du nouvel amphithéâtre.**

Par Guillaume Roy



ES GLACES

VILLE DE QUÉBEC

La première fois que les joueurs de la Ligue nationale de hockey (LNH) ont sauté sur la glace du Centre Vidéotron, en septembre dernier (c'était lors d'un match préparatoire entre les Canadiens de Montréal et les Pingouins de Pittsburgh), les senseurs situés sous la patinoire ont automatiquement réagi. La patinoire subissait un coup de chaleur produit par la friction des patins. Le cycle de réfrigération s'est d'abord déclenché et la température de la glace a pu se maintenir à -4°C . Les spectateurs n'ont rien vu,

mais un exploit technologique venait d'avoir lieu.

Certes, on le sait, pour fabriquer leur glace, les arénas petits et grands utilisent un système de réfrigération mécanique semblable à celui de nos congélateurs. En bref, un gaz - fréon, ammoniac ou CO_2 - est comprimé puis liquéfié dans un condenseur pour refroidir un circuit. Lorsque ce liquide absorbe la chaleur, il retourne à l'état gazeux et le cycle recommence.

Au Centre Vidéotron, le système de réfrigération mécanique utilise l'ammoniac car, d'un point de vue éner-



Dans les nouveaux amphithéâtres, la glace est plus dure. C'est plus facile pour les jambes. On croit vole

gétique, c'est le réfrigérant le plus efficace répondant aux normes de la LNH. Ce réfrigérant sert à refroidir de l'éthylène glycol, un liquide similaire au lave-vitre, qui circule dans la dalle de béton de la patinoire pour en réfrigérer la surface. Fait à noter, un circuit de chauffage court également sous la dalle pour éviter que le béton se fissure.

Dans le but d'obtenir une certification LEED (Leadership in Environmental and Ecological Design), on a aussi installé un important système de récupération de chaleur dans l'amphithéâtre, ce qui réduit de moitié (49 %) sa consommation énergétique. « Par exemple, toute l'énergie dégagée par les compresseurs pour faire la glace peut être réutilisée dans le réseau de chauffage de l'amphithéâtre », explique Samuel Paradis, ingénieur de SNC-Lavalin responsable de la surveillance de chantier et chargé de projet pour la réfrigération, la ventilation et la plomberie à l'amphithéâtre de Québec.

On ne peut pas se servir de n'importe quelle eau pour fabriquer la glace. C'est la LNH qui en fixe les normes de qualité. Pour une glisse optimale, l'eau doit d'abord être déminéralisée, grâce à un système d'osmose inversée. « Les impuretés, comme les minéraux ou les gaz, sont rejetées par les cristaux de glace. Lorsqu'elles s'accumulent, ces impuretés causent des zones plus fragiles », explique Patrick Ayotte, physicien de formation et professeur de chimie à l'Université de Sherbrooke.

L'eau est alors chauffée entre 71 °C et 82 °C, ce qui réduit la quantité de gaz qui y est dissout, avant d'être pul-

vérisée afin de former de fines couches de glace. « Après avoir éliminé l'air et les minéraux, l'eau gèle presque instantanément lorsqu'elle tombe sur le béton réfrigéré », spécifie Claude Deslauriers, responsable de la glace du Centre Vidéotron. Pour atteindre une épaisseur de 2,5 cm à 3,8 cm, il faudra superposer, sur une période de 3 jours, près de 150 couches d'eau translucide, blanche ou colorée selon qu'on réalise le fond, les lignes ou les publicités.

La peinture ajoute un coefficient de difficulté lors de la préparation, car elle doit être soluble dans l'eau, souligne Pierre Beaudet, technicien de la glace qui a lancé Science de la glace, une entreprise spécialisée dans ce type de surfaces. « L'eau colorée doit être appliquée

à une température de -10 °C pour assurer la stabilité de sa molécule. Car dès que la température atteint -3 °C, cette molécule se sépare de la peinture », ajoute le spécialiste.

Si fabriquer de la glace est plutôt simple, produire et conserver une glace de qualité professionnelle, c'est une autre histoire. Et c'est un sacré défi, dans un amphithéâtre où plus de 18 000 spectateurs dégagent chaleur et humidité, deux facteurs qui ont une influence majeure sur la qualité de la glace. Car dès que le taux d'humidité augmente, il se forme de la condensation à la surface de la patinoire, et la glace ramollit, rappelle Samuel Paradis.



Pour atteindre une épaisseur de 2,5 cm à 3,8 cm, il faut superposer, sur une période de 3 jours, près de 150 couches d'eau translucide.

VILLE DE QUÉBEC

TROIS MYSTÈRES DE LA GLACE

1. Elle glisse... pourquoi?

C'est seulement depuis la fin des années 1990 que l'on a découvert pourquoi la glace glisse! Il faut dire qu'elle est unique: c'est le seul matériau solide autolubrifiant. «Quand on observe la surface de la glace au microscope, on peut voir une mince couche semi-liquide, explique le professeur de chimie Patrick Ayotte. Cette couche se forme, même si la température est sous le point de congélation (jusqu'à $-157\text{ }^{\circ}\text{C}$). C'est cette "lubrification" caractéristique de la glace qui fait que l'on peut patiner», dit-il. Aucun autre solide ne possède cette propriété.

2. L'eau chaude gèle plus vite que l'eau froide... des fois

Au début des années 1960, le Tanzanien Ernesto Mpemba, alors élève au secondaire, tentait de faire de la crème glacée à partir de lait porté à ébullition. Pressé par le temps, il a congelé le liquide bouillant sans le refroidir... pour se rendre compte que le lait avait gelé plus rapidement que celui refroidi par ses amis! Dénommé l'effet Mpemba, ce paradoxe, connu depuis l'Antiquité, a par la suite été observé par plusieurs scientifiques. Mais personne n'a encore compris pourquoi. L'effet Mpemba, avance-t-on, serait la somme de différents effets comme l'évaporation, la surfusion, les courants de convection qui accélèrent les transferts thermiques et l'élimination des gaz dissous lorsque l'eau est chauffée. À suivre.

3. La masse volumique de la glace est moindre que celle de l'eau

On n'a pas fini de percer les secrets de la molécule H_2O . Récemment, on a observé plusieurs anomalies de l'eau en état de surfusion, qui demeure parfois liquide à des températures allant jusqu'à $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, note le professeur Patrick Ayotte.

«Si on peut connaître tous les aspects de la molécule individuelle, le comportement collectif des molécules d'eau est différent de ce que leur structure laisse prévoir», ajoute-t-il. Comme si les molécules d'eau avaient un «comportement social, car les interactions émergent de l'ensemble». Ces interactions expliquent en partie une autre anomalie:

la masse volumique de la glace – c'est-à-dire le rapport entre la masse et le volume – est plus faible que celle de l'eau, ce qui est inusité pour un solide. Au total, 72 anomalies de la molécule H_2O ont été répertoriées.

> Pour en savoir plus

www1.lsbu.ac.uk/water/water_sitemap.html

er au-dessus de la patinoire. Et on peut beaucoup mieux maîtriser la rondelle.

On a commencé à présenter des matchs de hockey à l'intérieur vers 1875. À l'époque, comme on peut l'imaginer, les aré纳斯 étaient mal ventilés. La condensation était parfois telle qu'un épais brouillard se formait. Même dans l'ancien Colisée de Québec, bâti en 1949 et rénové dans les années 1990, il n'était pas rare que la température ambiante monte de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant un match, pour atteindre $28\text{ }^{\circ}\text{C}$! Encore aujourd'hui, dans plusieurs amphithéâtres de la LNH, des déshumidificateurs doivent être ajoutés lors des matchs des séries éliminatoires de mai et de juin, pour assurer la qualité de la glace.

Heureusement, les plus récents aré纳斯 de la Ligue, comme celui de Dallas, sont équipés de déshumidificateurs de haute performance. Cela change tout, soutient Simon Gagné, joueur étoile de la LNH qui a remporté la Coupe Stanley avec les Kings de Los Angeles en 2012. « Dans ces nouveaux amphithéâtres, explique-t-il, la glace est plus dure. C'est plus facile pour les jambes; on croit voler au-dessus de la patinoire. Et on peut beaucoup mieux maîtriser la rondelle. »

Pour maintenir dans le Centre Vidéotron le taux d'humidité déterminé par la LNH – entre 30 % et 40 % d'humidité relative pour une température se situant entre $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ –, la ville de Québec a installé un système dit «à roue dessiccante». Ce système permet un transfert d'humidité dans une roue en mouvement, où l'air froid qui pénètre dans l'amphithéâtre est déshumidifié lorsqu'il entre en contact avec de l'air chaud et sec qui est par la suite évacué. De plus, explique l'ingénieur Samuel Paradis,



VILLE DE QUÉBEC

La meilleure glace du monde

Pour faire la meilleure glace du monde, il faudrait être en mesure d'utiliser un modèle unique de cristaux de glace, présentant une structure égale sur toute la surface, soutient le professeur de physique Patrick Ayotte. «Mais cette glace-là mettrait probablement une centaine d'années à se constituer», lance-t-il en riant. D'ici là, nous sommes condamnés à mettre au point des outils de plus en plus précis pour mesurer les propriétés de la glace afin d'en prédire le comportement.

dans la roue se trouve un gel de silice (similaire au gel ensaché que l'on met dans les boîtes de chaussures) qui absorbe l'humidité. Selon Simon Gagné, l'installation de cette technologie de pointe avantagera les joueurs, surtout les plus rapides, puisque la glace restera belle plus longtemps.

Le contrôle de l'humidité n'est cependant qu'une pièce du casse-tête. La ventilation en est une autre. Au Centre Vidéotron, on a encore innové en misant sur un système unique au monde dans un amphithéâtre : la ventilation par déplacement. Les ingénieurs de SNC-Lavalin se sont inspirés d'un concept déjà développé pour la Maison symphonique de Montréal et le Palais Montcalm à Québec. C'est en travaillant avec les équipes de design et de simulation tridimensionnelle en flux numérique que l'idée de créer un bouclier thermique leur est venue.

Ainsi, au lieu de propulser de l'air du plafond vers le bas, comme dans la plupart des amphithéâtres, la ventilation par déplacement s'effectue au niveau des gradins,

derrière les dossieriers des sièges où, l'air circulant très lentement, la turbulence se trouve réduite. « En ventilant à leur hauteur, on peut mieux oxygéner et rafraîchir les spectateurs », explique Samuel Paradis. De plus, comme ce système est moins bruyant que la ventilation habituelle, il peut aussi servir lors de spectacles.

Autre innovation, toujours à Québec : la ventilation par le tableau d'affichage. « On diffuse de l'air froid sous le tableau d'affichage pour maintenir une zone à basse température au dessus de la patinoire. Et comme cette technique de ventilation permet une stratification de l'air, donc un contrôle ciblé de la température,

l'air est moins froid dans les gradins », ajoute le jeune ingénieur de 33 ans.

Complètement informatisé, le réseau de domotique du Centre Vidéotron permet de voir comment le bâtiment se comporte en temps réel et d'ajuster les paramètres selon les besoins. La température, l'humidité et la vitesse de l'air peuvent ainsi être contrôlées indépendamment dans chacun des quatre secteurs de l'amphithéâtre. « Avec le temps, on pourra mesurer et analyser les tendances pour mieux comprendre comment le bâtiment réagit et pour calibrer les équipements », dit Samuel Paradis, fier d'avoir été en mesure de livrer l'édifice dans le temps et le budget prescrits.

Un budget de 7 millions de dollars a été prévu pour assurer la conformité aux normes et faire les ajustements qui s'imposent au cours de la prochaine année, ajoute Louis Tremblay, adjoint au directeur du projet pour la Ville de Québec.

D'ici un an, le Centre Vidéotron fabriquera l'une des plus belles glaces du monde. Reste à voir si un jour, une équipe appelée « Nordiques » pourra en profiter ! ☑



Le Centre Vidéotron, c'est...

70 unités de ventilation, totalisant 785 000 pieds cubes par minute (pcm) d'air de ventilation, soit assez pour ventiler 5 230 maisons unifamiliales.

12 chaudières de chauffage à condensation au gaz naturel, totalisant 36 millions de BTU/h, soit l'équivalent de 820 barbecues domestiques.

4 refroidisseurs de climatisation, totalisant 2 332 tonnes (t) de refroidissement, soit l'équivalent de 1 555 climatiseurs domestiques.

3 compresseurs, totalisant 300 t de réfrigération pour la patinoire (l'équivalent de ce qu'il faut pour réfrigérer les patinoires de 4 arénas typiques).

15 km de conduits de ventilation.

52 km de conduites d'eau.

Les patinoires extérieures en voie de disparition ?

Changements climatiques obligent, il est de plus en plus difficile de jouer au hockey ou de patiner en hiver. Si la tendance climatique se maintient, en 2090, il ne restera qu'une quarantaine de jours de patinage en moyenne à Montréal et à Toronto. Ces données sont tirées de Rink Watch, un projet de science citoyenne lancé par Colin Robertson et Robert McLellan, professeurs de géographie à l'université Wilfrid Laurier de Waterloo, en Ontario.

Rink Watch est en fait un réseau d'utilisateurs de patinoires extérieures qui, chaque hiver, enregistrent des données sur la qualité de la glace. Lors des deux premiers hivers à l'étude (2012-2013 et 2013-2014), plus de 10 000 observations sur la qualité de la glace de près de 1 000 patinoires ont été enregistrées, d'un océan à l'autre. «C'est une manière intéressante de constater les effets des changements climatiques dans notre vie de tous les jours et de faire en sorte que les gens en parlent», soutient Colin Robertson.

Pour patiner, peu importe les conditions climatiques, on trouve de plus en plus de glaces artificielles extérieures, comme à la Place d'Youville, à Québec, ou au Centre Martin Brodeur, à Saint-Liboire. Il suffit de dérouler un tapis de tubes à haut débit réfrigérant, idéalement de recouvrir le tout d'un toit, pour assurer une belle patinoire d'octobre à avril. «On peut même faire des patinoires en plein milieu du désert», lance Pierre Beaudet, technicien de glace depuis 32 ans. Mais il faut y mettre le prix: un tel système coûte quelques centaines de milliers de dollars.



La patinoire de la place d'Youville, à Québec

CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les leçons du



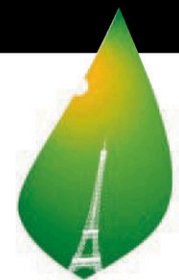
Pakistan, 10 septembre 2010

Ils sont loin d'être les plus grands producteurs de gaz à effet de serre de la planète, pourtant les pays du Sud sont gravement touchés par les changements climatiques qui causent des phénomènes météorologiques extrêmes comme des pluies intenses, des inondations et des sécheresses. Voici comment ils tentent d'y faire face.

Sud

Par Bouchra Ouatik

Pakistan Semer autrement

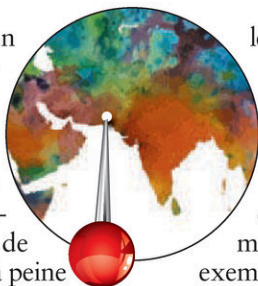


COP21-CMP11
PARIS 2015

> Depuis cinq ans, le Pakistan a été touché par des catastrophes naturelles de grande ampleur. La pire de l'histoire du pays fut, en 2010, une série d'inondations qui ont recouvert un cinquième du territoire, affectant 20 millions de personnes. L'année suivante, à peine relevés, les Pakistanais faisaient face à une autre inondation majeure dans la zone semi-aride de Sindh.

« Les changements climatiques rendent le temps erratique. Une année, ce sont des inondations massives, l'année suivante, c'est la sécheresse », dit Adil Najam, doyen de la Frederick S. Pardee School of Global Studies, à l'université de Boston aux États-Unis. Il d'ailleurs mené un projet de recherche au Pakistan, avec la Lahore University of Management Sciences (LUMS), afin de comprendre comment les agriculteurs peuvent s'adapter aux aléas du climat. « Quand vous ne savez pas à quel temps vous attendre, votre vie entière est chamboulée », souligne-t-il. Cela est particulièrement vrai pour les agriculteurs.

Adil Najam calcule que, d'ici 25 ans, la productivité agricole du Pakistan risque d'être réduite de 8 % à 10 % en raison des changements climatiques. Le projet de recherche mené par la LUMS, en collaboration avec le Social Policy and Development Centre et le Pakistan Institute of Development Economics (PIDE), vise donc à aider les agriculteurs à améliorer



leurs pratiques. L'équipe de chercheurs est allée discuter de ses méthodes de travail et tenter de trouver avec eux ce qui pourrait être fait différemment, tout en minimisant les coûts. « On leur propose de modifier le type de cultures. Par exemple, en période de sécheresse, ils pourraient passer de la culture de la canne à sucre à celle du maïs qui nécessite moins d'eau », explique-t-il. Déjà, dans certaines régions, des agriculteurs ont délaissé la culture des bananes et du blé pour celle de la moutarde et des dattes, qui survivent mieux dans un sol aride.

Avec les changements climatiques, les agriculteurs doivent aussi corriger leur calendrier. Ils vont, par exemple, semer plus tard dans la saison et intercaler différents types de cultures au cours de l'année.

Adil Najam note que de telles adaptations permettront même aux fermiers d'être plus productifs qu'autrefois, quand le climat ne posait pas encore de problème. « Leurs pratiques agricoles n'étaient pas toujours efficaces, remarque-t-il. Ils ont maintenant l'occasion de bonifier leurs pratiques et leurs résultats. »

Cependant, même si les agriculteurs parviennent à long terme à adapter leurs pratiques au climat, le chercheur insiste : il faut corriger le problème à sa source. « La meilleure solution, rappelle-t-il, c'est encore de réduire les émissions de gaz à effet de serre. »



Adil Najam calcule que, d'ici 25 ans, la productivité agricole du Pakistan pourrait être réduite de 8 % à 10 % en raison des changements climatiques.



Bangalore en Inde. La demande d'eau augmente avec l'industrialisation.

STEVE RAYMER/CORBIS

Inde

Quand les villes grandissent trop vite



« Nous risquons d'épuiser nos réserves d'eau souterraine », Veena Srinivasan, sociohydrologue au Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment (ATREE), basé à Bangalore.

► Avec plus de 1,2 milliard d'habitants, la population de l'Inde ne cesse de croître et, par le fait même, de transformer le pays. « Ici, le climat n'est pas la seule chose qui change. Tout change ! » explique Veena Srinivasan, sociohydrologue au Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment (ATREE), basé à Bangalore, une ville de 4 millions d'habitants, dans le sud de l'Inde. L'équipe de la chercheuse étudie comment différents facteurs – climat, surpopulation, pollution – affectent ici l'accès à l'eau, tirée du bassin de la rivière Arkavathy.

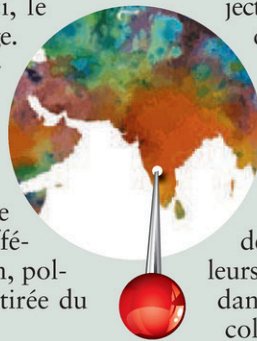
« Si vous vous promenez dans Bangalore, pour-suit-elle, la première chose que vous remarquez, c'est à quel point tout prend de l'expansion; les routes, les bâtiments, tout. » Par conséquent, les habitants doivent changer peu à peu leur mode de vie. « Personne ne veut rester en agriculture, car c'est plus facile de se trouver un travail en ville, explique Veena Srinivasan. Ceux qui persévèrent se tournent vers la culture de l'eucalyptus qui nécessite cependant de creuser des puits de plus en plus profondément. »

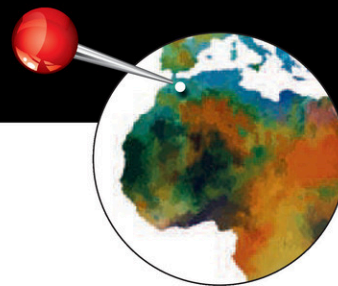
Problème : à la ville comme à la campagne, la demande d'eau augmentant sans cesse, la nappe

phréatique s'épuise. Pour parvenir à maîtriser la situation, les chercheurs se sont donné comme objectif de sensibiliser les agriculteurs à la gestion de l'eau. « Par exemple, nous leur apprenons comment mesurer les niveaux d'eau souterraine », explique Mme Srinivasan.

Il n'y a pas que ça. La région de Bangalore abrite aussi plusieurs usines de construction automobile, de textile et d'électronique, qui non seulement utilisent de grandes quantités d'eau, mais déversent leurs eaux usées, contenant des métaux lourds, dans les bassins servant à la production agricole. « Il y a des règlements, mais ils ne sont pas appliqués », se désole Veena Srinivasan.

En étudiant les différentes menaces qui pèsent sur les réserves d'eau potable, l'équipe de chercheurs d'ATREE compte fournir des données précises aux gouvernements locaux, afin de les amener à mieux réglementer l'utilisation de l'eau. « La situation actuelle est inquiétante, dit Veena Srinivasan. Ce qui risque surtout d'arriver, c'est que nous épuisions nos réserves d'eaux souterraines. » La chercheuse insiste sur le fait que les changements climatiques ne doivent pas être étudiés de manière isolée, puisqu'ils ne constituent qu'une pièce dans un casse-tête géant.





Maroc

La valeur de l'eau



Driss Ouazar. Il juge nécessaire d'optimiser chaque goutte d'eau.

> Le Maroc, au nord de l'Afrique, est un territoire en partie aride, où les pluies sont rares, mais où l'agriculture prospère malgré tout. Les changements climatiques ont cependant eu ici des effets majeurs dans les dernières années. Les précipitations ont diminué de 20 % et les vagues de chaleur ou de froid sont de plus en plus fréquentes.

« Le Maroc a peu contribué aux causes des changements climatiques, mais c'est un des pays qui en a subi les conséquences avec une grande acuité », explique Moulay Driss Hasnaoui. L'expert en ressources hydriques fait partie d'un groupe de recherche de l'École Mohammadia d'ingénieurs, à Rabat, qui s'intéresse aux effets des changements climatiques sur l'eau, l'agriculture et la santé, plus précisément dans la région de la Haute-Moulouya, dans le nord-est marocain.

Ainsi, les périodes prolongées de températures extrêmes bouleversent le mode de vie des habitants des régions rurales. « Cela mène à l'exode des populations vers les villes, explique M. Hasnaoui. Aussi à la déscolarisation des filles, puisqu'elles doivent aller chercher de l'eau plus loin lors des sécheresses, ce qui leur enlève du temps pour l'école. » En plus, le chergui, un vent chaud et sec venu du Sahara, vient tuer la végétation.

En recueillant des données hydrométéorologiques de la région, les chercheurs ont mis au point un modèle mathématique qui permet de prédire à moyen terme l'évolution de ces épisodes climatiques. « Grâce

à ce modèle, nous sommes en mesure de prévoir la situation, donc de prévenir des catastrophes, en agriculture comme en santé humaine », explique le chercheur. Ainsi, les habitants d'une région touchée pourront amasser plus de bois de chauffage pour faire face au froid ou encore irriguer plus abondamment leurs terres si la sécheresse risque de se prolonger.

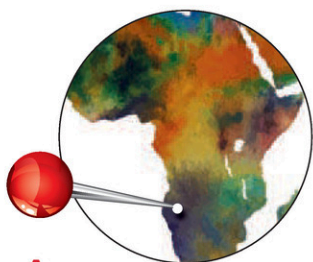
Éventuellement, affirment les chercheurs, un outil de prévision en temps réel sera mis au point. Les modélisations du groupe de recherche serviront aussi à voir venir à plus long terme. « Cela nous permettra d'analyser les scénarios afin d'optimiser l'utilisation de l'eau en fonction des changements climatiques », explique le directeur du projet et expert en ressources hydriques, Driss Ouazar.

Autre objectif important : concevoir de nouveaux barrages, mieux adaptés aux variations des ressources en eau. Les ouvrages actuels sont pour la plupart construits sur des terrains friables. Alors, quand les pluies sont abondantes, les sédiments au sol sont entraînés vers les barrages et dégradent la qualité de l'eau.

Le Département de l'eau se dit déjà très intéressé par les recherches du groupe de l'École Mohammadia d'ingénieurs. L'État souhaite les mettre en pratique dans d'autres régions du Maroc, explique Driss Ouazar, en ajoutant que cela sera aussi utile ailleurs au Sahel, où les mêmes problèmes surgissent. « Cela s'inscrit dans le plan vert du Maroc, souligne-t-il. C'est-à-dire optimiser chaque goutte d'eau. »

Les montagnes du Haut-Atlas marocain. Dans les vallées, des systèmes de captation d'eau permettent de faire des cultures.





Angola

Mieux prévoir

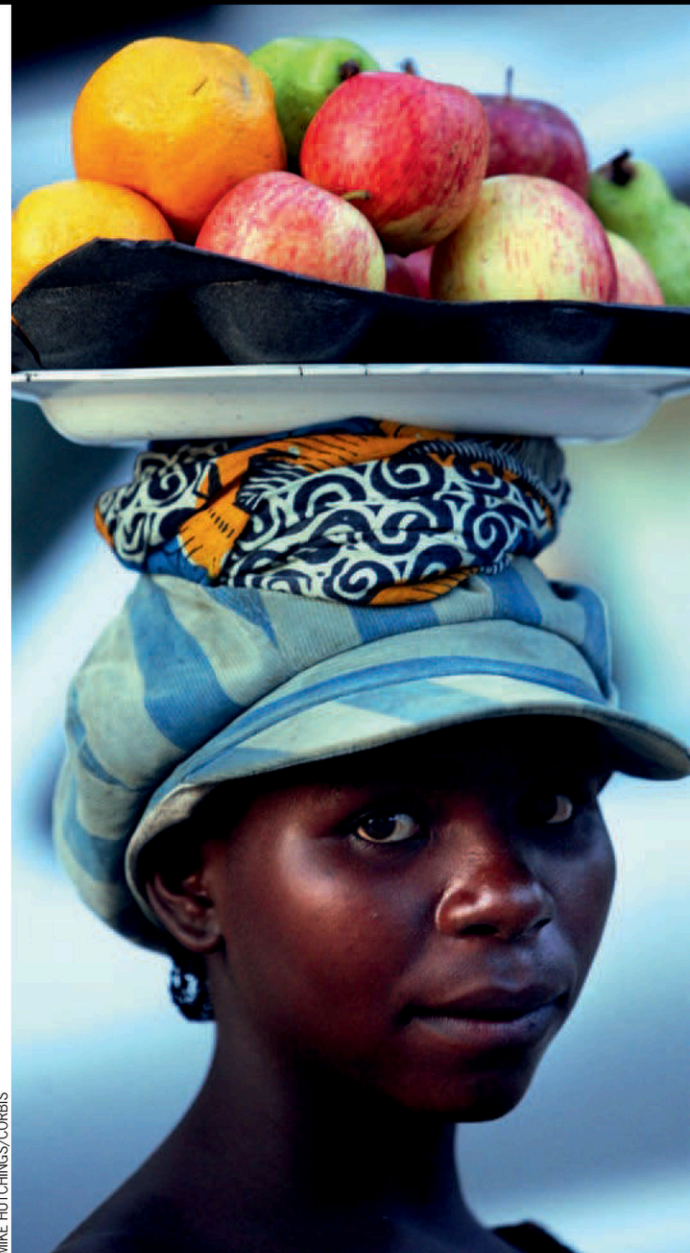
> L'Angola bénéficiait autrefois d'une riche base de données climatiques. Mais 30 ans de guerre civile, entre 1973 et 2002, ont détruit 98 % des stations météorologiques du pays et les données associées. La guerre a aussi poussé un grand nombre de familles des régions rurales à fuir le centre du pays; elles se sont installées dans les villes du littoral, dans l'ouest, la région la plus affectée par les changements climatiques. Aujourd'hui, 70 % de la population urbaine y vit.

« Les données nous montrent que les zones côtières subissent des pluies plus courtes et plus intenses, ainsi que des sécheresses plus longues », explique le chercheur Allan Cain, directeur de l'organisme Development Workshop Angola. Et les plus touchés par les soubresauts du climat sont bien souvent les moins nantis. « Les personnes pauvres tendent à s'établir là où les terrains valent le moins cher. Or, ce sont aussi les secteurs les plus à risque d'inondation », dit-il. De plus, dans ces quartiers, les conditions sanitaires sont mauvaises, l'eau est polluée; les maladies, telles que le choléra et la malaria, se transmettent donc plus facilement.

L'équipe du Development Workshop Angola a collecté – par images satellites entre autres – les informations nécessaires pour établir une carte des risques auxquels font face les régions côtières de Luanda, Cabinda, Benfuela et Lobito, quatre villes densément peuplées.

Elle a aussi délégué auprès des résidents des dizaines d'enquêteurs équipés de tablettes électroniques pour recueillir des informations. Des cartes détaillées des conditions sur le terrain pourront ainsi être établies dans chaque secteur.

Ces renseignements sont d'une grande utilité pour la planification urbaine. Par exemple, les en-



MIKE HUTCHINGS/CORBIS



Allan Cain, directeur de l'organisme Development Workshop Angola. Il rappelle que les plus touchés par les soubresauts du climat sont bien souvent les moins nantis.

quêteurs font le relevé des points d'eau potable dans les villes, afin de déterminer où, précisément, de nouveaux systèmes d'approvisionnement en eau devront être installés. En connaissant mieux les secteurs à risque d'inondation, les autorités pourront également réglementer en conséquence la construction de nouveaux bâtiments.

Disposant de toutes ces données météorologiques, les chercheurs sont mieux équipés pour voir venir les catastrophes naturelles. « En avril et mai 2015, nous avons été en mesure de prévenir les populations de Luanda et Lubito des inondations qui allaient survenir », se félicite Allan Cain. Ce qui a permis d'évacuer des centaines de familles.

L'équipe de chercheurs a d'ailleurs été sollicitée par le gouvernement angolais pour participer à l'élaboration d'une stratégie nationale et d'un plan d'action sur les changements climatiques.



Sénégal

Les inondations dans la commune de Yeumbeul Nord

Rester à tout prix

> Lorsqu'un quartier risque d'être inondé, la solution la plus logique est de construire de nouvelles maisons dans des zones plus sûres et d'y relocaliser les habitants. Mais à Dakar, la capitale du Sénégal, les choses ne sont pas si simples.

La région du Sahel a connu une longue période sans précipitations dans les années 1970, 1980 et 1990. « Quand il y a sécheresse, les populations rurales migrent vers les villes », explique Oumar Cissé, secrétaire exécutif de l'Institut africain de gestion urbaine. Ainsi, à Dakar, des familles sont venues s'installer dans des zones considérées comme « humides » mais qui étaient depuis longtemps asséchées. « Le problème, c'est que les pluies reviennent depuis une dizaine d'années, dit Oumar Cissé. Alors bonjour les dégâts ! »

Dans la capitale et ses banlieues souvent surpeuplées, les inondations touchent fréquemment des dizaines de milliers de maisons. « Si les pluies s'installent définitivement, nous risquons de voir la moitié de la banlieue aux prises avec ce genre de problème », explique le chercheur.

En 2012, l'État sénégalais a mis sur pied un programme d'aide de 1,5 milliard de dollars, qui comprenait la construction d'infrastructures de drainage et le réaménagement de nouveaux quartiers. Cependant, les chercheurs ont constaté avec étonnement que les familles des quartiers inondés choisissaient souvent de rester sur place, plutôt

que de déménager. Pourquoi? Oumar Cissé explique que les résidents des quartiers vulnérables gagnent généralement leur vie dans le secteur de l'économie informelle, par exemple comme vendeurs au marché local. Une relocalisation pourrait leur faire perdre leur gagne-pain. Et il ajoute qu'un tiers des résidents de Yeumbeul Nord, en banlieue de Dakar, sont venus s'installer dans cette commune après que la région a été touchée par de sérieuses inondations.

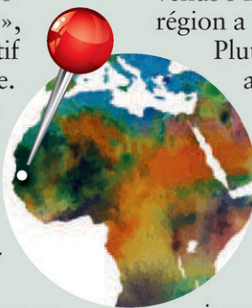
Plutôt que de partir, les gens s'adaptent aux aléas du climat. Plusieurs rasent leur maison, surélèvent leur terrain et rebâtissent. « La moitié de ceux qui ont construit leur maison après les inondations ont d'ailleurs été épargnés », observe Oumar Cissé, au sujet de la commune de Yeumbeul Nord.

Mais cela ne règle pas tout. Lors des inondations, les routes de sable deviennent impraticables et les fosses septiques débordent. Au lieu de déplacer les populations, l'équipe de l'Institut africain de gestion urbaine a donc misé sur la construction de canaux de drainage, de bassins de rétention, de stations de pompage ainsi que de fosses septiques en PVC, plus étanches.

Oumar Cissé croit que les villes du Sénégal ont tout intérêt à régler rapidement leurs problèmes d'infrastructures, puisque les pluies pourraient s'intensifier dans les années à venir. « Nous avons des pluies normales, de 200 mm par année. Mais quand on en sera à 900 mm, qu'est-ce qui arrivera? »



Oumar Cissé, de l'Institut africain de gestion urbaine. Selon lui, il faut améliorer les infrastructures urbaines pour pouvoir faire face aux pluies plus intenses.



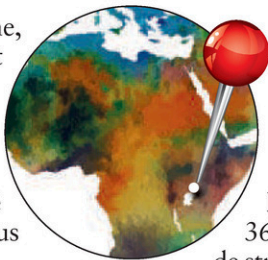
Ouganda

Travail saisonnier

> Au cœur de l'Afrique subsaharienne, les éleveurs et les agriculteurs se sont toujours appuyés sur les connaissances que leur ont transmises leurs aînés – par exemple, pour savoir quand semer ou quand vendre le bétail. Mais les changements climatiques ont modifié la donne. Le cycle des saisons est de plus en plus imprévisible.

Le projet de recherche mené par l'organisme à but non lucratif FHI 360 et l'université Makerere dans les districts de Nakasongola, Soroti et Sembabule, dans le centre du pays, vise à aider les agriculteurs et les éleveurs à planifier leur travail grâce aux prévisions météo à court terme.

À partir de données quotidiennes collectées dans les régions les plus touchées, les chercheurs préparent des bulletins météo sur 10 jours, dans




lesquels ils incluent une foule d'informations pratiques. « Comment gérer leurs plantations, économiser l'eau, se débarrasser des parasites; mais aussi les prix hebdomadaires du marché pour les récoltes et pour le bétail, illustre le directeur de FHI 360, Behrane Gebru. Dans les périodes de stress, les fermiers s'empressent de vendre, continue le chercheur. Les commerçants viennent au village et annoncent: voici le prix. Mais si nous leur avons fourni les véritables prix du marché, les fermiers sont en mesure de mieux négocier ou de juger si c'est le bon moment pour vendre. »

L'équipe utilise tous les moyens technologiques à sa disposition – radios FM locales, textos, annonces au haut-parleur dans les villages – et joint ainsi quelque 100 000 producteurs. Cela dit, certains ont parfois du mal à prendre ces communications au sérieux, reconnaît Behrane Gebru: « Notre étude a démontré que 97 % des répondants ne faisaient pas confiance aux textos reçus sur leur téléphone cellulaire, car ils sont habitués à recevoir des messages de fraudeurs. »

Les chercheurs ont donc sollicité la collaboration des autorités locales, chefs de village et leaders religieux. « Nous diffusons un talk-show chaque mois, où nous invitons, par exemple, un expert en agriculture ou en développement pour décrire la situation et expliquer aux fermiers ce qu'ils peuvent faire », continue Behrane Gebru. Et une tribune téléphonique invite les producteurs à poser leurs questions ou à dispenser leurs conseils.

Le projet pilote a permis, dans les régions étudiées, de réduire de 67 % les pertes des producteurs et d'augmenter les revenus des ménages de 325 \$, en moyenne, par année.

L'équipe de chercheurs espère maintenant étendre ce projet au reste de l'Ouganda, voire à d'autres pays. La leçon à retenir: une bonne information ne suffit pas; il faut savoir aussi comment la transmettre. 

Un marché public à Kampala, en Ouganda

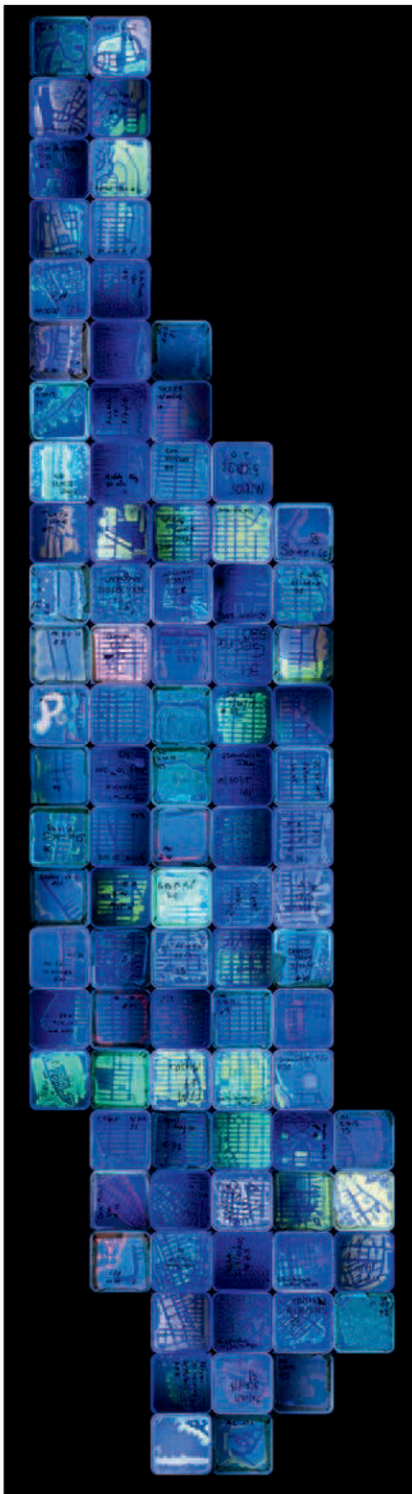


Pour Behrane Gebru de l'université Makerere, il faut mieux informer pour mieux planifier.



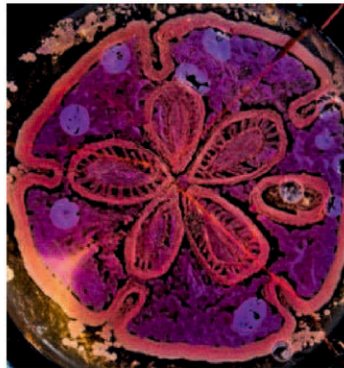
THOMAS MUKOVA/CORBIS

Ce dossier décrit les travaux financés par le Centre de recherches pour le développement international (CRDI) du Canada. S'inscrivant dans l'action du Canada en matière d'affaires étrangères et de développement, le CRDI investit dans le savoir, l'innovation et les solutions afin d'améliorer les conditions de vie et les moyens de subsistance dans les pays en développement.



BEAUTÉS MICROBIENNES

Une boîte de Petri, de l'agar-agar et... choisissez des bactéries, c'est elles qui apporteront couleurs et motifs selon leur espèce et au gré de leur prolifération dans la gelée. Telle est l'idée fantasque de la Société de microbiologie des États-Unis qui a lancé un concours de « tableaux » microbiens. On peut voir les œuvres en tapant [2015 Agar Art contest](#) | [Facebook](#) dans Google.



Matières à lire

PASTEUR, SA VIE, LA VIE



Le romancier Erik Orsenna ne connaissait absolument rien à la biologie quand il a obtenu le fauteuil qu'avait déjà occupé Louis Pasteur à l'Académie française. Il s'est donc plongé dans la vie du pionnier de la microbiologie pour la raconter et parler, en parallèle, de la vie avec un grand V. Il décrit un travailleur infatigable, qui

n'avait pas tout à fait la bosse des sciences au départ, et qui a commencé sa carrière en étudiant le jus de betterave, pour finir par mettre au point un vaccin contre la rage. Un cours d'histoire fort bien écrit.

La vie, la mort, la vie : Louis Pasteur 1822-1895, Erik Orsenna, Fayard, 2015, 198 p.

M.G.



« UN MONDE À PEINE CONNU ET DÉJÀ MENACÉ »

Lui est ingénieur énergéticien, spécialiste de la plongée polaire ; elle, professionnelle de la navigation à voile. Ils en sont à leur deuxième expédition *Under the pole*. À bord de *Why*, leur goélette d'aluminium de 19,5 m au nom évocateur, ils sont 12, dont le photjournaliste qui réalisera les photos exceptionnelles de ces 21 mois d'exploration du Groenland. L'expédition sert aussi de contexte à six programmes scientifiques, depuis « l'étude de la physiologie des plongeurs en milieu extrême jusqu'à celle de la glace, du requin du Groenland ou des bivalves ». Le défi que s'est lancé ce couple de découvreurs : « Plonger plus profond que jamais auparavant, dans l'eau la plus froide du monde, pour aller voir à quoi ces profondeurs ressemblent et les documenter. » Un livre qui nous entraîne, au fil des jours, à la rencontre des gens et des animaux, des paysages et des villages, des eaux et de la vie dessous, dans un monde de lumières et d'ombres à nul autre comparable, « à peine connu, écrivent les auteurs, et déjà menacé ».

Immersion polaire, Emmanuelle Périé-Bardout, Ghislain Bardout, photos Lucas Santucci, Ulmer, 2015, 216 p. H.M.

À LIRE DANS LE PROCHAIN NUMÉRO

LES 10 DÉCOUVERTES DE L'ANNÉE

Québec Science fait le bilan de l'année en présentant, comme de coutume, 10 découvertes issues de nos laboratoires; 10 beaux moments de science que l'on partage avec vous.

23^e
ÉDITION !



ALIMENTER LES I ÉES

POUR LE TEXTE
ET LE CONTEXTE

LE DEVOIR



N'ajustez pas votre appareil

Caprices et crépitements des ondes radio.

« **J**'écoute souvent la radio en auto, mais quelque chose d'étrange se produit parfois quand je dois arrêter à une intersection: la radio se met à "gricher", sans raison apparente, puis tout redevient normal si j'avance un peu. Le signal provient d'une station située à 50 km ou 75 km. Alors quelle différence peuvent bien faire 1 m ou 2 m? » demande Pierre Létourneau de Sainte-Adèle.

Ce n'est pas, en effet, une affaire de distance, explique Jean-Jacques Laurin, directeur du Centre de recherche en électronique radiofréquence (CREER) de la Polytechnique à Montréal. Habituellement, quand la radio se met à faire de la friture, c'est qu'on se trouve dans un endroit trop fermé pour que les ondes puissent se rendre jusqu'au récepteur. Mais à un coin de rue, en plein air? Il y a autre chose en cause, estime-t-il.

« On a tendance à visualiser les communications radio comme s'il y avait d'un côté une antenne émettrice et, de l'autre, une antenne réceptrice; entre les deux, une ligne droite, directe. Sauf que ça ne fonctionne pas comme ça, dit M. Laurin. Ce qu'on reçoit, la majeure partie du temps, ce sont des échos, des rebonds d'ondes sur des obstacles. Les exemples sont nombreux d'endroits clos où on peut recevoir la radio! Ça démontre que ce qu'on reçoit, la plupart du temps, ce sont des réflexions. »

Si les ondes radio se répercutent ainsi sur les murs, leurs rebonds se croisent en de multiples endroits. Et quand deux ondes se rencontrent, il se produit un phénomène nommé « interférence ». C'est presque toujours sans conséquence pour les émissions radio mais, dans certaines circonstances, cela peut carrément embrouiller localement le signal.

On peut en effet se représenter les ondes radio comme des

sortes de vagues, des séries de crêtes et de creux. Quand deux ondes se croisent, il arrive que leurs crêtes s'alignent l'une sur l'autre. Les ondes vont alors s'additionner, se renforcer, si l'on préfère. Mais il peut arriver aussi que les crêtes s'alignent sur des creux. Les deux ondes vont alors se soustraire l'une de l'autre; et si elles sont de force à peu près égale, il n'en restera plus grand-chose.

« C'est ce qui va provoquer un évanouissement du signal, dit M. Laurin. Il y a des endroits où les évanouissements sont plus profonds qu'à d'autres, c'est caractéristique des milieux compliqués. Ce qu'on reçoit, c'est une superposition de plusieurs ondes qui se réfléchissent sur plusieurs obstacles. »

Les signaux radio n'ayant pas tous la même longueur d'onde (la distance entre deux

« crêtes de vague ») ni le même lieu d'origine, ils peuvent interférer de façon radicalement différente d'un endroit à l'autre. Comme

l'a constaté M. Létourneau,

notre lecteur, on entre et on sort de ces « trous radiophoniques » en seulement quelques mètres.

Fait à noter, ajoute Christophe Caloz, collègue de Jean-Jacques Laurin

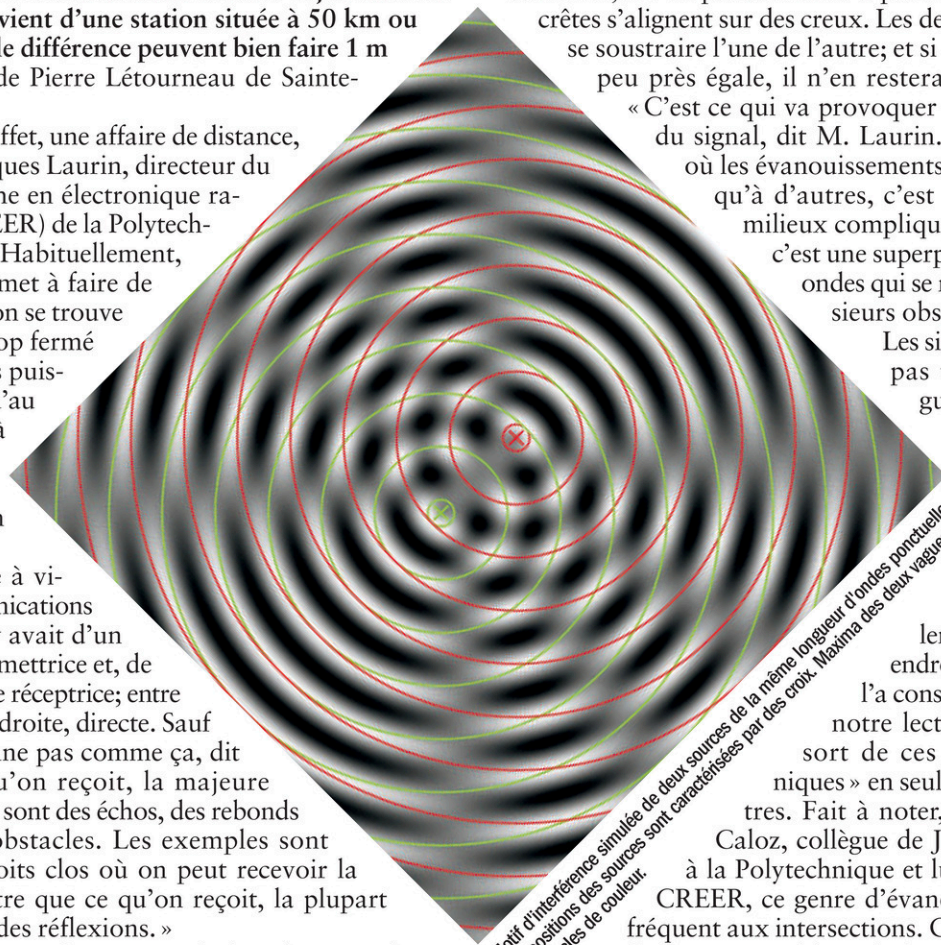
à la Polytechnique et lui aussi membre du CREER, ce genre d'évanouissement est plus

fréquent aux intersections. Car n'importe quelle

onde électromagnétique émise par n'importe quelle source, directe ou réfléchi, peut interférer avec les signaux radio. Ce peut être un fil ou un appareil électrique,

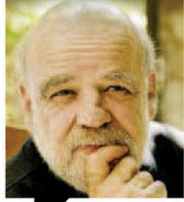
un portable; n'importe quoi. Et comme il y a plus de véhicules, plus d'immeubles (donc plus d'angles de réflexion pour les ondes) aux intersections que le long des routes droites, alors

il s'y produit plus d'interférences. ☐



Motif d'interférence simulée de deux sources de la même longueur d'ondes ponctuelles. Les positions des sources sont caractérisées par des croix. Maxima des deux vagues par des cercles de couleur.

Vous avez la tête remplie de questions de nature scientifique, mais vous ne savez pas trop où chercher les réponses? Envoyez-les à l'adresse questionspourQS@gmail.com, et notre chroniqueur se fera un plaisir d'y répondre!



Au pays de la petite enfance

Les petits enfants habitent le pays de leur enfance. Ils n'habitent pas de beaux ou de moins beaux quartiers, ils sont sans nationalité, sans identité. De 0 à 5 ans, tous les enfants se ressemblent, au-delà de leur aspect physique et de leur environnement. Chacun habite le territoire sacré de sa venue au monde, chacun écoute le temps précieux où l'être se découvre, se rencontre lui-même, s'exerce à tout, prend contact avec les autres. Ici, il est autant de géographies qu'il est de petits yeux ouverts sur des terrains nouveaux. C'est une chambre, un corridor, une ruelle, une cour, un champ, ce sont des paysages, des visages d'adultes, des animaux, les images ont un relief où chaque détail revêt une grande importance : le nez de ce monsieur, le parfum de cette dame, cette colline au loin, une tache à la surface de la lune, la boucane noire du train, l'odeur de l'encens, un glaçon, la signature du froid coupant, un foulard et des mitaines gelées. Ce sont des chansons, des cris, les sons d'une langue maternelle, de grosses peines, de grands bonheurs, et puis des peurs.

Adultes devenus, nous croyons voyager, nous allons de pays en pays, nous volons d'un continent à l'autre. Ces déplacements dans l'espace sont des voyages à l'intérieur d'une grande bulle qui s'appelle la planète Terre. En réalité, nous tournons en rond et nous faisons des allers-retours, tous les grands voyageurs savent cela. Il apparaît impossible de sortir de ce cercle. Quoi que nous fassions, nous ne sommes jamais bien loin de là où nous sommes déjà allés, et dans ce tournoi des destinations exotiques, un jour ou l'autre, nous revenons sur nos pas. En vérité, la vie finit par nous enseigner que le vrai voyage se situe dans le temps et ce voyage-là est aussi fascinant qu'effrayant. S'il est toujours possible de « découdre » son chemin dans l'espace, il est impossible de remonter le compte des années. Quand je pense au pays de mon enfance, je vois bien que l'on est tous condamnés à l'exil, du moment que l'on vieillit.

Je suis si loin de mon petit tricycle, de ce vieil érable, de la pluie de samares que nous appelions des hélicoptères, de ces feux de trottoir qui sentaient si bon, elle me revient chaque automne, cette odeur de fumée émanant des tas de feuilles

mortes qui se consumaient lentement – et qui s'empilent à présent dans les rues car cela ne se fait plus, brûler des feuilles mortes. Aujourd'hui, je suis si loin de l'immensité de tout ce qui m'entourait, des épaules de mon père, de la noirceur de l'automne, de la blancheur de la neige, de la beauté des automobiles. En ce pays de mon enfance, j'étais si innocent que je croyais les fourmis importantes, j'admirais les briquettes de charbon qui tombaient des wagons noirs immobilisés sur la voie ferrée, je trouvais les maisons grandes, la rue interminable, la lune magique. Dans le pays de mon enfance, la pluie avait un je-ne-sais-quoi de pluvieux, les orages grondaient beaucoup plus fort qu'aujourd'hui, il y avait des chiens-loups, les bateaux sur le fleuve revenaient de très loin, ils s'en allaient plus loin encore, les moineaux domestiques étaient intéressants, les fruits étaient sucrés et j'aimais tant les sandwiches au Paris Pâté.



Bébé Serge, 7 mois

Si je vous dis tout cela, c'est que j'arrive de ce pays, c'est-à-dire du Forum *Tous pour eux* organisé par le projet collectif Avenir d'enfants. Il y avait là plus de 550 personnes réunies dans un hôtel de Québec, en majorité des femmes, bien sûr, aussi bien des intervenantes en développement social que des éducatrices de garderie, des psychologues, des administratrices qui se désolent à agir, à réfléchir, à *prendre soin*, à se préoccuper de cette question fondamentale : la petite enfance.

Trois jours de conférences et de colloques et de tables rondes et d'ateliers pour tourner autour de ce noyau dur : on n'a qu'une enfance, il n'y aura pas de deuxième chance. Un seul enfant négligé ou battu, abusé ou délaissé, et voilà notre société en échec. Ce pays de l'enfance doit être cultivé, fréquenté, surveillé, comme un jardin aussi précieux que fragile, ce fameux jardin de l'enfance où tous les petits, sans exception, seront protégés contre le mauvais temps, le mauvais sort, la négligence. Entre 0 et 5 ans, la partie se joue, l'enfant grandira sur ces fondations, sur le terrain de ses premiers jours, de ses premiers mois, et tout un destin repose sur ces cinq premières années.

En ce pays de la petite enfance, les petits enfants s'amuse, ils mangent à leur faim, ils dorment sur leurs deux oreilles, ils évoluent en sécurité dans le milieu d'un cercle, comme l'éléphant au centre de sa harde de géants et de géantes qui font mur autour de lui contre l'adversité du monde. ☞

Êtes-vous fait pour la maîtrise?

SIX ÉTUDIANTS À LA
MAÎTRISE ET AU
DOCTORAT PERCENT
LE MYSTÈRE DES
ÉTUDES SUPÉRIEURES



5 VIDÉOS
à découvrir

USherbrooke.ca/etudes-sup



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

| *Voir au futur*

planétarium rio tinto alcan

aurorae

Expérience immersive
en projection 360°

Musique
DJ Champion



espace
pour la
vie montréal

biodôme insectarium jardin botanique planétarium rio tinto alcan