

VÉLO : UNE ÉNIGME DE 200 ANS ENFIN RÉSOLUE ?

QUÉBEC SCIENCE

JUILLET-AOÛT 2017

Dossier
bouffe



L'AGRICULTURE
DU FUTUR SERA
GÉNÉTIQUE



LE QUÉBEC
VA-T-IL
SE CONVERTIR
AU SOLAIRE ?

La science du gout

Quand chaque bouchée devient
une expérience scientifique.

JUILLET-AOÛT 2017

PP 065387

7 78313 03815 6

07

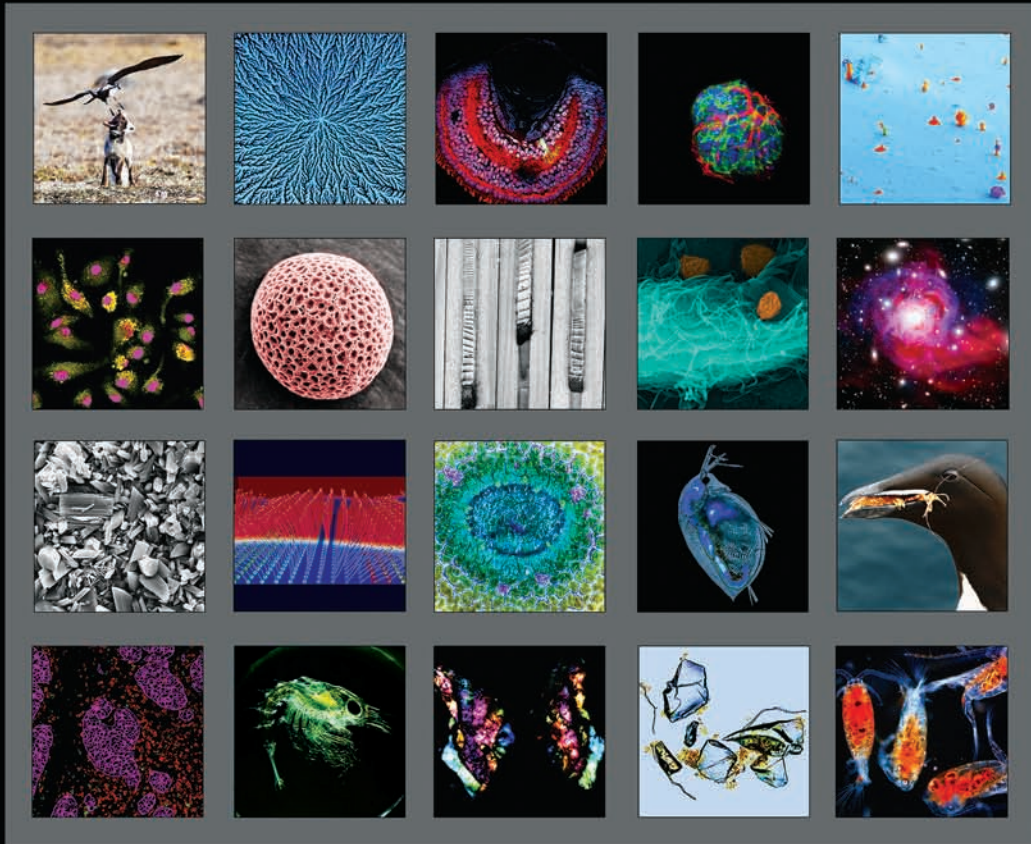
6,45\$

MESSAGERIE DYNAMIQUE 10682

LA PREUVE PAR L'IMAGE



acfas.ca/preuve



VISITEZ

Exposition au Biodôme de Montréal
jusqu'au 31 décembre 2017 [entrée payante]
espacepurlavie.ca/biodome

VOTEZ

Prix du public *Découverte*
jusqu'au 1^{er} octobre 2017
radio-canada.ca/decouverte

PRODUCTRICE

PARTENAIRES

SOMMAIRE

19



PHOTO DE LA PAGE COUVERTURE : VIRGINIE GOSSELIN

DOSSIER BOUFFE

20 À la recherche du goût

Des chercheurs font de chaque bouchée une expérience scientifique.

26 Les nouveaux hackers de l'agriculture

Bienvenue dans l'ère des champignons qui ne brunissent pas, des tomates sans graines et du riz qui fleurit sur demande.

31 Génie de la bouffe

Irwin Adam Eydelant titille les sens pour susciter la réflexion sur l'alimentation. Portrait d'un ingénieur haut en couleur.

34 La molécule qui sauvera les mangues

En Inde, les cultivateurs perdent un tiers de leur récolte de mangues chaque année. L'utilisation d'un composé naturel pourrait changer la donne.

39 Le sel, irremplaçable?

Contrairement au sucre, le sel n'a toujours pas de succédané digne de ce nom.

REPORTAGES

42 Le solaire pointe au Québec

Le boom solaire observé à l'échelle mondiale atteindra-t-il notre province?

48 Révolutionner le vélo par la science

Les travaux d'un petit groupe de chercheurs sur la capacité du vélo à tenir à la verticale par lui-même ravivent l'intérêt scientifique à son sujet.

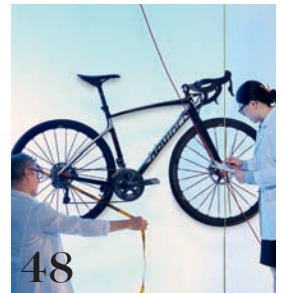
16



34



42



48

Au resto Le Mousso, la cuisine est une expérience scientifique. Curieux? Rendez-vous à la page 19.

SUR LE VIF

6 CABINET DES CURIOSITÉS

Grande tour, grands défis

8 LA GRANDE BARRIÈRE DE CORAIL DÉPÉRIT

Les scientifiques sonnent l'alarme.

10 MANIPULATEURS DE CLIMAT

Des ingénieurs de Harvard veulent bloquer artificiellement les rayons du Soleil afin d'abaisser la température.

12 CASSINI: LE DERNIER PLONGEUR

La mission Cassini aura permis de recueillir des données précieuses sur Saturne jusqu'à la fin.

16 MATHS DISCRIMINATOIRES

En théorie, les algorithmes sont neutres. En pratique, ils peuvent bouleverser des vies.

ÉDITORIAL 4 **Vive les données cliniques libres!** Par Marie Lambert-Chan 5 **Mots croisés**CHRONIQUES 9 **Ouvre grand les yeux, je te dirai qui tu es** Par Catherine Mathys 11 **Trop pessimiste,****la toxicologie?** Par Jean-François Cliche 14 **Quand le monde parlait néandertalien** Par Normand Baillargeon54 **Culture** Par Émilie Folie-Boivin 56 **L'histoire de qui, l'histoire de quoi?** Par Serge Bouchard 58 **Rétrovisseur** Par Saturnome



MARIE LAMBERT-CHAN [@MLambertChan](#)

Éditorial

Vive les données cliniques libres!

Santé Canada donnera enfin accès aux données d'essais cliniques jusqu'ici gardées secrètes.

Le docteur Nav Persaud est un homme tenace. Pendant cinq ans, ce médecin de famille torontois a talonné Santé Canada afin d'obtenir les données d'un essai médicamenteux mené il y a plus de 40 ans. Pourquoi un tel acharnement? Parce que cette étude a permis l'homologation du Diclectin, un anti-nauséeux prescrit aux femmes enceintes et dont l'efficacité était remise en cause par le docteur Persaud.

Santé Canada a fini par obtempérer en envoyant des milliers de pages caviardées. Le médecin a toutefois vu sa chance tourner en 2014, après la promulgation de la Loi de Vanessa, une législation qui vise à protéger les Canadiens contre les médicaments dangereux. Elle permet à certains professionnels, dont les chercheurs, d'accéder à des données d'essais

Considérées comme des secrets commerciaux, les données cliniques sont devenues «la boîte noire» de l'innocuité et de l'efficacité des médicaments.

cliniques... à la condition de ne pas en dévoiler les détails. Le docteur Persaud a ainsi navigué dans un système kafkaïen, jusqu'à ce qu'il puisse publier les conclusions de sa «réanalyse», qui ont provoqué quelques secousses. En effet, la méthodologie de la recherche initiale aurait été bâclée au point qu'il est impossible d'affirmer que le Diclectin est vraiment efficace.

Un tel parcours à obstacles est aberrant. D'autant que l'Agence européenne des médicaments et la Food and Drug Administration aux États-Unis exigent déjà que les données d'essais cliniques soient rendues publiques.

Heureusement, Santé Canada se mettra au pas. En mars dernier, le Ministère a annoncé

un projet de règlement qui, une fois en vigueur, rendra publics les renseignements cliniques des médicaments et des instruments médicaux (à l'exception de l'identité des participants aux essais). Il affirme procéder ainsi pour «travailler de façon ouverte et transparente».

Il n'est pas trop tôt! Scientifiques et juristes réclament un tel changement depuis belle lurette. Pendant longtemps, les approbations ont été négociées derrière des portes closes, entre les gouvernements et les compagnies pharmaceutiques. Considérées comme des secrets commerciaux, les données cliniques sont ainsi devenues «la boîte noire» de l'innocuité et de l'efficacité des médicaments. Impossible pour des chercheurs d'ouvrir cette boîte, à moins de se battre bec et ongles, comme l'ont fait les scientifiques qui ont découvert après coup les effets délétères du Vioxx (un anti-inflammatoire qui augmentait les risques d'infarctus).

Hélas, derrière le projet de règlement subsistent plusieurs zones grises. Santé Canada prévoit que les données d'essais cliniques seront gardées confidentielles si elles sont utilisées «dans le cadre d'un programme de développement continu». Ouvre-t-on ici la porte à un argument que les pharmaceutiques pourront exploiter afin de ne pas se soumettre au règlement? Par ailleurs, la proposition du Ministère ne mentionne rien au sujet de la publication rétroactive d'essais cliniques menés par le passé sur des médicaments présentement sur le marché. Or, de tels renseignements sont essentiels aux professionnels de la santé et aux patients. L'histoire du docteur Persaud en fait foi. D'autres questions demeurent sans réponse. Les données seront diffusées «à la fin du processus d'examen de la réglementation». Pourquoi n'offre-t-on pas un échéancier plus précis?

Souhaitons que le règlement final ne fasse pas l'impasse sur ces éléments. Autrement, Santé Canada ne pourra prétendre à une véritable transparence.

Mots croisés

JUILLET-AOÛT 2017
VOLUME 55, NUMÉRO 9

Rédactrice en chef

Marie Lambert-Chan

Reporters

Marine Corniou, Mélissa Guillemette,
Annie Labrecque

Collaborateurs

Normand Baillargeon, Maxime Bilo-
deau, Serge Bouchard, Jean-François
Cliche, Guillaume Delacroix, Carole
Faucher, Émilie Folie-Boivin, Martine
Letarte, Laurie Noreau, Catherine
Mathys, Marc-André Sabourin,
Saturnome

Correcteur-réviseur Luc Asselin

Directeur artistique François Émond

Photographes/illustrateurs Bartay,
Frefon, Virginie Gosselin, Chantal Hei-
jnen, Nicole-Aline Legault, Katy Lemay,
Ohara Hale, Donald Robitaille, Vigg

Éditrice Suzanne Lareau

Coordonnatrice des opérations

Michèle Daoust

Comptabilité Mimi Bensaid

Chargée de projet, marketing et

partenariats Stéphanie Ravier

Attachée de presse

Stéphanie Couillard

Vice-présidente marketing et service
à la clientèle Josée Monette

Publicité

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

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

Impression Transcontinental Interweb
Distribution Messageries Dynamiques
Parution: Juin 2017 (539^e numéro)

Québec Science est publié par

Vélo Québec Éditions.

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du
Québec, Bibliothèque nationale du Canada:
ISSN-0021-6127

Envoi Poste-Publications Convention no
40065387.

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

Indexé dans **repère**

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



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



Économie, Science
et Innovation

Québec



QUI A TUÉ LE CRIME ?

Dans le numéro de juin 2017, le journaliste Marc-André Sabourin a tenté de comprendre pourquoi le taux de criminalité dégringole. Des lecteurs y vont de leur hypothèse.

« C'est simple, les criminels portent maintenant veston et cravate (ou tailleur, c'est selon) et se font élire aux divers paliers de gouvernement. Cela leur permet de légaliser leurs méfaits et de les soustraire aux statistiques... »

— Alex Legault

« Le livre d'économie *Freakonomics* établit un lien entre la légalisation de l'avortement et la chute du taux de criminalité. [...] C'est peut-être ça. »

— Nicolas Pellerin

« Je serais curieuse de voir le rapport entre l'accès à l'avortement et le crime 20 ans après... »

Si l'individu X ne vient pas au monde, le crime ne peut être commis. »

— Céline Raymond

Réponse de notre reporter:

En 2001, une étude américaine a établi un lien entre l'avortement et le déclin de la criminalité. En gros, les auteurs y avancent que les femmes qui ont recours à l'avortement connaissent souvent des conditions de vie pré-

caires. Un enfant élevé dans un tel milieu court davantage de risque de commettre un crime. En rendant l'avortement accessible à ces femmes, moins d'enfants naissent dans des conditions propices à la criminalité, ce qui diminue donc le nombre de délits.

Pour appuyer leur théorie, les auteurs soulignent que la criminalité a décliné plus tôt dans les États américains où l'avortement était légal. Lorsque la Cour suprême a légalisé l'avortement partout aux États-Unis, le recul de la criminalité a été plus grand dans les États ayant un haut taux d'avortement.

Notons toutefois que cette hypothèse est vivement critiquée par le milieu universitaire.

LES SEMEURS D'IGNORANCE

Quelques réactions à la dernière chronique de Normand Baillargeon :

« À une époque où les "fausses nouvelles" deviennent hautement médiatisées, la chronique de Normand Baillargeon met en lumière des tactiques (ou stratégies) utilisées depuis fort longtemps. Il cite celle bien

documentée de l'industrie de la cigarette, qui fait l'objet d'un autre article dans le même numéro. Ces méthodes ont d'ailleurs été le sujet d'un très bon livre

de Naomi Oreskes et Erik M. Conway, *Merchants of Doubt*, [...] sur les techniques utilisées par les grandes organisations pour semer le doute. »

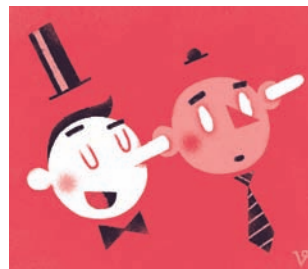
— Robert St-Amour

« C'est tout simplement ahurissant de tenir ce genre de discours ouvertement. Merci pour cet article, car il permet de donner un nom aux menteurs et à leurs ignobles et détestables procédés. »

— Akli Ait Eldjoudi

« Les entreprises qui sont fortes ne le sont pas toujours en raison de l'intelligence, mais plus souvent à cause d'un système organisé dont elles profitent. »

— Jacques Morissette



SUR TWITTER

Ce numéro est le fruit d'une réflexion de plusieurs mois. Nouveau look, nouvelles rubriques, nouveaux chroniqueurs. Qu'en pensez-vous?

@MLambert-Chan

« J'en pense qu'on s'abonne. Bon travail! »

@crapais

Martin Gagnon

Écrivez-nous

courrier@quebecscience.qc.ca

1251, Rachel Est, Montréal
(Qc) H2J 2J9

Suivez-nous

www.quebecscience.qc.ca



Abonnez-vous

www.quebecscience.qc.ca/
abonnement

514-521-8356 poste 504

1-800-567-8356 poste 504

Un changement d'adresse :

changementqs@velo.qc.ca

Le cabinet **des curiosités**

Grande tour, grands

La Tour olympique s'élève au-dessus de la ville de Montréal depuis 30 ans. Pour assurer sa pérennité, elle avait besoin d'une importante mise à niveau de sa structure. Une série de travaux ont commencé en 2016 et devraient se terminer au printemps 2018, à temps pour l'arrivée des nouveaux locataires, les employés du Mouvement Desjardins. Coup d'œil sur ce chantier à nul autre pareil. Par Annie Labrecque

MACHINERIE SPÉCIALE

« Sur la façade sud de la Tour, les fenêtres sont inclinées vers le sol. Les grues n'y ont pas accès, on doit donc travailler en suspension. La compagnie de démolition a développé des équipements spécifiquement pour réaliser ces travaux. La machinerie casse les panneaux de béton et les récupère à l'intérieur de la Tour », indique Jean-Sébastien Duperval, directeur Ingénierie et gestion de projets du parc olympique.

CHIFFRES

270

Nombre de travailleurs

600

Nombre d'échelons pour atteindre le sommet de la grue

446

Nombre de panneaux de béton démolis

5 tonnes

Poids du panneau de béton le plus lourd

165 m

Hauteur de la tour olympique, avec une inclinaison de 45°

défis



GRUE

C'est la plus haute grue au Canada ! Avec ses 220 m, il a fallu près de deux semaines pour l'installer tout près de la tour. Exceptionnellement, sa base est située à l'intérieur du Stade olympique. On a dû découper une partie de la toile pour l'y insérer.

Le grutier peut faire fonctionner la machine avec des vents allant jusqu'à 70 km/h mais, pour des raisons de sécurité, il arrête les manœuvres lorsque les vents atteignent 50 km/h.



MUR-RIDEAU

Ce mur non porteur qui sera fait de verre, devait être remplacé car il y avait des infiltrations d'eau. Un défi de taille pour les architectes et les ingénieurs, ne serait-ce qu'en raison de la particularité des panneaux de béton qui sont courbés. « On a dû faire une extension des dalles de béton pour accueillir ce nouveau mur-rideau », explique M. Duperval.

Le mur-rideau, d'une superficie de 5 147 m², a passé des tests de pression, d'étanchéité, de transmission thermique et de résistance aux intempéries. Ces tests ont été effectués en laboratoire avec un moteur d'avion qui simule la puissance d'une tempête !

AU SOMMET

Neuf antennes sont installées en haut de la Tour, dont celle de Télé-Québec.

« Pendant les travaux, l'antenne de Télé-Québec continue d'émettre, mais plus faiblement », assure Jean-Sébastien Duperval. Cela pose-t-il un danger aux travailleurs ? « Le signal est plat et horizontal, précise l'ingénieur. C'est une bande bien précise autour et au-dessus de la tour qui n'affecte pas le personnel œuvrant à l'intérieur. » Si bien qu'on songe à construire une terrasse au sommet ! Néanmoins, un protocole de sécurité a été mis en place pour le grutier. Installée à une certaine hauteur de la grue, une cage de Faraday le protégera des champs électromagnétiques, en cas d'urgence, lors de son ascension vers la cabine.



La Grande Barrière de corail déperit

Pour une deuxième année consécutive, le plus grand récif corallien du monde a souffert d'un important épisode de blanchissement. Les scientifiques sonnent l'alarme. Par Caroline Faucher

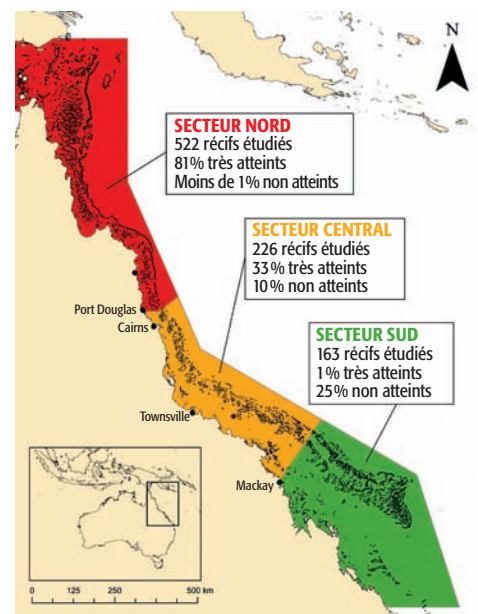
La Grande Barrière de corail d'Australie n'est plus que l'ombre d'elle-même : autrefois vibrants de couleurs, de larges pans de ses récifs affichent désormais un blanc spectral. En moins de deux ans, les deux tiers de ce trésor naturel ont souffert d'épisodes de blanchissement sans précédent, causés par une hausse des températures de l'eau.

En 2016, des scientifiques annonçaient que le tiers nord de la Grande Barrière était sévèrement atteint; plus de la moitié des coraux y ont péri. Cette année, c'est la section touristique, située au centre, qui écope. « Depuis que nous étudions le récif, nous n'avons jamais observé de blanchissement corallien à cette échelle », soutient le chercheur Neil Cantin de l'Institut australien de science marine.

PHOTOS : NCANTIN@AIMS

La situation est grave, voire désespérée : en mars dernier, une quarantaine de scientifiques ayant constaté les dégâts dans la revue *Nature*, appelaient à une « action immédiate et globale » pour assurer la survie du récif, un site classé au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Une telle dégradation met non seulement en péril 400 espèces de coraux, mais aussi quelque 9 000 espèces marines, dont 1 500 espèces de poissons qui trouvent refuge dans la barrière s'étirant sur plus de 2 000 km au large de l'État du Queensland. « L'écosystème au grand complet risque de s'altérer et la situation ne fera qu'empirer », redoute James Kerry, biologiste marin à l'ARC Centre for Excellence for Coral Reef Studies, de l'université australienne James Cook.

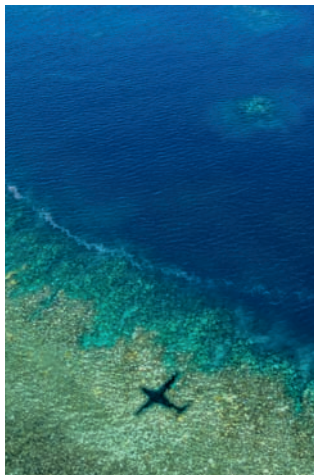


DES CORAUX AFFAMÉS

Contrairement aux apparences, le corail est un animal qui forme des colonies de polypes. Ceux-ci fabriquent un squelette externe calcaire et se soudent les uns aux autres, édifiant ainsi les récifs. Pour obtenir les nutriments nécessaires à leur croissance, les coraux vivent en symbiose avec des algues photosynthétiques, les zooxanthelles, qui sont à l'origine de leur couleur.

Lorsque les coraux sont en situation de stress, notamment lorsque la température de l'eau augmente, ils rejettent ces algues microscopiques. Conséquence : ils blanchissent et leur apport énergétique chute drastiquement. Si les conditions reviennent rapidement à la normale, les algues repeuplent les coraux, mais le rétablissement complet prend au moins une dizaine d'années. Lorsque les vagues de blanchissement se succèdent, la rémission devient impossible.

C'est ce qui alarme la communauté scientifique qui a estimé en avril dernier qu'il n'y avait aucun espoir pour les récifs endommagés en 2016. Alors que la Grande Barrière



de corail a subi un total de quatre épisodes de blanchissement en 19 ans, soit en 1998, 2002, 2016 et 2017, les deux derniers sont de loin les plus sévères et les plus rapprochés.

« La façon dont le climat évoluera dans les dix prochaines années, ainsi que le nombre d'événements de stress engendrés par l'augmentation des températures, déterminera l'avenir de la Grande Barrière de corail et des autres récifs ailleurs dans le monde », explique Neil Cantin.

Le réchauffement climatique n'est pas le seul coupable. La Grande Barrière fait les frais d'une forte pollution due aux activités agricoles et au ruissellement des eaux côtières, dont les sédiments réduisent la limpidité de l'eau. Or, les rayons du soleil sont essentiels à la survie des zooxanthelles. Les cyclones et l'invasion de l'étoile de mer *Acanthaster*, qui

dévore les coraux, nuisent aussi à la régénération des récifs australiens.

COURSE CONTRE LA MONTRE

Pour sauver ce joyau, il faudrait réduire très rapidement les émissions de carbone et freiner le réchauffement climatique. Malgré tout, rien ne garantit que les coraux se rétablissent. « Limiter la hausse de température des océans à un ou deux degrés, ce n'est pas une cible suffisante pour les coraux », croit Neil Cantin.

Voilà pourquoi des chercheurs ont entrepris une course contre la montre pour trouver la solution miracle. À l'Institut australien de science marine, une étude compte évaluer la résilience des différentes espèces de coraux dans les eaux chaudes, en simulant les conditions environnementales futures. L'équipe tentera aussi de reproduire des coraux sur une période de quatre à cinq ans, afin d'identifier si les rejets pourront s'adapter à une hausse des températures.

En avril dernier, des scientifiques de l'Institut de science marine de Sydney ont même proposé de créer au-dessus de la région, par géoingénierie, de grands nuages réfléchissant les rayons du soleil (grâce à des particules de sel), ce qui refroidirait les eaux.

Les élus s'en mêlent également. Sous pression, le gouvernement australien a mis en place, en 2015, le *Reef 2050 Plan* qui inclut, entre autres, des mesures de réduction des sédiments rejetés dans les eaux par les industries locales. Un plan d'action jugé insuffisant par de nombreux chercheurs et environnementalistes, d'autant que le gouvernement soutient parallèlement un projet controversé de mine géante de charbon sur la côte du Queensland... Pourtant, il aurait tout intérêt à protéger la Grande Barrière de corail : plus de 2 millions de touristes y viennent chaque année, générant des milliards de dollars en retombées économiques pour l'Australie. 

CATHERINE MATHYS  @Mathysc

Technopop




Ouvre grand les yeux, je te dirai qui tu es

Vous n'en pouvez plus des mots de passe à retenir et à changer périodiquement? Ça tombe bien, l'authentification par la biométrie gagne en popularité. Prenez le récent téléphone de Samsung, le Galaxy S8. Il peut être déverrouillé avec les empreintes digitales, la reconnaissance faciale et même la reconnaissance de l'iris.

D'ailleurs, selon le fabricant de la technologie utilisée dans le S8, la biométrie oculaire serait une méthode beaucoup plus efficace que celle utilisée par le FBI pour traquer les criminels à l'aide des empreintes digitales. En effet, si l'empreinte d'un doigt recense environ 13 identificateurs, ce téléphone-ci reconnaît 200 points de référence dans un seul œil.

Comment ça fonctionne? Lorsque vous ouvrez bien grand les yeux face à l'écran du téléphone, une lumière infrarouge fait la lecture de votre iris. Étrange? Autant vous habituer, car vous allez en voir de plus en plus! Alors si je fais des grimaces avec les yeux écarquillés devant mon appareil, non, je ne viens pas de lire le dernier tweet de Trump; je veux simplement avoir accès à mon téléphone.

Ce qui est bien avec l'iris, c'est qu'il est unique, il ne laisse pas de traces comme peuvent le faire vos doigts et c'est plus difficile de tromper la machine. Tant qu'il n'est pas copié, bien sûr. Parce que, oui, ça se peut. En effet, il est possible de voler les données biométriques de votre iris. Mais rassurez-vous : pour réussir l'authentification, un œil réel reste nécessaire. Plusieurs systèmes ont prévu le coup et sont assez fins pour rejeter une simple photo de l'iris, par exemple.

Alors on fait quoi pour garder les données de nos yeux pour soi? Aucun système n'est sûr à 100%, mais on devrait toujours privilégier la lecture d'iris cryptée (un mode par défaut dans beaucoup d'appareils). L'autre solution : la multiplication des facteurs d'authentification. Si vous êtes de nature malchanceuse, vous pourrez combiner la lecture de l'iris au code d'accès. Bon, finalement, oubliez ce que je vous ai dit, vous n'échapperez pas aux mots de passe. 

Manipulateurs de

Des ingénieurs de Harvard veulent bloquer artificiellement les rayons du Soleil afin d'abaisser la température. Une initiative qui en fait sourciller plus d'un. Par Laurie Noreau

Le ciel de l'Arizona deviendra le nouveau laboratoire de l'université Harvard. D'ici quelques mois, des chercheurs relâcheront des particules de glace et de carbonate de calcium dans la stratosphère. Leur objectif : créer un écran qui réfléchira les rayons du Soleil et ainsi freiner le réchauffement climatique. L'essai coûtera la bagatelle de 20 millions de dollars.

Cette expérience relève de la géoingénierie, une discipline où les scientifiques cherchent à manipuler le climat. Selon eux, le passé serait garant de l'avenir. L'histoire a démontré que les éruptions volcaniques, en relâchant des millions de tonnes de particules, abaissaient la température du globe; parfois de façon dramatique. En 1815, l'éruption du mont Tambora avait privé l'Europe tout entière d'un été, nuisant aux récoltes et entraînant la famine.

Bien que les géoingénieurs soient animés de bonnes intentions, pourraient-ils provoquer un tel cataclysme ? En 2014, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat lançait un avertissement : la géoingénierie « pourrait être mise en œuvre rapidement advenant une situation d'urgence climatique », mais il ne faut pas négliger ses impacts potentiels à l'échelle planétaire. Des sécheresses au sud, des inondations à l'ouest : des dérèglements climatiques très variables sont à prévoir d'une région à l'autre.

Frank Keutsch, professeur des sciences atmosphériques à Harvard et directeur de l'expérience, en est bien conscient : « On aimerait mieux ne pas avoir à



utiliser cette solution, mais si nous en avons besoin un jour, il est préférable que la technologie soit testée et prête à être utilisée », soutient-il.


Car pour l'instant, les données sont rares. « C'est une idée encore trop peu documentée pour être qualifiée de réaliste », avance Claude Villeneuve, directeur de la Chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi.

Pourtant, l'idée circule depuis plus

d'un demi-siècle. En 1965, le président américain Lyndon B. Johnson avait évoqué la possibilité de propulser des tonnes de particules au-dessus des océans pour réfléchir les rayons du soleil. Barack Obama avait aussi inclus la géoingénierie dans sa stratégie pour contrer les changements climatiques.

Même son successeur Donald Trump y voit du bon. Comme d'autres politiciens climatocseptiques, il perçoit la géoingé-

climat

nerie comme une panacée qui lui évite d'investir dans des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Claude Villeneuve réfute cette pensée de la solution unique. « C'est une solution palliative et non curative, prévient-il. Un écran qui diminue l'incidence du rayonnement solaire ne réduit pas la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. On ne s'attaque pas au problème, on contrôle le symptôme. » 



D'AUTRES IDÉES ÉVOQUÉES PAR LES GÉOINGÉNIEURS

- > Déverser des sulfates de fer dans la mer pour augmenter la quantité de phytoplancton, grand consommateur de CO₂.
- > Combattre la montée du niveau des océans en déversant de l'eau de mer à la surface de l'Antarctique où elle gèlera.
- > Planter des arbres artificiels qui capteraient le dioxyde de carbone pour le stocker ensuite au fond des océans.

JEAN-FRANÇOIS CLICHE  @clicjf

Polémique



Trop pessimiste, la toxicologie ?

Il y a longtemps qu'elle me chicote, celle-là...

On sait que la littérature médicale souffre d'un biais favorisant les conclusions positives (telle pilule fonctionne) et rendant les négatives (telle molécule prometteuse n'a pas d'effet) plus difficiles à publier. Le résultat, un brin inquiétant, est que les revues médicales brossent un portrait parfois trop optimiste d'un traitement donné.

Mais, en cette époque marquée par la crainte des « produits chimiques », la toxicologie souffre-t-elle du biais inverse ? Est-il plus facile de publier une étude montrant les effets toxiques d'une molécule que de publier des résultats suggérant son innocuité ?

Il y a longtemps que ça me taraude, dis-je. Alors j'ai fini par me « payer la traite », comme on dit, et j'ai posé la question à une demi-douzaine de toxicologues : Émilien Pelletier (Université du Québec à Rimouski), Sébastien Sauvé (Université de Montréal), Marc-Michel Lucotte (Université du Québec à Montréal), François Gagné et Magali Houde (Environnement Canada) et Élyse Caron-Beaudoin (doctorante à l'Institut national de la recherche scientifique).

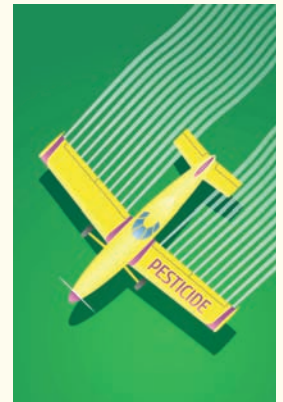
Leur réponse est... compliquée. Il est possible que le biais existe, mais il est loin d'être évident qu'il

teinte significativement la littérature scientifique.

« Les résultats négatifs sont effectivement plus difficiles et parfois impossibles à publier. Le plus souvent, on y parvient, mais dans des journaux moins prestigieux », témoigne M. Sauvé. M. Pelletier abonde dans le même sens, disant qu'on peut s'attendre à ce que les études portant sur la toxicité d'une molécule soient plus nombreuses que celles qui concluent à l'absence d'effets détectables.


Mais dans l'ensemble, mes experts sont plutôt divisés. Les deux scientifiques d'Environnement Canada estiment que le biais n'existe tout simplement pas. Mme Caron-Beaudoin croit quant à elle qu'il existe, mais estime que la préférence pour les résultats positifs ne suffit pas à déformer le portrait. Elle contribuerait plutôt à contrebalancer les données qui émergent du monde des affaires.

« Quand une industrie veut mettre un nouveau produit sur le marché, ce sont les chercheurs qui décident quels effets potentiels ils vont mesurer, et ça crée un biais, dit-elle. Une méta-analyse sur le bisphénol-A parue en 2006 a démontré que 92 % des études financées par le gouvernement trouvaient des effets délétères à



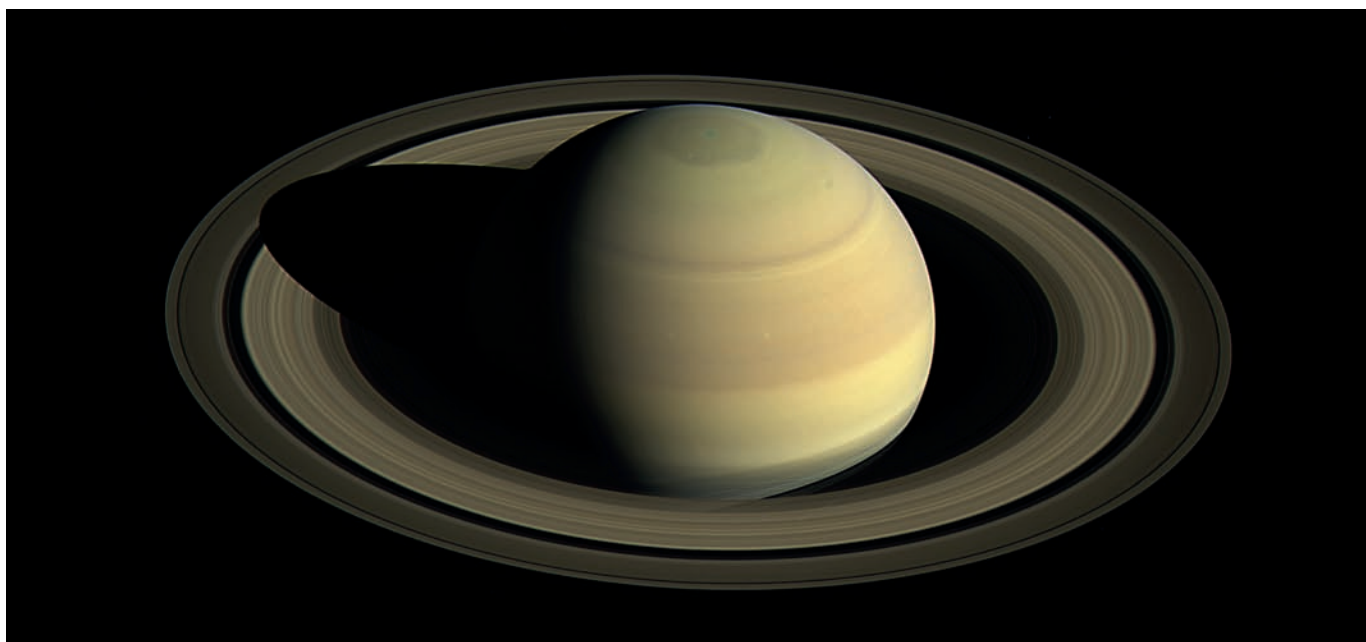
de faibles doses, alors qu'aucune des études faites par l'industrie n'en trouvait. »

M. Lucotte va plus loin et assure que, dans son domaine d'expertise, celui des pesticides, les recherches prouvant l'absence de toxicité seraient même plus faciles à publier à cause de pressions de l'industrie.

Il n'est peut-être pas si étonnant que les toxicologues ne s'entendent pas sur cette question, puisque leur discipline elle-même s'est complexifiée, témoigne Mme Houde. « On ne regarde plus seulement si un animal meurt ou ne meurt pas [après avoir ingurgité un produit]. On étudie aussi les cellules et les gènes, car il s'y passe toujours quelque chose. La question importante est la suivante : les effets observés sont-ils vraiment nuisibles pour l'animal ? La réponse n'est pas toujours évidente. » 

Cassini: le dernier plongeon

La mission *Cassini* touche à sa fin; elle aura permis de recueillir des données précieuses sur Saturne et ses lunes jusqu'à la dernière seconde. Par Marine Corniou



Voilà 13 ans qu'elle orbitait autour de Saturne, scrutant avec ses 12 instruments la géante aux anneaux, ainsi que ses lunes. La sonde *Cassini* achève toutefois sa mission: arrivant au bout de ses réserves de carburant, elle foncera le 15 septembre vers le cœur de Saturne pour se désintégrer, grappillant au passage quelques données sur son atmosphère.


Un destin tragique? Plutôt une fin inspirante et romantique, selon la NASA qui prépare depuis des mois cette grande finale. Le but de l'opération est noble: pour éviter de perdre le contrôle de la sonde et de risquer qu'elle s'écrase sur une des lunes, les scientifiques ont opté pour le suicide. Ils souhaitent ainsi préserver les satellites naturels

– comme Encelade qui posséderait un océan sous sa surface glacée – de toute contamination humaine.

Entre avril dernier et septembre, *Cassini* aura effectué (si tout se déroule comme prévu) 22 plongeon entre Saturne et ses anneaux internes, dans une zone large de quelque 2 400 km où l'on ne trouve quasiment aucune poussière, comme l'a confirmé le premier passage, le 26 avril. De quoi recueillir des informations inédites et finir en beauté.

Fruits d'une collaboration entre la NASA et l'Agence spatiale européenne, la sonde *Cassini* et son module *Huygens* qui a « atterri » sur Titan (la plus grosse lune de Saturne) en 2005, ont permis de lever le voile sur cette région lointaine du Système solaire. On a ainsi découvert une cinquantaine de nouvelles lunes saturniennes, des

océans de méthane sur Titan et des geysers de vapeur d'eau sur Encelade. On a aussi accumulé de très nombreuses données sur le champ de gravité et le champ magnétique de la planète, ainsi que sur la composition de son atmosphère, et celle de ses anneaux faits de glace et de poussières.

Lors d'une conférence de presse en avril dernier, Earl Maize, responsable du programme *Cassini* à la NASA, rappelait l'extraordinaire succès de la mission. « La sonde a été lancée il y a 20 ans: c'est le voyage d'une vie. Cette phase finale est très excitante, nous sommes fiers d'avoir su exploiter la sonde jusqu'au bout de façon créative. Mais il y a aussi une pointe de tristesse: nous sommes connectés à Saturne depuis 13 ans, et nous allons perdre ce lien », a-t-il dit, visiblement ému. 

VIVE LA VIE!



INSECTES AU MENU ? OSEZ L'INUSITÉ !

DÉLICIEUX ET BON POUR LA SANTÉ

Plusieurs espèces d'insectes représentent une excellente source de protéines et, de manière générale, ils se classent avantageusement comparativement aux autres viandes. Par exemple, pour une unité de poids d'orthoptères secs (tels les grillons et criquets), on retrouve entre 23 et 65% de protéines. De plus, la qualité des acides aminés composant ces protéines répond aux besoins humains. D'ailleurs, en 2014, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) recommandait la consommation d'insectes pour soulager la faim dans le monde puisque c'est généralement l'apport protéinique qui manque le plus aux populations vulnérables.

PEU COÛTEUX ET BÉNÉFIQUE POUR LA PLANÈTE

Dans le contexte actuel, alors que la planète fait face à de nombreux défis environnementaux, l'idée est prometteuse. En effet, il a été démontré que les élevages d'insectes pour la consommation humaine possèdent une empreinte écologique beaucoup plus faible que les élevages d'autres animaux. Ils nécessitent moins d'eau, dégagent peu de GES et peuvent se faire sur de petites surfaces. Enfin, la production de nourriture pour les insectes d'élevage ne consomme que très peu d'énergie.

ENVIE DE GOÛTER POUR VOIR ?

Tout l'été, vous aurez l'occasion de tester vos papilles d'entomophage au casse-croûte **Croque-insectes** de l'Insectarium d'Espace pour la vie à Montréal. En effet, du 15 juin au 4 septembre 2017, vous pourrez déguster un menu de type cuisine de rue concocté spécialement par le chef Rafaël Martinez. Une expérience gustative... bonne en bibitte! ☺

CROQUE INSECTES

INSECTARIUM

15 JUIN — 4 SEPTEMBRE



NORMAND BAILLARGEON  @nb58

Je doute donc je suis

Quand le monde parlait néandertalien

Les hommes de Neandertal utilisaient-ils un langage articulé ? Entre faits, hypothèses et déductions, la science peut-elle répondre à cette question ?

En rentrant chez vous, vous constatez que votre porte est ouverte. Une chaise a été renversée. On a manifestement fouillé votre bureau où se trouvaient les clés de votre voiture. Elles n'y sont pas; la voiture non plus.

On vous a cambriolé.

Cette conclusion est une « abduction », c'est-à-dire un raisonnement qui part des faits pour inférer ce qui en fournit la meilleure explication. Bien entendu, on peut se tromper, et de nouveaux faits pourraient nous forcer à trouver une autre explication.

On procède par abduction dans la vie quotidienne, mais aussi en science, comme en témoigne la controversée question de la maîtrise du langage chez l'homme de Neandertal.

D'abord perçu comme une brute épaisse, celui-ci s'est peu à peu mué en frère plutôt raffiné. Bien que des mystères demeurent, comme celui de sa disparition il y a environ 30 000 ans, d'indéniables progrès ont été accomplis dans la connaissance de ce proche parent, surtout au cours des 30 dernières années.

On les doit notamment à la découverte de nombreux sites contenant des fossiles et des artefacts, et à des techniques nouvelles, comme l'imagerie cérébrale, la génomique ou la paléogénétique.

On sait aujourd'hui que l'homme de Neandertal ne façonnait pas que des outils et des objets utiles, mais aussi des objets décoratifs, voire à portée



ILLUSTRATION : VGG

symbolique, comme des parures. Il les aurait même collectionnés. Des études récentes concluent qu'il pratiquait un cannibalisme lui aussi symbolique, grâce auquel le mangeur s'approprie des vertus de la personne consommée. On est aussi persuadé qu'il enterrait ses morts.

On suggère même, et ce, depuis longtemps, qu'il possédait peut-être la faculté de parler et qu'il avait donc accédé à ce qu'on conçoit comme la grande spécificité humaine: le langage.

Partant de là, on renoue avec une

vieille et fascinante question, une question difficile, controversée, et à haute teneur idéologique: celle de l'origine du langage, qui revêt une importance inégalée dans l'image que nous entretenons de nous-mêmes.

PAROLE DE NEANDERTAL

Des indices nouveaux confortent l'hypothèse de la présence du langage chez l'homme de Neandertal.

Prenons d'abord l'os hyoïde, une composante essentielle de l'architecture

vocale d'*Homo sapiens*, qui lui permet de produire une grande variété de sons complexes. En 1989, sur le site de Kebara, en Israël, Ofer Bar-Yosef a trouvé – et c'était une grande première – un Néandertalien possédant un os hyoïde d'apparence tout à fait moderne. Il est tentant de conclure qu'il devait parler. D'autant qu'il semble bien avoir eu les capacités auditives permettant de percevoir les fréquences sonores associées à la parole.

D'ailleurs, la taille du cerveau de l'homme de Neandertal, estimée à partir de son crâne, est compatible avec cette hypothèse. Mieux encore, en 2007, on a identifié chez lui un gène associé au langage chez les humains modernes, *FOXP2*.

Réunissez tous ces indices et la conclusion semble bien s'imposer.

Mais des voix discordantes, souvent prestigieuses, se font entendre. Selon elles, les faits sont des conditions nécessaires, mais non suffisantes, pour prouver la maîtrise du langage.

Dans un fameux article paru en 2014, le linguiste Noam Chomsky et plusieurs autres rappellent, par exemple, que si les capacités auditives sont largement identiques chez tous les primates, l'anatomie du tractus vocal a beaucoup évolué; et aussi, que d'autres allèles associés au langage semblent absents chez l'homme de Neandertal. Le mystère de l'origine du langage resterait donc aussi entier que son existence néandertalienne.


En 1866, la Société de linguistique de Paris avait interdit toute communication sur l'origine du langage, tant les spéculations sur le sujet étaient hasardeuses; et les faits établis, peu nombreux. Nous n'en sommes plus là, assurément. Mais en l'absence de preuves plus directes (que ne donnerait-on pas pour avoir des enregistrements de discussions entre Néandertaliens autour d'un feu...), nous procédons sur ces questions par abduction.

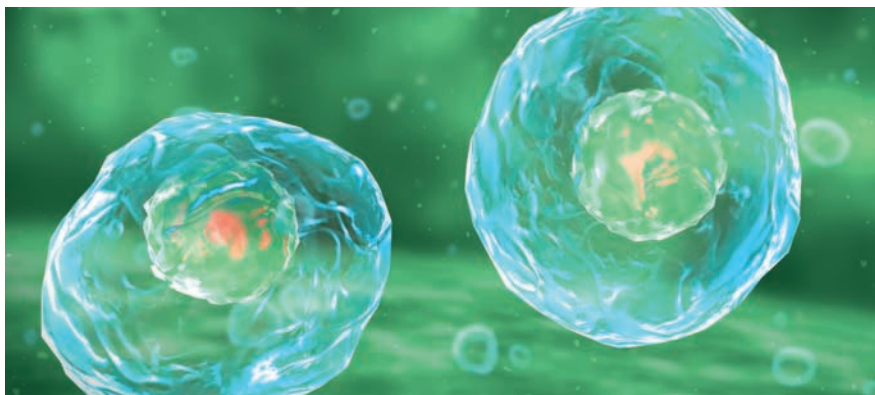
Et nos conclusions, révisables, doivent être bien prudentes.

* * *

De retour chez vous, vous avez conclu qu'on vous a cambriolé.

Tandis que vous attendez la police, votre ami, qui possède la clé de votre appartement, revient vous porter celles de votre voiture qu'il a dû emprunter d'urgence. Dans sa précipitation, il a même renversé une chaise.

Il vous a d'ailleurs laissé une note. Mais vous ne l'aviez pas remarquée... 



37 200 milliards

C'est le nombre de cellules qui constituent chaque être humain. Un consortium international regroupant une trentaine de laboratoires de pointe s'appête à les cataloguer. Cet « atlas » (dont la date de sortie n'est évidemment pas annoncée) est un projet pour le moins ambitieux : recenser et cartographier en 3D chacune de ces « briques » élémentaires, en y repérant les gènes actifs. De quoi constituer un outil d'une puissance inouïe pour la recherche. M.C.



Un spectacle très attendu

Le 21 août prochain, à Montréal, à très exactement 13 heures, 21 minutes et 54 secondes, le ciel s'assombrira. Une tempête à l'horizon? Non, une éclipse solaire! Le spectacle sera visible partout en Amérique du Nord, mais seuls les États-Unis profiteront de l'éclipse totale. Au Québec, selon les régions, 25% à 60% du soleil seront dissimulés derrière la lune.

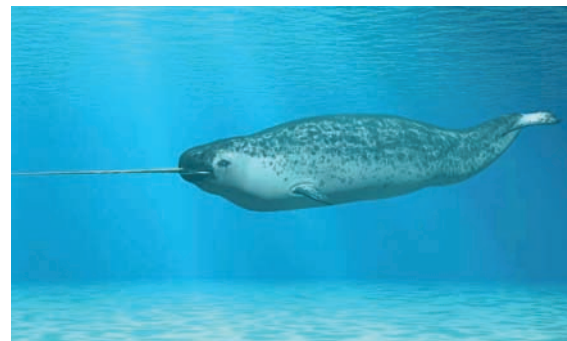
Cette partie de cache-cache pourrait avoir des conséquences insoupçonnées : la Californie, un important État producteur et consommateur d'énergie solaire, demande à ses millions de citoyens de débrancher leurs appareils électroniques pendant l'éclipse pour diminuer la dépense énergétique.

La dernière éclipse totale visible au Québec a eu lieu le 10 juillet 1972. Il faudra patienter jusqu'au 8 avril 2024 pour la prochaine. À défaut d'assister à l'éclipse solaire totale, on pourra la regarder en direct sur le site web de la NASA. A.L.

La défense étonnante du narval

Des scientifiques canadiens ont découvert un nouvel usage à la défense du narval : chasser le poisson! Cette « corne » torsadée, et faite d'ivoire, qui peut atteindre jusqu'à 3 m de long, demeure entourée de mystère. Des chercheurs ont avancé qu'elle jouerait un rôle dans le système d'écholocation de l'animal et serait impliquée dans la sélection sexuelle.

Mais voilà que la technologie a révélé une autre utilité à la défense du cétacé qu'on surnomme la licorne de mer. Au printemps dernier, des drones de Pêches et Océans Canada ont suivi un groupe de narvals qui s'approchait d'un banc de morues polaires dans le détroit de Tremblay, au Nunavut. À leur grand étonnement, les chercheurs ont observé un narval se servir de sa défense comme une massue pour assommer sa proie avant de la manger. Décidément, cet appendice est polyvalent! A.L.



SUIVEZ TOUTES NOS ACTUALITÉS SUR WWW.QUEBECSCIENCE.QC.CA >



Maths

DISCRIMINATOIRES

En théorie, les algorithmes sont neutres. En pratique, ils peuvent bouleverser des vies, en décidant qui a droit à un prêt étudiant, à un emploi et même à une peine de prison plus clémente.

À l'ère du *big data*, les algorithmes semblent nous connaître mieux que nous-mêmes. Qui n'a jamais reçu de recommandations de produits, de voyages, de films ou de lectures en naviguant sur le Web ? Si ces résultats d'algorithmes semblent inoffensifs, d'autres ont le pouvoir de changer le cours d'une vie, et pas toujours pour le mieux. Loin d'être objectifs, ils renforceraient même les inégalités sociales. Voilà pourquoi la mathématicienne et auteure américaine Cathy O'Neil les qualifie d'« armes de destruction mathématique » dans son plus récent livre *Weapons of Math Destruction : How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*. Entretien avec une scientifique des données qui a décidé de monter au créneau.

Propos recueillis par
Laurie Noreau

CHANTAL HEINEN

Pourquoi qualifiez-vous les algorithmes d'« armes » ?

Cathy O'Neil Les algorithmes utilisent des masses de données pour prédire des événements et optimiser les chances de réussite. On essaie de recréer les conditions qui ont mené à un succès afin qu'il se reproduise à l'avenir. Mais, secrètement, ils détruisent des vies. Ils sont bâtis par des gens qui ont des objectifs cachés. Ils prétendent que ce qu'ils font est impartial et que les algorithmes sont basés sur les concepts de vérité et de compréhension scientifique mais, au fond, ce n'est pas du tout le cas. Ils reflètent une idéologie.

Ils peuvent déterminer si une personne aura un emploi ou non, calculer les prêts bancaires et les remboursements d'assurance et même estimer les risques de récidive des criminels. Certaines personnes bénéficient de ces modèles mathématiques et ce sont les plus nanties. Le problème, c'est que d'autres en souffrent énormément. On laisse les modèles mathématiques prendre des décisions, ce qui est souvent injuste.

QS De quelles façons ces modèles mathématiques créent-ils des inégalités dans la société ?

CO L'un des exemples les plus criants est probablement l'algorithme d'évaluation

des enseignants mis en place dans la ville de Washington, aux États-Unis en 2007. L'objectif était de se débarrasser des enseignants incompetents pour améliorer le système scolaire. Un calcul complexe essayait de déterminer la part de l'enseignant dans les résultats des élèves. C'est un système qui est toutefois très incohérent et ses résultats ont conduit au congédiement aléatoire d'enseignants, particulièrement dans les quartiers défavorisés. Les algorithmes ont besoin d'une rétroaction pour apprendre de leurs erreurs. Sinon, ils tombent dans une boucle de mauvaises décisions. C'est ce qui est arrivé à Washington.

Trop souvent, on fait appel à des algorithmes quand on ne veut pas soulever des questions éthiques. Personne ne veut s'interroger sur ce qu'est un bon enseignant. On veut plutôt une solution facile avec un vernis scientifique. On n'a qu'à dire : c'est la machine qui le dit. Personne ne veut prendre le blâme.

QS Lors des dernières élections américaines, on a accusé l'algorithme de Facebook d'avoir relayé de fausses nouvelles qui confortaient l'opinion des utilisateurs. Les algorithmes ont-ils réellement le pouvoir d'influencer un scrutin ?

CO C'est assurément possible. Je n'ai pas les données pour le prouver parce

qu'elles sont gardées secrètes, mais la propagande fonctionne, surtout chez certains groupes.

Prenez ce groupe de la société, de plus en plus important, qui n'a pas le temps de s'informer. Si on l'alimente en fausses informations, comment peut-il être en mesure de distinguer le vrai du faux ? C'est comme ça que le *big data* augmente les inégalités.

QS Pourquoi est-ce si difficile d'avoir accès aux modèles mathématiques utilisés dans un algorithme ?

CO Les géants du Web comme Amazon, Facebook et Twitter disent que ce sont des formules d'affaires, qu'ils n'ont pas à les dévoiler et que c'est de la propriété intellectuelle. Mais je crois que la vraie raison, c'est que les gens qui possèdent ces modèles détiennent un pouvoir qu'ils ne sont pas prêts à laisser aller.

On peut parfois déjouer un algorithme quand on sait comment il fonctionne et manipuler ainsi le résultat. On l'a vu dans le modèle mathématique d'évaluation des enseignants, quand certains d'entre eux se sont mis à tricher. Ils gonflaient

Les algorithmes sont des opinions cachées dans des mathématiques. Je ne crois pas qu'ils puissent être neutres.

les notes des élèves pour ne pas être dans la mire de l'algorithme et éviter ainsi d'être congédiés. Cela témoigne de l'inefficacité de cette méthode.

QS Un algorithme peut-il être neutre ?


CO Les algorithmes sont des opinions cachées dans des mathématiques. Je ne crois pas qu'ils puissent être neutres. Toutefois, ils peuvent être justes s'ils tiennent compte des dommages potentiels envers les individus concernés et s'ils tentent

de les éviter. Ça concerne autant ceux qui développent l'algorithme que ceux qui en subiront les conséquences.

QS En tant que citoyen, comment peut-on lutter contre l'intervention des algorithmes dans nos vies ?

CO On donne beaucoup de pouvoir aux algorithmes. On peut décider de ne plus leur faire confiance, de ne plus les croire. Les gens devraient exiger des preuves.

Je pense néanmoins qu'on peut utiliser les algorithmes pour le bien de tous. Cela dépend de ce qu'on choisit de calculer. Dans l'algorithme des enseignants, si on avait tenu compte de leur engagement et de leur implication envers les élèves, les résultats auraient été beaucoup plus précis.

Le problème, c'est que bien des gens sont intimidés par les mathématiques. Mais en tant que mathématicienne, je peux vous dire que les mathématiques ne sont pas la partie la plus préoccupante des algorithmes ! Ce sont plutôt les enjeux éthiques qui y sont liés; mais les scientifiques de données préfèrent ne pas y penser. 

Du 5 au 11 août

Le Grand Tour 2017 

Le scénario de vos vacances!

Imaginez une semaine de vacances à vélo, du Saint-Laurent aux Appalaches, entre Montmagny, Saint-Damien-de-Buckland et Saint-Georges. Être actif, respirer, profiter du moment présent. Le scénario de vos vacances!

 en partenariat avec 



Photos : Magallie Dagenais, François Poirier

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

 **Vélo Québec VOYAGES**
Titulaire d'un permis du Québec

BOUFFE

Les scientifiques s'intéressent de près au contenu de nos assiettes. Ils perfectionnent les aliments pour les rendre plus sains, plus durables, plus savoureux et plus amusants. À table!

Des chercheurs de l'université d'Oxford ont monté une salade selon un schéma inspiré par une œuvre de Kandinsky. Leur expérience montre que nous serions plus enclins à payer pour une telle assiette que pour le même assemblage de légumes simplement touillé.

- 20** À la recherche du goût
- 26** Les nouveaux hackers de l'agriculture
- 31** Génie de la bouffe
- 34** La molécule qui sauvera les mangues
- 39** Le sel, irremplaçable?

À LA RECHERCHE DU [^] gout

Des chercheurs font de chaque bouchée une expérience scientifique. Ouvrez grand !

PAR MÉLISSA GUILLEMETTE PHOTOS : VIRGINIE GOSSELIN

Ici, tout est beige : les murs, le plancher, les cloisons des bureaux et même l'assiette qui est poussée à travers une petite trappe jusqu'à nous. On ne vient pas chez Cintech, à Saint-Hyacinthe, pour s'extasier devant le décor, mais plutôt afin de tester des aliments pour le compte de compagnies qui conçoivent de nouveaux produits ou modifient un produit déjà sur le marché.

Si le décor est hyper contrôlé, il en va de même pour l'éclairage, l'ambiance sonore et la température de la nourriture. Pas question de laisser quoi que ce soit influencer les perceptions. « On demande aussi aux participants d'éviter de porter trop de parfum, pour ne pas déranger les autres », explique Sophie Vincent, spécialiste en évaluation sensorielle et en recherche consommateur.

L'équipe de Cintech n'a pas tort de voir aux détails; pratiquement tout est susceptible d'influencer les goûteurs! La recherche scientifique ne cesse d'ailleurs de mettre en évidence de nouveaux facteurs qui perturbent nos perceptions des « saveurs », le terme

exact pour définir ce qu'on appelle le goût dans le langage commun.

Si bien que de nouvelles disciplines émergent : la gastrophysique, soit l'analyse des facteurs qui modulent l'expérience du goût, et la neurogastronomie, l'étude du traitement de l'information sensorielle par le cerveau dans la construction du goût. Le professeur de psychologie britannique et inventeur du terme « gastrophysique », Charles Spence, parle d'ailleurs d'un véritable boom. « Tout ce qui est en dehors de l'assiette a été négligé pendant longtemps. Partout dans le monde, des études apparaissent sur des sujets qui vont de l'impact de l'emballage sur la texture d'une tablette de chocolat à l'effet de la forme d'un récipient sur la perception du sucré », dit celui qui dirige le Crossmodal Research Laboratory à l'université d'Oxford.

À qui profite ce nouveau champ ? À l'industrie alimentaire, bien sûr, qui finance la recherche pour mieux nous séduire; mais aussi à la scène culinaire. De nombreux chefs utilisent le fruit de ces travaux scientifiques pour créer des plats intrigants.

Le chef Jozef Youssef, du Kitchen Theory, à Londres, a déjà offert des échantillons de velours et de papier

sablé à ses convives pour moduler leur perception d'un plat de boulghour! Des clients ont affirmé que le croustillant du boulghour devenait insoutenable sous la dent lorsqu'ils touchaient la texture abrasive. « Avec le professeur Spence, on travaille présentement sur une série de plats créant des illusions. On sait que les illusions existent pour la vue, l'ouïe et l'odorat, et on veut voir si ça s'applique aussi au goût », raconte le chef.





Ces pierres ne sont pas comestibles. Elles servent surtout à la présentation d'un plat singulier servi au restaurant Le Mouso (voir l'encadré à la page 25), lequel est une barbe à papa au charbon d'érable brûlé. Elle dissimule un morceau de foie gras émulsionné. La touche finale: le chef Antonin Rivard-Mousseau y saupoudre une poudre de charbon végétal. Le noir a le pouvoir de déstabiliser les convives, estime-t-il.

plutôt d'améliorer la santé des populations. « En cuisine, comme en pharmacologie, il y a un effet placebo. Pourtant, à l'hôpital, les patients sont en véritable privation sensorielle ! Si on leur servait une cuisine honnête dans de vraies assiettes, si on changeait l'éclairage, s'ils avaient accès à une belle salle pour partager un repas avec leurs visiteurs, ils guériraient peut-être plus vite. L'alimentation est un acte; pas juste un contenu. »

Lorsqu'il a créé le terme « neurogastronomie », dans un article publié par la revue *Nature*, en 2006, le neuropsychologue américain Gordon Shepherd invitait d'ailleurs ses collègues à étudier la construction des saveurs dans le cerveau « pour parvenir à déterminer pourquoi les gens mangent ce qu'ils mangent, afin de fournir de meilleures recommandations au sujet de la diète et de la nutrition ».

En effet, « la perception des saveurs, c'est comme un orchestre symphonique; chaque élément joue un rôle », confirme Johannes Frasnelli, titulaire de la Chaire de recherche en neuroanatomie chimiosensorielle de l'Université du Québec à Trois-Rivières, qui étudie le cerveau de sommeliers et le goût chez les traumatisés crâniens.

Les travaux scientifiques peuvent aussi bénéficier aux cuisiniers du dimanche, assure Charles Spence qui publie ce mois-ci au Canada un livre de vulgarisation de ses travaux: *Gastrophysics: The New Science of Eating*. « Si vous ouvrez une bouteille de vin à la maison et que vous n'aimez pas son goût, alors que vous l'appréciez habituellement, essayez simplement de changer l'ambiance musicale avant d'en déboucher une autre », donne-t-il en exemple.

Les laboratoires aseptisés de Cintech n'échappent pas à cette science du goût qui évolue à toute vitesse. « On réalise qu'il est intéressant que les produits soient testés par les participants dans leur environnement, remarque Sophie Vincent. On leur envoie donc le litre de lait chez eux, ou la pizza dans son emballage original. »

Comme quoi la couleur beige a aussi une certaine influence sur le goût... >

Il donne en exemple un plat contenant du benzaldéhyde, un arôme présent à la fois dans la cerise et l'amande amère. Le chef compte jouer sur ce double goût pour faire valser les palais.

Plus près de nous, le chef Fred Morin, copropriétaire du réputé restaurant Joe Beef, à Montréal, suit avec intérêt les découvertes concernant l'assiette. Il a même lancé l'International Society of Neurogastronomy avec un client, le

neuropsychologue américain Dan Han. Cet événement rassemble annuellement des chefs, des professionnels de l'agriculture, des chercheurs et des médecins, qui discutent des liens entre la nourriture, le comportement et le cerveau. « C'est une science jeune, donc il n'y a pas encore de langage commun pour se parler. On le crée », signale Fred Morin.

Pour lui, l'intérêt n'est pas de perfectionner l'expérience dans son restaurant, mais

La science du goût en 8 bouchées

1

LE GOÛT LES PAPILLES EN ÉVEIL

Sur le plan scientifique, le terme « goût » a une définition plus limitée que dans l'imaginaire collectif. C'est la signature chimique qu'on perçoit, grâce aux papilles gustatives et à leurs récepteurs spécialisés, quand on se bouche le nez!

Les goûts fondamentaux sont bien connus : le sucré, le salé, l'amer et

l'acide, tous perceptibles, même si on souffre d'un vilain rhume. « Je trouve même qu'on les sent plus quand on est enrhumé; on dirait que c'est plus évident! » dit la goûteuse professionnelle chez Cintech, Sophie Vincent.

Il y a aussi l'*umami*, découvert en 1908 par le chimiste japonais Kikunae Ikeda. Pour décrire cette saveur, on cite le goût d'un bouillon de bœuf, sans le côté salé, mais aussi le parmesan et l'oignon. « C'est un goût de profondeur, explique Christopher Laurent, un doctorant en

anthropologie à l'Université de Montréal, qui consacre une partie de sa thèse au sujet. C'est un bon goût, réconfortant; d'ailleurs, *umami* signifie "goût délicieux" en japonais. Contrairement aux autres saveurs, ce n'est pas possible d'avoir trop d'*umami*. »

Il est provoqué par la présence de glutamate dans les aliments (d'ailleurs, le chimiste japonais en a breveté et commercialisé une version synthétique: le fameux glutamate monosodique, un exhausteur de goût). Au début des années 2000, des scientifiques ont découvert que le corps humain possède des récepteurs de goût spécifiques à l'*umami* qui, quelques années plus tard, a enfin décroché le titre de goût primaire.

Cela dit, le goût humain est peut-être plus complexe qu'on le croit. D'autres saveurs sont évoquées, notamment l'*oleogustus*, un nom chic pour parler d'une saveur de gras. En 2015, des chercheurs de l'université Purdue, aux États-Unis, ont démontré, grâce à deux expériences, que des participants au nez bouché détectent la saveur des acides gras de la même façon qu'ils perçoivent les autres goûts primaires. Étonnamment, ce goût, lorsque isolé, serait désagréable.

Des chercheurs de l'université de l'État d'Oregon ont jeté un nouveau pavé dans la mare, en 2016, en suggérant l'existence d'un goût lié aux féculents, une espèce de goût de riz ou de pâtes.

En existe-t-il d'autres? Les chercheurs derrière l'*oleogustus* ont cerné le problème. « Malgré plus de deux millénaires de réflexion, il n'y a pas de consensus au sujet de ce qui constitue les caractéristiques d'un goût de base, et à savoir si le goût est limité à un petit échantillon de saveurs primaires », affirmaient-ils dans l'introduction de leur article paru dans *Chemical Senses*.

Ces craquelins suscitent l'étonnement des clients par leur couleur noire. Ils sont faits de sarrasin et de riz sauvage. Dans l'assiette, se trouve une crème d'huître saupoudrée d'apiacées, des plantes aromatiques, qui ont été lyophilisées. Ce procédé de déshydratation permet de réduire les aliments en poudre tout en conservant la couleur et le goût. Sur le dessus, on voit des fleurs d'oignon, elles aussi lyophilisées.



Ce plat du chef britannique Jozef Youssef révèle la moitié du visage de Picasso en tournant l'assiette à 180 degrés. «En gastronomie comme en art, tout est une question de perspective», selon le cuisinier.

2

LA VUE LES YEUX DE LA PANSE

C'est bien connu : on mange aussi avec les yeux. « Quand on demande aux participants à nos études ce qu'ils aiment d'un produit, ils nous disent toujours que c'est son goût. Mais quand on pose plus de questions, on réalise parfois que c'est la couleur d'un des échantillons qu'ils ont préférée », explique Sophie Vincent, de Cintech.

Le chef britannique du Fat Duck, Heston Blumenthal, un grand complice de Charles Spence, l'a appris à ses dépens quand il a concocté une crème glacée au crabe. Les testeurs du nouveau plat l'ont trouvée beaucoup trop salée. C'est que sa couleur rosée laissait croire qu'elle serait sucrée!

Même les coloris de la vaisselle ne sont pas sans effet. Une étude dirigée par une chercheuse

espagnole et publiée en 2012 dans le *Journal of Sensory Studies* a démontré que le chocolat chaud avait meilleur goût dans un contenant orange ou crème foncé que dans un verre rouge ou blanc.

Le dressage des assiettes influence aussi l'expérience gustative. Un plat dressé en oblique semblera plus appétissant s'il file vers la droite, plutôt que vers la gauche. Et une composition en «V» semble plus alléchante si les aliments ne pointent pas vers le client, a démontré une étude de 2015 parue dans *Food Quality and Preference*.

L'équipe de Charles Spence travaille justement sur un outil en ligne qui permettrait aux chefs de tester la présentation de leurs plats auprès des internautes.



LE SYSTÈME TRIGÉMINAL 3 SENSATIONS FORTES EN BOUCHE

Le piquant de la moutarde? La fraîcheur de la menthe? L'astringence des tannins? La brûlure du piment oiseau? C'est grâce au système trigéminal si on détecte ces sensations irritantes, douloureuses ou particulières. Pourtant, sa contribution dans la perception des saveurs a longtemps été sous-estimée.

Ce système réagit aux mêmes molécules chimiques impliquées dans la gustation et l'olfaction. « Il implique toutefois des récepteurs spécialisés complètement indépendants de ceux des systèmes olfactif et gustatif, explique Johannes Frasnelli. Ils sont situés dans la muqueuse de la bouche et de la cavité nasale, et ont été découverts seulement au tournant des années 2000. En plus, l'information circule par le biais d'autres nerfs que pour l'odorat et le goût – via le nerf trijumeau – et se rend dans d'autres régions du cerveau. »

Le système trigéminal détecte aussi les sensations liées à des perceptions mécanique (picotements de l'eau gazeuse, par exemple) et thermique. L'influence de la température d'un aliment sur la perception des goûts primaires est indéniable : des études récentes l'ont démontré pour le sucré et l'amer.

Au centre de cette grande assiette a été déposée une boule de glace au babeurre et à la betterave, ce qui explique sa couleur éclatante. Ici, les petites pierres sont bien comestibles : elles sont faites de chocolat, de fromage de chèvre et de cendre végétale. Le tout a été congelé avec de l'azote liquide, puis concassé. Le plat cherche à amuser le palais avec un jeu de textures inusitées.

4

LA TÊTE CRÉER DES ATTENTES

Le professeur Johannes Frasnelli ne peut plus manger du parmesan sans éprouver un certain dégoût.

Il y a quelques années, il a mené une étude où des arômes de parmesan étaient présentés aux participants à deux reprises. La première fois, on lui accolait l'étiquette « parmesan ». « Les participants reconnaissaient l'odeur du fromage, la qualifiaient d'agréable et disaient avoir envie d'en manger. Mais si on leur présentait la même odeur, plus tard, sous l'étiquette "vomi séché", ils disaient que jamais ils ne mangeraient quelque chose qui sent aussi mauvais. »

Ainsi, les sens sont affectés par nos « attentes ». Il a d'ailleurs été démontré que le prix, le nom d'un aliment – pauvre fruit ugly – (« laid », en anglais) ou d'un plat au resto ont tous un impact sur la perception des saveurs.



Voici un pétoncle à la sauce XO, une sauce épicée asiatique, avec des tagettes, des fleurs comestibles. Ces dernières ont un goût d'agrumes. Le chef en tire une huile qu'il dépose dans le fond du bol qu'il recouvre de glace. Il y verse de l'azote liquide, ce qui diffuse l'odeur de l'huile et prépare les papilles à la dégustation.

5

LE TOUCHER PLEIN LES MAINS

Dans une étude publiée en 2010 par la revue *Perception*, le chercheur canadien Michael Barnett-Cowan est parvenu à modifier la perception de la fraîcheur de bretzels en offrant des versions bien spéciales de cette collation à ses participants.

Chaque bretzel était à moitié frais et à moitié vieux (et mou), grâce à un travail de bricolage, ce que ne pouvaient voir les participants. Le goûteur était invité à croquer le côté frais, alors que sa main tenait le côté mou, ou l'inverse. Résultat, le bretzel semblait meilleur si la main tenait le côté ferme.

Depuis peu, des chercheurs étudient également l'impact de la couellerie sur la perception des saveurs. On sait déjà que des convives qui utilisent des ustensiles lourds ont une meilleure impression du plat qu'ils mangent, au point où ils sont prêts à payer davantage pour celui-ci. Des designers et des chercheurs développent et testent maintenant des ustensiles texturés, perforés ou composés de matières inusitées, comme de la fourrure ou de la céramique.

6 L'OUÏE UNE CACOPHONIE DE SAVEURS

Le fromage en grains serait-il aussi bon s'il ne faisait pas « couic-couic » ? Rien n'est moins sûr, si l'on se fie à la croustille sonique du professeur de psychologie Charles Spence !

Il y a 10 ans, son équipe du Crossmodal Research Laboratory à l'université d'Oxford a amplifié le son de la mastication de croustilles, ce qui a influencé la perception des participants. Plus le bruit était fort, plus les croustilles étaient jugées fraîches.

De la même façon : « On pense qu'on perçoit le croquant, le pétillant et le crémeux avec nos dents, mais ces dernières ne ressentent rien, assure Charles Spence. C'est surtout le son qui cause cette impression dans la bouche. »

Il a ensuite découvert que certaines musiques changent les goûts primaires ou même les textures. Des clochettes et des aiguës peuvent ainsi amplifier la

perception du sucré. C'est ce qu'il appelle « l'assaisonnement sonique ».

« On travaille avec un chocolatier belge, Dominique Persoone, par exemple, pour trouver une musique qui augmenterait le côté crémeux de ses produits en magasin, raconte le professeur. On collabore aussi avec des entreprises dans l'industrie de la bière en Belgique et aux États-Unis.

Imaginez que vous achetez une bière et que, en scannant son étiquette avec votre téléphone, une liste de lecture vous soit suggérée pour mieux l'apprécier. »

À l'opposé, trop de bruit réduit la capacité à percevoir le sucré et le salé ; voilà pourquoi la nourriture d'avion, consommée dans un environnement sonore à 85 décibels en moyenne, semble insipide (il faut préciser que la faible pression de l'air et le bas taux d'humidité en cabine font aussi partie de l'explication).



7 L'ODORAT ÇA GOÛTE CE QUE ÇA SENT

L'odorat est absolument crucial dans la perception des saveurs. Il suffit de pincer, à l'aveugle, dans un bol de *jellybeans* pour en avoir la preuve, indique Johannes Frasnelli, titulaire de la Chaire de recherche en neuroanatomie chimiosensorielle de l'Université du Québec à Trois-Rivières. « Pincez-vous le nez avant de les manger. Ils auront tous le même goût sucré; vous ne pourrez pas déterminer leur arôme! »

Pendant la mastication de ces bonbons haricots, ou de tout autre aliment, des molécules volatiles sont libérées dans la bouche et remontent vers le système olfactif à l'expiration. On peut alors reconnaître 10 000 arômes différents, quoiqu'une étude de 2014 avance que nous pourrions plutôt en percevoir mille milliards. Chose sûre, on arrive à repérer certaines molécules, même à une faible concentration de une part par billion (c'est le cas du poivron vert, par exemple).

Voilà pourquoi des chefs cherchent à maximiser la stimulation olfactive pour provoquer un tsunami dans la bouche. Par exemple, Jozef Youssef, du Kitchen Theory, à Londres, rehausse une soupe à base de poireaux à l'aide d'une aspersion de

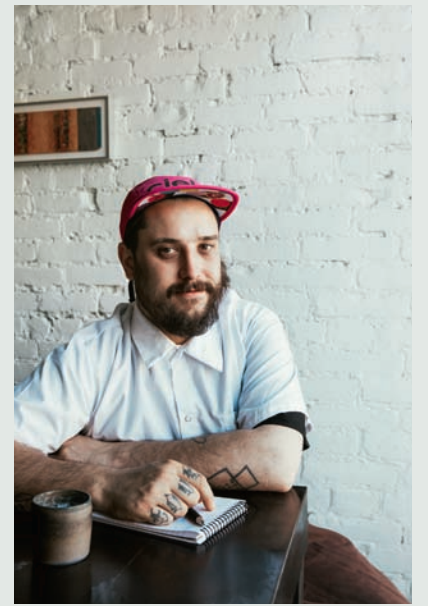


géosmine, un composé dégageant l'odeur de la terre sous la pluie. Pour le palais des convives, les poireaux semblent ainsi tout droit sortis du jardin!

Les études sur la perception des arômes ont aussi des impacts en médecine. « On constate que, à la suite d'un traumatisme cérébral, les deux tiers des patients trouvent que la nourriture servie à l'hôpital ne goûte rien du tout, raconte Johannes

Frasnelli, qui étudie le sujet à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. En réalité, c'est dû à une perte d'odorat. On mène présentement une étude longitudinale pour voir comment cela évolue dans le temps. »

Il a également découvert que les structures du système limbique du cerveau, qui s'amincissent généralement avec l'âge, ne perdent pas de volume chez les Masters sommeliers [NDLR: la plus prestigieuse certification au monde en sommellerie]. Est-ce en raison de leur nez exceptionnel? Johannes Frasnelli ne peut l'affirmer pour l'instant: « Le traitement de l'information olfactive se produit dans ce système, mais c'est aussi une structure clé pour les émotions, la mémoire, la récompense, l'apprentissage. » Des éléments aussi importants dans la dégustation du vin.



Antonin Rivard-Mousseau

le chef alchimiste

Les plats étonnants qui ponctuent ce reportage sortent tout droit de l'imagination d'Antonin Rivard-Mousseau et de sa brigade du restaurant Le Mouso, considéré comme l'une des meilleures tables montréalaises.

Ici, les classiques de la gastronomie française n'ont pas leur place. « Nous faisons de la création », dit celui qui considère sa cuisine comme un laboratoire et les recettes comme des équations mathématiques. Il jongle avec des procédés comme la dégradation enzymatique et la lyophilisation, grâce auxquels il métamorphose la nourriture. Ainsi, une carotte d'abord brûlée, puis lactofermentée pendant trois semaines, se mue en une pâte dont la saveur rappelle l'olive verte. À la manière de l'ail noir, les topinambours sont fermentés, ce qui produit une pâte foncée au goût de miso. « J'appelle ça de l'alchimie non contrôlée, dit-il. Contrairement à l'alchimiste qui espère transformer son plomb en or, je démarre une expérience avec un produit connu pour arriver à un résultat inattendu. » De cette façon, le jeune chef s'amuse à bousculer les goûts préétablis et à dérouter ses clients. « Nous avons déjà mis au menu trois amuse-bouche noirs, une couleur qui, généralement, signale à l'humain que la nourriture n'est pas propre à la consommation. Si vous aviez vu la réaction des clients! »

Pour lui, la cuisine est une science en elle-même. Une science du goût et de la dégustation. « Et une science infinie parce qu'on n'a pas fini de la découvrir », ajoute-t-il. (M.L.-C.)

8 LA SOCIÉTÉ UNE QUESTION DE CULTURE ET D'APPRENTISSAGE

Christopher Laurent, un doctorant en anthropologie à l'Université de Montréal, a passé un an dans la région de Kochi, au Japon, connue pour sa culture culinaire très différente du reste du pays. « Les Japonais ne mangent pas beaucoup d'ail, car ils trouvent que ça sent mauvais. Mais dans cette région, les gens le mangent cru! Pour eux, c'est bon, parce que c'est traditionnel. »

Encore faut-il connaître les coutumes pour les apprécier. Le chercheur a trouvé un plat traditionnel disparu un rouleau à base de haricot appelé *mushiyokan* et l'a présenté à des jeunes de la région. Surprise! ils ne l'ont pas aimé! « Ils ne connaissent pas le plat, raconte-t-il. Était-ce une entrée, un dessert? Ils n'avaient pas de points de repère. »

Ses recherches rejoignent celles de Gordon Shepherd, créateur du terme « neurogastronomie ». « Les facultés cognitives participent aussi à la construction du goût, explique Christopher Laurent.

J'étudie comment le langage, la culture et les expériences culinaires contribuent à créer différentes perceptions. L'exemple le plus flagrant, c'est le vin. Les non-initiés arrivent à identifier certains caractères, mais pas autant que les fins connaisseurs. Cette expérience est gustative; mais linguistique, aussi: il faut avoir les termes appropriés pour arriver à les ressentir. »

À la naissance, nous aimons le sucré et l'*umami*, très présents dans le lait maternel. Pour tout le reste, on apprend à apprécier les saveurs au fil de nos expériences. Ces dernières varient en fonction de la culture dans laquelle on baigne. Les Italiens de Sardaigne ont ainsi leur *casu marzu*, un fromage infesté de larves vivantes qui a de quoi repousser. Les Australiens ont leur *vegemite*, une tartina brune à base d'extrait de levure, qui écoère les étrangers. Et les Thaïlandais aiment les plats pimentés bien au-delà du seuil de tolérance de la plupart des touristes...



LES NOUVEAUX HACKERS DE L'AGRICULTURE

Des technologies récentes promettent d'augmenter les rendements agricoles sans nuire à l'environnement. Bienvenue dans l'ère des champignons qui ne brunissent pas, des tomates sans graines et du riz qui fleurit sur demande.

PAR MARINE CORNIOU



k

L'assiette n'est pas franchement appétissante, avec ses tagliatelles sans sauce parsemées de morceaux de chou. Mais elle est le symbole d'une révolution : elle contient le premier légume génétiquement modifié par la technique CRISPR-cas9 à faire l'objet d'une dégustation officielle.

Nous sommes en septembre 2016, en Suède, et Stefan Jansson, professeur de biologie végétale à l'université d'Umeå, s'offre un petit coup de pub en partageant avec un journaliste le chou « CRISPRy » qu'il a fait pousser dans sa cour. Mais, signe que la technique dérange, impossible de savoir qui a modifié les graines de chou; M. Jansson explique qu'elles lui sont venues d'un collègue étranger qui ne veut pas être identifié.

ILLUSTRATION : KATY LEMAY



Le concept est pourtant simple :

CRISPR-cas9 équivaut à une paire de ciseaux moléculaires qui permet de transformer le génome de tout organisme en un tournemain. Il repère le gène à modifier et le coupe. La cellule répare alors spontanément cette cassure en y insérant le matériel fourni par les scientifiques. Un véritable « hacking » de l'ADN!

Utilisée dans le monde de la recherche depuis cinq ans, la technique pourrait bientôt gagner l'assiette. « Avec elle, n'importe quel caractère peut être amélioré chez une plante : résistance aux maladies, à la sécheresse, augmentation de la taille, du rendement, etc. C'est l'avenir, il n'y a aucun doute là-dessus », affirme Ajjamada Kushalappa, chercheur en pathologie végétale à la faculté des sciences de l'agriculture et de l'environnement de l'Université McGill.

C'est ainsi que l'on a vu naître au cours des derniers mois, dans différents laboratoires, des champignons

de Paris qui ne brunissent pas, des tomates dépourvues de graines, du maïs tolérant à la sécheresse, du blé rendu plus digeste pour les animaux, ou encore du riz qui fleurit « sur commande », dès qu'on le pulvérise avec un fongicide.

L'AVENIR DE L'AGRICULTURE ?

Au-delà de ces exemples anecdotiques, l'« édition génétique » et les nouvelles techniques de sélection pourraient bien devenir la norme en agriculture, selon de nombreux chercheurs. De par leur faible coût et leur grande précision, elles ouvrent la porte à la mise au point de variétés plus productives, plus résistantes aux ravageurs et mieux adaptées aux changements climatiques. Des variétés qu'il faut développer vite, si l'on veut réussir à nourrir les 9 milliards de ventres que comptera la planète en 2050.

C'est du moins l'avis de Michael B. Palmgren, professeur en biologie végétale à l'université de Copenhague. « La demande en nourriture ne cesse d'augmenter, et le modèle agricole doit changer. On ne peut pas continuer à accroître la quantité de pesticides et d'intrants chimiques ni la surface

DOSSIER BOUFFE

de terres cultivées. Il faut réussir à produire beaucoup plus avec moins, ce qui est un sacré défi!» s'exclame ce chercheur, membre du groupe de réflexion Plants for a Changing World, réunissant scientifiques, éthiciens, philosophes et économistes autour de l'agriculture durable.

La voie est déjà tracée, rappelle Pamela Ronald, généticienne en biologie végétale à l'université de Californie à Davis. Sans les variétés à haut rendement mises au point par le passé, il faudrait cultiver aujourd'hui deux à quatre fois plus de terres aux États-Unis, en Chine et en Inde pour produire la même quantité de nourriture.

Cela dit, la plupart des variétés actuelles ne «performent» bien que lorsqu'elles sont inondées d'engrais et de pesticides. Lorsqu'elles sont utilisées en agriculture biologique ou raisonnée, elles sont bien moins efficaces.

C'est là qu'interviennent les nouveaux outils génétiques. Par exemple, en mai 2016, des biologistes du Cold Spring Harbor Laboratory, aux États-Unis, ont montré que, en ciblant un seul mécanisme génétique impliqué dans la prolifération des cellules souches à l'extrémité d'un plant de maïs, on pouvait augmenter la taille de l'épi de 50%! Il y a peu, des scientifiques californiens ont quant à eux réussi à augmenter le rendement de plants de tabac de 20% – pourquoi pas des salades, un jour? – en augmentant l'expression de gènes régissant la photosynthèse. Et d'autres ont augmenté le rendement d'une variété de riz de 50% en poussant la plante à absorber plus d'azote et de phosphore dans le sol.

Ajjamada Kushalappa, lui, s'intéresse aux mécanismes naturels de défense du blé, de l'orge ou de la patate contre diverses maladies. «La fusariose du blé, par exemple, cause des millions de dollars de pertes au Canada chaque année, et produit des toxines dangereuses pour les humains et les animaux», explique-t-il. Son but : identifier les gènes clés de la résistance, et les insérer dans les variétés cultivées pour réduire les pertes et limiter l'utilisation de pesticides. «Prenez les variétés de patates actuelles : les agriculteurs doivent appliquer des fongicides une fois par semaine en période de croissance!» déplore-t-il.

Il me tend justement une boîte de Pétri dans laquelle se dresse une minuscule pousse de pomme de terre. Elle revient de loin : elle a été bom-



GRACIEUSE KUSH/UNIVERSITÉ MCGILL

Ajjamada Kushalappa, chercheur en pathologie végétale à la faculté des sciences de l'agriculture et de l'environnement de l'Université McGill.

bardée par des nanoparticules d'or qui ont véhiculé dans ses cellules les molécules CRISPR-cas9 et des gènes censés la rendre résistante au mildiou (un champignon), entre autres.

LA SUITE D'UNE LONGUE HISTOIRE

Le bricolage génétique des plantes cultivées n'a rien de nouveau. En fait, il est aussi vieux que l'agriculture elle-même, qui a toujours cherché à booster la nature.

C'est par exemple à force de patience que la moutarde sauvage a pu donner, au fil des siècles, des légumes aussi divers que le chou-fleur, les choux de Bruxelles, le brocoli, le chou frisé ou le chou vert. Autant de plantes aux bourgeons ou aux feuilles démesurées qui n'ont plus grand-chose à voir avec la petite herbe d'origine.

«Les fermiers ne se sont jamais contentés de prendre des graines dans la nature et de les semer. On pratiquait déjà le greffage [NDLR : pratique qui consiste à «souder» une variété intéressante à une

plante porte-greffe] plusieurs siècles avant notre ère. À la fin du XIX^e siècle, le botaniste Johann Gregor Mendel a compris les lois de la génétique. Ensuite, on a mis au point des plantes hybrides dans les années 1920 (issues du croisement de deux variétés)», rappelle Pamela Ronald.

Histoire d'accélérer ce processus incessant de sélection, les biologistes ont commencé à utiliser, il y a 60 ans, une technique appelée «mutagénèse». Le principe? Provoquer des mutations à la pelle dans l'ADN des plantes cultivées, en les exposant à des rayons X, UV ou à des produits chimiques. Une façon de forcer le destin pour faire apparaître une foule de caractères nouveaux, puisque ce sont les mutations génétiques, ces petites erreurs se glissant au hasard dans l'ADN, qui sont à l'origine de l'évolution des espèces.

À ce jour, 3 200 variétés (principalement des fruits, des légumes et des plantes ornementales), cultivées partout dans le monde, ont été obtenues par

mutagénèse artificielle, selon la *Mutant Varieties Database* qui les répertorie. « Tout ce que nous consommons est massivement muté, y compris ce que l'on cultive en agriculture biologique », résume Michael Palmgren.

« Mais avec les techniques de sélection végétale classiques, on induit des centaines de mutations aléatoires, dit-il. Si on veut obtenir de plus grosses fraises à l'aide de croisements, par exemple, on réussit à y arriver, mais on ne sait pas trop ce qu'on a fait. Il est possible qu'on ait aussi récupéré des gènes indésirables qui auront un effet négatif sur le rendement ou la sensibilité aux maladies. »

Avons-nous encore le temps de procéder par essais et erreurs ? De laisser libre cours au hasard ? À l'heure où l'agriculture intensive a atteint ses limites, où les sols et la biodiversité sont dégradés, il y a urgence. Et ça tombe bien, CRISPR est rapide et va droit au but, à condition de savoir précisément ce qu'on cible. « Il faut 10 ans avec les techniques traditionnelles pour mettre au point une nouvelle variété. Avec CRISPR, on a des résultats en quelques mois », détaille M. Kushalappa.

DES OGM, NI PLUS NI MOINS ?

Il y a 20 ans, les partisans des organismes génétiquement modifiés (OGM) promettaient eux aussi de révolutionner l'agriculture, de s'affranchir des pesticides et de mettre fin à la famine. Force est de constater qu'ils ont perdu leur pari.

« Mais il ne faut pas confondre l'édition génétique avec la transgénèse », avertit toutefois Michael Palmgren. Cette dernière, utilisée pour produire les OGM, consiste à introduire des gènes étrangers (par exemple, ceux d'une bactérie), de façon aléatoire dans le génome d'une plante. « Avec CRISPR, on effectue des changements génétiques précis qui auraient tout à fait pu survenir naturellement », indique le biologiste.

« On éteint un gène ou on le remplace par un autre provenant d'une espèce sexuellement compatible, avec laquelle un croisement serait possible. C'est ce qu'on appelle la cisgénèse », ajoute Ajjamada Kushalappa qui parle de « chirurgie » génétique. Autrement dit, on se contente de donner un coup de pouce à l'évolution. Si bien que les mutations « CRISPérisées » ne peuvent pas être distinguées des mutations naturelles.

La différence peut paraître subtile

Faut-il réglementer les plantes « CRISPérisées » ?



Si les plantes modifiées par CRISPR-cas9 restent pour l'instant confinées dans les laboratoires de recherche, les débats autour de leur encadrement font déjà rage. Relèvent-elles, ou non, de la même réglementation que les plantes transgéniques ? Sont-elles exemptes de risques pour l'environnement et la santé des consommateurs ?

« Actuellement, la réglementation est assez disparate au niveau international. Il n'y a pas de consensus », indique France Brunelle, conseillère scientifique aux biotechnologies du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).

Le département américain de l'agriculture (USDA) a toutefois tracé la voie en 2016 en autorisant la commercialisation d'un champignon dont six gènes ont été « éteints » avec CRISPR. L'université de Pennsylvanie, où il a été conçu, a depuis déposé une demande de brevet. Au total, une trentaine de plantes obtenues par les nouvelles techniques de modification du génome ont été acceptées aux États-Unis au cours des cinq dernières années sans avoir à passer par le processus réglementaire que l'USDA impose aux OGM.

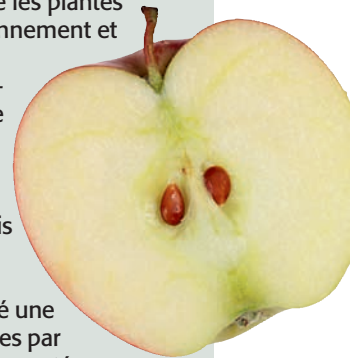
« Au Canada, c'est du cas par cas », commente France Brunelle, précisant que, récemment, le gouvernement fédéral a autorisé deux variétés de pommes Arctique, dont un gène responsable du brunissement a été éteint (par une technique appelée interférence ARN).

« Les produits alimentaires génétiquement modifiés sont considérés comme des aliments nouveaux aux termes du *Règlement sur les aliments et drogues*, et ils doivent donc être évalués avant leur introduction sur le marché canadien », nous a précisé Santé Canada. Mais en fait, tout repose sur le degré de « nouveauté », qui laisse une certaine marge d'interprétation. « Si le caractère en question est considéré comme vraiment nouveau, la plante sera soumise à la réglementation », reprend France Brunelle.

L'Europe, dont la réglementation concernant les OGM est très stricte, tarde à prendre une décision. La question est importante, puisque le coût d'une procédure d'acceptation d'OGM atteint généralement plus de 30 millions de dollars, en Europe et en Amérique du Nord.



En stimulant les cellules souches, des chercheurs ont augmenté de 50 % la taille d'épis de maïs.





mais, pour les chercheurs, elle est majeure. Et elle semble l'être également pour les organismes de régulation, qui pourraient accepter les plantes modifiées par CRISPR avec plus de facilité que les plantes transgéniques (voir l'encadré à la page 29).

Qu'en est-il des consommateurs? L'opinion sera-t-elle plus favorable? Si certains opposants craignent des effets « hors cible », c'est-à-dire des coupures du génome non contrôlées à certains endroits, d'autres redoutent surtout le monopole des multinationales qui contrôlent déjà la totalité du marché des semences transgéniques, et la dépendance des agriculteurs envers ces firmes.

Il n'y a qu'à penser aux plantes génétiquement modifiées les plus répandues, rendues résistantes à un herbicide. Elles permettent aux agriculteurs de pulvériser cet herbicide à grande échelle pour éliminer les

nouvelle technologie numérique arrivait sur le marché; elle ne mettrait pas en péril la dominance d'Apple, Google et Microsoft. L'édition génétique n'est qu'une technique: elle est utilisée par les grosses compagnies, mais aussi par les organismes à but non lucratif et les chercheurs », analyse Pamela Ronald qui a mis au point à l'UC Davis un riz résistant aux inondations, et qui l'a distribué à des millions d'agriculteurs asiatiques en partenariat avec la Fondation Bill et Melinda Gates.

Pour celle dont le mari est agriculteur bio, c'est une erreur d'opposer systématiquement biotechnologies et agriculture durable.

UN RETOUR À LA NATURE ?

C'est aussi l'avis de Michael Palmgren qui voit en CRISPR un sésame pour assurer une intensification durable de l'agriculture. « Pourquoi ne pas s'en servir pour

« Allons chercher l'inspiration dans la nature, en tirant profit de ce qui existe déjà », propose Michael Palmgren. Avec CRISPR, on pourrait éteindre quelques gènes et rendre comestibles des plantes sauvages qui sont pour la plupart toxiques; cultiver enfin des céréales pérennes, pour éviter d'avoir à semer chaque année; ou encore mettre au point de nouvelles légumineuses, très nutritives et ne nécessitant pas d'engrais.

Une vision naïve? Peut-être. « Il n'y a pas de méthode miracle, concède-t-il. Mais avec les défis actuels, il faut considérer toutes les options. On aurait tort de se priver de ces nouvelles techniques. »

« C'est un sujet complexe », admet Helen Jensen qui précise qu'USC Canada, pas plus que la Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique, ne s'est encore prononcé sur l'utilisation des nouveaux outils

Avec CRISPR, on pourrait rendre comestibles des plantes sauvages qui sont pour la plupart toxiques; cultiver enfin des céréales pérennes, ou encore mettre au point de nouvelles légumineuses.

mauvaises herbes sans endommager les cultures. Or, les semences résistantes et l'herbicide en question sont vendus en « combo » par la même compagnie.

« Jusqu'ici, la plupart des applications de l'ingénierie génétique ont surtout concerné la résistance à un herbicide, plutôt que l'amélioration de l'empreinte écologique des cultures », regrette Helen Jensen, généticienne et biologiste de l'évolution au sein de l'organisme USC Canada, qui prône l'agroécologie, soit la science de l'agriculture durable.

L'histoire se répétera-t-elle avec CRISPR-cas9? Sans surprise, les producteurs de semences s'intéressent déjà de près à la technique, Monsanto ayant conclu récemment un accord d'utilisation avec le Broad Institute du MIT et de Harvard, qui l'ont mise au point.

« Le fait que seules trois compagnies contrôlent le marché des semences est discutable, c'est certain. Mais CRISPR-cas9 n'y changera rien, ni en bien ni en mal. C'est comme si une

augmenter la diversité des ressources alimentaires? » s'interroge-t-il dans un article d'opinion, paru en mars dernier dans *Trends in Plant Science*, qui avance que l'édition génétique pourrait accélérer la domestication de nouvelles plantes.

« Sur les quelque 300 000 espèces de plantes que compte la planète, moins de 200 sont utilisées commercialement; et seulement trois d'entre elles – le riz, le blé et le maïs – apportent la majorité des calories consommées par les humains », souligne l'article.

À force de se concentrer sur les variétés les plus productives, l'agriculture s'est dangereusement uniformisée. À l'échelle mondiale, 75% de la diversité des cultures aurait disparu au cours du XX^e siècle, selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Résultat, nos champs sont plus vulnérables aux maladies, aux insectes et aux changements climatiques. Pourtant, c'est prouvé, il faut de la biodiversité pour une agriculture résiliente.

génétiques. « Certaines améliorations pourront probablement être faites plus rapidement grâce à ces techniques. Mais la plupart des changements nécessaires à l'adaptation d'une plante à son environnement reposent sur l'interaction de nombreux gènes qui ne sont pas tous connus. »

De fait, même si de plus en plus de génomes végétaux sont décryptés, on est encore loin de comprendre tous les liens entre les variations génétiques et les propriétés physiques de la plante.

Une chose est sûre: aucun outil génétique, aussi efficace soit-il, ne suffira à lui seul à rendre notre agriculture durable. « L'agroécologie ne repose pas uniquement sur l'amélioration des variétés. Elle inclut un meilleur usage des intrants, la rotation des cultures, la conservation des sols, l'utilisation en eau, etc. », énumère Helen Jensen. Un tel changement s'impose, car pour nourrir l'humanité, il faut augmenter de 60% la production alimentaire d'ici 30 ans. **05**

GÉNIE DE LA BOUFFÉE

De prouesses techniques en expériences scientifiques, de l'art culinaire au design, Irwin Adam Eydelant tiffle les sens pour susciter la réflexion sur l'alimentation. Portrait d'un ingénieur haut en couleur.

FUTURE FOOD STUDIO

PAR MARC-ANDRÉ SABOURIN

Irwins Adam Eydelant a inventé des nuages comestibles, des pâtes alimentaires qui changent de couleur et de la soupe dansante. Mais, dans le restaurant de Toronto où nous nous retrouvons pour le petit-déjeuner, il jette son dévolu sur l'assiette la plus simple du menu: deux œufs accompagnés de tranches de tomate et d'avocat.

Avec son *v-neck*, sa barbe généreuse et sa petite casquette noire, l'homme de 33 ans aurait sa place derrière le comp-

toir d'un café de « troisième vague ». L'anneau qu'il porte à l'auriculaire droit, récompense de ses études en génie chimique et biomédical à l'Université McGill de Montréal, témoigne toutefois de sa préférence pour le laboratoire.

Ses créations culinaires déjantées, qui incluent également des ballons de sucre gonflés à l'hélium parfumé et des cocktails en gélules, lui ont valu le surnom de Willy Wonka dans les médias anglophones. La ressemblance avec le magnat de *Charlie et la chocolaterie* ne va cependant pas plus loin. Irwin Adam Eydelant ne souhaite pas que les gens dévorent plus de friandises, mais moins. Moins de boissons gazeuses

aussi, de steaks géants, et même de jus de chou kale dont l'apport nutritif dépasse souvent les besoins du corps humain.

« Manger est devenu un automatisme, déplore l'ingénieur en sirotant un café *americano*. Pourtant, le déjeuner que tu t'apprêtes à avaler deviendra ta peau, tes cheveux, tes yeux. Il fournira toute l'énergie nécessaire à ton métabolisme. Ton corps sera transformé par ce repas; tu dois comprendre ce qui s'y trouve. »

Irwin Adam Eydelant, qui prône « la pleine conscience » de notre nourriture, sait très bien qu'il convaincra peu de gens en prêchant ainsi. Afin de susciter la réflexion, le chercheur a plutôt fondé

DOSSIER BOUFFE

Future Food Studio, une entreprise qui combine science, design et technologie pour créer des expériences culinaires repoussant les frontières des arts de la table.

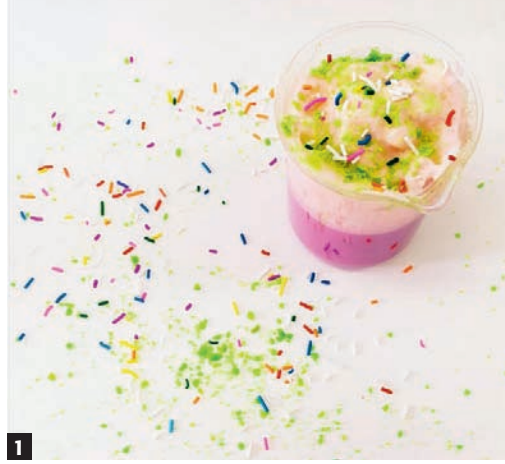
Ces événements éphémères ressemblent à ce qui se produirait si le studio de multimédia Moment Factory ouvrait un restaurant. Lors de *Spark the Senses*, un dîner multisensoriel élaboré dans le cadre du festival international Art Basel en 2015, à Miami, l'environnement réagissait aux gestes des convives. Ainsi, au moment où le couteau s'enfonçait dans le gâteau, un feu d'artifice était projeté sur le dessert, avant de s'étendre sur l'ensemble de la table. « On touche à tout, que ce soit la nourriture, les ustensiles, les odeurs ou le décor », explique Irwin Adam Eydelant. Pour le souper *SENSORIUM*, à Toronto, même les tables ont été fabriquées sur mesure; elles intégraient l'électronique nécessaire pour faire vibrer la soupe au rythme des percussions d'un joueur de batterie.

Les réactions du public sont tout aussi variées que les créations: « Cool. Superficiel. Inspirant. » Ces perceptions importent peu au chercheur qui veut d'abord et avant tout susciter des opinions ou, mieux encore, des questions. « À partir du moment où les gens te demandent ce que c'est ou comment ça fonctionne, tu as gagné. » Ils commencent, sans même s'en rendre compte, à réfléchir à la nourriture d'une nouvelle façon.

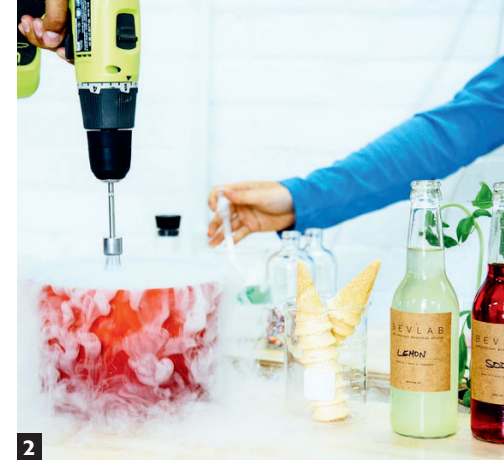
Malgré l'objectif noble d'Irwin Adam Eydelant, il est tentant de qualifier ses événements de spectacles conçus pour les caméras. Difficile de voir davantage dans son record Guinness du sandwich ayant le plus d'étages – 60 tranches de pain, près de 1 m de haut – ou dans son *Museum of Ice Cream*, une exposition itinérante conçue pour être partagée sur les réseaux sociaux.

Le chercheur ne s'en cache pas: le facteur *fun* est toujours pris en considération dans ses projets. Mais sous les apparences superficielles se cache une démarche scientifique bien réelle: dans la quasi-totalité des réalisations de Future Food Studio, les participants sont, sans le savoir, les sujets d'une expérience.

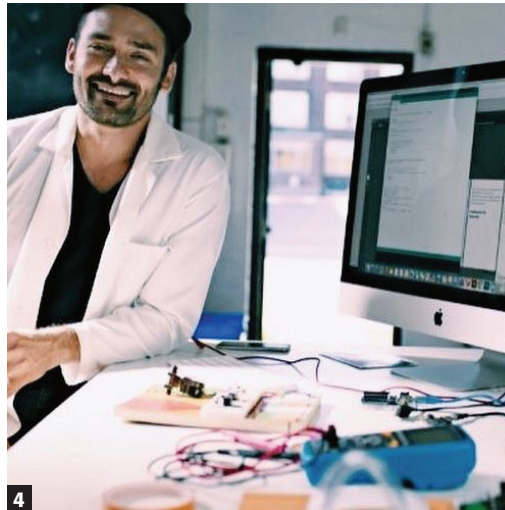
Lors du souper *Spark the Senses*, à Art Basel Miami, les convives qui s'extasiaient devant les saveurs et les projections interactives croyaient assister à une performance culinaire. Or, en coulisse, une équipe observait et mesurait leurs



1



2



4



5



7



8

réactions. « Ça avait toutes les apparences d'une installation artistique mais, pour nous, c'était le test d'un prototype », explique Irwin Adam Eydelant.

Le but: mieux comprendre le comportement alimentaire des gens. Qu'est-ce qui influence leur choix de repas? Qu'est-ce qui les pousse à boire plus ou moins? Et qu'est-ce qui les incite à prendre de bonnes ou de mauvaises décisions quant à leur santé?

Au fil des ans, une tendance s'est dégagée de ses expériences: plus les

gens sont impliqués dans le « processus » de fabrication de la nourriture, plus ils prennent conscience de ce qui s'y trouve. Cela peut aller du simple fait d'étaler sa sauce soi-même dans son assiette au restaurant, jusqu'à être partie prenante de la production alimentaire. « On a fait des ateliers où les gens encapsulaient eux-mêmes des boissons. C'est un geste simple qui, étrangement, leur apportait beaucoup de plaisir. Ça transformait leur vision de ce qui se trouvait dans la bouteille. »



3



6



9

1. Future Food Studio aime bien servir ses boissons expérimentales dans des béciers.
2. Une idée pour sensibiliser les clients au contenu de leur boisson : ils doivent la créer et l'encapsuler eux-mêmes.
3. Un tour de force: des croustilles translucides. Quelle est la recette? C'est un secret.
4. Le fondateur de Future Food Studio dans son labo.
5. Le Museum of Ice Cream, une exposition itinérante sur la crème glacée.
6. Une des spécialités du Future Food Studio est le nuage comestible.
7. Une sucette glacée dont la forme géométrique est conçue afin de susciter un « bouquet de saveurs ».
8. En tournant ces bols de métal dans un mélange de glaçons et de sel, la crème pâtissière se transformera en crème glacée.
9. Un sandwich de 60 tranches; près de 1 m de haut. Homologué dans le Livre Guinness des records !

Justement, ces temps-ci, les boissons obsèdent Irwin Adam Eydelant. Pour aider les consommateurs à comprendre ce qui est dilué dans le liquide qu'ils boivent comme de l'eau, le chercheur développe un concept de magasin où ils participeront à la création de la boisson. « Si je te donne tous les ingrédients pour faire ta liqueur et que l'un d'eux est trois énormes cuillerées de sucre, tu ne peux pas ne pas savoir que c'est là. »

ACCORD PARFAIT

Bien qu'il ne soit que 9 h 30, le plat que dépose la serveuse devant Irwin Adam Eydelant constitue son deuxième déjeuner de la journée. Chaque jour, il se couche après minuit et se lève à l'aube tant il est « excité de commencer sa journée de travail ».

Aussi inusité soit-il, son choix de carrière semble naturel avec le recul. Son père est ingénieur, sa mère est designer, et tous deux sont originaires de Géorgie, une région du monde réputée pour sa gastronomie. Ils ont laissé derrière eux le régime soviétique en 1980 pour s'installer au Canada, à Winnipeg, apportant en même temps leurs traditions culinaires.

Pour la famille Eydelant, acheter un demi-bœuf dans une ferme ou faire sécher des pâtes fraîches dans tous les recoins de la maison était banal. « J'ai compris que c'était étrange lorsque mes amis venaient chez moi. Encore aujourd'hui, ils me disent parfois que je suis "tellement immigrant". »

Sa « révélation » est survenue à l'adolescence, en apprenant à rouler des sushis pour l'un de ses nombreux boulots en restauration. « C'est tellement design, un sushi. J'ai compris qu'il y avait beaucoup de choses que je ne connaissais pas, et ça m'a donné le goût d'apprendre davantage. »

Cette soif de savoir l'a mené naturellement vers la science. Entre ses cours à McGill, il explorait les épiceries du quartier chinois et expérimentait avec de nouveaux ingrédients. Il a même fait pousser des carottes hydroponiques dans un bassin transparent à l'intérieur de son appartement. « Elles ne goûtaient rien, mais c'était magnifique ! » C'est à la même époque qu'il met au point la recette secrète des pâtes qui changent de couleur en cours de cuisson.

Irwin Adam Eydelant laisse le tiers de son déjeuner dans l'assiette – « les restaurants servent de trop grosses

portions » – puis m'emmène visiter le nouveau laboratoire dont il vient de prendre possession, situé dans une ancienne usine de munitions.

L'endroit est encore vide, ce qui n'empêche pas l'ingénieur d'y circuler comme si les déménageurs avaient déjà apporté les meubles. Ici, il y aura un scanner 3D et une fraiseuse numérique pour fabriquer et reproduire des objets sur mesure. Là, à côté d'un tronc d'arbre artificiel, les pièces électroniques et le matériel de parfumerie qui serviront à diffuser des odeurs lors d'un événement en forêt. Et, bien entendu, un espace complet sera consacré à la photographie pour créer les images léchées que Future Food Studio publie en ligne.

L'argent pour tout cet équipement provient en grande partie des géants de l'industrie alimentaire, tels PepsiCo, Campbell et Kraft Foods. Ceux-là mêmes que, paradoxalement, Irwin Adam Eydelant souhaite révolutionner. C'est pour eux et pour d'autres clients que Future Food Studio organise plusieurs de ses événements, en plus d'effectuer de la recherche et du développement sur tout ce qui touche la nourriture, depuis les aliments jusqu'aux emballages.

Ce financement privé permet à l'ingénieur et à ses employés, au nombre de six, de consacrer près de la moitié de leur temps à la recherche. Leurs découvertes alimentent leurs projets, mais servent aussi à mettre leurs propres produits sur le marché. Cet automne, Irwin Adam Eydelant lancera ainsi la compagnie Champions of Butter, dont le produit phare sera du beurre en paquets individuels, qui peut être appliqué à l'aide de l'emballage lui-même.

Fabriquer, distribuer et vendre des aliments transformés n'a rien du côté sexy de la bouffe mis de l'avant par les émissions de cuisine, mais cela excite le Torontois davantage qu'un repas cinq services. « Je suis ingénieur; j'ai été formé pour prendre un processus développé en laboratoire et l'appliquer à grande échelle. »

Son rêve serait de développer des repas personnalisés où le choix des ingrédients ne serait pas basé sur de simples envies, mais sur les nutriments spécifiques dont le corps a besoin. Pas question cependant d'en venir à avaler des pilules. Pour lui, la nourriture du futur doit être savoureuse, tenir compte des cultures culinaires et, de préférence, être partageable sur Instagram. **15**

La molécule qui sauvera les mangues

En Inde, on appelle la mangue «le roi des fruits». Mais c'est aussi un fruit fragile; les cultivateurs perdent un tiers de leur récolte chaque année. L'utilisation de l'hexanal, un composé naturel, pourrait toutefois changer la donne.

PAR GUILLAUME DELACROIX
PHOTOS: BARTAY

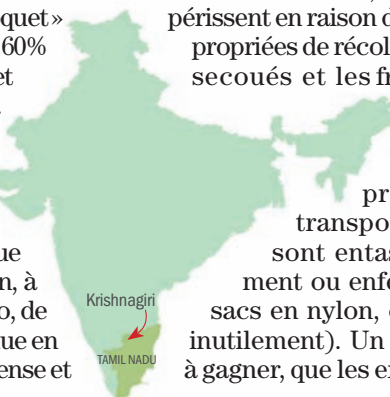
C'est le plus long ruban d'asphalte de l'Inde. La « National Highway 44 » traverse le sous-continent du nord au sud, sur plus de 3700 km, donnant à voir à l'automobiliste qui la parcourt une diversité de paysages sans pareille. Dans l'État méridional du Tamil Nadu, elle passe à travers les plantations de manguiers de Krishnagiri, haut lieu de production de celui que l'on appelle ici «le roi des fruits». En ce début avril, la saison démarre tout juste, mais les étals qui s'alignent sur le bord de l'autoroute exposent déjà une quinzaine de variétés multicolores et multiformes.

La tottapuri vert pâle, dont l'extrémité en pointe recourbée lui vaut d'être surnommée *kilimoku* («bec de perroquet» en langue tamoule), représente 60% de la production de la région et finit dans les usines de pulpe. Même chose pour la bangalura, de petite taille, dont la peau vire souvent au rouge. La banganapalli, jaune doré et plus ronde, est vouée presque exclusivement à l'exportation, à l'instar de sa cousine alphonso, de teinte orangée, la plus répandue en Inde du fait de son parfum intense et



de sa saveur très sucrée. L'himanpasand vert foncé, de loin la plus grosse, est quant à elle produite en si faible quantité qu'on se l'arrache.

Hélas, en Inde, premier producteur mondial avec environ 40% de parts de marché, un tiers des mangues est impropre à la vente. Certains fruits meurent sur l'arbre, alors que d'autres périssent en raison de méthodes inappropriées de récolte (les arbres sont secoués et les fruits s'abîment en tombant au sol), de stockage (on les empile sans précaution) et de transport (les mangues sont entassées négligemment ou enfermées dans des sacs en nylon, ce qui les blesse inutilement). Un énorme manque à gagner, que les experts évaluent à



Dans le cadre d'un projet expérimental, des agriculteurs indiens pulvérisent des manguiers d'une solution à base d'hexanal, un composé naturel qui aide à préserver les fruits.



2 000 milliards de roupies (41 milliards de dollars).

D'où l'idée de former les paysans à des pratiques plus rigoureuses et d'utiliser les propriétés étonnantes d'un composé sécrété à l'état naturel par les végétaux blessés: l'hexanal. Celui-ci possède l'odeur caractéristique d'une pelouse fraîchement tondue ou d'un concombre que l'on coupe. Il aide à maintenir plus longtemps les fruits sur l'arbre, leur donnant la possibilité de grossir davantage, mais également de mûrir plus lentement, ce qui prolonge leur conservation. Contrôlé à l'échelle moléculaire grâce au développement des nanotechnologies, il pourrait bien faire des miracles dans un avenir prochain.

L'hexanal soulève d'ailleurs beaucoup d'espoir dans les campagnes du Tamil Nadu, qui produisent actuellement plus de 21 millions de tonnes de mangues

par an. Certes, les effets de ce composé sont connus depuis plus de un siècle. Mais c'est à la faveur des célébrations du centenaire de l'université agricole du Tamil Nadu (TNAU), située à Coimbatore, que les chercheurs s'y sont à nouveau intéressés. «En 2009, l'État nous a donné un milliard de roupies et nous avons décidé d'investir cette somme dans les technologies du futur», raconte le professeur Kizhaeral Sevathapandian Subramanian, directeur du département de nanotechnologies.

Un an plus tard était inauguré un laboratoire et, en 2012, un partenariat a été noué entre la TNAU, l'Institut de technologie industrielle du Sri Lanka et l'université de Guelph, en Ontario. Le projet est financé conjointement par le Centre de recherches pour le développement international et Affaires mondiales Canada, par l'entremise du



Varadharajan, un cultivateur de l'État du Tamil Nadu, trempe ses mangues dans un liquide comprenant de l'hexanal.

Fonds canadien de recherche sur la sécurité alimentaire internationale.

« L'emploi de l'hexanal est révolutionnaire et il était finalement assez légitime que celui-ci trouve sa première application concrète sur le plus vaste marché producteur au monde plutôt qu'au Canada, où les fruits sont bien moins nombreux », signale depuis son bureau de Guelph le professeur de biotechnologies Jayasankar Subramanian qui pilote l'équipe de chercheurs canadiens collaborant avec la TNAU.

RÉCOLTES PROLONGÉES

Dans le district de Krishnagiri, le soleil s'est levé il y a deux heures à peine, mais la chaleur est déjà pesante. Aux environs du village de Sappanipatti, deux cultivateurs d'une cinquantaine d'années s'affairent, en chemise et *longhi*, autour de leurs manguiers. Udhayakumar et Varadharajan sont frères et exploitent quatre hectares de terre depuis bientôt une décennie. Ils ont opté pour la culture de la mangue, « parce que le riz et la canne à sucre étaient trop gourmands en eau ».

Sur ce plateau du Deccan qui dessine le cône sud du sous-continent, l'eau se fait si rare que le Tamil Nadu et l'État voisin du Karnataka se disputent âprement celles

« Le manguiier ne donne le meilleur de lui-même qu'à partir de la septième année, plus de 400 kg par an. » – Les cultivateurs Udhayakumar et Varadharajan

du fleuve Cauvery. Dans certains districts sévit actuellement la pire sécheresse jamais observée depuis 140 ans. Udhayakumar et Varadharajan se sont donc résignés à planter des rangées de *banganapalli*, 800 pieds au total, et à attendre patiemment de commencer à gagner de l'argent. « Le manguiier ne donne le meilleur de lui-même qu'à partir de la septième année, plus de 400 kg par an », soulignent-ils. La récolte dure d'avril à juin. « On démarre la saison à 90 roupies le kilo (1,86\$), puis les prix tombent à 50, avant de s'envoler jusqu'à 200, au moment où les premières pluies de la mousson s'abattent sur nos têtes », racontent-ils.

Ce matin-là, les deux frères supervisent une opération un peu particulière. Des ouvriers agricoles pulvérisent copieusement les arbres de leur verger, jusqu'à ce que des gouttes d'un liquide

blanchâtre tombent de chaque mangue. Une première aspersion avait eu lieu 2 semaines plus tôt et ce second passage, à 15 jours de la récolte, est le moment idéal pour traiter les fruits avec une solution à base d'hexanal baptisée EFF, pour « Enhanced Freshness Formulation ». « Elle va nous permettre de prolonger de trois semaines notre récolte et de vendre les mangues lorsque le marché sera au plus haut », confie Udhayakumar et Varadharajan, qui consomment un seau d'eau d'une contenance de 10L par arbre en moyenne, dans lequel ils diluent l'EFF à 2%.

Les deux cultivateurs ont eu vent de ce procédé l'an dernier alors qu'ils participaient à une conférence donnée par la TNAU. « La solution EFF a été mise au point en 2013 et, après avoir organisé des formations auprès de 3 000 fermes

À Krishnagiri, une ville de l'État du Tamil Nadu, un distributeur remplit son camion de mangues.



du sud de l'Inde, nous sommes entrés dans la phase expérimentale», précise Chellappan Sekar, directeur du département de sciences sociales à l'institut de recherche de Tiruchirappalli, qui relève de la TNAU.

Santhakumar, 67 ans, a été l'un des premiers à accepter de tester l'hexanal il y a 4 ans. Son exploitation de 15 hectares se trouve à Santhur, à une dizaine de kilomètres de l'autoroute 44.

« Depuis que je pulvérise les fruits sur mes arbres, j'ai remarqué que les feuilles étaient plus vertes, ce qui signifie qu'elles fabriquent plus de chlorophylle et donc davantage de nutriments pour les fruits », se félicite-t-il. Le rendement de chaque manguiers a augmenté de 5 kg, soit 10% de plus qu'avant. « L'EFF me coûte 40 roupies par arbre mais, pour chaque roupie investie, je gagne 4 roupies supplémentaires », précise-t-il.

Son voisin Madhavan, 69 ans, s'est lui aussi converti à l'hexanal : « Non seulement mes mangues sont plus luisantes, davantage colorées et sucrées, mais en outre, je peux les conserver 7 à 10 jours de plus dans mon entrepôt à température ambiante, sans qu'elles s'abîment. » En termes de recettes, Madhavan prétend faire encore plus fort. « Pour une roupie dépensée en EFF, mes revenus augmentent de six roupies », assure-t-il.

UNE MOLÉCULE QUI DÉTESTE L'EAU

Des laboratoires aux plantations indiennes, l'hexanal a parcouru un long chemin et emprunté plusieurs détours. « La prise de conscience de la valeur de cette molécule date des années 1970, lorsque l'on a compris que l'hexanal pouvait bloquer l'enzyme responsable du vieillissement de la peau des fruits, tout en créant une protection physique contre les agents pathogènes », indique le professeur Jayasankar Subramanian. Si des chercheurs français sont parvenus à réaliser pour la première fois la synthèse de cet aldéhyde en 1907, il faudra attendre 2007 pour que son usage obtienne les brevets nécessaires au Canada, aux États-Unis et en Inde. Et puis encore quelques années avant qu'on s'intéresse à son application pratique. L'hexanal étant extrêmement volatil, il restait en effet à trouver le moyen de le faire agir le plus rapidement possible sur les fruits.

Sauf que les scientifiques se sont heurtés à un obstacle de taille : il n'aime pas l'eau. Pour pouvoir l'utiliser, le seul moyen était de travailler à l'échelle



Scène de nuit dans un marché de gros à Krishnagiri où sont vendues des tonnes de mangues chaque jour.



Des femmes apprennent à réutiliser les mangues impropres à la vente en les cuisinant. Jus, confitures, pâtes de fruits, croustilles, chutneys : tout cela sera vendu au marché, ce qui apportera aux familles un revenu supplémentaire.

nanométrique afin de piéger la molécule hydrophobe à l'intérieur d'une enveloppe hydrophile permettant sa dilution en solution aqueuse. La recette finalement mise au point par les Indiens consiste, pour 1 volume d'hexanal, à ajouter 10 volumes d'éthanol et 10 volumes de Tween 20, un produit dispersant fabriqué à partir d'acide oléique et de sorbitol. « Nous démultiplions ainsi l'effet de l'hexanal et le rendons 24 fois plus puissant qu'à l'état naturel », fait remarquer Kizhaeral Sevathapandian Subramanian, en déambulant dans les couloirs du laboratoire de Coimbatore où l'on explore d'autres modes d'emploi de l'hexanal, dont la plongée des mangues dans un bain d'EFF juste après

la cueillette, par exemple. Recueillis délicatement à l'aide d'une épaisse, les fruits sont lavés à l'eau salée, puis immergés durant cinq minutes dans la solution, avant d'être mis à sécher sur de la toile de jute pendant une demi-heure environ. Ils sont disposés la tête en bas, pour empêcher la sève qui s'écoule de la queue de tacher le fruit.

Kizhaeral Sevathapandian Subramanian montre également une grosse boîte transparente à l'intérieur de laquelle les chercheurs exposent les mangues à une vapeur d'EFF une heure ou deux. Autre piste : le « nano packaging » qui permettrait de s'affranchir de la très grande volatilité de l'hexanal à l'état liquide. Le laboratoire de Coimbatore a mis au point une fibre

obtenue à partir d'une solution polymère d'hexanal pulvérisée dans une chambre soumise à un champ magnétique. « Avec 1 g de fibre, on pourrait relier deux points distants de 2000 km », explique le professeur pour faire comprendre combien la surface d'échange avec l'air ambiant est énorme. L'idée est d'enfermer quelques grammes de la fibre dans de petits sachets que l'on fixe à l'intérieur des cartons d'emballage des mangues destinées à l'expédition. L'hexanal s'évapore ensuite dans la boîte et imprègne les fruits, lentement, pendant leur transport. La TNAU réfléchit par ailleurs à la fabrication de comprimés d'hexanal, qui seraient, là encore, employés sous forme de mini-sachets placés dans les cartons.

Kizhaeral Sevathapandian Subramanian est formel : tous ces procédés sont « sans danger ». Si les ouvriers agricoles qui pulvérisent l'EFF sur les manguiers du Tamil Nadu portent des masques sur le visage, c'est « pour se protéger de l'odeur puissante du produit », affirme-t-il. L'hexanal a été déclaré inoffensif après avoir été testé avec succès sur des cellules humaines

ainsi que sur des abeilles, des chrysopes vertes et des vers de terre, animaux parmi les plus sensibles aux nano-éléments. Plusieurs autorités – l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), la Food and Drug Administration aux États-Unis (FDA), l'Autorité indienne de sécurité des aliments (FSSAI) et l'agence étatique indienne Central Insecticide Board (CIB) – ont du reste approuvé son utilisation. En outre, le produit s'évaporant très vite, les consommateurs ont des chances infimes de se retrouver en contact avec lui. Au Canada, pour le moment, seuls les fabricants de gommes à mâcher et de fruits confits sont autorisés à l'exploiter. « À ma connaissance, l'Inde et les pays qui ont rejoint son programme – le Sri Lanka, le Kenya, la Tanzanie et Trinité-et-Tobago – sont les premiers à l'expérimenter dans l'agriculture », souligne Jayasankar Subramanian.

L'accompagnement des fermiers tamouls ne pouvait cependant pas en rester là. Avec l'appui de l'organisation non gouvernementale Myrada, la TNAU soutient les coopératives de femmes en

milieu rural. Elle leur enseigne comment utiliser les mangues impropres à la vente et leur transmet les recettes de jus, de confitures, de pâtes de fruits, de croustilles et autres chutneys. Tout autour de Krishnagiri, dans les villages de Solari, Moramadagu et Alapatty, les épouses des cultivateurs apprennent de cette façon à améliorer, elles aussi, les revenus du foyer. « C'est une autre façon de réduire le gaspillage et cela complète intelligemment la démarche globale de la TNAU à l'attention des producteurs », fait remarquer l'expert en sciences sociales, Chellappan Sekar. En aparté, il nous révèle deux ou trois petits secrets de cuisine, tandis que Kizhaeral Sevathapandian Subramanian déguste une mangue avec délectation, avant de retourner dans son laboratoire. Comme s'il souhaitait prouver que l'hexanal pouvait aller de pair avec la gourmandise. ⁰⁵

Le projet de recherche décrit dans cet article et la production de ce reportage ont été rendus possibles grâce au soutien du Centre de recherches pour le développement international.

LE DEVOIR MOBILE, MAINTENANT DANS VOS PANTALONS.

D

Téléchargez l'application
Le Devoir Mobile
dès maintenant !





LE SEL, IRREEMPLAÇABLE ?

Contrairement au sucre, le sel n'a toujours pas de succédané digne de ce nom. Pourtant, l'industrie alimentaire en aurait bien besoin, elle qui cherche à réduire la quantité de sodium dans ses produits.

PAR MARTINE LETARTE

Pour le quidam, le sel sert tout bonnement à assaisonner les plats. Mais demandez à un maître fromager ce qu'il pense du sel et il vous répondra que c'est un ingrédient incontournable. Non seulement rehausse-t-il le goût du fromage, mais il contribue aussi à la formation de sa

croûte. Il est essentiel pour la texture, qu'il s'agisse d'un fromage en grains qui fait « couic-couic » ou d'une mozzarella bien fondante. Évidemment, il est un agent de conservation, astuce que nos ancêtres connaissaient déjà il y a des millénaires.

En tout, ce ne sont pas moins de sept fonctions que le sel remplit dans la fabrication du fromage, et ce, à un coût dérisoire. Le bon vieux chlorure de sodium se révèle d'une étonnante

polyvalence ! Voilà de quoi donner bien des maux de tête aux scientifiques qui cherchent à lui trouver un substitut aussi efficace que le sont, par exemple, le stevia, la saccharine et l'aspartame en remplacement du sucre.

S'ils y investissent autant d'efforts, c'est parce que les enjeux sont sérieux. Une consommation trop importante de sodium augmente les risques d'hypertension artérielle, l'une des principales causes de maladies du cœur et d'ac-

cidents vasculaires cérébraux (AVC).

Santé Canada a mis en place une stratégie de réduction du sodium en 2010 afin de faire passer la consommation quotidienne de 3 400 mg par jour à 2 300 mg (une cuillerée à thé) en 2016, soit le maximum recommandé.

Bilan ? L'industrie alimentaire a fait des efforts, mais les résultats ne sont pas constants. Alors que les muffins anglais, les pains aux raisins, les céréales prêtes à manger et les jus de légumes affichent un progrès considérable, les fromages enregistrent une légère amélioration et les charcuteries emballées font du surplace.

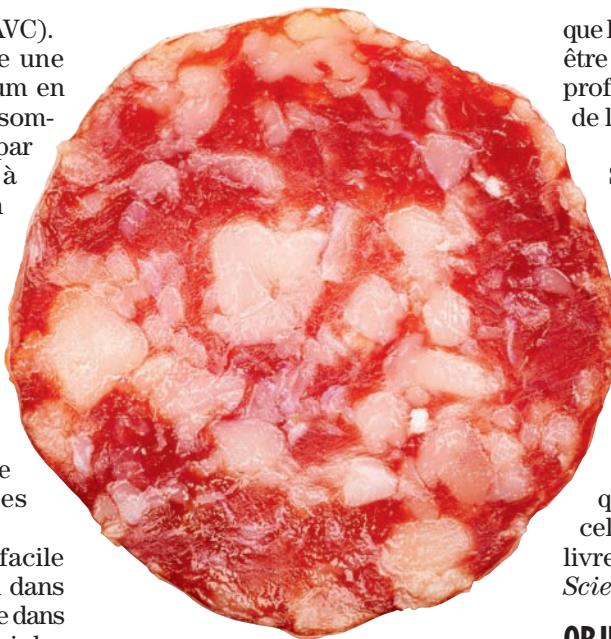
« C'est certain que c'est plus facile techniquement de réduire le sel dans une soupe ou un jus de légumes que dans un fromage ou une charcuterie. Mais les entreprises ont tout de même une marge de manœuvre et, lorsque certaines d'entre elles y arrivent, cela signifie que leurs concurrents le peuvent aussi », affirme Steve Labrie, chercheur à l'Institut sur la nutrition et les aliments fonctionnels, de l'Université Laval, qui a notamment réalisé une étude sur l'impact technologique et santé de la substitution du sodium dans les fromages.

TENTATIVES DE SUBSTITUTION

Alors qu'on dispose de plusieurs succédanés de sucre, les solutions de remplacement du sodium demeurent limitées.

Le substitut le plus utilisé dans l'industrie alimentaire est le chlorure de potassium, un minéral essentiel à la santé qui n'augmente pas la tension artérielle et pourrait même aider à la réduire, d'après certaines études. En revanche, il est déconseillé aux gens qui souffrent entre autres de diabète de type 1 et de problèmes de foie. Il est également désagréable en bouche. « En trop grande concentration, il peut donner un arrière-goût métallique aux produits. Alors, en règle générale, il ne faut pas dépasser 25% ou 30% de taux de remplacement », explique Steve Labrie, également professeur au département de sciences des aliments et de nutrition à l'Université Laval.

Et contrairement au sel, le chlorure de potassium est plus cher et moins polyvalent. L'industrie doit donc le combiner à d'autres produits, « comme des



Au contact de la salive, le sel de table, ou chlorure de sodium, se dissout en ions sodium (Na⁺) et chlorure (Cl⁻). Ce sont les ions Na⁺ qui activent certains récepteurs de la langue et donnent le goût salé. Le sel permet aussi la conservation des aliments : il inhibe certaines réactions enzymatiques et limite donc la dégradation des produits, comme la viande. Il « capte » l'eau et réduit sa disponibilité pour les bactéries.

ingrédients antimicrobiens et des agents texturants », précise Steve Labrie. Le hic ? « Malgré leur innocuité, les consommateurs ne veulent pas voir ces produits apparaître sur les listes d'ingrédients. »

Il faut donc ruser pour pallier les différentes fonctions du sel. Par exemple, l'entreprise française Nutritionix réalise des mélanges – brevétés – de minéraux (sodium, magnésium, calcium, potassium) afin de réduire la quantité de sodium sans altérer les propriétés de conservation. Et, surtout, sans gâcher le goût.

En effet, il est difficile de berner la langue humaine, dont les récepteurs ont une affinité particulière pour le sel. « Les récepteurs pour le sucré se satisfont de différentes molécules qui donnent une sensation de sucre, alors

que les récepteurs du goût salé semblent être plus précis », affirme Ariel Fenster, professeur au département de chimie de l'Université McGill.

Même son de cloche du côté de Barb Stuckey, présidente et chef de l'innovation chez Mattson, une entreprise californienne qui développe de nouveaux produits notamment pour les multinationales Nestlé, General Mills et Starbucks.

« Le salé se déploie d'une façon particulière en bouche par différents mécanismes très complexes à reproduire et on a moins de solutions efficaces pour remplacer le sel qu'on en a pour le sucre », explique celle qui aborde la question dans son livre *Taste: Surprising Stories and Science About Why Food Tastes Good*.

OBJECTIF GOÛT

Chaque entreprise y va donc de sa propre stratégie. Chez le producteur de volaille Exceldor, on a choisi de ne jamais dépasser les recommandations de Santé Canada en matière de sodium pour préparer ses produits frais assaisonnés.

Pour assurer une bonne conservation, Exceldor travaille avec une arme secrète : les emballages sous atmosphère modifiée qui augmentent les durées de vie.

Puis, pour rehausser le goût de ses produits, l'entreprise utilise différents ingrédients. « Par exemple, pour la saveur barbecue, associée à un goût très salé, nous allons vers le vinaigré et la tomate, qui comprennent naturellement des molécules rehaussant la saveur », explique Maryse Dumont, directrice innovation et développement chez Exceldor.

L'entreprise travaille aussi avec des extraits d'épices provenant de plantes fraîches, une solution beaucoup plus savoureuse que les épices séchées.

« Ça donne un beau profil de goût, explique Maryse Dumont. Par contre, il y a un impact sur le coût du produit. Le sel, c'est la solution facile parce que ça rehausse tout et à 0,25 \$ le kilo, il n'y a rien qui bat ça. Mais, c'est une question de choix. Du moins, pour nos produits où le niveau de sel peut varier beaucoup plus que pour des salaisons par exemple. »

DUPER LES RÉCEPTEURS

Certaines compagnies ont recours à une stratégie plus simple : réduire le

« Le salé se déploie d'une façon particulière en bouche par différents mécanismes très complexes à reproduire. » – Barb Stuckey

sel progressivement pour laisser le temps au consommateur de s'habituer. D'ailleurs, la recherche démontre que les récepteurs de sel s'adaptent à la quantité consommée en quatre à six semaines. Si bien que, après l'ajustement des récepteurs, un aliment réduit en sel aura un goût aussi salé que lorsqu'il contenait une quantité de sodium plus importante.

Le Royaume-Uni, leader de la lutte contre le sel dans le monde, a implanté un programme de réduction du sodium dans l'industrie alimentaire en 2003 avec des cibles allant jusqu'à 40%. Près de 15 ans plus tard, une diminution globale d'environ 30% a été enregistrée.

« Ce sont surtout les petits joueurs indépendants dans l'industrie de la restauration rapide qui n'ont pas atteint les cibles, mais les grandes chaînes l'ont fait », affirme Graham MacGregor, professeur en médecine cardiovasculaire à l'institut Wolfson de médecine préventive, au Royaume-Uni.

Les Britanniques constatent le progrès accompli lorsqu'ils voyagent à l'extérieur du pays. « À l'étranger, nous trouvons la nourriture très salée maintenant », raconte le docteur MacGregor qui milite pour la réduction de sel depuis plusieurs années et qui a fondé le *Consensus Action on Salt and Health* (CASH).

Les Québécois sont-ils prêts pour un tel changement? Chez Olymel, du moins,




on a pris le taureau par les cornes, il y a quelques années, pour se conformer rapidement aux seuils recommandés par Santé Canada.

« C'était une préoccupation depuis longtemps pour l'entreprise. Alors, en 2011-2012, nous avons déployé notre stratégie de réduction de sel pour nos produits de volaille », explique Guylaine Lacroix, directrice recherche et développement pour la volaille transformée chez Olymel.

Ensuite, l'entreprise s'est attaquée à ses produits à base de porc, dont de nombreuses charcuteries. Résultat : 300 000 kg de sel par année ont été retirés

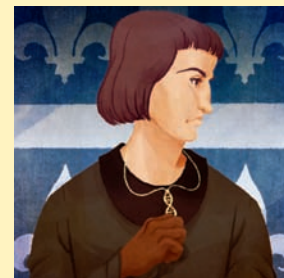
d'un coup, uniquement dans les viandes de porc transformées. Selon Mme Lacroix, des tests de goût ont démontré que les consommateurs adhéraient au changement. Olymel a ainsi réduit de 25% en moyenne le sel dans l'ensemble de ses produits.

Malgré ces efforts, il n'en demeure pas moins que les Québécois mangent encore trop salé, aujourd'hui. Chercheurs et industriels demeurent donc à l'affût d'une découverte prometteuse. « Chose certaine, la personne qui réussira à trouver un substitut pour le sel fera fortune », prédit le chercheur Steve Labrie. 



Podcast
Québec Science

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



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

LE SOLAIRE

Hydro-Québec prévoit que le coût de l'énergie solaire se rapprochera de ses propres tarifs, peut-être dès 2023. Le boom solaire observé à l'échelle mondiale atteindra-t-il le royaume de l'hydroélectricité?

PAR MÉLISSA GUILLEMETTE

Wos factures d'Hydro vous découragent? Pourtant, vous avez accès à l'électricité la moins chère en Amérique du Nord. Qui plus est, de source renouvelable! C'est d'ailleurs probablement ce qui explique que les Québécois s'intéressent encore peu à l'énergie solaire. Dans la province, seules 103 résidences font de l'autoproduction d'électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques et versent leurs surplus au réseau d'Hydro-Québec en échange d'un crédit. Pas étonnant, puisque l'hydroélectricité coûte environ 0,07 \$ le kilowattheure (kWh), tandis que l'énergie solaire revient entre 0,11 \$/kWh et 0,15 \$/kWh, ce qui comprend le prix des panneaux et de leur installation.

Ailleurs dans le monde, toutefois, l'engouement est immense: on a installé 75 gigawatts



MICHEL CARON/UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

POINTE

AU QUÉBEC



Érigé en 2013, dans le Parc Innovation-ACELP de l'Université de Sherbrooke, le concentrateur solaire est une structure de 8 m de hauteur, avec un jeu de miroirs d'une superficie de 100 m², qui contribue à faire avancer la recherche sur l'énergie solaire. L'Université ne s'est pas arrêtée en si bon chemin; d'ici avril 2018, elle construira un parc solaire sur son terrain.

ÉNERGIE

(GW) de capacité solaire en 2016, ce qui équivaut à plus de deux fois la puissance des installations hydrauliques et thermiques du Québec. C'est surtout 30% de plus que l'année précédente, selon l'ONU Environnement. Un méga parc solaire chinois se voit même depuis l'espace !

La fièvre gagne également les voisins du Sud. Les tarifs de l'énergie solaire y sont déjà compétitifs dans 20 États. Ce devrait être le cas pour 42 États dès 2020, selon un récent rapport de Green Tech Media Research. Même le Musée du charbon, au Kentucky, a choisi de se convertir au solaire pour économiser de 8000 \$US à 10000 \$US par année...

C'est simple, depuis 2010, les coûts des panneaux photovoltaïques, qui permettent de transformer les photons en courant électrique, diminuent d'environ 15% annuellement. Une telle baisse est attribuable, entre autres, à l'industrialisation de leur production, à la baisse du prix du silicium et à l'arrivée d'un nouveau joueur, la Chine, qui produit désormais plus de la moitié des cellules photovoltaïques. Sans oublier la générosité des programmes gouvernementaux qui ont soutenu l'industrie et les acheteurs partout dans le monde, afin de délaisser le nucléaire ou de réduire le recours aux hydrocarbures. « Les installations de panneaux continuent à augmenter, ce qui fait baisser les prix encore davantage », remarque Vincent Aimez, professeur au département de génie électrique et informatique de l'Université de Sherbrooke.

Et les innovations pullulent. « Il existe des technologies photovoltaïques bifaciales [NDLR: avec des cellules des deux côtés d'un panneau] qui augmentent de 25% la production d'énergie pour une même superficie », explique le directeur de l'intégration des nouvelles technologies chez Hydro-Québec, Alain Sayegh, en désignant le panneau solaire qu'il conserve dans son bureau, dont le revers est vide. « Il y a également de plus en plus de technologies adaptées à des applications domestiques. »

Il dévoile un film transparent brun et souple, parcouru d'un réseau doré. « On appelle ça du photovoltaïque organique, produit par impression. C'est un "panneau solaire" qu'on pourrait installer sur des rideaux, par exemple. La notion de captage d'énergie est appelée à changer. »

C'est sans compter les tuiles discrètes pour toitures solaires dévoilées récem-



Vu depuis l'espace, le parc solaire Longyangxia, en Chine, a une capacité de 850 MW. Avec une superficie de 27 km², on estime que le site comprend 4 millions de panneaux solaires.

ment par Tesla. La compagnie américaine assure que ses toits solaires coûteront le même prix – voire moins cher – qu'une toiture conventionnelle, une fois la réduction de la facture d'électricité annuelle prise en compte.

SPIRALE DE LA MORT

L'emballement pour le solaire force Hydro-Québec à se pencher sur le sujet dans son plan stratégique en cours. Selon ses experts, le coût de l'énergie solaire photovoltaïque se rapprochera des tarifs d'hydroélectricité vers 2023-2025. C'est ce qu'a indiqué le président-directeur général, Éric Martel, pendant l'étude des crédits budgétaires du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, en avril dernier.

Le P.D.G. parle d'un « mouvement », un véritable retournement de situation qui devrait se produire entre 2023 et 2040: « De plus en plus de gens vont peut-être s'intéresser à convertir et à fabriquer – pas toute, on pense que ce n'est pas possible au Québec –, mais une partie de leur énergie » grâce à des panneaux solaires, ce qui pourrait faire « exploser » les tarifs d'hydroélectricité, a-t-il déclaré.

C'est ce que le professeur au département de physique de l'Université de Montréal Normand Mousseau appelle, en riant jaune, « la spirale de la mort ». « Quand 15% de la population aura installé des panneaux solaires, le paiement de nos barrages amorti sur 100 ans [sur nos factures d'Hydro] sera assumé par

« Quand j'ai fait le tour de la province environnementalistes, voulait qu'on les barrages sont déjà construits. »



Vincent Aimez,
de l'Université
de Sherbrooke.

15% de personnes en moins. Le 85% restant payera donc son électricité plus cher. Ce qui poussera encore plus de gens vers le solaire, même si ça n'a pas de sens collectivement », indique celui qui est aussi directeur académique de l'Institut de l'énergie Trottier de Polytechnique Montréal.

À moins qu'Hydro-Québec ne crédite à faible prix les surplus des abonnés qui ont des panneaux solaires, pour compenser les pertes, ou ne leur vende à fort prix son énergie, quand leur production ne suffit pas. De telles solutions sont mises en place aux États-Unis par des distributeurs conventionnels, comme cela est cité par Hydro-Québec dans un rapport présenté à la Régie de l'énergie en décembre 2016. « La concurrence

que provoque la venue de la production distribuée [NDLR: une expression qui réfère aux petites installations de production d'électricité décentralisées et raccordées à un plus vaste réseau] devrait pouvoir être considérée par la Régie dans l'établissement des tarifs d'électricité », peut-on y lire.

Dans tous les cas, la vague solaire atteindra assurément le Québec, estime le professeur Mousseau. « Quand j'ai fait le tour de la province en 2013-2014 [comme coprésident de la Commission sur les enjeux énergétiques du Québec], tout le monde, dont les environnementalistes, voulait qu'on subventionne le solaire. Pourtant, les barrages sont déjà construits. Et l'énergie nécessaire pour produire un panneau solaire équivaut à

en 2013-2014, tout le monde, dont les subventionne le solaire. Pourtant, – Normand Mousseau



CÉGEP DE SEPT-ÎLES

DES RECHERCHES POUR DÉGAGER LES PANNEAUX EN HIVER

Le givre et la neige sont les pires ennemis de la production solaire photovoltaïque. Le Cégep de Sept-Îles travaille justement à trouver une solution pour faciliter le nettoyage des panneaux en hiver.

« Ces deux types de phénomènes causent des pertes énergétiques qui peuvent s'élever à 8% sur une année au Québec, indique Hussein Ibrahim, directeur de la recherche et de l'innovation du Cégep de Sept-Îles. Ce n'est pas négligeable. »

Pour le moment, le dégivrage des panneaux doit se faire de façon manuelle. « Mais avec l'arrivée des réseaux électriques intelligents, on ne pourra plus se fier à une intervention humaine. Il faut tout automatiser. »

Depuis trois ans, le Collège travaille à développer cette opération, en collaboration avec Ambrish Chandra, professeur au département de génie électrique de l'École de technologie supérieure de Montréal. Deux solutions – l'une électrique, l'autre mécanique – sont testées en chambre froide cet été. « On espère que cela mènera à la création d'une entreprise, dit Hussein Ibrahim. À l'échelle internationale, elle pourrait cibler la Russie, les pays scandinaves et l'Alaska. Et rien n'empêche de s'inspirer de ces solutions pour ensuite dégager les panneaux solaires dans les zones désertiques. »

« Le nerf de la guerre, c'est la rentabilité. Les solutions impliquant le solaire sont plus chères à l'investissement. » – Matthieu François, de Gaz Métro

deux ans de l'énergie qu'il fournira pendant sa durée de vie. Mais la perception que c'est plus "vert" va l'emporter. Ça, et le rêve de l'autonomie énergétique. »

Au point qu'Hydro-Québec envisage de vendre des panneaux solaires! En entrevue au *Journal de Québec* en janvier dernier, son P.D.G. a évoqué l'idée d'acquérir ou de s'allier à une entreprise de toits solaires à l'étranger pour tirer profit de ce marché dans la province.

D'autres n'ont pas attendu pour se lancer dans l'aventure. Récemment, Gaz Métro faisait l'acquisition de Standard Solar, une compagnie basée au Maryland et spécialisée dans le développement, l'installation et l'entretien de systèmes solaires photovoltaïques pour les marchés commercial, industriel et institutionnel. Gaz Métro ne vise toutefois pas le marché québécois avec cette acquisition.

Pour l'instant, Hydro-Québec affirme étudier le dossier surtout pour s'assurer de toujours offrir un service fiable. « Si, dans un secteur donné, 1 000 clients ayant des panneaux solaires injectent beaucoup de puissance au même moment dans le réseau, ça pourrait causer une interruption de service, car les

protections de nos postes ne sont pas conçues pour ça, illustre Alain Sayegh. Nous devons faire des ajustements pour que ça n'arrive pas. »

DES INNOVATIONS QUÉBÉCOISES ?

Le Québec peut-il tirer son épingle du jeu dans le grand marché international du solaire? On a manqué le train pour mettre au point des panneaux photovoltaïques compétitifs, estime Normand Mousseau. Néanmoins, des entreprises d'ici déploient d'autres technologies pour tirer profit du soleil.

La compagnie Rackam, basée à Sherbrooke, espère transformer le paysage industriel avec ses technologies solaires thermiques. L'idée du « thermique » est d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer un fluide. Ce dernier sert ensuite aux procédés industriels qui nécessitent de hautes températures ou pour le chauffage des bâtiments. Rackam a déjà conçu un parc solaire thermique de 1 500 m² pour l'usine de Cascades à Kingsey Falls, inauguré en 2014. La papetière réduit sa consommation de gaz naturel de 140 000 m³ annuellement grâce à ce

parc qui a bénéficié d'investissements importants du gouvernement du Québec et de Gaz Métro.

Les industriels d'ici sont-ils partants pour tenter l'expérience? « Le nerf de la guerre, c'est la rentabilité, explique Matthieu François, conseiller en efficacité énergétique chez Gaz Métro. Les solutions impliquant le solaire sont plus chères à l'investissement. Mais il est possible de générer des économies intéressantes sur une période de temps raisonnable pour des projets où les besoins en énergie sont très grands. »

Pour se conformer à ses obligations légales en matière d'efficacité et d'innovation énergétique, Gaz Métro offre surtout des subventions à ses clients industriels, commerciaux ou institutionnels qui souhaitent se doter d'un système de préchauffage solaire, branché à leur système au gaz naturel. Il s'agit de murs solaires très simples, faits de tôle, qui permettent de récupérer la chaleur du soleil pour l'acheminer dans les systèmes de ventilation.

Gaz Métro assure ne pas y perdre au change. « Nos clients qui consomment mieux et moins se retrouvent avec une

UN PARC SOLAIRE AU QUÉBEC?

Hydro-Québec pense bâtir un grand parc solaire pour réagir rapidement si la demande d'énergie augmente.

Le Québec baigne dans les surplus d'électricité. D'ailleurs, l'automne dernier, Hydro-Québec disait prévoir

des excédents pour les 10 prochaines années, de l'ordre de 11,3 térawattheures annuellement.

Le président-directeur général d'Hydro-Québec, Éric Martel, a néanmoins déclaré qu'un parc solaire de 100 MW pourrait être construit bientôt, pour produire l'équivalent des besoins en électricité de 7 730 résidences. « On n'en aura pas besoin demain matin, de cette énergie-là; ce dont on a besoin, c'est d'appréhender comment ça fonctionne pour éventuellement être capable de considérer

l'énergie solaire dans notre parc de production », a-t-il dit lors de l'étude des crédits budgétaires, à l'Assemblée nationale, au printemps dernier.

Le projet est encore embryonnaire, a expliqué en entrevue Alain Sayegh, directeur de l'intégration des nouvelles technologies chez Hydro-Québec. « On est en exploration. Mais l'intention serait de le construire au Québec », confirme-t-il. Si l'expérience était concluante et que la demande énergétique venait à augmenter dans les prochaines années, en raison

d'une croissance de l'exportation d'électricité, par exemple, la société d'État pourrait se lancer dans le solaire, plutôt que de construire un nouveau barrage. Le dernier épisode, celui de la rivière Romaine, avait été pour le moins controversé.

« En "dollars par watt", ce type d'installation présente un coût compétitif par rapport au coût de construction des autres technologies. Et l'installation est rapide », remarque Vincent Aimez, professeur au département de génie électrique et informatique de



La centrale Newberry, en Californie, utilise la technologie solaire photovoltaïque à concentration de l'entreprise Saint-Augustin Canada Electric.

pour le moment, le climat québécois lui est peu favorable. « On ciblera d'abord le sud-ouest des États-Unis, le Chili, l'Afrique, le sud de l'Europe et l'Australie, indique d'ailleurs Normand Lord, président de Saint-Augustin Canada Electric. Mais, on pense que, en continuant la recherche, la technologie pourrait avoir du sens aussi au Québec. »

Saint-Augustin Canada Electric travaille également à réutiliser ses *trackers* pour les combiner à des panneaux photovoltaïques classiques, un concept qui pourrait se déployer dans les zones moins ensoleillées, comme au Québec. « Quand le soleil se lève, un panneau fixe prend un certain temps avant d'arriver à sa pleine capacité. Mais s'il est sur un *tracker*, dès l'aube, il

fonctionne déjà à plein régime, explique Normand Lord. Cela permet de produire 25% plus d'énergie. » Le *tracking* peut aussi être pertinent pour la gestion de la neige.

« solution énergétique plus compétitive », explique Matthieu François. Située à Québec, l'entreprise Saint-Augustin Canada Electric veut quant à elle percer le marché mondial des mégaparcs solaires. Cette compagnie est spécialisée dans la fabrication d'équipements pour la production électrique. En janvier dernier, elle a racheté la propriété intellectuelle pour la technologie solaire photovoltaïque à concentration la plus performante au monde (elle appartenait à l'entreprise française Soitec). Depuis, l'équipe la raffine et compte la fabriquer dans sa nouvelle usine de Trois-Rivières à compter de l'automne 2017.

Comment fonctionne le « photovoltaïque à concentration » ? « C'est exactement comme si on regardait le soleil avec des jumelles ! explique le professeur Vincent Aimez qui travaille en collaboration avec l'entreprise. On utilise de grandes lentilles et de toutes petites cellules. Pour que ça fonctionne, il faut que les panneaux soient montés sur des *trackers* et suivent le soleil. Il faut aussi un environnement où il fait très beau, car ce qui est diffus, filtré par un nuage ou autre, est perdu. » Ce type de technologie est deux fois plus efficace que les panneaux photovoltaïques classiques.

Elle reste toutefois moins répandue, car elle est encore jeune et, conséquemment, son coût est plus élevé. De plus,

Toutes ces initiatives font dire à Vincent Aimez que le Québec a une carte à jouer : « Hydro-Québec a une expertise sur les réseaux électriques, qui pourrait servir à l'intégration de différentes sources d'énergie partout sur la planète. Si son équipe développe une bonne connaissance du solaire, ça peut la mettre en position très avantageuse pour vendre des technologies d'ici partout dans le monde. » Le Québec trouvera-t-il ainsi sa place au soleil ?

« Le Québec trouvera-t-il ainsi sa place au soleil ? »

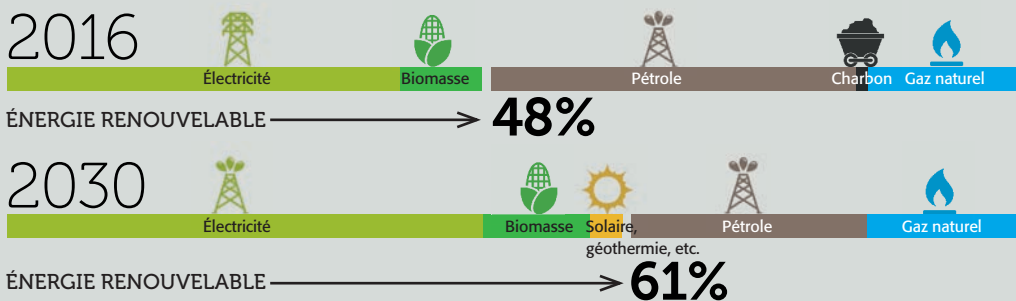
l'Université de Sherbrooke. Rappelons que, dans sa politique énergétique pour la période 2016-2030, le gouvernement du Québec s'est engagé à augmenter de 25 % sa production d'énergie de source renouvelable, diminuer

sa consommation de produits pétroliers et éliminer l'utilisation du charbon thermique. « Le profil de la consommation électrique sera complètement différent en 2025, croit Vincent Aimez. Par exemple, le gouvernement du Québec

fait beaucoup d'efforts pour être un leader mondial de la mobilité électrique. » De petits parcs solaires pourraient aussi être construits là où les voitures devront être rechargées, suggère-t-il. L'Université de Sherbrooke

a également annoncé qu'un parc solaire serait construit sur son terrain d'ici avril 2018. Les surplus générés seront versés dans le réseau d'Hydro-Sherbrooke. « La puissance du parc n'est pas encore déterminée mais, en gros, on devrait doubler la capacité photovoltaïque actuelle du Québec, dit Vincent Aimez. Et l'objectif est d'avoir un impact sur la consommation en énergie de l'industrie au Québec. On veut donc y installer beaucoup de technologies différentes déjà commercialisées – du photovoltaïque, du concentré, des panneaux sur deux axes, des panneaux sur des *trackers* – et les tester. » M.G.

LES CIBLES DE LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE 2030



Reportage présenté dans le cadre des 50 ans de Vélo Québec

Révolutionner le VÉ



LO par la science



Les travaux d'un petit groupe de chercheurs sur la capacité du vélo à tenir à la verticale par lui-même ravivent l'intérêt scientifique à son sujet.

PAR MAXIME BILODEAU

Elle a beau célébrer cette année ses 200 ans, la vénérable bicyclette est encore coincée au XIX^e siècle, soutiennent trois scientifiques trouble-fêtes. « En fait, je dirais qu'elle a évolué pendant 50 ans et qu'elle a ensuite fait du surplace pendant 150 ans », corrige un de ces empêcheurs de pédaler en rond, Andy Ruina, professeur de génie mécanique à l'université Cornell, dans l'État de New York.

Depuis 10 ans, lui, ses collègues Jim Papadopoulos et Arend Schwab, ainsi que leurs collaborateurs, prennent un malin plaisir à défier certains principes physiques longtemps acceptés à propos du moyen de transport le plus populaire du monde. Leur approche, à la fois teintée d'audace et de rigueur scientifique, les a amenés à concevoir des vélos expérimentaux aux géométries aussi inédites que contre-intuitives. « C'est un peu notre signature », souligne Andy Ruina.

Leur principal fait d'armes concerne ce que Max Glaskin, l'auteur du livre *Cyclisme et science* (Vigot, 2015), nomme « le grand mystère du cyclisme, celui que personne n'a jamais élucidé » : la capacité d'un vélo à se tenir à la verticale lorsqu'il roule seul, sans pilote.

Cette dynamique d'« autostabilité » se vérifie lorsqu'on lance un deux-roues du haut d'une pente. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, la machine ne tombera pas lamentablement sur le côté, tel un pantin désarticulé. Bien au contraire, elle empruntera sur plusieurs mètres

PHOTO : DONALD ROBITAILLE

SCIENCE DU VÉLO

une ligne relativement droite, corrigeant d'elle-même ses déséquilibres latéraux. Comme si une main invisible la ramenait sans cesse dans le droit chemin, jusqu'à ce qu'elle ralentisse en deçà d'environ 14 km/h ou heurte un obstacle. C'est d'ailleurs en partie grâce à cette autostabilité qu'un cycliste arrive à tenir en équilibre.

Historiquement, deux théories ont cherché à expliquer ce phénomène prodigieux. La première concerne l'effet gyroscopique, ou la tendance d'une roue en mouvement à résister aux changements de son orientation. Elle a été décrite pour la première fois en 1910 par les mathématiciens Felix Klein et Fritz Noether, ainsi que par le physicien théoricien Arnold Sommerfeld; tous trois des superstars du monde scientifique de l'époque.

À partir de la première modélisation mathématique du vélo faite par le mathématicien anglais Francis Whipple en 1899, le trio a expliqué comment l'effet gyroscopique contribue à l'« auto-rétablissement » du vélo. Lorsqu'il commence à pencher légèrement, la gravité fait pivoter la roue du même côté. La force centripète (« qui tend vers le centre ») redresse aussitôt cette dernière et ramène ainsi la direction et l'ensemble de la bicyclette en situation d'équilibre.

Cette idée a prévalu jusqu'en avril 1970. Ce mois-là, dans un article de la revue de vulgarisation *Physics Today*, David Jones, chimiste de formation et grand amateur de vélo, raconte des expériences qu'il a menées avec des bicyclettes théoriquement impossibles à conduire: les URB (*unridable bikes*). Sur l'une d'elles, le URBI, Jones a carré-



Lorsqu'on lance un deux-roues du haut d'une pente, la machine ne tombera pas lamentablement sur le côté. Bien au contraire, elle empruntera sur plusieurs mètres une ligne relativement droite, corrigeant d'elle-même ses déséquilibres latéraux, jusqu'à ce qu'elle ralentisse en deçà d'environ 14 km/h ou heurte un obstacle.

ment annulé l'effet gyroscopique à l'aide de deux roues contrarotatives montées sur la même traverse que la roue avant, mais tournant dans le sens contraire.

Lorsqu'il est lancé sans conducteur, l'engin s'écroule presque immédiatement, comme l'avaient prédit Klein, Noether et Sommerfeld. Satisfait, mais pas tout à fait, Jones se met en tête de s'asseoir sur sa création et de la piloter sans les mains. En théorie, raisonne-t-il, l'annulation de l'effet gyroscopique empêchera la roue avant de pivoter puis, par effet domino, de redresser le vélo. En pratique toutefois, Jones a peu de difficulté à rouler sans les mains, ce qui confirme qu'il y a bel et bien un autre effet à comprendre.

À force de jouer avec la géométrie de l'axe de direction, David Jones met le doigt sur cet autre paramètre qui influence considérablement la stabilité du vélo: la chasse. Cette dernière correspond à l'écart entre le point de contact de la roue avant au sol et la projection virtuelle, au sol toujours, de l'axe du pivot de fourche. Elle est dictée en grande partie par le degré d'inclinaison de cette fourche (**voir l'image à la page suivante**). Lorsque la chasse est positive, c'est-à-dire lorsque le prolongement de l'axe de direction arrive en avant du point de contact de la roue, cette dernière tend à stabiliser le vélo, remarque-t-il. Et vice versa lorsqu'elle est négative.

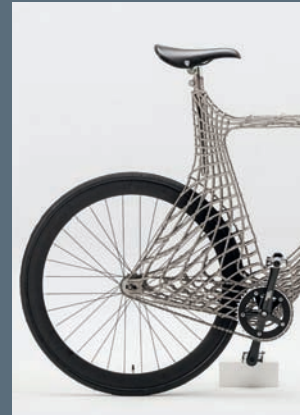
D'autres vélos revus et corrigés par la science



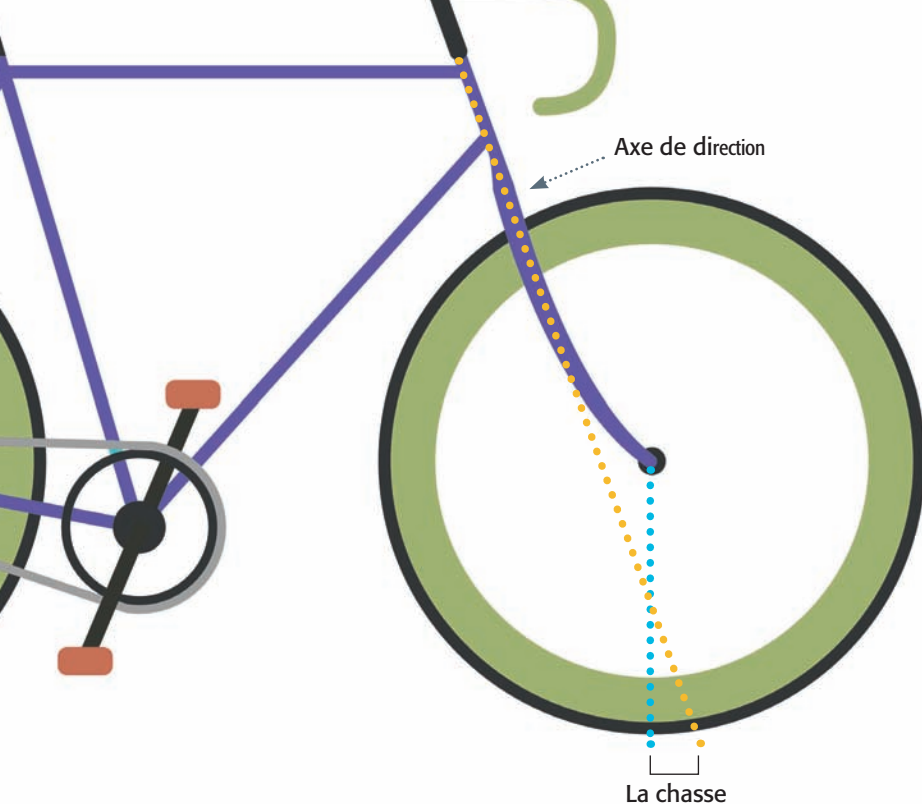
Grâce à ses capteurs, ce vélo aide les malentendants à percevoir les bruits de la circulation.



Un vélo pliant dont on a supprimé les rayons pour faciliter le transport. Tiendra-t-il la route?



Le cadre de ce vélo a été imprimé en



**« Les modèles
contenaient tous
des erreurs, certes
mineures, mais qui les
menaient à tirer des
conclusions erronées
quant à la capacité d'un
vélo à tenir tout
seul à la verticale. »**

– Jim Papadopoulos

Dans la tête du « père de la théorie moderne du vélo », comme il s'auto-proclamera plus tard (non sans un léger excès d'enflure verbale), il n'y a pas de doute : c'est l'effet de chasse qui explique la stabilité. Le cas était entendu; les cyclistes du monde entier pouvaient rouler l'âme en paix.

RÉTABLIR L'ÉQUILIBRE

C'était toutefois sans compter sur la collaboration fortuite, plus de 30 ans plus tard, entre nos trois enquiquineurs. À la faveur d'une année sabbatique à l'université Cornell en 2002, Arend Schwab, un ingénieur à l'université de technologie de Delft, aux Pays-Bas, se lie d'amitié avec Andy Ruina qui le présente

à Jim Papadopoulos, un ancien collègue chercheur, lui aussi ingénieur. Le ciment de leur relation : un fort intérêt pour la petite reine. Rapidement, les discussions portent d'ailleurs sur un projet entamé, puis abandonné, par Jim Papadopoulos : une recension des multiples tentatives de modélisation mathématique du vélo au fil de l'histoire.

Surprise! sur la trentaine d'équations répertoriées, aucune ne tenait la route! « Les modèles contenaient tous des erreurs, certes mineures, mais qui les menaient à tirer des conclusions erronées quant à la capacité d'un vélo à tenir tout seul à la verticale », se souvient Jim Papadopoulos qui est aujourd'hui professeur au collège d'ingénierie de

l'université Northeastern, dans l'État du Massachusetts. Autrement dit, l'effet gyroscopique et l'effet de chasse n'expliquent peut-être pas à eux seuls la stabilité.

Pourquoi tant d'années auront-elles été nécessaires avant que ces erreurs soient détectées? Selon le trio, personne avant eux ne s'était donné la peine de vérifier le travail des autres; tout le monde œuvrait plutôt de manière indépendante, avec ses propres résultats et suppositions. Jim Papadopoulos lui-même s'était laissé submerger par l'ampleur de la tâche lors des balbutiements de ses travaux, à la fin des années 1980. « Vous savez, ça ne se bouscule pas aux portes pour financer ce genre




3D par des étudiants néerlandais.



Le Fliz Bike, un vélo sans selle, ni pédales.



Le vélo électrique Mando Footloose. Il faut pédaler pour recharger la batterie!



« Rien n'a vraiment changé depuis la fin du XIX^e siècle. Aujourd'hui, l'innovation se résume à ajouter de nouvelles technologies qui améliorent les performances du vélo, sans le transformer radicalement. » –Arend Schwab

de travaux fondamentaux », souligne Andy Ruina.

Heureusement, l'arrivée d'Arend Schwab dans le portrait remet le projet sur les rails. En l'espace de un an, le trio recense, puis rassemble, les écrits scientifiques sur le sujet. Ensuite, chacun figole, de son côté, ses propres équations. Tous aboutissent au même résultat: une formule complexe dont 25 variables permettent à elles seules de prédire le comportement d'un vélo, incluant sa stabilité. « Comme nous sommes tous arrivés au même résultat, nous avons conclu que ce devait être ça le bon modèle et nous l'avons publié en 2007 dans *Proceedings of the Royal Society A* », explique Arend Schwab.

Contredire des théories sur papier est une chose. Prouver ses dires dans la réalité en est une autre. Pour ce faire, les trois hommes devaient démontrer que l'effet gyroscopique et l'effet de chasse ne sont pas nécessaires à l'autostabilité d'un vélo. Ils ont donc construit de leurs mains un vélo qui scelle le débat pour de bon.

À première vue, leur création ressemble fort peu à un vélo, même si elle est en mesure de s'auto-équilibrer (**voir à la page suivante**). Comme toutes les bicyclettes, elle est constituée d'un cadre, d'une roue arrière ainsi que d'un guidon et d'une roue avant qui tourne

autour d'un autre axe. Seule différence: le vélo expérimental des chercheurs est aussi muni de deux roues contrarotatives qui annulent l'effet gyroscopique, d'une chasse négative, puis de deux poids, l'un situé en avant du vélo et l'autre au-dessus de la roue avant. En tout, seuls 9 paramètres, à la place des 25 préalablement identifiés, suffisent à décrire la dynamique de cette machine. Surtout, le vélo roule seul, malgré l'annulation de l'effet gyroscopique et de la chasse.

Cette expérience, dont les résultats ont été publiés dans *Science* en 2011, laisse néanmoins planer son lot de mystères. Dans leur article, les chercheurs écrivent ne pas pouvoir identifier une seule variable qui soit essentielle et indispensable à la stabilité du vélo. Aux dires d'Arend Schwab, tous les facteurs concourent simultanément à ce phénomène, sans qu'il soit possible de préciser leur apport respectif. « Prenez un vélo qui arrive à tenir à la verticale par lui-même, modifiez un seul de ses paramètres et vous le rendez soudainement instable. Le contraire est aussi vrai avec un vélo instable: changez une seule de ses variables et il deviendra stable. Il y a toute une myriade de possibilités qui font que ça fonctionne ou non », illustre-t-il.

UNE NOUVELLE ÈRE ?

Ces travaux ouvrent-ils, comme plusieurs l'ont souligné lors de leur diffusion, une nouvelle ère dans la conception des bicyclettes? Il serait tentant d'y croire. De meilleures connaissances des principes physiques permettent, par exemple, de concevoir des montures plus stables, donc plus sécuritaires pour les cyclistes. D'ailleurs, deux compagnies néerlandaises, Raptobike et Batavus, se sont emparées de ces résultats afin d'améliorer la géométrie de leurs cadres de vélo, a rapporté le magazine *New Scientist* à l'époque.

Toutefois, force est de constater que la révolution n'a jamais vraiment eu lieu, ni au Québec ni ailleurs. Avec leurs deux roues d'égal diamètre, leur système de transmission d'une effarante simplicité et leur géométrie prévisible, les vélos d'aujourd'hui ressemblent à s'y méprendre aux bicyclettes modernes, ou *safety bikes* de la fin du XIX^e siècle. « Rien n'a vraiment changé depuis, confirme Arend Schwab. Aujourd'hui, l'innovation se résume à ajouter de nouvelles technologies qui améliorent les performances du vélo, sans le transformer radicalement. »

Ce qui n'est pas une mauvaise chose en soi. Bien au contraire, le vélo, tel que



Le vélo Prius X Parlee, «neuro-commandé».



Le Pícolo, un vélo en bois conçu à Montréal.



Un vélo aérodynamique: le cycliste est



SAM RENTMEESTER/FMAX

Voici à quoi ressemble un vélo expérimental. On y voit deux roues contrarotatives supplémentaires qui annulent l'effet gyroscopique. On remarque que le prolongement de l'axe de direction rencontre le sol en arrière du point de contact roue-sol, annulant ainsi l'effet de chasse. Finalement, une masse placée en avant du vélo et une autre au-dessus de la roue avant stabilisent cette construction.

nous le connaissons aujourd'hui, est une belle machine qui accomplit ce pour quoi elle a été conçue, poursuit le professeur. Elle a évolué à force d'essais et d'erreurs, sans réelles contraintes de temps.


Cela ne freine pas pour autant les ambitions des trois scientifiques qui, grâce à leurs travaux sur la dynamique d'autostabilité, ont inspiré plusieurs chercheurs du monde entier à étudier eux aussi les théories fondamentales qui expliquent le comportement de la bicyclette et de ses proches cousins, le tricycle, le monocycle, voire la moto. Tous les trois ans depuis 2010, des penseurs du Japon, des États-Unis et du Royaume-Uni, notamment, se rassemblent pour la *Bicycle & Motorcycle Dynamics*, un symposium de trois jours sur le sujet.

Ce regain d'intérêt pour le vélo a eu pour effet de multiplier les découvertes à son sujet. Ainsi, en 2014, une équipe d'ingénieurs de l'université Cornell dirigée par Andy Ruina a mis au point un *bricycle*, un croisement entre une bicyclette et un tricycle, qui annule les effets de la gravité. Avec ce vélo, il est impossible de prendre un virage, puisqu'il ne peut être déséquilibré pour l'amorcer, une manœuvre qu'on nomme le contre-braquage. « Ce vélo illustre qu'un certain degré d'instabilité, celle-là même que l'on craint, est en fait très pratique. Sans elle, on ne peut pas tourner », dit Andy Ruina.

Le cycliste lui-même est devenu un centre d'intérêt. À l'université de technologie de Delft, aux Pays-Bas, Arend

Schwab et son équipe étudient ces jours-ci le contrôle qu'exerce ce même cycliste sur sa machine, un sujet qui a des liens évidents avec la stabilité. En partenariat avec Royal Dutch Gazelle, le plus gros fabricant de vélos aux Pays-Bas, ils élaborent un système actif de contrôle. « Nous concevons un moteur de direction, un contrôleur et un détecteur, qui, tous ensemble, remettent le vélo à la verticale lorsque ce dernier est instable à basse vitesse. Concrètement, ce système situé dans le pivot de fourche braque le guidon dans la direction opposée à celle où le vélo va tomber », explique Arend Schwab. Le prototype de cette technologie, qui s'adressera tout particulièrement aux personnes âgées plus susceptibles aux chutes, a déjà fait ses preuves.

En fin de compte, ce sont les coureurs cyclistes du Tour de France qui pourraient profiter de ces avancées technologiques. Depuis l'année dernière, Arend Schwab collabore avec l'équipe professionnelle allemande Sunweb afin d'étudier entre autres les performances en descente de leurs coureurs. Bien développée chez certains, lacunaire chez d'autres, cette faculté à dévaler le bitume à des vitesses frisant les 100 km/h fait parfois la différence entre le maillot jaune et la chute. « Nous voulons entraîner les mauvais descendeurs pour qu'ils deviennent meilleurs. Pour ce faire, nous avons équipé des vélos de senseurs posés sur les freins, de GPS et de caméras afin de comparer les performances des bons et mauvais descendeurs », expose-t-il.

Un jour, le grand vainqueur sur les Champs-Élysées créditera peut-être la science de son triomphe. 



couché et enveloppé par un carénage.



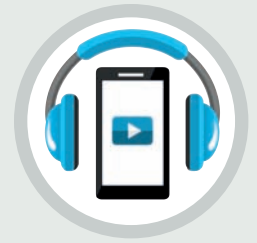
Le Lotus 108, un vélo de course en fibre de carbone, qui a brillé aux Jeux olympiques de 1992.



L'impression 3D permet d'adapter le vélo urbain 3bee à la morphologie du cycliste.

CuLTuRe

ÉMILIE FOLIE-BOIVIN @efolieb



ÉCOUTER

Quand la nature à besoin de magie

Tout comme les films de fiction, les documentaires animaliers ont eux aussi besoin de la magie du cinéma pour améliorer leur bande-son. L'épisode **Sounds Natural**, du balado **99 % Invisible**, en explore les dessous pas toujours aussi authentiques qu'on aimerait le croire. Par exemple, lorsque les catalogues de son ne suffisent pas, les artistes bruiteurs reproduisent ceux de la nature en louant des animaux, ou les créent de toute pièce pour correspondre aux attentes du spectateur. Un épisode « fascinant », comme dirait l'autre. **99percentinvisible.org** (26 minutes, en anglais).



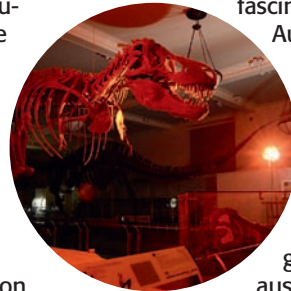
VISITER

Ma nuit au musée

Plusieurs musées, zoos et aquariums dans le monde offrent de passer une nuit à l'intérieur de leurs murs, et c'est le cas du renommé American Museum of Natural History (musée américain d'histoire naturelle), à New York, inauguré en 1869. L'engouement pour le film *Une nuit au musée*, qui se déroule justement dans cette institution et met en vedette Ben Stiller, a convaincu l'équipe de créer,

en 2006, le populaire programme nocturne. Il ciblait d'abord les familles; des soirées réservées aux adultes ont été ajoutées huit ans plus tard.

J'ai eu l'occasion de vivre l'expérience, au mois de mai dernier, en compagnie de 150 éternels enfants, autant des millénariaux que des retraités, eux aussi



fascinés par la science. Au menu ? Champagne à l'apéro, souper sur fond de jazz reprenant les succès de Britney Spears (!), film IMAX, programme exclusif de visites guidées et dodo austère sur des lits de camp alignés sous l'énorme réplique d'une baleine bleue. Le clou de la soirée : nous avons eu la chance d'explorer librement les salles du musée endormi qui, en temps normal, accueillent chaque jour entre 15 000 et 20 000 personnes.

Soyons francs : une nuit ne suffit pas pour voir les 33 millions d'artéfacts, d'autant moins que les lumières s'éteignent vers 2 h du matin. Mais lors de mon passage, un guide passionné poursuivait secrètement la visite à la lampe de poche racontant, à une quinzaine d'irréductibles que Morphée n'avait pas encore vaincus, les folles anecdotes des aventuriers qui ont contribué à garnir les collections.

Enrichie par les questions toujours pertinentes des visiteurs et les explications surprenantes des guides qui ont franchement répondu à (presque) tout, cette nuit a été simplement mémorable – bien que coûteuse. Il n'empêche, les « fans finis » de dinosaures, de météorites et de momies auront des anecdotes à raconter pour la prochaine décennie, minimum.

Au musée américain d'histoire naturelle, à New York
Nuits réservées aux adultes : 350 \$US par personne.
Nuits pour les familles, 145 \$US par personne. www.amnh.org.



RODERICK MICKENS © AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

REGARDER



MARCO SAMADELLI/GREGOR STASCHITZ

Dans la chambre secrète d'Ötzi

La momie Ötzi a rarement de la visite, car, depuis sa découverte dans les Alpes en 1991, elle réside dans une crypte réfrigérée et protégée contre toute contamination. Mais l'artiste Gary Staab a eu la chance unique d'entrer dans son congélateur pour l'observer, afin d'en faire une réplique 3D. Le documentaire *L'homme de 5 000 ans* suit son travail de moine pour découvrir le moindre secret que pourraient encore cacher les 61 tatouages et les leggings de cuir de l'« homme des glaces ». Un projet carrément givré.

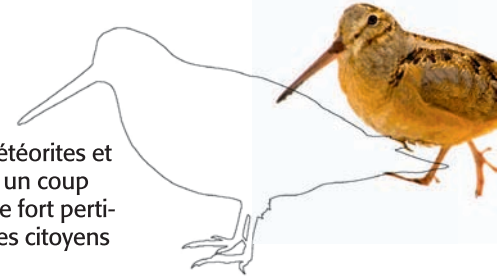
À ICI EXPLORA, le lundi 21 août, 21 h.

SURFER

Aider les chercheurs grâce à la science participative

Découvrir de nouveaux vers de terre, recenser les bécasses d'Amérique, identifier les météorites et retranscrire les manuscrits de Francis Bacon ne sont que quelques manières de donner un coup de pouce aux chercheurs, et ce, sans avoir besoin d'un diplôme ! Dans un aide-mémoire fort pertinent, l'équipe de l'émission *Découverte* dénombre des projets de recherche auxquels les citoyens peuvent participer de façon bénévole sans quitter le confort de leur pyjama.

Sur le site d'ICI Radio-Canada : bit.ly/2q0Hx7y.



ÉCOUTER

Gardiens de la Galaxie

L'astronaute Jim Lovell prend toujours plaisir à regarder *Apollo 13*, le film tiré de cette incroyable aventure qui a suscité un nouvel intérêt de la part du public pour ces voyages extraterrestres. Dans l'épisode *Neil deGrasse Tyson And Jim Lovell On Failure, iPhones and Mars*, du balado *Nerdette*, Lovell, maintenant âgé de 89 ans, et l'astrophysicien Neil deGrasse Tyson – autre geek de l'espace – reviennent sur le passé et le futur de l'exploration spatiale, la planète Mars, l'importance de l'échec et l'heureuse évolution de la nourriture pour astronautes. Cette passionnante demi-heure file comme une fusée.

www.npr.org/podcasts/399954056/nerdette-podcast (33 minutes, en anglais).

LIRE

Du ciel au jardin

Après nous avoir fait observer les astres, Hubert Reeves veut nous coller le nez sur les fleurs que la nature fait pousser et que l'on piétine négligemment. Dans son tout récent livre *J'ai vu une fleur sauvage*, l'astrophysicien présente la trentaine d'« amis » qui poussent sur sa propriété de Malicorne, en France. Quelques-unes, comme le pissenlit et la pâquerette, fleurissent aussi joyeusement sur nos terrains québécois. Rempli d'anecdotes, de photos et d'histoires, cet herbier est aussi agrémenté de notes botaniques aussi savantes que personnelles. La passion de Reeves est contagieuse : une fois cet herbier refermé, on veut illico délaissier les écrans pour arpenter la forêt avec les enfants et admirer le magnifique travail de la nature. Afin que, à leur tour, ils souhaitent défendre la beauté du monde.

J'ai vu une fleur sauvage - L'herbier de Malicorne, Hubert Reeves, Éditions du Seuil, 256 p.



La fin des poubelles

La consultante en environnement Marlène Hutchinson est une optimiste. D'emblée, elle nous assure que, un jour, nous trouverons une manière de recycler tous les déchets (hourra !). Mais les choses ne bougeront pas tant que, collectivement, les consommateurs ne se donneront pas un gros coup de pied au derrière. La loi du moindre effort a la couenne dure : le seul fait d'avoir à rincer le pot de « beurre de pinottes » avant de le mettre au recyclage freine les volontés écolos de nombreux citoyens. Dans son essai, l'auteure nous sensibilise – sans jamais faire la morale – en nous montrant comment opter pour des choix plus éclairés. Une



plaquette inspirante qui frappe là où ça fait mal. *Objectif zéro déchet : un projet collectif*, Marlène Hutchinson, Éditions MultiMondes, 119 p.



SERGE BOUCHARD  @Mammothlaineux

Notes de terrain

L'histoire de qui, l'histoire de quoi ?

Arriverons-nous un jour à écrire l'histoire du monde ? Je dirais plus, à écrire l'histoire comme du monde ? Jusqu'ici, nous souffrons le martyre. Pourtant, ce ne sont pas les mises en garde qui ont manqué. Les plus grands philosophes et les plus grands penseurs ont posé la question des fondements épistémologiques de ce qu'on appelle l'« Histoire » avec un grand *H*. Claude Lévi-Strauss a écrit que l'histoire objective, capable d'embrasser tout son sujet, est une entreprise impossible. Il faut toujours choisir, inclure, exclure et trancher, en fonction d'un plan préétabli, pour ne pas dire d'une intention « pré-structurée ». Vladimir Jankélévitch va plus loin : la seule histoire d'une journée dans la vie d'un seul être est impossible à rédiger. Cela prendrait trop de pages, trop de temps. Nous abandonnerions le projet après quelques heures, puisque chaque seconde demanderait un long chapitre pour seulement décrire le temps et ses contextes. Une chambre, une chaise, un pot de fleurs, l'aiguille de l'horloge, les rideaux, etc. Il faut raconter, depuis le plafond jusqu'au plancher, tout ce qui arrive : la vie d'une poignée de porte; le temps qui patine la surface de cette commode; la peinture qui s'écaille. Il faut écrire à propos de la lampe et du lit, et nous n'avons rien dit encore du vivant, de l'habitant, de la sueur, de la mémoire, des éclairages, des bibelots et des « traîneries ».

Par ailleurs, sans nous abîmer dans tous les détails, il est notoire que la rédaction des histoires nationales a toujours été une entreprise hautement idéologique. La France, le Royaume-Uni, les États-Unis, la Russie, tous ont mis en marché leurs salades mythiques, livre après livre. Et nous pourrions soutenir que l'étude des histoires nationales nous informe moins sur l'histoire elle-même que sur les perversions de ceux et celles qui l'écrivent. Dans le Québec où je vis, dans le Canada qui nous occupe, nous assistons depuis plus de un siècle à un spectacle saisissant : la mise en scène de tous les mensonges, au théâtre de nos fausses identités.

À propos de la série documentaire maladroitement produite par la CBC, *The Story of Us*, les intellectuels et les historiens francophones sont justifiés de monter à toutes les barricades. C'est comme si Télé-Québec avait eu l'indélicatesse de créer une série de 10 épisodes sur les Canadiens français catholiques vus à travers la lunette nationaliste de Lionel Groulx


pour célébrer notre culture distincte, aujourd'hui. Heureusement, Lionel Groulx n'écrit plus l'histoire, il est devenu un sujet historique. Et personne ne raconterait aujourd'hui le Québec comme le chanoine l'envisageait. Verriez-vous un documentaire actuel intitulé *Grandeur de la race canadienne-française, sainte et catholique* ?

L'historien Éric Bédard a raison de soutenir que la bourde des créateurs de la série *The Story of Us* tient au fait que l'on présente en 2017, sous prétexte de célébrer le 150^e anniversaire du Canada, une histoire qui aurait pu être signée par Donald Creighton, l'historien caricatural du Canada très anglais, mort en 1979, et biographe du non moins caricatural John A. Macdonald. Une fois cela dit, tout est dit. Pourquoi faut-il que les crapules des temps passés reviennent nous hanter sous le

déguisement de grands héros inventés par des historiens sans scrupules ? Sommes-nous à ce point incultes, amnésiques, indifférents ? Si nous pouvons aujourd'hui admettre au Québec que Lionel Groulx nous a un peu menti à propos de « la race canadienne-française », de sa pureté, de son destin, de sa nature sainte et bénie, pourquoi les Canadiens anglais n'admettraient-ils pas que Donald Creighton a, en quelque sorte, perdu les pédales quant à ses amours obsessionnelles pour l'Empire, l'« Union Jack », la royauté et les entrepreneurs britanniques, tout cela à

l'origine de l'identité canadienne, dont le chef d'orchestre fut, selon Creighton, le mythique John A. Macdonald, le plus grand premier ministre que le Canada ait jamais connu ?

Mensonges ! Comment, M. Creighton, avez-vous pu justifier les actions d'un Macdonald raciste, débilité par l'alcool, corrompu par l'argent; un être détestable qui méprisait les Métis, les Amérindiens, les Noirs et les Chinois, et les francophones par-dessus tout ? Vous avez fait la preuve en votre temps, M. Creighton, et les producteurs de *The Story of Us* avec vous aujourd'hui, que l'histoire peut devenir le lieu des mensonges les plus gros.

L'histoire est triste, en somme. Nous n'aurons jamais su choisir un beau mensonge, une menterie universelle et humaniste, rassembleuse et relativement heureuse. Non, nous pataugeons encore dans le biais et l'étroitesse, dans la béatification des magouilleurs et des opportunistes, au détriment des récits formidables qui dorment dans le fond de nos mémoires. Que les nouveaux historiens se lèvent, comme ils le font en décriant *The Story of Us*, pour en finir avec ce spectacle misérable. 



En vente
en kiosque

Vélo Québec
50 ans

Hors-série
vélo mag
**Histoire du vélo
au Québec**

Suivez le parcours de la petite reine
dans ce numéro spécial!

Les batailles ■ Le transport ■ Le cyclotourisme
La compétition ■ L'industrie ■ L'avenir ■ ... et plus!



8,95\$

RÉTROVISEUR

L'HISTOIRE DES SCIENCES VUE PAR SATURNOME



Wilhelm Reich (1897-1957) est un célèbre psychanalyste ayant étudié auprès de Freud et qui a contribué à développer ce domaine. Soulignons, entre autres, son travail de pionnier en sexologie et en faveur de la libéralisation des mœurs.

Cependant, son approche marxiste ne plaisait pas à tous, notamment aux pouvoirs en place dans l'Allemagne des années 1930.



Sujet de critiques, menaces et même d'autodafés, Reich voyage de pays en pays à la recherche d'un chez-soi.

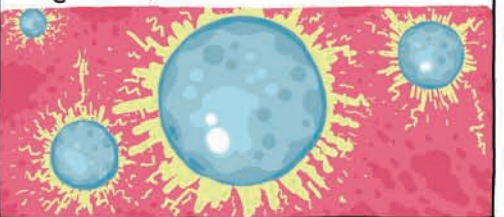


Il arrive finalement à New York en 1939, Solitaire et misanthrope.

C'est alors qu'il se passe quelque chose d'étrange: des expérimentations en laboratoire, qu'il menait depuis un moment le mènent à formuler...



Sorte d'extension du concept de la libido de Freud, l'orgone est supposée être une énergie cosmique omniprésente et à la base de toute chose. Son dérèglement serait à l'origine de plusieurs maladies.



À une époque où la biologie moléculaire était une science toute jeune, l'idée d'une sorte d'énergie vitale ambiante était plutôt acceptable.

C'est ce qui explique pourquoi Albert Einstein répondit à Reich lorsqu'il lui fit part de ses découvertes.



Mais après avoir passé quelque temps à les étudier, il décida de couper les ponts.



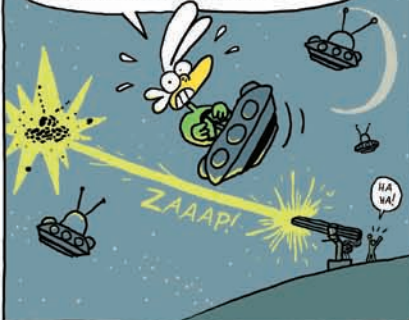
Pas du tout découragé, Reich continue à développer ses idées et invente l'accumulateur d'orgones, supposé guérir du cancer, parmi d'autres miracles.



Il invente ensuite le «cloudbuster», un engin qu'il disait capable de «débloquer» les orgones des nuages et provoquer la pluie.



Quelques années plus tard, il se sert de ses cloudbusters pour détruire des OVNI's...



Arrêté pour fraude, il termine sa vie en prison. Il laisse un héritage étrange, allant d'idées pionnières à d'autres complètement farfelues.



L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE À LA PORTÉE DE TOUS



ABONNEZ-VOUS À QUÉBEC SCIENCE!
quebecscience.qc.ca/abonnez-vous

1 AN
36 \$*

2 ANS
58 \$*

3 ANS
81 \$*

Économisez jusqu'à 48 % sur le prix en kiosque



SUBARU

Confiance et évolution



Il y a des millions de raisons de rester à la maison.
Et des milliards d'en sortir.

La **Outback 2017 de Subaru** est dotée de la traction intégrale symétrique à prise constante, de tonnes de fonctions utiles et de systèmes de sécurité à la fine pointe. Vous pouvez donc vous éclipser, question de vraiment admirer tout ce qu'il y a là-haut.
SubaruSousLesEtoiles.ca