



OCTOBRE-NOVEMBRE 2022

QUÉBEC SCIENCE

Agriculture connectée

Est-elle vraiment intelligente ?



+

Une bactérie visible à l'œil nu

Cinq innovations qui font revivre des déchets

L'AÉROSPATIALE DE DEMAIN : RÉSILIENTE ET DURABLE

**NOS ÉQUIPES DE RECHERCHE
ET NOTRE RELÈVE EN GÉNIE**

**CONTRIBUENT À SON DÉVELOPPEMENT,
EN ÉTROITE COLLABORATION AVEC L'INDUSTRIE**



polymtl.ca/aerospatiale

**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**



SOMMAIRE

OCTOBRE-
NOVEMBRE 2022

QUÉBEC SCIENCE

EN COUVERTURE



Une moisson de données

L'agriculture intelligente assure-t-elle un meilleur rendement au champ ?

REPORTAGES

16 Lévitiation fantastique

Des scientifiques utilisent les sons pour maintenir des objets en suspension.

20 Grosse et magnifique

La découverte d'une bactérie visible à l'œil nu ébranle les microbiologistes.

24 Innovations : faire du neuf avec du vieux

Des projets québécois donnent une seconde vie glorieuse à de vulgaires déchets.

42 Réinventer l'avion en plein vol

Pourrez-vous bientôt prendre l'avion sans culpabilité ?

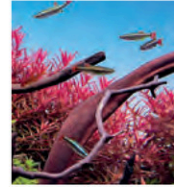
48 L'Arctique, nouveau terrain de jeu du castor

Pour le meilleur ou pour le pire ?



P. 20

P. 36



P. 6

6 Cabinet des curiosités

Des aquariophiles créent des habitats dignes des écosystèmes naturels.

8 Les momies du Yukon

Connu pour son or, le sous-sol du Yukon recèle d'autres trésors.

10 Facile, tailler un galet ?

Une expérience remet en question la date d'apparition de la culture chez l'humain.

11 Soulager la douleur avec du bruit

L'écoute d'un faible son 20 minutes par jour diminue la douleur chez les souris.

12 Faut-il cesser de construire des maisons neuves ?

Construire à neuf est énergivore et gruge de précieux espaces naturels.

SUR LE VIF

4 Édito par Mélissa Guillemette

La nouveauté novatrice



5 Babillard | 9 Carnet de santé

Par la D^{re} Alexandra S. Arbour |

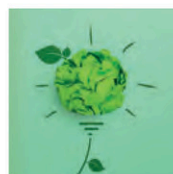
11 Technopop Par Gabrielle Ancil |

50 Culture Par Émilie Folie-Boivin |

53 Anthropocène Par Jean-Patrick

Toussaint | 54 Rétrovisueur Par

Saturnome



P. 24



MÉLISSA GUILLEMETTE @mguillemett

Éditorial

La nouveauté novatrice

La recherche doit-elle toujours être du dernier cri ?

Un chercheur très réputé m'a beaucoup émue il y a quelques années. Malgré sa vie de jet-setteur et ses deux postes dans de prestigieux établissements de recherche, il était inquiet. Dans son domaine, la tendance était à la technologie CRISPR-Cas9, pas du tout compatible avec ses axes de recherche et ses techniques « à l'ancienne ». « J'ai peur de devenir un dinosaure », a-t-il lâché.

C'est que le monde de la recherche carbure à la nouveauté. Et c'est vrai qu'il y en a eu beaucoup entre la publication de la structure de l'ADN sous forme de double hélice en 1953 et les dernières prouesses de CRISPR-Cas9 sur des chromosomes entiers.

Une étude publiée récemment dans *JAMA Network Open* est éloquent à ce sujet. Elle a montré que la fréquence de 130 adjectifs hyperboliques a augmenté de 1 300 % entre 1985 et 2020 dans les dossiers retenus par les National Institutes of Health (NIH), l'agence américaine qui finance la recherche en santé aux États-Unis et qui soutient aussi des scientifiques du Canada. La majorité des adjectifs alimentent cette tyrannie de la nouveauté : on parle de mots tels que *incroyable*, *excitant*, *novateur*, *sans précédent*.

Tentez l'expérience : une simple requête dans le moteur de recherche PubMed fait ressortir 21 700 articles scientifiques contenant le mot *novel* (« novateur ») pour 2001. Dix ans plus tard, le mot est trois fois plus présent. Et en 2021, sept fois plus courant ! Certes, le volume d'études publiées a crû au cours de cette période, mais pas à ce point.

Toute la structure de recherche incite à ces orientations ou abus langagiers. Si les scientifiques les utilisent dans leurs dossiers pour les NIH, c'est parce que les organismes subventionnaires encouragent les projets « novateurs ». Ils cherchent des « matériaux nouveaux » et des « approches innovantes » portant sur des « questions de recherche nouvelles, progressives, novatrices ».

Les éditeurs de journaux et les pairs qui accomplissent le travail de révision des articles scientifiques ou des soumissions pour une conférence sont aussi biaisés en ce sens. Dans un texte d'opinion publié dans *eLife* en 2017, le généticien américain Barak Cohen s'insurgeait contre ce commentaire incompréhensible accompagnant le rejet d'un de ses manuscrits : « La principale nouveauté de ces travaux est la capacité de prédire la sensibilité aux médicaments. Les examinateurs ont estimé que cette capacité de prédiction serait toutefois très difficile à généraliser, ce qui réduit la portée de cette nouveauté. Cette préoccupation concernant la nouveauté [...] a été le facteur déterminant dans cette décision. »

M. Cohen ajoute : « Même si nous ne pouvons pas définir strictement ce qui est ou n'est pas nouveau, le message reste clair : la nouveauté est synonyme de bonne recherche. » Il se demande d'ailleurs à quel point cette obsession pour la nouveauté est nouvelle...

Dans son guide à l'intention des réviseurs, paru plus tôt en 2022, le chercheur Michael J. Black, de l'Institut Max-Planck pour les systèmes intelligents, en Allemagne, tente quant à lui de clarifier le vocabulaire. « Je vois régulièrement des réviseurs confondre la complexité, la difficulté et la technicité avec la nouveauté. Dans la critique scientifique, la nouveauté semble impliquer ces concepts.

Il serait peut-être plus judicieux de supprimer le mot *nouveauté* des instructions de révision et de le remplacer par *beauté*. Ce terme élimine les notions de « technique » et de « complexité » et va plus au cœur de la nouveauté scientifique », écrit-il.

Chose certaine, cette fureur pour la nouveauté incite la communauté scientifique à déposer des projets suivant les modes. Pourtant, en science, la nouveauté n'est pas tout ! Les travaux qui visent à confirmer ou à infirmer ce qui a déjà été démontré sont importants aussi. Et ceux qui ajoutent un morceau à un casse-tête au lieu de jeter la boîte sont immensément précieux. C'est le cœur de la recherche ! Les études « révolutionnaires » sont en réalité très rares. La technologie CRISPR-Cas9 elle-même est issue de 1 000 morceaux de casse-tête qui, réunis, ont mené à un prix Nobel !

Sans oublier que plusieurs technologies qui datent demeurent intéressantes pour faire avancer les savoirs. Ressortons le bon vieux microscope optique de temps en temps !

Enfin, la course à la nouveauté encourage la publication rapide pour diffuser quelque chose de « nouveau » avant l'autre, avec tous les risques que cela comporte.

Pour revenir au mot *novel*, l'auteur de l'étude sur les 130 adjectifs affirme que l'éditeur d'une revue médicale lui a confié que le lire était devenu équivalent pour lui à entendre des ongles gratter un tableau noir. Il y a peut-être de l'espoir pour une « nouvelle » ère !

Il y a plus de 200 ans, dans la pièce de théâtre *Les comédiens*, l'académicien français Casimir Delavigne écrivait, tel un conseil aux communautés littéraire et artistique : « Aimons les nouveautés en novateurs prudents. » Inspirant, non ? La preuve que le « vieux » aussi peut être moderne. ●

OCTOBRE-NOVEMBRE 2022
VOLUME 61, NUMÉRO 3

Rédactrice en chef

Mélissa Guillemette

Rédactrice en chef adjointe

Marine Corniou

Journalistes

Annie Labrecque, Raphaëlle Derome

Collaborateurs

Gabrielle Ancil, Maxime Bilodeau, Chloé Bourquin, Émilie Folie-Boivin, Joël Leblanc, Renaud Manuguerra-Gagné, Érienne Plamondon Emond, Alexandra S. Arbour, Saturnome, Jean-Pierre Sylvestre, Jean-Patrick Toussaint

Correctrices-réviseuses Sophie Cazanave, Fleur Neesham

Direction artistique Louise Mallette, Natacha Vincent

Photographes/illustrateurs/graphistes

Françoise Abbate, Nicole Aline Legault, Donald Robitaille, Vigg

Éditeur Jean-François Rheault

Vice-présidente marketing, communications et partenariats

Marie-Hélène Juneau

Comptabilité Mimi Bensaid

Chargée de projets, communications marketing Maryvonne Charpentier

Conseillère, relations de presse et marketing Stéphanie Couillard

SERVICE AUX ABONNÉS :

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

serviceclient@velo.qc.ca

PUBLICITÉ :

Claudine Mailloux

514 909-4601 cmailloux@velo.qc.ca

Impression Solisco

Distribution Messageries Dynamiques

Parution : 6 octobre 2022 (581^e numéro)

Abonnement Canada, 1 an : 41 \$ + taxes

États-Unis, 1 an : 84 \$

Outre-mer, 1 an : 126 \$

Québec Science est publié par Vélo Québec Éditions.

Dépôt légal : Bibliothèque nationale du Québec,
Bibliothèque nationale du Canada :

ISSN-0021-6127

Envoi Poste-Publications Convention

n° 40065387.

© Copyright 2022 – Québec Science.

Tous droits de reproduction,
de traduction et d'adaptation réservés.

Indexé dans **repère**

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



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



NOTRE COUVERTURE



L'équipe vous a concocté un reportage sur les nouvelles avenues technologiques dans le domaine de l'agriculture. En effet, le marché de l'intelligence artificielle au champ est en pleine effervescence partout dans le monde. Un laboratoire planétaire qui cherche des solutions pour accroître le rendement tout en étant écologiques.

Pour illustrer ce sujet, je souhaitais un concept épuré. Il fallait juxtaposer deux idées aussi dichotomiques que des champs et la science des données! J'ai donc pensé à une jeune pousse de haricot en gros plan sur un fond inspiré des couleurs de l'automne. Le symbole du Wi-Fi représente quant à lui le côté techno du sujet. La pousse délicate se trouve auréolée!

Il s'agit de ma 31^e couverture du magazine Québec Science... et c'est également ma dernière. Ce fut un plaisir de mettre en images la science et de côtoyer la belle équipe de la revue.

Bonne lecture à vous!

– Natacha Vincent, directrice artistique

Merci pour tout, Natacha! Nous avons passé quatre magnifiques années à te côtoyer et à admirer ton grand talent!
L'équipe de Québec Science



UN PREMIER CONGRÈS FRANCOPHONE

Notre rédactrice en chef adjointe, Marine Corniou, s'envolera ce mois-ci pour Dakar, au Sénégal, où se tiendra le premier congrès de journalisme scientifique francophone. Elle travaille d'arrache-pied depuis des mois pour organiser cette rencontre, proposée par le Réseau des journalistes scientifiques d'Afrique francophone et mise sur pied avec les associations française, suisse et québécoise de journalisme scientifique. Notre collaborateur Joël Leblanc, président de l'Association des communicateurs scientifiques, sera aussi du contingent québécois. Bon congrès à eux!

COURRIER DES LECTEURS

Acte de foi

Croire en la matière noire et en l'énergie noire est un acte de foi. À l'instar de l'éther, il faudrait oser douter de son existence. Une telle mise en question repose sur trois hypothèses qui la rendraient caduque.

1) Que le décalage vers le rouge ne serait pas uniquement d'origine récessionnelle. Le cas d'un pont d'échange de matière entre Markarian 205 et NGC 4319, qui ont des décalages vers le rouge très différents, illustre bien ce point de vue [...].

2) Que les constantes, y compris celle de la gravité, aient varié au cours du temps.

3) Que les lois de la physique varient en fonction de leur dimension. Depuis Niels Bohr, même Einstein a dû accepter que les lois qui régissent le très petit (le monde quantique) ne sont pas les mêmes qu'à notre échelle. Pourquoi s'obstine-t-on à refuser qu'à grande échelle, celle des galaxies, il n'y ait pas un ensemble de lois différentes?

– Denis Carrier

Des fleurs

Je trouve que la couverture de l'édition du magazine Québec Science de septembre 2022 est particulièrement réussie. Elle illustre très bien le sujet de l'article principal, mais, surtout, je la trouve belle et raffinée, avec le noir en pleine page et sa discrète trame de gris, essentielle au sujet de l'article. Du beau travail!

– Robert Corbeil

Au sujet du dernier Carnet de santé

Les niveaux de soins sont discutés rapidement avec les gens hospitalisés, sans trop s'arrêter aux détails des risques et conséquences en raison du manque de temps du personnel. Pas surprenant que la décision initiale de l'utilisateur soit une décision émotive et instinctive : vouloir vivre. Il faut prendre le temps de bien faire cette étape essentielle de tout séjour à l'hôpital.

– Daniel Desjardins

Abonnez-vous

www.quebecscience.qc.ca/abonnez-vous
514 521-8356, poste 504
1 800 567-8356, poste 504

Un changement d'adresse
serviceclient@velo.qc.ca

Écrivez-nous

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

Suivez-nous

www.quebecscience.qc.ca



GRANDEUR NATURE MINIATURE

Une vague d'aquariophiles créent dans leur bac en verre des habitats dignes des écosystèmes naturels. Même les poissons en sont bouche bée!

Par Émilie Folie-Boivin

Gravier rose fluo, touffe d'algues en plastique, coffre au trésor duquel s'échappent des bulles à intervalles réguliers, figurines de Bob l'éponge : voilà les composants de base d'un aquarium qui en jette, non ? Ce n'est pas l'avis des aquariophiles, qui recréent des écosystèmes d'eau douce à l'aspect naturel où les plantes sont autant, sinon plus importantes que les créatures aquatiques vivant dans ces quelques litres d'eau.

Aquarium nature, aquarium planté, aquascaping sont tous des termes décrivant ce passe-temps qui gagne du terrain ici, un mouvement popularisé dans les années 1990 qui dérive de la culture des jardins japonais. Évidemment, garnir son aquarium de vrais végétaux n'a rien de nouveau, mais on les a longtemps placés dans le décor en sachant qu'ils ne dureraient pas. « Les plantes étaient éphémères et c'était normal de les perdre après deux ou trois mois », dit Philippe Boucher, cofondateur de Nature Aquarium Québec, une communauté d'aquascapeurs professionnels ayant pignon sur rue dans une animalerie de Trois-Rivières.

Le vent a tourné lorsque le photographe paysagiste nippon Takashi Amano, le génie derrière l'aquarium nature, a constaté que ses végétaux avaient bien meilleure mine et croissaient mieux après l'ajout d'eau pétillante dans ses bacs. « Les plantes

allaient chercher leurs nutriments plus facilement grâce à cet apport de CO₂, reprend Philippe Boucher, qui nage dans le milieu depuis une vingtaine d'années et remarque un intérêt croissant pour l'activité depuis le début de la pandémie. Takashi Amano a été précurseur dans la compréhension autant de la biologie que de la chimie derrière l'aquarium en saisissant l'importance du gaz carbonique, d'un substrat riche en nutriments et de la luminosité.

L'intérêt pour les aquariums naturels est indubitablement esthétique, comme on peut le voir sur les réseaux sociaux et à travers les photos des habitats sophistiqués qu'élaborent les participants de divers concours, dont l'International Aquatic Plants Layout Contest, mis sur pied par Takashi Amano, ou l'International Aquascaping Contest. Mais le plaisir réside aussi dans la chance qu'offre ce petit laboratoire aquatique d'observer en temps réel les processus influant sur l'eau et le cycle de la matière. Certaines plantes étant particulièrement capricieuses, l'équilibre ne tient parfois qu'à un fil.

Car contrairement au milieu naturel, les déchets azotés rejetés par les poissons et les feuilles mortes restent prisonniers des quatre murs vitrés, ce qui peut occasionner l'eutrophisation de ces habitats auxquels tant d'heures ont été consacrées. Et puisque les végétaux produisent de l'oxygène le jour, lors de la photosynthèse, mais en consomment la nuit, un aquarium trop généreusement planté peut rendre le milieu anoxique – l'étouffer, en quelque sorte.

« Les aquariums naturels demandent évidemment un certain entretien, davantage que ceux dont le décor est constitué de fausses plantes », concède Marc-Antoine Couillard, biologiste et aquariophile de la région de Québec ayant travaillé plusieurs années en animalerie.

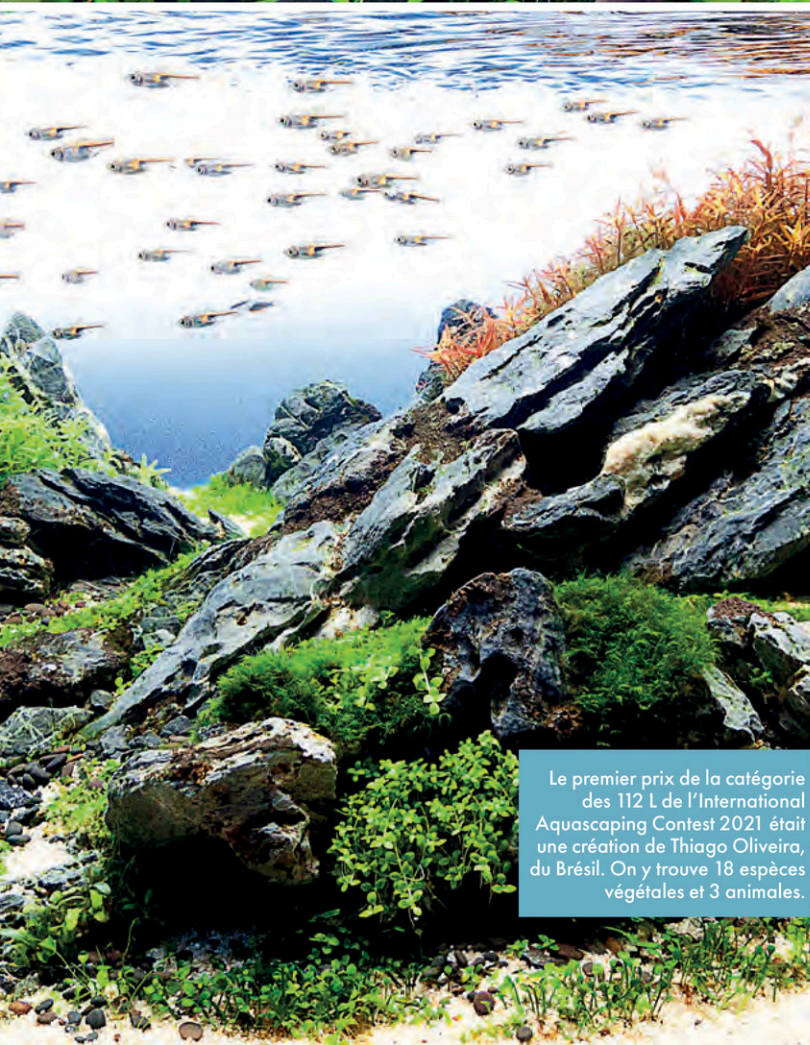
Ce propriétaire d'un aquarium naturel de 50 gallons tient toutefois à rassurer les néophytes qui n'ont pas deux heures à consacrer chaque jour à la taille des herbacées de leur couvre-sol ni le budget pour injecter des bouffées de CO₂ à leurs monocotylédones. « Avec un bon filtreur, une lumière adéquate et le fumier du poisson qui crée de l'engrais, ça pousse tout seul. Même avec un aquarium *low-tech* il y a moyen de prendre plaisir à voir comment les plantes vont se comporter et influencer l'écosystème », assure-t-il.

« Faire de l'aquascaping nous apprend à respecter la puissance de la nature. Si vous avez un complexe de Dieu et que vous essayez de tout contrôler pour que ce soit beau, la nature va toujours prendre le dessus, philosophe Philippe Boucher. Ça nous donne une leçon d'humilité. »

Et si regarder les poissons aller et venir dans un aquarium a un effet relaxant, comme l'a démontré la littérature scientifique, les deux amateurs s'accordent à dire que les effets bénéfiques sont également clairs pour les poissons en résidence. Ils sont plus calmes et ont un comportement se rapprochant de leur vraie nature. Ces microcosmes stimulent aussi la reproduction. Si ces pensionnaires ont envie de faire des bébés, c'est signe que tout baigne, quoi! ●



Des néons du pauvre nagent au-dessus d'un aménagement de six variétés de plantes.



Le premier prix de la catégorie des 112 L de l'International Aquascaping Contest 2021 était une création de Thiago Oliveira, du Brésil. On y trouve 18 espèces végétales et 3 animales.



Philippe Boucher regarde des rasboras arlequin qui se fauflent entre les plants d'*Eleocharis acicularis*, de *Micranthemum micranthemoides* et de *Glossostigma elatinoides*.

Les momies du Yukon

Connu pour son or, le sous-sol du Yukon recèle d'autres trésors, qui font le bonheur des paléontologues.

Par Jean-Pierre Sylvestre



Nun cho ga, le bébé mammoth trouvé au Yukon

Le

21 juin dernier, le jeune mineur d'or Travis Delawski creuse dans le pergélisol boueux à l'aide d'une chargeuse frontale à Eureka Creek, au sud de Dawson City, au Yukon, et heurte quelque chose d'étrange. Une chose munie d'une trompe ! Il arrête de fouiller le sol et appelle son supérieur. À son arrivée, ce dernier découvre les restes « momifiés » d'un bébé mammoth laineux, le premier jamais mis au jour au Canada.

« Ce mineur a fait l'une des découvertes les plus importantes au pays », affirme Grant Zazula, paléontologue au gouvernement du Yukon. Il s'agit du plus jeune des trois bébés de cette espèce retrouvés entiers dans le pergélisol de la planète. Préservés par le froid, ces animaux conservent leurs poils, leur peau, leurs muscles, voire certains de leurs organes internes.

« Ce bébé mesure environ 1,40 m de long et les paléontologues pensent qu'il était âgé de 30 à 35 jours au moment de sa mort. Il a vécu il y a de 35 000 à 40 000 ans », indique le spécialiste. Il a été baptisé Nun cho ga par la communauté de Tr'ondëk Hwëch'in, mots qui signifient « gros bébé animal » dans la langue hän.

« Les géologues qui ont récupéré Nun cho ga ont vu un morceau de l'intestin de ce bébé mammoth avec des fragments d'herbe à l'intérieur, explique Grant Zazula. Cela donne une idée des derniers moments de sa

vie. Le jeune mammoth était sûrement à quelques mètres de sa mère, puis il se serait aventuré un peu plus loin pour manger de l'herbe et pour boire et il se serait enlisé dans la boue, où il aurait trouvé la mort. »

Si la mise au jour de Nun cho ga a été un beau cadeau, les scientifiques s'attendent à d'autres découvertes. « Pour l'instant, nous n'avons pas trouvé de carcasse entière d'un mammoth laineux adulte dans le pergélisol yukonnais, mais nous ne désespérons pas », assure le paléontologue John Storer, directeur du patrimoine au ministère du Tourisme et de la Culture du Yukon.

VERS LE FUTUR

En raison de l'essor des activités minières, d'autres dépouilles pourraient-elles émerger ? Si les découvertes de momies congelées de mammifères du pléistocène (de -2,6 millions d'années à -11 700 ans) sont fréquentes en Sibérie, elles sont rares en Alaska et au Yukon. L'absence de forêt sur le territoire sibérien où des mammoth ont été trouvés facilite les choses.

Le personnel minier et des géologues ont tout de même déterré plusieurs animaux partiellement ou entièrement momifiés au Yukon. Dans les années 1990, des mineurs autochtones ont par exemple exhumé, près de Last Chance Creek, des pattes de chevaux vieilles de plus de 10 000 ans. « Des recherches génétiques sur l'ADN conservé dans les tissus mous ont permis aux scientifiques de conclure que ces chevaux préhistoriques étaient très proches de l'espèce actuelle », précise John Storer.

Le Musée canadien de la nature, à Ottawa, conserve dans ses collections un putois mâle entier découvert à Sixtymile en 1984 par un mineur alors que son chien commençait à gruger la queue de l'animal. Ce putois momifié est vieux de 40 000 ans.

En 2016, c'est un louveteau femelle qui a été identifié dans des gisements aurifères près de Dawson City. Daté d'environ 57 000 ans,



il est lui aussi entier. C'est « la momie de loup préhistorique la plus complète connue, mentionne la professeure Julie Meachen, paléontologue à l'Université de Des Moines, dans l'Iowa. Tout ce qui manque, ce sont ses yeux. Nous pensons que la bête est morte instantanément à la suite de l'effondrement de la tanière où elle se trouvait ». Les analyses génétiques publiées par son équipe en 2020 ont montré qu'elle était proche des anciens loups russes et béringiens, mais pas des individus nord-américains actuels.

En 2016, des mineurs ont également déterré la moitié antérieure d'un caribou complètement momifiée datant de la même période.

Hormis ces rares et émouvants spécimens, ce sont surtout les fossiles qui caractérisent le territoire du Yukon, notamment les squelettes et défenses de mammoths. Ils ont été repérés il y a un peu plus d'un siècle, au cours de la ruée vers l'or. « Les fossiles de 62 espèces de mammifères datant de la dernière glaciation ont été découverts au Yukon, signale John Storer. Quelque 75 % de ces espèces sont d'origine eurasiennne et les autres proviennent du sud de l'Amérique du Nord. Parmi ces mammifères, quelques-uns ont subsisté tels le loup, le caribou, l'orignal, le bison et le bœuf musqué. Mais la plupart ont disparu. »

Parmi cette faune d'un autre âge, on trouve le castor géant, qui atteignait la taille de notre ours noir, le lion d'Amérique, le chameau et le cheval du Yukon, le pécar à tête plate, le paresseux géant de Jefferson et le mastodonte américain. Voilà d'autres animaux qu'il serait fascinant de retrouver momifiés! ●

Sans médecin de famille, point de salut ?

Je rencontre M^{me} Sirois, 85 ans, en consultation externe, à la demande de son médecin de famille, qui suspecte des troubles cognitifs. Après avoir établi mon diagnostic, j'instaure un traitement et organise des services à domicile. Je me permets aussi de fournir quelques recommandations à son médecin de famille pour l'aider à prendre en charge cette patiente fragile.

Puisque je suis médecin spécialiste, je ne verrai M^{me} Sirois qu'à quelques reprises, pour m'assurer que le diagnostic est exact, que le traitement est bien toléré, que les services sont organisés. Ensuite, elle retournera aux bons soins de son médecin de famille, qui verra à traiter tous ses problèmes de santé. Car elle souffre aussi d'hypertension, de diabète, d'hypothyroïdie et d'un trouble anxieux de longue date.

Malheureusement, M^{me} Sirois me dira à son rendez-vous de suivi que son médecin de famille a fermé boutique. Pour ne pas qu'elle se sente abandonnée par le système de santé, je lui proposerai de la revoir un an plus tard, pour la « dépanner », en attendant que son CLSC fasse des miracles.

Des patients comme M^{me} Sirois, j'en vois des dizaines par semaine. Normal, plus d'un million de Québécois attendent toujours d'avoir un médecin de famille bien à eux. Ce qui est anormal, c'est que je doive « suivre » des patients qui n'ont pas besoin de mon expertise. Pendant que je represcrist l'antihypertenseur de M^{me} Sirois, combien d'autres personnes sont en attente d'une évaluation pour des troubles cognitifs, des chutes ?

Plusieurs solutions ont été envisagées pour remédier au problème d'accès à la première ligne. Réforme après réforme, campagne électorale après campagne électorale, on nous fait croire que, cette fois-ci, on l'a enfin trouvée, la recette pour offrir à tous l'accès à un ou une médecin de famille ! Mais on revient toujours à la case départ. Et toutes ces tergiversations n'ont pas aidé à rendre ce choix de carrière attrayant.

Les esprits les plus pragmatiques croient qu'il s'agit d'un problème d'« offre ». Ils proposent donc d'ouvrir les vannes des facultés de médecine ou encore d'accepter sans réserve ceux et celles qui ont acquis leur formation médicale dans un autre pays.

À mon avis, c'est faire fausse route. Il n'est pas dit que le nombre d'étudiants qui choisiront la médecine familiale sera proportionnel au nombre d'admissions dans les universités. Je pense également qu'une personne qui a étudié à l'étranger a besoin d'encadrement et d'une mise à jour de ses connaissances, du moins dans les premières années de sa pratique ici, pour s'adapter aux particularités de notre système de santé (et je ne parle pas d'apprendre comment fonctionne un télécopieur...). De toute façon, avec 22 500 médecins actifs au Québec, dont 10 500 médecins de famille, la province dépasse l'Ontario et le Canada pour ce qui est du nombre de médecins par habitant.

Est-ce que ce ne serait pas plutôt un problème de « demande » ? M^{me} Sirois a en effet besoin d'un médecin de famille parce qu'elle est âgée et malade. Mais ce n'est pas le cas de tout le monde. Une première ligne forte n'a pas à être composée uniquement de médecins. Un infirmier praticien ou une infirmière praticienne peut dépister des infections transmissibles sexuellement ou par le sang; la physiothérapie est tout indiquée pour un mal à l'épaule survenu à la suite d'un déménagement; la consultation en psychologie sera plus adaptée pour traiter un épuisement professionnel.

Loin de moi l'idée de dévaloriser le travail de mes collègues omnipraticiens; au contraire, je leur lève mon stéthoscope ! Mais il faut voir au-delà de l'offre et de la demande et penser à diversifier la première ligne. Pour le salut de nos médecins de famille, il faut paradoxalement déconstruire cette idée que, en dehors de leur cabinet, point de salut. ●

Facile, tailler un galet ?



Une équipe de recherche en archéologie expérimentale a prouvé qu'il n'y a pas qu'en copiant ses pairs qu'on peut créer des outils en pierre, on peut aussi les inventer seul.

Par Maxime Bilodeau

L' apparition des premiers outils en pierre fabriqués à dessein par le genre *Homo*, il y a environ 2,6 millions d'années, est une étape charnière dans l'histoire. On considère que c'est le moment à partir duquel nos ancêtres commencent à devenir des humains à part entière, c'est-à-dire capables de transmission culturelle, car c'est ainsi qu'on suppose que ce savoir-faire s'est répandu.

Une étude parue l'été dernier dans la revue savante *Science Advances* vient cependant contredire cette version des faits jusque-là largement admise. Une équipe de recherche a recruté 28 hommes et femmes dénués de connaissances archéologiques. Puis, elle leur a demandé de briser une corde tenant fermée une boîte contenant une récompense en argent. Pour ce faire, elle leur a fourni le matériel nécessaire à la taille d'un galet. Les participants étaient isolés les uns des autres.

Sans qu'aucune information supplémentaire leur ait été donnée, la vaste majorité des participants a réussi à ouvrir la boîte en

confectionnant un outil tranchant. Mieux encore : 25 des 28 participants ont confirmé à posteriori leur totale méconnaissance des techniques de percussion à mains nues. Aux yeux des scientifiques, cela signifie qu'il est tout à fait possible d'inventer spontanément – et non de reproduire – le processus de fabrication d'outils préhistoriques très frustes.

« Nos résultats démontrent que les premiers outils en pierre ne sont pas une preuve irréfutable de l'émergence de la culture chez les hominidés. Nous pensons que cette dernière est formellement née beaucoup plus tard, probablement avec le langage », affirme Claudio Tennie, coauteur de l'étude et professeur au département de préhistoire et d'écologie quaternaire de l'Université de Tübingen, en Allemagne.

Cette conclusion vient contredire celle d'études plus anciennes selon laquelle seule la transmission culturelle permettait d'aboutir à un galet taillé. « Nous avons ouvert un débat sur une question que tous pensaient réglée. Il va falloir réinterpréter les résultats antérieurs à la lumière de nos données », indique Claudio Tennie.

Bien qu'époustouflante, cette expérimentation comporte néanmoins quelques

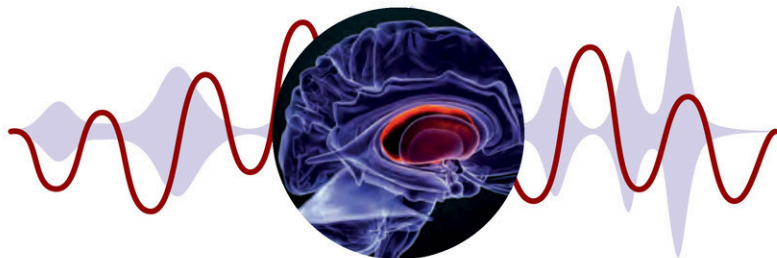
limites d'ordre méthodologique, soutient Marie-Hélène Moncel, préhistorienne au Muséum national d'histoire naturelle à Paris et directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique. « La démonstration est réalisée par des humains modernes, qui n'ont pas les mêmes structures cognitives que les hominidés de l'Oldowayen [de 2,6 millions d'années à 1,3 million d'années avant notre ère]. C'est un biais certain. »

Outre la petite taille du groupe, limitative d'un point de vue de la puissance statistique, elle s'interroge sur la thèse « provocante » de la réinvention que les auteurs semblent vouloir défendre à tout prix. « Qu'il n'y ait pas de transmission à l'époque de l'Oldowayen est improbable. Les hominidés de cette période forment des groupes sociaux où, nécessairement, les individus s'observent et s'imitent », estime la chercheuse. Ce qui lui fait dire que « les deux hypothèses, celle de la transmission et l'autre de la réinvention, sont valables et peuvent cohabiter l'une avec l'autre ».

À moins de posséder une machine à remonter le temps, bien malin qui pourra trancher définitivement cette question. ●

Soulager la douleur avec du bruit

Par Raphaëlle Derome



La musique est utilisée pour apaiser la douleur depuis plusieurs années. Mais un simple bruit pourrait-il suffire ? Peut-être : l'écoute d'un faible son 20 minutes par jour diminue la douleur chez les souris, selon un article paru en juillet dernier dans la revue *Science*.

Dès les années 1960, un groupe de dentistes avait rapporté que des sons pouvaient soulager les patients. «Après, c'est tombé dans l'oubli, car on pensait que c'était dû à la distraction et que la musique était plus efficace», raconte Mathieu Roy, professeur au Département de psychologie de l'Université McGill.

Mais selon Wenjie Zhou, de l'Université des sciences et technologies de Chine, et ses 13 coauteurs, un simple bruit blanc – un *shhh* continu semblable au son d'une chute d'eau – est aussi opérant que la musique... du moins chez les souris ! Cet effet analgésique serait attribuable à la stimulation sonore comme telle et non aux émotions positives ou à la réduction du stress comme c'est le cas pour la musique. Il ne serait pas non plus dû à la distraction, puisqu'il persiste deux jours après l'exposition au son.

Comment le bruit agit-il ? Sons et douleur sont perçus dans le néocortex, la couche externe du cerveau. Mais les signaux sensoriels en provenance des neurones doivent d'abord transiter par le thalamus. Logé au cœur du cerveau, ce petit centre nerveux «agit comme une gare de triage qui achemine le bon stimulus sensoriel au bon endroit»,

explique Mathieu Roy, qui n'a pas participé à l'étude. L'activation du cortex auditif inhibe la transmission des signaux de douleur par le thalamus, a démontré l'équipe chinoise ; la douleur est donc ressentie moins intensément.

Pour que cela fonctionne, il faut un son légèrement plus fort que le bruit ambiant (cinq décibels de plus). Un son trop fort ne produit aucun effet.

Dans un article qui accompagne l'étude, des chercheurs allemands émettent l'hypothèse qu'un mécanisme de survie est en jeu. Imaginons une souris blessée à la patte qui entend un bruit à proximité : pour fuir, elle gagnera à ne pas avoir trop mal !

Anne-Marie Pinard, spécialiste du traitement de la douleur chronique et chercheuse au CHU de Québec-Université Laval, est intriguée. «C'est tout à fait différent de ce que j'ai vu avant. Mais un mécanisme comme celui-là pourrait-il se gripper avec le temps ? » C'est à voir. Il y a aussi le risque que l'écoute régulière d'un son finisse par devenir stressante...

Si l'étude n'aura «pas de retombées demain matin pour les patients», selon la chercheuse, elle ouvre de nouvelles pistes de recherche. Puisque le son n'agit pas de la même manière que la musique ou que les opioïdes, les approches pourraient être combinées. Une avenue intéressante alors que même les médicaments jugés «efficaces» n'arrivent à diminuer la douleur chronique que de 30 %. ●

GABRIELLE ANCTIL  @_ganctil

Technopop



À quand l'Internet municipal ?

Une erreur lors d'une mise à jour. Voilà ce qui a causé la panne du réseau Rogers en juillet dernier, privant des millions de personnes à travers le pays d'accès à Internet. Cet incident a une fois de plus révélé le danger de se fier à une poignée de fournisseurs pour offrir un service aussi essentiel.

Et si la solution était de voir petit ? Depuis 1994, la Ville de Stockholm gère un réseau de fibre optique auquel plus de 90 % des ménages et 99 % des entreprises peuvent accéder.

On nomme cette manière de faire *Internet municipal* et ses avantages ne sont plus à démontrer : service généralement performant, accessible dans des zones auparavant mal équipées, permettant notamment aux villes, et aux entreprises qui y sont établies, de se doter d'une infrastructure numérique.

Chez nos voisins du Sud, la ville de Chattanooga, au Tennessee, opère depuis 2010 un réseau à haut débit. Quand l'école est passée en mode virtuel à cause de la pandémie de COVID-19, l'administration a pu offrir un accès Internet illimité gratuit à 17 000 familles à faible revenu.

Ces villes sont loin d'être les seules : aux États-Unis seulement, plus de 600 communautés sont desservies par l'Internet municipal.

«Étant donné que les municipalités mettent sur pied et exploitent déjà de grands projets d'infrastructure, y compris [...] les réseaux électriques, les systèmes de transport en commun et les routes, elles sont bien placées [...] pour construire et exploiter leurs propres réseaux de télécommunication», lit-on dans une étude de cas s'intéressant à l'expérience de Calgary, qui a implanté l'Internet municipal il y a une vingtaine d'années. L'auteur de l'étude note que ce réseau a permis à la Ville d'épargner près de 20 millions de dollars.

Une étude de l'Université Harvard parue en 2018 rapportait que les tarifs offerts par les municipalités étaient plus bas sur une période de quatre ans que ceux des compagnies privées. Sachant qu'au Canada les 20 % des ménages les moins fortunés dépensent près de 10 % de leurs revenus en services de communication, ces économies pourraient soulager les familles.

«L'accès à Internet est trop important pour le laisser entre les mains du marché et d'acteurs privés», résume en entrevue avec Bloomberg le responsable de la mise en place du réseau à haut débit de la ville de Baltimore, Jason Hardebeck. Qu'attendons-nous pour mettre l'Internet municipal à l'ordre du jour ? ●

Faut-il cesser de construire des maisons neuves ?



La coopérative Le Coteau vert, dans le quartier Rosemont, à Montréal, comprend un système de géothermie, une enveloppe haute performance, des toits verts, des panneaux solaires et des espaces verts partagés.

Construire à neuf est très énergivore et gruge souvent de précieux espaces naturels. Comment loger tout le monde sans détruire la planète ?

Par Raphaëlle Derome

P

partout au Canada, les logements abordables se font rares. La Société canadienne d'hypothèques et de logement estime que, pour ramener le marché immobilier à des prix plus raisonnables, il faudra ajouter 5,8 millions de logements au pays d'ici 2030. Alors que les gouvernements promettent d'accélérer la construction de nouvelles maisons, le concept No New Buildings prône plutôt la rénovation ou la conversion de bâtiments existants : usines désaffectées, églises vides, centres commerciaux moribonds...

Une approche écologique qui gagnerait à être utilisée plus souvent, considère l'architecte montréalais Daniel Pearl. Cofondateur de la firme L'CEUF Architectes et professeur à l'Université de Montréal, cet expert en architecture verte fait dans l'activisme social depuis 30 ans. Sa spécialité ? Essayer de nouveaux modèles ambitieux, les évaluer, puis partager les leçons apprises pour changer les façons de faire.



Québec Science : Au lieu de toujours bâtir à neuf, le mouvement No New Buildings propose de transformer des bâtiments existants. Est-ce une bonne idée ?

Daniel Pearl : Absolument ! Mais il faut tenir compte du contexte. Transformer un hôtel en immeuble résidentiel est généralement assez simple : les besoins en électricité, en eau et en gestion des déchets sont déjà assurés. Mais souvent, les hôtels sont situés dans des zones qui encouragent l'usage d'une voiture. Donc, si l'on améliore l'accès au logement, on garde un style de vie problématique d'un point de vue écologique.

Par comparaison, un bâtiment industriel sur le canal de Lachine, à Montréal, sera plus compliqué à convertir : il faudra changer le zonage, transformer la structure... Mais cela en vaut la peine, car on est déjà à côté d'une piste cyclable, du transport en commun, des lieux de travail, d'un marché public... Ce sont toutes des dimensions nécessaires à un style de vie durable.

QS Qu'entendez-vous par « style de vie durable » ?

DP Je m'inspire beaucoup de la vision de l'architecte Salvador Rueda, fondateur de l'Agence d'écologie urbaine de Barcelone, pour qui l'avenir de l'abordabilité se trouve autant dans le quartier que dans le logement comme tel. On ne peut pas se contenter de créer des logements à bon prix. Il faut les implanter dans des quartiers dits « complexes », où, en 5 à 15 minutes de marche, on a accès à la nourriture, aux sports, à la culture, à l'éducation... Ainsi, le recours à la voiture devient exceptionnel, elle n'est pas requise pour les activités quotidiennes, et les résidents peuvent ainsi grandement améliorer leur empreinte écologique. Car au Québec, avec l'hydroélectricité, c'est vraiment le transport qui relâche beaucoup de carbone. La moitié de mes étudiants viennent de la banlieue. Ils constatent aujourd'hui à quel point le style de vie de leurs parents n'est pas durable.

QS Peut-on densifier les quartiers actuels sans braquer la population ?

DP Il faut trouver un équilibre : dense, mais pas trop, pour respecter la capacité d'accueil du milieu. Il y a un *sweet spot* [seuil optimal] unique à chaque contexte, chaque culture ; en Asie, en Australie, en Afrique, à Montréal, ce n'est pas pareil.

Même dans la région montréalaise, il y a plusieurs types de milieux : le centre-ville avec les tours d'habitation ; les abords du marché Atwater avec des immeubles de trois à six étages ; la banlieue avec ses maisons unifamiliales, où se trouveront les arrêts du REM [le Réseau express métropolitain, un train léger en construction dans le grand Montréal]. Autour de ces arrêts, les promoteurs veulent créer une microdensité, sans comprendre ce que cela veut dire et sans chercher une harmonie avec ce qui existe.

QS Comment résoudre ce dernier enjeu ? Il faut bien densifier les villes !

DP La première étape qu'on enseigne à nos étudiants, c'est de poser un bon diagnostic pour voir, à différentes échelles, où est le potentiel, où sont les dimensions dormantes qu'on veut animer. Il faut des quartiers assez denses pour justifier l'implantation du transport en commun, mais assez aérés, avec de la verdure pour préserver la qualité de l'air et régler les problèmes d'îlots de chaleur.

QS En pratique, l'architecte n'a pas toujours les leviers pour agir sur un quartier complet. On lui demande de rénover une seule maison...

DP Quand on a lancé L'CEUF Architectes il y a 30 ans, nous avons usé de la stratégie « Robin des bois » : rénover les maisons des riches pour financer des projets d'activisme social. Aujourd'hui, nous pouvons nous consacrer seulement à nos projets pilotes.

Je ne suis pas contre les besoins des riches, mais pour parvenir à réaliser tous les changements nécessaires dans les prochaines décennies, il faut viser la majorité, pas l'exception.

QS Comment former les jeunes architectes à relever ces défis ?

DP Grâce à l'enseignement transdisciplinaire. Parmi mes collègues, il y a un architecte de paysage, un ingénieur en structure et un spécialiste des enjeux socioculturels, économiques et communautaires. Ensuite, on demande aux étudiants de travailler en

équipe et sur quatre échelles : le bâtiment, l'îlot, le quartier et même la région pour les questions de biodiversité. Le but est de faire du coapprentissage pour changer un style de vie au lieu d'intervenir seulement sur les bâtiments.

QS On entend souvent ces mots : coapprentissage, codesign, cocréation... Que veulent-ils dire ?

DP Ils renvoient au fait que l'architecte n'est pas le héros ou le leader, mais plutôt le facilitateur d'un processus qui devrait inclure tout le monde : ingénieurs, urbanistes, paysagistes, mais aussi clients et utilisateurs d'un projet. Ce processus de conception intégré, c'est la clé. Quand l'architecte gère tout, les autres ne prennent pas leurs responsabilités lorsqu'arrive un moment difficile – et il arrive toujours, c'est normal. Si tout le monde est engagé dans le projet, ce ne sera pas juste à l'architecte de sauver la vision mise de l'avant !

QS Pour lutter contre la spéculation immobilière, vous proposez de créer des fiducies foncières communautaires. De quoi s'agit-il ?

DP Dans ce type de fiducie, les résidents sont propriétaires de leur logement, mais pas du terrain. À la revente, ils ne peuvent pas s'enrichir davantage que le taux d'inflation, plus l'argent ou les efforts investis dans l'amélioration du logement. Ce n'est pas une idée farfelue ; il en existe quelques-unes au Canada et aux États-Unis. Nous avons tenté d'en créer une à Benny Farm [réaménagement d'un vaste complexe de logements pour vétérans de la Seconde Guerre mondiale, dans le quartier Notre-Dame-de-Grâce à Montréal] il y a 20 ans, mais c'était trop innovateur pour l'époque. Par contre, tous les espaces verts extérieurs entre les bâtiments sont une aire commune. Cela favorise le sentiment d'appartenance et la cohésion sociale.

QS Les codes du bâtiment et de la construction sont-ils assez exigeants ?

DP Le nouveau Code national de l'énergie pour les bâtiments, en vigueur depuis janvier 2022, fait preuve d'un certain courage, mais il n'est pas parfait. Il faudrait miser davantage sur la résilience de l'enveloppe – le fait de pouvoir conserver des températures intérieures vivables pendant 72 heures en cas de panne de courant. Actuellement, en été, un logement sans ventilation transversale

[portes et fenêtres aux deux bouts] devient trop chaud après seulement 12 heures. Pour des personnes âgées incapables de bouger pendant une crise comme celle du dôme de chaleur de 2021 à Vancouver, c'est important. En hiver, on viserait à garder le logement à 15 °C.

QS Comment y arriver ?

DP Grâce à des matériaux qui ont une certaine masse thermique, à une enveloppe performante et à des fenêtres qu'on peut ouvrir pendant la nuit en été. À L'CEUF Architectes, nous nous battons pour défendre cette vision à travers nos mandats. Je travaille sur un nouveau projet de logements abordables pour lequel on va tester les résultats avec Ressources naturelles Canada, Hydro-Québec et la Société d'habitation du Québec.

QS Environ 70 % des immeubles actuels seront encore debout en 2050. Comment réduire leur empreinte ?

DP J'aimerais tester les Deep Energy Retrofits. Cette approche consiste à ajouter une enveloppe externe incluant l'isolation, les fenêtres, l'étanchéité à l'air et à la vapeur et qui permet un gain de performance énergétique allant de 50 à 80 %. La plupart des rénovations aujourd'hui améliorent la performance de seulement 25 % : c'est insuffisant pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050.

QS Devant la crise du logement au Canada, les politiciens veulent accélérer la construction de logements neufs. Comment réconcilier cela avec la crise climatique ?

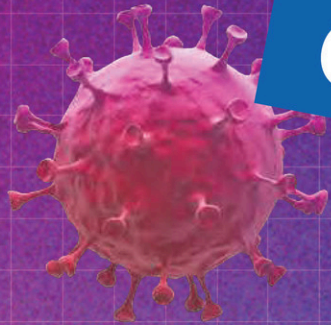
DP Les gouvernements pourraient racheter des terrains contaminés, utiliser des phytotechnologies pour les décontaminer lentement sur 10 ans, puis les réserver aux logements abordables. Ils doivent être des leaders, pas seulement répondre aux visions des promoteurs privés. Mais les trois paliers de gouvernement doivent travailler ensemble.

Si l'on se limite à viser la certification LEED [une certification en matière de construction durable] partout, on va manquer des occasions de faire mieux. Oui, on aura des projets verts, mais on n'apportera que des changements « incrémentaux » au lieu de chercher un nouveau modèle. ●

**IN
RS**

Institut national
de la recherche
scientifique

INRS.CA



découvrir

la science

tout-terrain

Tes études en recherche
commencent ici →



ÉTUDES → STAGE → MAÎTRISE → DOCTORAT

LÉVITATION FANTASTIQUE

Une curieuse technologie nommée lévitation acoustique permet des avancées en pharmacologie, en chimie et même en robotique.

Rien d'ésotérique, promis! **PAR JOËL LEBLANC**

Au 10^e siècle, au Moyen-Orient, voici comment l'historien arabe Al-Masudi expliquait que les Anciens aient réussi à construire les grandes pyramides d'Égypte, 3 500 ans plus tôt : « Des papyrus portant des inscriptions magiques étaient insérés sous les blocs de pierre, avant que ces derniers ne soient frappés avec un instrument métallique, vraisemblablement une tige ou un bâton. Cela les poussait à s'élever dans les airs et à voyager sur la distance d'un tir d'arc. »

Fabulation, bien sûr. Toutefois, depuis quelques décennies, dans les laboratoires de physique de la planète, la lévitation acoustique est loin d'être un mythe. Des assemblages complexes de haut-parleurs permettent de contrer la gravité et de garder en suspension dans l'air différents objets, de la bille de mousse de polystyrène de quelques millimètres de diamètre à la pièce électronique de plusieurs centimètres de longueur. Théoriquement, la technique *pourrait* même soulever des blocs rocheux. Al-Masudi aurait-il dit vrai au sujet des pyramides ?

Nicolas Quaegebeur, professeur de génie et membre du Groupe d'acoustique de l'Université de Sherbrooke, fait partie des scientifiques qui explorent les possibilités de la lévitation acoustique. « Nous pouvons entendre les sons, mais nous pouvons aussi les ressentir. Quiconque est déjà allé dans un concert est familier avec cette pression qu'on peut percevoir sur tout le corps devant de gros haut-parleurs. On l'oublie, mais les ondes sonores sont des perturbations mécaniques de l'air, qui se propagent à environ 340 mètres par seconde. Et ces ondes mécaniques peuvent interagir avec les obstacles qu'elles rencontrent. À preuve : elles impriment leur mouvement de vibration à nos tympans et c'est ce qui nous permet de percevoir ce qu'on appelle un son. »

LE SON, UN MOUVEMENT

Pour bien comprendre comment ces ondes peuvent faire léviter des objets, on ne peut s'éviter une petite leçon d'acoustique. Un peu comme les ronds concentriques qui se forment dans l'eau lorsqu'on y lance un caillou, le son se propage par vagues dans l'air à partir de sa source. Mais, à la différence des ronds dans l'eau, qui grandissent sur une surface plane en deux dimensions, les sons se propagent en trois dimensions, dans toutes les directions, sous

forme de sphères qui grandissent, plutôt que de cercles.

Plus précisément, cette propagation est une alternance de sphères de haute pression et de sphères de plus basse pression. « Les ondes sonores sont des fronts sphériques de haute pression et de basse pression qui grandissent et se propagent dans l'air à la même vitesse », complète Nicolas Quaegebeur. Plus les sphères sont rapprochées, plus la fréquence est élevée et plus le son paraît aigu. Plus elles sont éloignées, plus la fréquence est basse et plus le son semble grave. La distance entre deux zones de haute pression se nomme la longueur d'onde. « Bien sûr, pour des sons du quotidien, ces différences de pression entre les fronts sont minimes, quelques micropascals, explique le chercheur. Mais cette différence peut être plus élevée lorsqu'on augmente l'intensité du son – lorsqu'on monte le volume ou qu'on crie, par exemple. »

Voilà pour la leçon. Ces notions deviennent particulièrement intéressantes lorsqu'on positionne deux haut-parleurs identiques face à face. S'ils émettent le même son en même temps, on obtient un patron très particulier : une onde stationnaire. « Les ondes produites par les deux émetteurs se croisent. Les zones de haute

Le Micro Ultrasonic Levitator est un lévitateur acoustique de type « DIY » conçu par Ulrich Schmerold, un collaborateur du magazine *Make*. Ce dernier a publié la marche à suivre pour réaliser l'appareil.

EN APESANTEUR

En créant la possibilité de maintenir des objets immobiles sans les toucher, la lévitation acoustique est très utile pour mener des manipulations dans des conditions sans gravité. L'une des premières utilisations de la lévitation ultrasonique a eu lieu dans la navette spatiale américaine *Challenger*, en 1985. L'astronaute Taylor Wang s'en est servi pour observer la formation, le comportement et la fragmentation de gouttelettes en microgravité, des expériences simples, mais impossibles à mener sur Terre. La lévitation ultrasonique s'est avérée très pratique pour empêcher les liquides de se disperser dans la navette, faute de gravité.



pression des deux ondes se rencontrent toujours aux mêmes points, et s'additionnent pour créer des zones de pression encore plus grandes, poursuit l'ingénieur. Même chose pour les zones de basse pression qui se superposent aux mêmes endroits. Les zones de pression ne se propagent plus, elles restent fixes.»

Lorsque les deux émetteurs sont maintenant face à face, mais disposés l'un au-dessus de l'autre, les zones de haute pression stationnaires se retrouvent empilées verticalement. Placez un petit objet sur une de ces zones de haute pression et, s'il est assez léger, il s'y maintiendra en l'air, la pression légèrement supérieure pouvant s'opposer à la gravité. Ça y est, la lévitation est possible! On peut même faire léviter plusieurs objets, un sur chaque zone de haute pression, comme sur autant de tablettes d'une minuscule étagère invisible.

«En utilisant un seul jeu d'émetteurs, on crée des zones de lévitation très étroites, au point qu'il est parfois difficile d'y déposer les objets, précise Heinrich Jaeger, chercheur à l'Université de Chicago, qui travaille aussi sur la lévitation acoustique. Cependant, si on positionne plusieurs émetteurs sur une surface, on peut créer des zones plus grandes, des "plateaux" de lévitation de quelques centimètres carrés. Et là, les possibilités s'ouvrent : on peut y mettre plusieurs objets et voir comment ils interagissent, ou encore, faire varier l'intensité des émetteurs individuellement pour contrôler finement le déplacement des objets, horizontalement et même verticalement.» De quoi, un jour, mouvoir des médicaments dans le corps pour les livrer à des endroits précis ou assembler des composés fragiles sans les toucher.

En pratique, plus les objets qu'on veut faire léviter sont lourds, plus il faut faire hurler les haut-parleurs! «La zone de haute pression est quand même très faible et, même avec une microbille de polystyrène expansé, il faut pousser l'intensité, c'est-à-dire monter le volume. Pour faire léviter une sphère de 4 mm de diamètre, il faut atteindre 143 décibels.» L'intensité sonore du spectacle le plus bruyant jamais mesuré, du groupe de métal américain Manowar, était de 139 dB!

Cela dépasse le seuil de la douleur, fixé à 120 dB. Comment, alors, mener de telles expériences sans souffrir? «Facile. Nous travaillons avec des ultrasons, précise en souriant Heinrich Jaeger. Ce sont des sons dont la fréquence est tellement élevée, donc tellement aigus, que nos oreilles ne peuvent pas les percevoir.» Même de jeunes oreilles en bonne santé n'entendent pas les sons au-delà de la fréquence de 20 000 hertz, c'est-à-dire 20 000 vagues de haute pression par seconde. Les chercheurs travaillent donc avec des sons de 25 000 Hz, voire 40 000 Hz, poussés à plus de 150 décibels... mais inaudibles.

C'est pourquoi les scientifiques rencontrés pour cet article préfèrent l'appellation lévitation *ultrasonique* à celle de lévitation *acoustique*.

QUÊTE FONDAMENTALE

Ces dernières années, avec son équipe, Heinrich Jaeger s'est penché sur les ondes sonores qui se dispersent lorsqu'elles frappent un objet qui lévite. L'onde qui arrive du bas, par exemple, et qui frappe un objet sphérique en pleine lévitation, rebondit et produit une multitude d'ondes secondaires qui se dispersent dans différentes directions, notamment à l'horizontale. Lorsqu'on travaille avec plusieurs microbilles de polystyrène expansé, chacune d'elles est donc entourée d'ondes sonores de dispersion.

«J'ai voulu voir si ces ondes dispersées influençaient le mouvement des billes lorsqu'on les laisse libres de bouger. Nous avons découvert que ces ondes jouent un rôle attractif. Des billes libres de bouger sur un plan horizontal en deux dimensions se rassemblent spontanément pour former des amas. À partir de six billes, on observe que les figures géométriques formées par les billes changent selon trois configurations possibles, et ça ressemble beaucoup au changement de configuration qu'on observe dans certaines molécules, à l'échelle atomique. La lévitation ultrasonique s'avère un outil parfait pour étudier des phénomènes dynamiques à l'échelle moléculaire, mais avec des objets macroscopiques.»

La lévitation permet aussi de développer des modèles de phénomènes de beaucoup plus grande envergure. «Une bulle de liquide ou un amas de billes, en lévitation, c'est un peu comme un solide. Un solide friable, mais un solide quand même. En utilisant d'autres ondes sonores, on peut facilement faire tourner l'échantillon, toujours sans le toucher. À vitesse suffisante, la rotation modifie la forme de l'objet, l'aplatit, le fait éclater... Même chose que dans un gros astéroïde ou dans une galaxie : la gravité retient ces composantes plutôt lâchement, et ces mouvements de rotation peuvent les modifier. On peut recréer tout cela en laboratoire, sur une table.»

Le chercheur et son équipe ont aussi constaté que des objets de forme cubique s'arrimaient les uns aux autres en se «connectant» par leurs arêtes, plutôt que par leurs faces. Ou encore, qu'un grand nombre de billes s'agençaient spontanément en «radeaux» en quelques dizaines de millisecondes, radeaux dont l'épaisseur ne dépassait jamais une seule bille.

À l'Université de Bristol, en Angleterre, l'ingénieur et chercheur Bruce Drinkwater tente de harnacher le phénomène pour en faire des «pincés acoustiques». «Ce sont des champs ultrasoniques tridimensionnels qui immobilisent parfaitement un objet en créant des zones de haute pression autour de toutes ses faces. L'objet est emprisonné et on peut alors faire tourner le système dans tous les sens sans jamais le laisser tomber.»

Un principe dont s'inspire la bien nommée No-Touch Robotics, une jeune pousse suisse qui propose des bras robotisés dont la pince mécanique est remplacée par une enceinte de lévitation acoustique pour manipuler de petits objets sans les toucher. La précision de la «pince» est assurée par de fins réglages de l'intensité sonore de chacun des émetteurs placés dans deux coupoles qui se font face, une précision si grande qu'elle compense les défauts de mouvement du reste du bras. Des scientifiques espagnols ont même réussi à assembler de petits bâtons de bois de 8 cm avec ce type de robot à la main invisible!

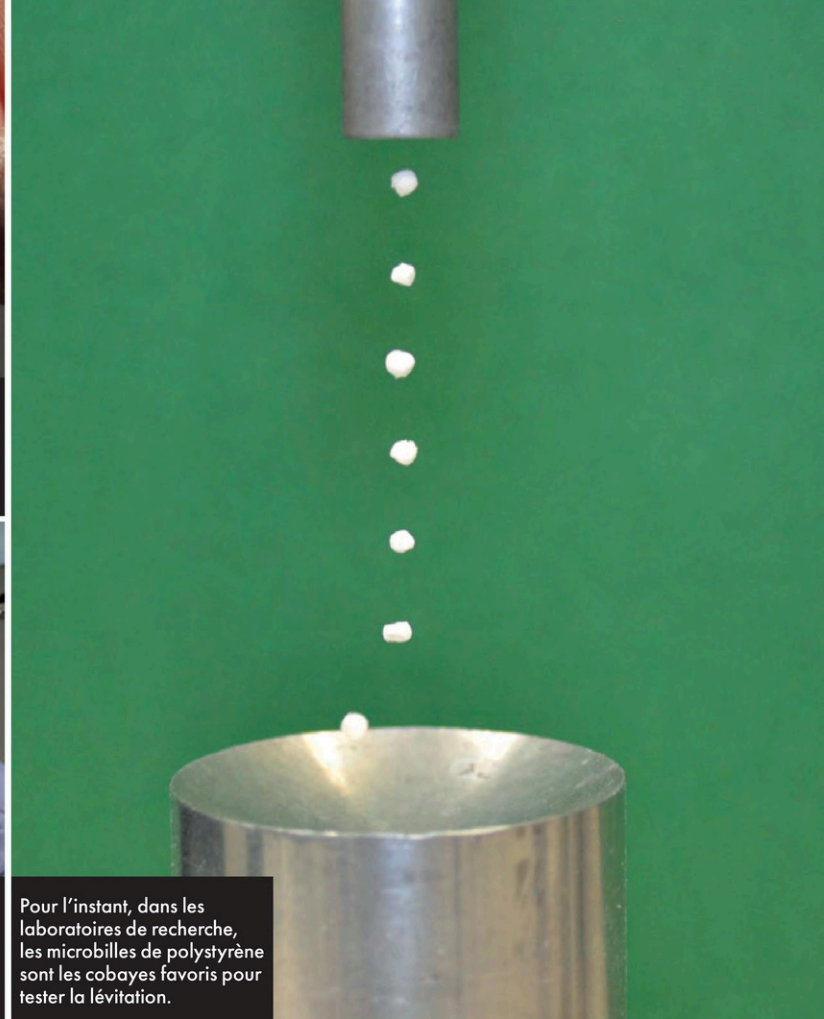
La lévitation ultrasonique est aussi toute désignée pour manipuler des objets fragiles,



Ces gouttes, pouvant contenir différents composés pharmaceutiques, restent en suspension grâce aux ondes acoustiques.



Au Laboratoire national d'Argonne, aux États-Unis, le procédé permet de mieux étudier la cristallisation des molécules en les maintenant en suspension.



Pour l'instant, dans les laboratoires de recherche, les microbilles de polystyrène sont les cobayes favoris pour tester la lévitation.

comme des cellules vivantes. « En collaboration avec une équipe d'ingénierie tissulaire, poursuit Bruce Drinkwater, nous avons réussi à agencer des cellules musculaires, sans les abîmer, en un patron de plusieurs "sillons" qui ont ensuite permis de faire croître des fibres musculaires fonctionnelles. Les muscles cultivés grâce à cette nouvelle méthode se sont avérés meilleurs qu'avec toute autre méthode connue. »

En 2020, un chercheur du Centre national de la recherche scientifique de France et une collègue de l'Université technologique de Delft, aux Pays-Bas, ont démontré qu'il était possible d'utiliser ces pinces acoustiques en biologie et en biomédecine pour déployer des médicaments de façon ultra-localisée ou pour organiser des cellules souches in vitro afin d'en faire des tissus. La même année, des chercheurs de l'Université de Washington ont réussi à contrôler le mouvement de billes de verre de 3 mm dans la vessie de truies.

À l'Université de Sherbrooke, c'est dans le domaine des pâtes et papiers que les chercheurs du Groupe d'acoustique ont trouvé une application à la lévitation ultrasonique. « Un étudiant de maîtrise l'a utilisée pour

concentrer la pulpe de papier dans les flux d'eau d'une papeterie, explique Nicolas Quaegebeur. Les émetteurs d'ultrasons sont placés pour former un anneau qui entoure un conduit dans lequel passe l'eau chargée de pulpe. Dans le tuyau, lorsque le système est allumé, les particules de pulpe sont poussées vers le centre par les ultrasons. Un tuyau plus petit, à l'intérieur du premier, permet alors de recueillir cette eau plus concentrée en pulpe. La filtration qui suit est donc plus efficace, car le contenu est plus riche en pulpe. » Sachant toute l'énergie qu'il faut pour séparer la pulpe de l'eau et, surtout, la sécher, toute augmentation de concentration est bienvenue.

On le constate, les applications de la lévitation acoustique sont nombreuses et variées. « Et on n'en est encore qu'aux débuts, s'enthousiasme Nicolas Quaegebeur. On pourrait s'en servir pour filtrer des polluants, pour contrôler des microréactions chimiques, pour imaginer de nouvelles façons d'assembler de petits appareils... L'imagination est la seule limite! »

Et le poids des objets, lui? « En fait, il n'y a pas de limite à la masse des objets qu'on pourrait soulever par lévitation

ultrasonique, avance Bruce Drinkwater, depuis Bristol. Il suffit de monter le volume! Mais les intensités très élevées requièrent beaucoup d'énergie. »

Et pourrait-on faire léviter un humain? « Théoriquement, oui, poursuit l'ingénieur, encore ici avec un bon volume. Mais, même si les ultrasons utilisés ne risquaient pas de blesser les oreilles du cobaye, les risques seraient très élevés, car des ondes sonores d'une telle intensité agiteraient les molécules d'air et les surchaufferaient rapidement, tout comme les molécules de la personne. Le risque de brûlure serait grave et immédiat. »

Ainsi, faire léviter un bloc de pierre de 2,5 tonnes pour construire une pyramide ne serait pas une mince affaire. Il faudrait installer minutieusement de nombreux émetteurs et monter le volume à 185 dB, ce qui nécessiterait une puissance en électricité de huit mégawatts. C'est exactement la puissance de la centrale solaire Gabrielle-Bodis, propriété d'Hydro-Québec, qui comprend 26 000 panneaux s'étendant sur une surface équivalente à 28 terrains de football. Il est peu probable que les Anciens aient eu accès à une telle puissance... ●

GROSSE ET MAGNIFIQUE

Visible à l'œil nu, étonnamment complexe, *Thiomargarita magnifica* est la plus grosse bactérie connue. Sa découverte récente ébranle les dogmes de la microbiologie. **PAR RAPHAËLLE DEROME**

Avec pour tout équipement un maillot, un masque de plongée, un tuba et de vieilles chaussures, le professeur de microbiologie marine Olivier Gros plonge régulièrement dans la mangrove en Guadeloupe. « J'y passe des heures, tranquille, à observer l'écosystème. Ça me repose de mes collègues! dit en plaisantant le chercheur à l'Université des Antilles. L'avantage, ici, c'est qu'il n'y a aucun animal dangereux : pas de caïmans, de serpents, de requins ni de méduses... » Il ne craint que les huîtres, qui sont « très tranchantes ».

C'est là, à 20 minutes de bateau de son laboratoire, dans moins d'un mètre d'eau, qu'il aperçoit la première fois des filaments blancs mesurant d'un à deux centimètres, fixés à des feuilles submergées, en 2005. Il en prélève quelques-uns, « par curiosité ». De retour à Pointe-à-Pitre, capitale économique du département d'outre-mer français, il observe les créatures au microscope photonique, puis au microscope électronique. Il constate que leur surface est lisse, dépourvue de bactéries associées. Il croit alors avoir affaire à un champignon ou à un organisme « un peu bizarre, mais **eucaryotes**, vu sa taille ». Toutefois, lorsque l'équipe commence à examiner plus finement la structure de l'organisme :

surprise! Quand on le coupe, on ne trouve pas de noyau, pas de mitochondrie... Rien qui fasse penser à un organisme complexe, détaille Olivier Gros.

La trouvaille n'a pas suscité d'engouement particulier au départ, selon son ancien étudiant Jean-Marie Volland, aujourd'hui rattaché au Joint Genome Institute du Lawrence Berkeley National Laboratory et au Laboratory for Research in Complex Systems, en Californie. « C'était un des nombreux trucs bizarres qu'il rapportait de la mangrove et qu'on étudiait dans le labo. » Les chercheurs étaient loin de se douter que le filament, qui s'est révélé être une bactérie, causerait l'émoi 17 ans plus tard dans la prestigieuse revue *Science*!

C'est qu'en théorie, les bactéries ne peuvent pas croître au-delà d'une certaine taille. Mais *Thiomargarita magnifica* – c'est son petit nom – défie tous les pronostics. Elle est 5 000 fois plus grosse qu'une bactérie ordinaire. « C'est comme si on rencontrait un humain aussi grand que le mont Everest », illustre Jean-Marie Volland, qui signe, avec 19 collègues, l'article publié dans *Science* ce printemps.

Au fil des ans, de nouvelles observations, faites notamment par leur collègue Silvina Gonzalez-Rizzo, confirment qu'il s'agit d'une bactérie du genre *Thiomargarita*, déjà connu pour contenir des bactéries géantes, comme *Thiomargarita namibiensis*. Mais la magnifique est 50 fois plus imposante que

cette dernière! Puis, l'équipe démontre que chaque filament pourrait n'être constitué que d'une seule cellule.

Ouf. « Quand vous êtes en microbiologie et que vous devez annoncer détenir une cellule qui fait deux centimètres de long, vous avez intérêt à mettre ceinture et bretelles! explique M. Gros. Les gens vont dire que ce n'est pas possible, qu'une bactérie ne peut pas être si grande... »

Et c'est ce qui arrive : l'équipe soumet la découverte à une revue scientifique vers 2015-2016, sans succès. Les évaluateurs jugent les preuves insuffisantes. Plusieurs années d'analyses poussées finiront par convaincre la communauté scientifique qu'on est bien face à un record. « Ils ont fait un travail fantastique », commente Danny Ionescu, un spécialiste des bactéries géantes au Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, en Allemagne.

STRATÉGIES POUR GROSSIR

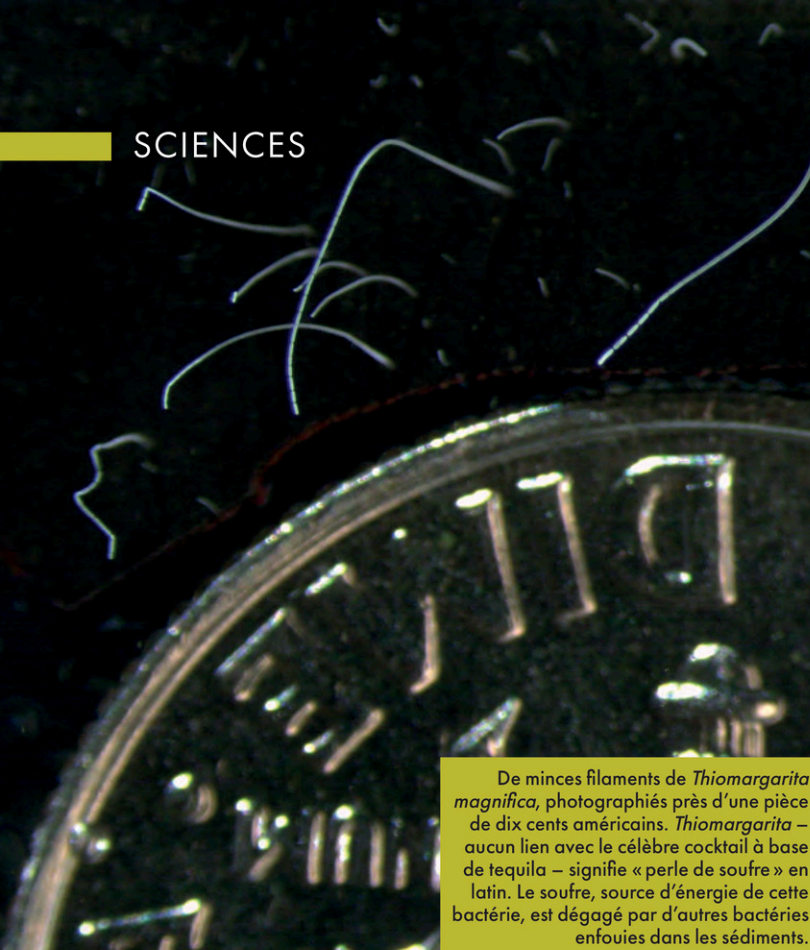
Les bactéries sont généralement petites, car dépourvues d'un système actif de transport de molécules chimiques : éléments nutritifs, signaux cellulaires ou déchets y circulent par simple diffusion, à un millimètre par heure. Cette lenteur ne pose aucun problème aux petites bactéries, mais c'est beaucoup trop lent quand on mesure deux centimètres... *Thiomargarita magnifica* y remédie grâce à une grosse vacuole centrale, une sorte de sac qui

AVEC OU SANS NOYAU ?

Les plantes, les animaux, les champignons et les protistes (des unicellulaires comme les amibes et les diatomées) sont des organismes **eucaryotes**. Leurs cellules contiennent un noyau (qui renferme l'ADN) et plusieurs organites – de petites structures spécialisées dotées de leur propre membrane : mitochondrie, vacuole, appareil de Golgi, etc.

À l'inverse, les bactéries et les archées sont **procaryotes**, c'est-à-dire dépourvues de noyau. Typiquement, leur génome flotte librement à l'intérieur de la cellule. Certaines bactéries possèdent aussi des organites.

Cet étrange organisme est *Thiomargarita magnifica*. La base du filament est fixée très solidement au substrat. Le tube lisse constitue une seule cellule. À l'extrémité, on aperçoit les cellules filles qui se sépareront bientôt.



De minces filaments de *Thiomargarita magnifica*, photographiés près d'une pièce de dix cents américains. *Thiomargarita* – aucun lien avec le célèbre cocktail à base de tequila – signifie « perle de soufre » en latin. Le soufre, source d'énergie de cette bactérie, est dégagé par d'autres bactéries enfouies dans les sédiments.



SOURCE FUTURE D'ANTIBIOTIQUES ?

À la surface des bactéries croissent souvent... d'autres bactéries. Et notre géante est si grosse qu'une seule cellule pourrait héberger plus de 600 000 bactéries *Escherichia coli*! Pourtant, observée au microscope, sa surface est étrangement lisse. Par quel mécanisme est-ce possible ? « Soit sa surface empêche les autres bactéries d'y adhérer... soit elle sécrète des antibiotiques », avance Yves Brun. On sait déjà que certaines bactéries produisent des antibiotiques pour lutter contre d'autres bactéries. « Mais les gènes de *Thiomargarita* sont assez différents, ce qui suggère un potentiel de découverte de nouveaux antibiotiques. »

Cela ne mènera peut-être jamais à un produit commercial, mais cette piste éventuelle démontre toute l'importance de la recherche fondamentale, dit Yves Brun.

La mangrove où vit la magnifique bactérie

occupe 75% du volume de la cellule. Cela concentre les échanges hors du sac et sur de courtes distances dans une mince couche de liquide au pourtour de la cellule.

La géante se distingue aussi par la taille de son génome. Alors que les bactéries sont en général des organismes assez simples, celle-ci possède plus de gènes que certains champignons. Et, surtout, elle possède des tonnes de copies de ce génome : jusqu'à 700 000 par cellule! (Nous, pauvres humains, n'en avons que deux.) « Ça lui permet d'avoir des gènes distribués dans l'ensemble de la cellule, pour fabriquer des protéines localement. Ainsi, elles sont disponibles rapidement partout », explique Purificación López-García, chercheuse en biologie évolutive au Centre national de la recherche scientifique, en France, qui n'a pas participé à l'étude. Autre aspect étonnant, au lieu de flotter librement dans la cellule, l'ADN est rassemblé dans une multitude de petites poches lovées contre l'enveloppe de la cellule, que Jean-Marie Volland a nommées « pépins ».

De l'ADN stocké dans une membrane, voilà une première chez les bactéries. « Je trouve ça super intéressant », dit Yves Brun, professeur de microbiologie à l'Université de Montréal, qui n'a pas pris part à ces

travaux lui non plus. Mais Purificación López-García n'est pas convaincue : « À mon avis, on verra que ce ne sont pas des compartiments fermés », prédit la chercheuse, qui croit qu'on a plutôt affaire à des invaginations (ou replis) de la membrane cellulaire.

« Pour l'instant, je ne peux pas vous affirmer que chaque pépin est indépendant du reste, admet Olivier Gros. Ça fait partie de ce qu'on veut déterminer dans l'année qui vient. On veut aussi examiner d'autres bactéries, chez qui nous avons repéré des structures qui nous font penser à des pépins. Si ça existe ailleurs, ça viendra vraiment chambouler les limites de la bactériologie. » Il faudrait alors réécrire les livres de biologie actuels, qui stipulent que l'ADN des procaryotes est libre dans la cellule...

UNE ERREUR DE L'ÉVOLUTION ?

Mais pourquoi *Thiomargarita magnifica* est-elle si grosse ? Après tout, l'environnement est peuplé en majorité de petites bactéries qui croissent et se reproduisent très rapidement... A-t-on simplement affaire à une erreur de l'évolution, avec une bactérie qui aurait appris à vivre ainsi, ou y a-t-il un mécanisme qui l'aurait poussée à croître ? Pour le découvrir, et percer le

secret des pépins, il faudra réussir à faire pousser la géante en laboratoire.

Car, jusqu'à maintenant, Olivier Gros doit repartir régulièrement en plongée pour récolter de nouveaux échantillons. Mais la pêche n'est pas toujours bonne : la géante va et vient au gré des fluctuations de l'écosystème, restant parfois introuvable pendant des mois ! Est-ce une question de salinité, de température, de turbidité, de disponibilité des nutriments ? « On l'ignore ! » lance avec résignation le chercheur. Comment, alors, assurer les conditions parfaites pour une culture en laboratoire ?

On sait que *Thiomargarita magnifica* se nourrit par chimiosynthèse. Ce processus ressemble à la photosynthèse des plantes, mais, à la place de la lumière, ce sont des molécules chimiques qui servent de source d'énergie. Dans le cas de la magnifique bactérie, le sulfure d'hydrogène et l'oxygène sont vitaux. « Mais dans le milieu de culture, on ne peut pas les mélanger, car ils réagissent chimiquement l'un avec l'autre et, du coup, ils disparaissent ! » souligne Jean-Marie Volland. Le chercheur a donc conçu de petits aquariums dans lesquels il injecte les deux en continu. Une manière de reproduire le milieu de vie très spécifique de ce microorganisme : les quelques

centimètres d'eau riche en oxygène juste au-dessus des sédiments qui dégagent le sulfure d'hydrogène.

« Pour l'instant, on arrive à faire pousser de petits bouts de filaments, puis on les perd et on recommence », explique le chercheur, loin de se décourager. Son problème n'a rien d'unique : si on sait généralement bien cultiver les bactéries pathogènes pour l'humain, moins de 0,1% des bactéries présentes dans les écosystèmes sont cultivables. « Nous sommes généralement assez mauvais pour deviner ce dont les bactéries ont besoin, se désole Danny Ionescu. Et souvent, nous essayons de les cultiver seules, alors qu'elles vivent en communautés et s'entraident. Il est très difficile de reproduire ce réseau de collaboration bactérien. »

DES GÉANTES AILLEURS ?

Peut-on s'attendre à d'autres découvertes de bactéries géantes dans les prochaines années ? C'est fort possible. « Jusqu'ici, on les trouve dans des environnements riches en nutriments, donc c'est là que je chercherais », dit Danny Ionescu. Mais le chercheur prédit aussi qu'on pourrait en trouver... dans la littérature scientifique!

« Certains microorganismes décrits il y a des décennies ont été considérés à tort comme des protistes en raison de leur grande taille, jusqu'à ce que l'analyse génétique démontre qu'il s'agissait en réalité de bactéries. Il y a peut-être d'autres cas du genre », explique-t-il. Plus récemment, beaucoup de nouvelles bactéries ont été découvertes par séquençage génétique, mais n'ont jamais été observées au microscope – seule manière de connaître leur taille.

Jean-Marie Volland établit un parallèle avec les virus, d'abord découverts à la fin du 19^e siècle. « Il y a une vingtaine d'années, une équipe a découvert l'existence de virus géants, plus gros que certaines bactéries. Et depuis, on en trouve absolument partout : dans le corps humain, la mer, le sol... On les avait ignorés jusque-là parce qu'on était convaincu qu'un virus était toujours minuscule! »

On ne trouve que ce que l'on cherche, pense Olivier Gros. « C'est important d'être curieux et d'avoir l'esprit ouvert. Et il ne faut pas avoir peur d'aller sur le terrain, de prendre son temps, d'observer la vie. » Sortons nos maillots, les eaux chaudes et claires de la mangrove nous appellent. Et gare aux huîtres! ●

TROP GROSSE POUR LES MICROSCOPES!

Le problème, pour qui veut étudier la plus grosse bactérie du monde... c'est qu'elle est trop grosse pour être vue en entier au microscope! « Ce fut très stimulant de trouver des façons de maintenir et de préserver cette cellule en entier sans qu'elle s'abîme, puis de l'observer à fort grossissement. On a fait des panoramas avec plusieurs images rassemblées, jusqu'à 300 dans certains cas », dit le biologiste Jean-Marie Volland.

L'équipe a aussi utilisé la tomographie par rayons X, « une technique qui, à ma connaissance, n'a jamais été utilisée pour observer des bactéries », précise M. Volland. La bactérie a été immobilisée grâce à un gel placé dans un tube de plastique, puis patiemment photographiée sous tous ses angles. Les milliers de photos générées ont ensuite été assemblées par ordinateur pour former une reconstitution complète en 3D.

COMMENT TOUT FINIRA ?

CATACLYSME ?

EXPLOSION ?

EXPANSION ?

DÉSINTÉGRATION ?

UN OUVRAGE FASCINANT
QUI CHANGERA VOTRE FAÇON
DE PERCEVOIR L'UNIVERS.



ÉDITIONS
MULTIMONDES

editionsmultimondes.com



Offert en versions numériques



5

INNOVATIONS

FAIRE DU NEUF AVEC DU VIEUX

Des innovations québécoises donnent une seconde vie glorieuse à de vulgaires déchets

Les bennes à ordures regorgent de trésors inexploités, parfois même insoupçonnés. Malgré cela, le gaspillage s'accroît et les sites d'enfouissement débordent... Pour faire autrement, l'écologie industrielle — qui consiste à fabriquer des produits à partir des rebuts d'une autre entreprise — est une voie à privilégier. Non seulement peut-elle contribuer à réduire les déchets, mais elle permet aussi de minimiser l'extraction de nouvelles ressources. Devant la crise écologique, la tendance prend tout son sens.

Toutefois, pour revaloriser épluchures, résidus de sciage et autres vêtements élimés, encore faut-il des débouchés concrets et des procédés robustes. Les scientifiques d'ici y travaillent, avec des résultats étonnants!

Voici des initiatives inspirantes.

SOMMAIRE

26 Des colorants dans vos déchets de table

28 Une broue pour la planète

30 L'encre de tes œufs

32 De l'écorce pour isoler les maisons

34 La deuxième vie d'une chemise

Et vous, transformez-vous certains de vos déchets ?
Racontez-nous! courrier@quebecscience.qc.ca



Des colorants dans vos déchets de table

Accepteriez-vous de manger des bonbons, des glaces ou des pâtisseries dont les couleurs vibrantes auraient été extraites... de restes de table ? Des chimistes mettent au point les couleurs de demain.

Par Renaud Manuguerra-Gagné

En observant la rangée de fioles contenant des liquides aux teintes rouges, jaunes et orangées produits par le docteur Derek Troiano de l'Université McGill, on croirait se trouver devant des colorants alimentaires vendus en supermarché. Or ils sont le fruit d'un procédé peu appétissant, mais ô combien innovant : la fermentation de déchets alimentaires par des champignons microscopiques.

Ces biopigments nouveau genre offrent le potentiel de réduire notre dépendance à l'industrie pétrochimique pour colorer aliments et autres produits de consommation tout en valorisant une ressource négligée depuis longtemps. « Notre objectif, c'est de réduire la quantité de matière organique qui va vers l'enfouissement ou le compostage, explique Valérie Orsat, professeure de chimie à l'Université McGill et coauteure d'une étude sur le sujet parue en mai dernier dans la revue *Applied Microbiology and Biotechnology*. On veut en maximiser la réutilisation et lui donner une valeur

commerciale tout en réduisant notre impact environnemental. »

Trognons de pomme, bouts de céleri, pelures de betteraves : comment produire des couleurs à partir d'un tel fatras ? Les scientifiques se sont inspirés d'une technique ancestrale employant un champignon filamenteux microscopique nommé *Monascus*. « Ce type de moisissure génère des pigments de différentes couleurs en fonction du milieu où elle se développe, explique Derek Troiano. On l'utilise en Asie depuis des millénaires pour sa capacité à produire différentes teintes lors de la fermentation de certains aliments. Ces pigments sont toutefois accompagnés de molécules toxiques, ce qui empêche leur utilisation en Occident, où elles ne sont pas tolérées par les normes sanitaires. »

CINQUANTE NUANCES DE CHAMPIGNONS

Il existe d'autres souches de moisissures qui produisent des pigments sans toxines, telles que le champignon du genre *Talaromyces*, mais leur niveau de production est faible. Pour corriger la situation, l'équipe de l'Université McGill s'est tournée vers la coculture de champignons. « Nous avons identifié différents types de moisissures qui augmentent le métabolisme secondaire de leurs voisines lorsqu'elles sont cultivées en contact rapproché, explique Derek Troiano. Cette coculture pourrait ainsi améliorer notre production de pigments. »

En étudiant les effets de différentes combinaisons de champignons non toxiques sur la concentration de pigments produits lors de la dégradation de résidus alimentaires, les scientifiques ont

trouvé un duo gagnant. En combinant un *Talaromyces* (*T. albobiverticillius*) avec une autre espèce nommée *Trichoderma reesei*, le groupe a doublé la production de pigments comparativement aux champignons cultivés seuls. « Notre système de coculture sur déchets produit une masse de pigments beaucoup plus importante que ce qui a été obtenu avec des méthodes similaires par le passé, ajoute Derek Troiano. Cette méthode pourrait faire des champignons non toxiques un acteur d'intérêt industriel dans la production de pigments naturels. »

LES DÉFIS DE L'INDUSTRIE

Bien que ces travaux soient une preuve de concept, ils pourraient rapidement soulever un intérêt commercial, car la demande pour des pigments naturels est en hausse. Et avec les centaines de millions de tonnes de déchets alimentaires produits chaque année en Amérique du Nord, la matière première serait à la fois accessible et peu dispendieuse.

Ce premier succès n'est toutefois pas suffisant pour que les centres de traitement de compostage amorcent prochainement une production de colorant alimentaire. « Nous avons réussi à obtenir ces pigments, car nous contrôlions le type de déchets fermenté, explique Marie-Josée Dumont, coauteure de l'étude et professeure de chimie à l'Université Laval. Si on utilise des déchets municipaux de composition variable, de nombreuses nouvelles molécules pourraient être produites et nos résultats seraient alors très différents. »

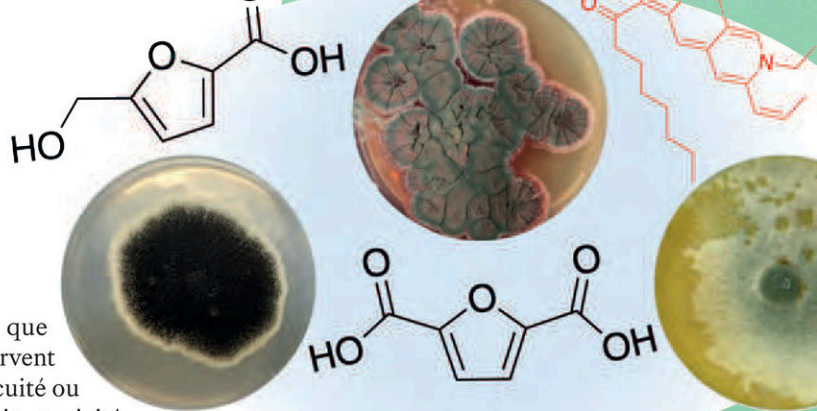
D'autres défis devront aussi être relevés avant que la méthode ne sorte des labo-

ratoires, selon Julie-Anne Fenger, qui n'a pas été impliquée dans les travaux décrits ici, mais qui a mené des recherches sur le développement de pigments naturels lors de son doctorat en chimie des substances naturelles à l'Université d'Avignon. « La principale difficulté lorsqu'on produit des colorants naturels est d'obtenir des pigments stables et de couleur assez vive pour rivaliser avec les colorants artificiels, explique la chercheuse. Bien que l'objectif de valoriser les déchets soit intéressant, il faut déterminer si la concentration obtenue est suffisante pour qu'il y ait un intérêt commercial. Est-ce qu'une usine de yaourt pourrait s'en servir pour colorer toute sa production ou faut-il un meilleur rendement ? Et même lorsqu'on

y parvient, est-ce que ces colorants conservent toujours leur innocuité ou est-ce qu'une certaine toxicité peut réapparaître ? »

Des questions auxquelles il faudra répondre avant de passer à l'étape suivante. « Le passage vers une utilisation à grande échelle devra se faire graduellement et de nouvelles études sont nécessaires pour optimiser le processus, ajoute la professeure Orsat. Mais avec l'attrait actuel pour les pigments naturels, c'est faisable ! »

Reste à voir si un entrepreneur ou une entrepreneuse aura assez d'audace pour prendre la relève et colorer nos bonbons d'Halloween avec une décoction de résidus alimentaires ! ●



En haut, de gauche à droite : les champignons *Aspergillus niger*, *Penicillium purpurogenum* et *Trichoderma reesei* avec les représentations moléculaires des pigments et des molécules chimiques qu'ils produisent



Valérie Orsat, professeure à l'Université McGill



Une broue pour la planète

Les déchets issus du brassage de la bière ont plus de valeur qu'on ne le pense. Ils peuvent être transformés en nanoparticules de carbone et servir à détecter des polluants. Santé!

Par Chloé Bourquin

Dix tonnes. C'est la quantité de céréales utilisée chaque semaine par la microbrasserie Brasseur de Montréal. Et c'est à peu près la même quantité de résidus et d'écorces qui ressort à l'issue du brassage de la bière. La gestion de ces déchets, appelés « drêche », est un défi de taille pour les quelque 300 microbrasseries québécoises. « La drêche est tellement humide que n'importe quelle transformation ou conservation sur le long terme est difficile », explique Mike Harrison, maître brasseur chez Brasseur de Montréal.

Les microbrasseries optent souvent pour une entente avec des éleveurs : la drêche peut en effet servir à nourrir le bétail. « Mais ce serait bien qu'on puisse transformer cela en quelque chose qui soit plus valorisé », soutient-il.

Des chercheurs de l'École de technologie supérieure (ÉTS) et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) ont trouvé une façon étonnante de donner une seconde vie à ce résidu. Dans une étude publiée en avril 2022 dans *RSC Advances*, ils indiquent être parvenus à transformer un échantillon de quelques centaines de grammes de drêche récupérée auprès de Brasseur de Montréal en de très petites

particules capables de détecter des polluants dans l'eau.

On peut se représenter ces nanoparticules, essentiellement constituées de carbone, comme des poussières extrêmement fines, plus petites qu'un virus. En raison de leur petite taille, de leur composition chimique et de leur structure, elles sont capables d'interagir avec la lumière. Par exemple, si l'on en met une pincée dans de l'eau qu'on éclaire avec une lampe à rayons ultraviolets, ces fines poussières émettront une vive lumière bleutée. « Mais en présence de métaux lourds dissous dans l'eau, leurs propriétés changent et l'intensité de la lumière émise diminue », explique Claudiane Ouellet-Plamondon, professeure à l'ÉTS.

Comment fabriquer de telles particules ? La procédure est assez simple : dans leur publication, les chercheurs décrivent avoir carbonisé la drêche en la passant au micro-ondes à 200 °C, avant de la mettre dans de l'eau, puis de la passer de nouveau au micro-ondes jusqu'à ce qu'il n'en reste qu'une poudre noire. D'ailleurs, « on aurait pu utiliser n'importe quel autre déchet organique », affirme Federico Rosei, professeur à l'INRS. « Si vous prenez du jus d'orange, que vous le mettez dans votre micro-ondes et que vous lui donnez assez d'énergie, vous allez obtenir des nanoparticules de carbone. Il ne faut juste pas boire le jus d'orange après ! » ajoute en plaisantant le chercheur.

Le défi n'est donc pas de fabriquer ces fines poussières de carbone, mais plutôt de le faire de façon précise et contrôlée, pour obtenir à coup sûr des particules de la bonne taille, de la bonne structure et de la bonne composition chimique. Car, si « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », comme le disait le chimiste français Antoine Lavoisier, toute la difficulté est de savoir ce qu'on a au début, quelle transformation

a lieu précisément et ce qu'on obtient à la fin. « On part de la drêche, qui n'est pas un produit pur, donc c'est difficile de comprendre quelles réactions chimiques ont lieu lors de la synthèse », explique Daniele Benetti, postdoctorant à l'INRS, qui a également participé à cette étude.

Et pour ce qui est de caractériser le produit final obtenu, la situation se complique encore. « Pour le moment, on sait que nos particules contiennent du carbone, de l'azote, de l'oxygène et un peu de phosphore, énumère le chercheur. Par contre, on ne sait pas vraiment comment ces atomes sont liés entre eux. C'est compliqué à étudier, car les nanoparticules sont extrêmement petites. On aimerait mieux comprendre les réactions en jeu pour optimiser leur capacité à interagir avec la lumière. »

Il reste donc encore du chemin à parcourir avant d'envisager la commercialisation de cette innovation. « Notre article lance surtout des questions; il faudrait faire des recherches plus approfondies pour mieux comprendre ce qu'il se passe », résume Claudiane Ouellet-Plamondon.

Le projet montre que les déchets peuvent faire partie de la solution, affirme Rafik Naccache, professeur au Département de chimie et de biochimie de l'Université Concordia, qui n'a pas participé à ces travaux. « Est-ce qu'avec cette seule initiative, on parviendra un jour à écouler les 10 tonnes de drêche produites chaque semaine par cette microbrasserie ? Peu probable; une seule application ne peut répondre à tous les problèmes. Mais, si de plus en plus de personnes font des recherches en ce sens et transforment des ressources que nous ne valorisons pas ou que nous gaspillons en des produits à valeur ajoutée, ça peut devenir très intéressant. »

De quoi se donner bonne conscience en savourant une IPA ? ●



On peut se représenter les nanoparticules produites, essentiellement constituées de carbone, comme des poussières extrêmement fines, plus petites qu'un virus.

La drêche est le résidu du malt issu du brassage de la bière





L'encre de tes œufs

En utilisant des coquilles d'œufs comme ingrédient dans une encre destinée à l'impression 3D, des chercheurs espèrent économiser de précieuses ressources.

Par **Renaud Manuguerra-Gagné**

A

première vue, un œuf de poule ne semble pas particulièrement solide. On en casse facilement des milliers

au cours d'une vie, parfois même accidentellement. Et l'expression « marcher sur des œufs » évoque la fragilité plutôt qu'une rigidité à toute épreuve.

Pourtant, les coquilles d'œufs ont le potentiel d'améliorer et même de renforcer certains matériaux, selon des chercheurs de l'École de technologie supérieure de Montréal (ÉTS) et de l'Université de la Saskatchewan. Une fois combinées à certains polymères, elles peuvent servir à « imprimer » des objets de toutes formes.

L'impression 3D, qui connaît une expansion fulgurante depuis 2010, consiste à programmer une machine pour qu'elle superpose de fines couches d'un matériau jusqu'à l'obtention d'un objet complet. « Il existe de nombreux types de matériaux destinés à l'impression 3D, explique Lucas Hof, professeur au Département de génie

mécanique à l'ÉTS. De ceux-ci, l'acide polylactique, ou PLA, est de loin le plus populaire. Mais il est fragile et casse facilement. »

Plusieurs substances conçues en industrie peuvent être ajoutées au PLA pour en améliorer les propriétés, dont la solidité. Problème réglé ? Pas quand on aspire à une économie circulaire. « À la base, tant les encres que les additifs nécessitent d'extraire des ressources naturelles, explique Jean-Philippe Leclair, étudiant à la maîtrise dans le laboratoire du professeur Hof. Si on peut diminuer cette exploitation en remplaçant les matières premières par des déchets d'une autre industrie, on règle deux problèmes d'un coup ! »

C'est là qu'on en revient aux œufs. Si on peut facilement composter ses coquilles d'œufs chez soi, il est plus difficile de disposer des tonnes de coquilles résultant de la consommation d'œufs à grande échelle par des usines de transformation alimentaire. « Ces débris se ramassent présentement aux ordures ! » affirme l'étudiant.

L'IMPRIMANTE OU LA POULE ?

Si améliorer les propriétés d'une encre d'impression 3D peut sembler simple, il y a cependant des règles à suivre. « Tout dépend de ce qu'on veut faire, indique Sampada Bodkhe, professeure au Département de génie mécanique de Polytechnique Montréal, qui n'est pas impliquée dans le projet d'encre aux coquilles d'œufs. Parfois, il y a une incompatibilité entre deux matériaux qui empêche la formation d'un bon mélange, ce qui pourrait bloquer la machinerie. Un mauvais mélange peut aussi affecter la façon dont le matériel se solidifie. Il faut donc prendre une décision informée avant de choisir la combinaison à effectuer. »

Et c'est justement une décision informée qui a poussé les chercheurs à s'intéresser à la combinaison coquille d'œuf et polymère. « Une coquille d'œuf, c'est du carbonate de calcium, explique Jean-Philippe Leclair. Chimiquement, c'est pratiquement le même minéral que le calcaire, un additif déjà commercialisé et utilisé pour renforcer le PLA. Dans ce projet, lancé par le professeur Hof et le professeur Duncan Cree, en Saskatchewan, notre question est : peut-on arriver à la même chose ou à un meilleur résultat avec des coquilles ? »

Pour y répondre, les chercheurs ont incorporé des coquilles d'œufs réduites en poudre dans de l'encre et imprimé des formes simples de PLA, soit des barres rectangulaires. Ils ont ensuite soumis celles-ci à toute sorte de tests.

Première surprise : le PLA combiné à la poudre de coquilles s'avère plus flexible que celui combiné à du calcaire. La ductilité du PLA combiné à la poudre d'œufs dépasse de 12% celle du PLA seul et de 7% celle du PLA combiné avec du calcaire. D'autres propriétés semblent aussi avoir été améliorées. « On garde des primeurs pour une publication scientifique, mais disons que cette combinaison est intéressante d'un point de vue commercial », ajoute Jean-Philippe Leclair.

Les chercheurs ne crient toutefois pas encore victoire, car il est aussi possible que l'ajout des coquilles interfère avec le recyclage du PLA, ce qui serait contre-productif lorsqu'on veut favoriser l'économie circulaire. « On ne sait pas comment le procédé dégrade le plastique à la longue ni si l'ajout des coquilles d'œufs réduit la recyclabilité du produit, explique le professeur Hof. C'est une question à laquelle on tente de répondre. »

En attendant, l'équipe voit grand pour son mélange. « On vient d'obtenir une subvention en partenariat avec des usines québécoises et ontariennes pour vérifier si les coquilles d'œufs peuvent aussi être utiles en construction en améliorant les propriétés du béton destiné à l'impression 3D. Le ciment à l'intérieur du béton a une empreinte écologique énorme. Si l'on

pouvait en remplacer ne serait-ce que 15% par des coquilles d'œufs, cela réduirait cette empreinte tout en valorisant un déchet. »

On peut donc imaginer que des imprimantes 3D alimentées par des œufs pourront, un jour, construire des structures de toutes tailles, allant de la cage à poules jusqu'au poulailler, donnant ainsi un sens littéral au terme « économie circulaire »! ●

L'imprimante 3D qui a été utilisée à l'Université de la Saskatchewan pour imprimer le matériel pour des essais en flexion



Cet appareil de l'ÉTS servira à extruder les filaments contenant des coquilles d'œuf.



De l'écorce pour isoler les maisons

Des chercheurs s'attaquent à un mastodonte de l'empreinte carbone du bâtiment : l'isolation thermique. L'écorce de cèdre pourrait faire toute la différence.

Par **Chloé Bourquin**

Polyuréthane, polystyrène extrudé, laine de verre ou encore de roche : lorsqu'on a à rénover ou à construire sa maison, on peut se sentir noyé dans la mer d'isolants proposés en quincaillerie.

Malgré cette diversité apparente, un problème persiste : tous ces isolants ont un impact environnemental non négligeable. Certains sont des produits dérivés du pétrole, tandis que d'autres requièrent énormément d'énergie pour être fabriqués. « À l'échelle de la planète, les matériaux de construction représentent autour de 10% des émissions de gaz à effet de serre. Et 20 à 40% de ces 10% sont dus aux seuls matériaux isolants », affirme Caroline Frenette, spécialiste de la construction durable au Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois.

Il existe certes des solutions de rechange d'origine végétale, comme la laine de chanvre ou la cellulose, mais elles sont minoritaires, et c'est encore la laine de verre qui est la plus utilisée aujourd'hui au Québec.

Un projet piloté par le SEREX, un centre collégial de transfert de technologie (CTTT) spécialisé en bois et en écoconstruction,

pourrait changer la donne. « Tout est parti d'une scierie du Bas-Saint-Laurent, Multicèdre, qui avait accumulé plusieurs milliers de tonnes d'écorce de cèdre », raconte Patrick Dallain, directeur général du SEREX. La scierie a alors fait appel au CTTT pour trouver des solutions afin d'écouler ce stock d'écorce. Cette dernière est habituellement assez peu valorisée : elle peut être répandue dans les jardins pour maintenir l'humidité du sol et empêcher les mauvaises herbes de pousser, ou simplement brûlée pour produire de l'énergie. Le défi était donc double : trouver un nouveau marché pouvant utiliser une grande quantité d'écorce et, idéalement, assurer à ce dérivé du bois une plus longue durée de vie.

En effet, si un arbre capte du CO₂ présent dans l'atmosphère pendant sa croissance et en accumule une grande partie, lorsqu'il est coupé, tout ce carbone accumulé risque d'être rapidement relâché ; il faut donc conserver le plus longtemps possible chacun de ses sous-produits. « Des études ont montré que, pour que l'utilisation du bois soit bénéfique, il doit être transformé en des matériaux de longue durée. Si on fait du papier journal avec du bois, le carbone qu'il contient n'est pas stocké pendant longtemps et sera vite relâché dans l'atmosphère », illustre Caroline Frenette, qui n'a pas participé au projet du SEREX.

La solution était donc toute trouvée : faire de l'écorce de cèdre un matériau isolant, permettant ainsi au carbone qu'elle contient d'être stocké pendant 60 à 80 ans – sans oublier que l'utilisation de celle-ci remplace les isolants traditionnels polluants. Cerise sur le gâteau : cet isolant nouveau genre peut être produit ici même, au Québec, ce qui limite du même coup l'empreinte carbone liée au transport.

Quelques étapes ont bien sûr été nécessaires pour passer d'une écorce d'arbre à un produit isolant. « Le cèdre a des propriétés très intéressantes de par son écorce fibreuse. Le défi a été de trouver comment préparer cette écorce, la traiter et en extraire les fibres pour obtenir un produit en vrac, explique Patrick Dallain. Après le séchage, on a mélangé ces fibres à une colle, avant de les chauffer et de les comprimer pour en faire un matelas qui ait la bonne densité et la bonne épaisseur pour servir d'isolant. »

Après de nombreux tests menés sur des échantillons en laboratoire à diverses échelles, en faisant varier l'épaisseur de l'isolant et en simulant diverses conditions environnementales (humidité, température), le produit final semble très prometteur. « De façon générale, les matériaux d'origine végétale ont des performances thermiques comparables à celles des isolants traditionnels et ils sont plus denses, donc ils absorbent mieux les sons que la laine de verre ou les mousses isolantes », souligne Patrick Dallain. L'étape suivante du projet consistera à mener des tests sur de « vrais » murs au cours de l'hiver.

Le passage à la commercialisation comportera également quelques étapes. « Il va falloir améliorer le procédé industriel, étudier la rentabilité, faire des études de marché, obtenir une homologation », énumère le gestionnaire, qui espère néanmoins que les quincailleries pourront proposer ce produit d'ici quelques années.

Puisque 1,5 tonne de fibres serait nécessaire pour isoler une maison, une ou deux scieries comme Multicèdre pourraient, selon M. Dallain, répondre en partie aux besoins du secteur du bâtiment au Québec. De quoi réduire notre empreinte carbone petit à petit, un arbre à la fois! ●



Test de traction sur un isolant

« Il va falloir améliorer le procédé industriel, étudier la rentabilité, faire des études de marché, obtenir une homologation. »

— Patrick Dallain,
directeur général du SEREX



Panneau isolant de cèdre



La deuxième vie d'une chemise

Fabriquer des emballages alimentaires à partir de vieux vêtements? C'est le pari de chimistes de l'Université McGill.

Par Renaud Manuguerra-Gagné

Nous avons tous déjà ressenti du chagrin en voyant un de nos vêtements préférés arriver en fin de vie. Il est encore plus déprimant de constater que le recyclage de cette chemise composée de coton à 70% et de polyester à 30% est un cauchemar, car séparer ces différents types de matières premières est souvent impossible.

Mais imaginez qu'au lieu de mettre aux poubelles le vêtement défraîchi, vous l'expédiez plutôt dans un centre où ses fibres seraient dégradées dans des bacs remplis d'acide avant d'être transformées en un nouveau produit. Intrigant!

C'est le pari réussi par Yixiang Wang, professeur au Département de chimie de l'Université McGill, et son équipe. Au printemps dernier, le chercheur et ses collègues ont publié dans la revue *Membranes* une étude dans laquelle ils présentaient une méthode permettant de dégrader des vêtements faits d'un mélange de coton et d'élasthanne (fibre composée de polyuréthane, une matière plastique).

L'équipe a d'abord déchiqueté ces vêtements avant de plonger les morceaux dans différentes combinaisons de solvants. Toutes les solutions évaluées ont été en mesure de dégrader le coton pour en faire de la cellulose, un biopolymère à la base de la

structure du coton et de nombreuses autres plantes. Quant à l'élasthanne, son destin s'est avéré plus variable : certains solvants ont épargné les fibres synthétiques tandis que d'autres les dissolvaient totalement.

Que peut-on faire avec un vêtement réduit à cet état? Étonnamment, l'industrie alimentaire pourrait y trouver son compte. « Certains de nos solvants permettent d'isoler et de retirer l'élasthanne, explique le professeur Wang. D'un côté, on récupère de la cellulose pure, avec laquelle on peut produire un emballage transparent 100% biodégradable. On peut aussi faire des films de cellulose combinée avec de l'élasthanne. Cette combinaison améliore les propriétés physiques des films. Par contre, elle en fait un produit non biodégradable. »

Une forme de réutilisation qui devra toutefois réussir le test des études de sécurité avant d'être mise en marché, puisqu'on ignore si les particules de plastique contaminent les aliments ainsi emballés.

Chose certaine, si l'intérêt du produit se confirme, il y aura de quoi s'occuper : chaque personne jette 24 kg de vêtements par année, selon Recyc-Québec...

Et pourrait-on fabriquer des vêtements avec ces matières? « Récupérer la cellulose du coton, et ce, même dans des tissus mixtes, nous permettrait de produire par la suite un textile semi-synthétique nommé rayonne, explique Marianne-Coquelicot Mercier, conseillère en économie circulaire pour l'industrie textile et chargée de cours à l'Université de Montréal, qui n'a pas participé à l'étude. On pourrait produire une fibre neuve, qui ne perd pas en qualité contrairement à ce qu'on observe avec le recyclage mécanique [une technique peu présente au Québec qui implique une machinerie qui déchiquette les vêtements pour en récupérer les fibres]. Certains groupes de recherche à travers le monde regardent aussi du côté

de la dépolymérisation de l'élasthanne, du nylon ou d'autres fibres plastiques, une réaction chimique complexe où l'on brise les chaînes de polymères afin de ramener ces plastiques à leur forme moléculaire la plus simple, pour ensuite les réassembler et en faire des fibres neuves. »

Pour Mme Mercier, la solution chimique représente donc la voie d'avenir, et des méthodes comme celles développées par le professeur Wang, si elles sont mises en place à plus grande échelle, pourraient permettre de régler de nombreux problèmes dans l'industrie du recyclage textile. ●

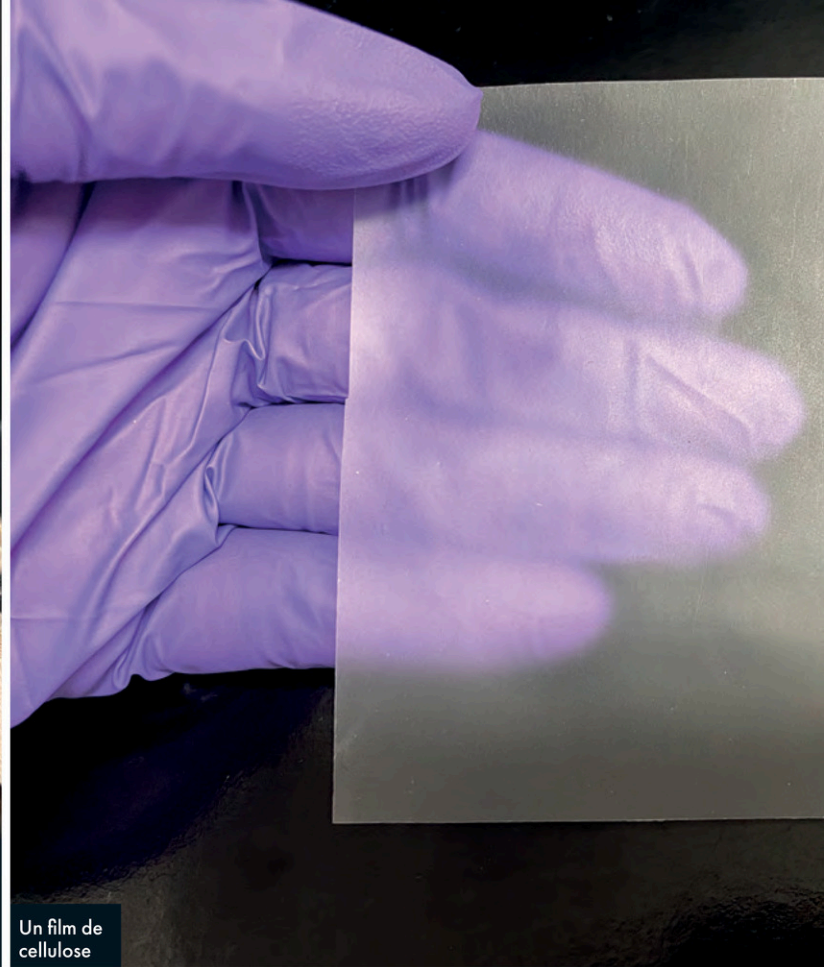
PORTRAIT ACTUEL

Recycler des vêtements relève du véritable parcours du combattant au Québec. Non seulement le nombre d'entreprises qui s'y intéressent se compte sur les doigts d'une main, mais, en plus, l'activité n'implique généralement que les vêtements de bonne qualité. « Notre système est tourné vers le réemploi et la vente du vêtement [dans des friperies, par exemple], explique Marianne-Coquelicot Mercier, conseillère en économie circulaire pour l'industrie textile. Pour les vêtements trop abîmés, il y a aussi le marché du chiffon industriel, mais il requiert des tissus avec une forte teneur en coton. Tout ça ne permet pas de traiter de gros volumes; c'est assez limité. »

Quant au recyclage dit « mécanique », il entraîne inévitablement une perte de qualité de la fibre de coton. « Le processus de défibrage casse et raccourcit un bon nombre des fibres, indique Mme Mercier. Il devient alors nécessaire de mélanger les fibres récupérées avec des fibres vierges plus longues. » De plus, une telle méthode n'est pas en mesure de traiter des vêtements renfermant une combinaison de fibres synthétiques et naturelles.



Des morceaux de coton et de polyester utilisés dans le cadre de l'expérience



Un film de cellulose

VÉLO QUÉBEC VOYAGES

Découvrez le monde à vélo
Vous roulez, on s'occupe du reste!

photo : Diane Dufresne et Yvan Monette



Vélo Québec Voyages

Profitez d'un encadrement attentif, incluant le soutien mécanique et la présence d'un guide.



Événement

Faites partie d'un grand rassemblement cycliste tel que la Petite Aventure et le Grand Tour.



En liberté

Choisissez votre date de départ parmi plusieurs destinations. Formule pour cyclistes autonomes!



Groupe sur mesure

Roulez avec les vôtres! Décidez de la date, de la destination et de la durée.

RÉSERVEZ MAINTENANT!
veloquebecvoyages.com

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



Vélo Québec
VOYAGES

Titulaire d'un permis du Québec

UNE MOISSON DE DONNÉES



Capteurs, drones, images satellites : l'agriculture est en passe de devenir une science des données. De quoi assurer un meilleur rendement et des pratiques plus durables ? **PAR MARINE CORNIOU**

PHOTOS : DONALD ROBITAILLE

a main en visière pour se protéger du soleil d'été, Philippe La Roche Audette cherche au loin une « grosse mouche » au-dessus de son champ. L'insecte en question n'a rien d'un ravageur : il s'agit en fait d'un petit drone à quatre hélices qui survole en toute autonomie les jeunes plants de haricots.

Équipé d'une caméra, cet « employé » discipliné d'Agri-Fusion, la ferme biologique la plus importante du Québec, repère en quelques minutes les espacements entre les plants et détecte les zones de faible densité. « Avant qu'on ait le drone, le comptage se faisait à pied », souligne le directeur recherche et développement d'Agri-Fusion. À ses côtés, Cyrille Tremblay, le technologue qui supervise l'opération ce jour-là, suit le déroulement

du vol et consulte les résultats de l'analyse sur sa tablette. « Cela nous permet d'estimer le rendement, voire de refaire des semis. On gagne environ 90 % de temps », se réjouit-il.

Le drone, qui revient de lui-même aux pieds des deux hommes à la fin de sa mission, est une nouvelle acquisition. Mais il n'est pas le seul joujou connecté d'Agri-Fusion, qui possède 3 000 hectares de parcelles maraîchères et céréalières dans la région de Saint-Polycarpe. En fait, l'entreprise est entrée de plain-pied dans ce qu'on appelle l'« agriculture 4.0 ». Sur ses terres, on parle autant de mauvaises herbes et de fumier que de données massives, d'algorithmes et d'intelligence artificielle (IA).

Les promesses de cette agriculture de haute technologie sont nombreuses : meilleur dosage des engrais et des pesticides, gestion de l'eau plus rigoureuse, traitement plus rapide des maladies, optimisation du calendrier des semis, compensation de la pénurie de main-d'œuvre, réduction de la pénibilité du travail et, bien sûr, augmentation des rendements. De jeunes entreprises d'« agritech » poussent d'ailleurs comme des champignons partout dans le monde, tandis que les Google, Microsoft, Monsanto-Bayer et autres John Deere investissent abondamment dans des systèmes agricoles intelligents. La croissance est fulgurante : le marché de l'IA en agriculture atteindra près de 4 milliards de dollars américains en 2026, contre 1 milliard en 2020,

Cyrille Tremblay,
technologue
agricole, relève la
densité de plants
sur des parcelles
d'Agri-Fusion grâce
à un drone.



UN COUP DE MAIN... ROBOTIQUE

La haute technologie en agriculture n'est pas qu'affaire d'algorithmes et de données : les robots se multiplient sur les fermes.

Dans une des parcelles d'Agri-Fusion, le jour de la visite de Québec Science, un tracteur tirant un désherbeur mécanique (qui sarcle le sol et arrache les mauvaises herbes grâce à des fêtes rotatives) ratissait le champ avec une précision chirurgicale, grâce à ses caméras embarquées. Une prochaine version utilisera la vision par ordinateur pour identifier les mauvaises herbes et les tuer par électrification, espère l'équipe d'Agri-Fusion.

Durant l'été, de gros drones ont aussi survolé les champs de maïs sucré pour larguer de minuscules larves de trichogramme, un insecte qui lutte naturellement contre la pyrale du maïs, un ravageur.

« La robotisation et l'automatisation sont un passage obligatoire si on veut pérenniser nos entreprises agricoles », assure Martin Caron, de l'UPA, qui constate année après année la pénurie de main-d'œuvre.

D'abord mises au point pour l'élevage (les robots de traite, notamment), les machines sont de plus en plus précises, légères et fiables. De quoi atteindre des zones difficiles d'accès, déceler des maladies, pulvériser des microdoses de pesticides et limiter le compactage des sols.

Prochaine étape, loin d'être gagnée : la robotisation de la délicate récolte de fruits, comme les raisins, les pommes ou les fraises. Certains vergers sont réorganisés pour que les fruits poussent sur un plan vertical. De nombreux prototypes plus ou moins aboutis utilisant l'aspiration, la cassure de la tige ou des pinces cousinées sont testés de par le monde, mais la main humaine reste pour l'instant l'outil le plus efficace (et le moins cher) pour attraper un fruit mûr sans le broyer.

Certaines entreprises commencent toutefois à faire leurs preuves. Ainsi, la britannique Fieldwork Robotics a mis au point un robot récolteur de framboises doté de quatre bras. Celui-ci va pour l'instant cinq fois moins vite qu'un humain – mais il prouve que la mission n'est pas impossible.

selon la firme d'analyse Facts & Factors.

Si les robots, comme ce drone d'Agri-Fusion, sont de précieux alliés (voir l'encadré ci-contre), le principal outil de ces fermes nouveau genre est plus immatériel : c'est la donnée, « la raison d'être de l'IA », insiste Philippe La Roche Audette. Des moissons de données, en fait, qui proviennent de tout un réseau de satellites, d'avions et de drones, de capteurs en plein champ, en serre ou sur les animaux et de la machinerie agricole connectée.

Véritable ferme expérimentale, Agri-Fusion s'est tournée en 2018 vers l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et vers l'entreprise Agrisoft, spécialisée dans la transformation numérique des opérations agricoles, pour « valoriser les données accumulées sur les 20 dernières années, qui dormaient sur les étagères », poursuit notre guide, fils du propriétaire de l'exploitation. « On avait beaucoup d'équipements de haute technologie, mais les données ne se parlaient pas entre elles. Nos tracteurs ou nos moissonneuses-batteuses, par exemple, collectent automatiquement des mesures sur le rendement. Et on avait d'autres données, saisies manuellement ou dans des fichiers Excel : les variétés semées, la quantité de fumier, la fréquence de désherbage, la température du sol, l'humidité, etc. »

De cette collaboration unique est né le projet de recherche DataBio, dont l'objectif est de passer au crible cette mine d'informations afin d'améliorer les pratiques agricoles. Et de propulser la ferme le plus vite possible dans l'ère de l'agriculture « prédictive », grâce à l'apprentissage automatique. En se nourrissant des informations historiques, de paramètres recueillis en temps réel et de prévisions météo, les algorithmes d'IA passent tout à la moulinette, apprennent et génèrent des conseils agronomiques sur mesure. Quand semer ? Récolter ? Désherber ? « Mon rêve, reprend Philippe La Roche Audette en arpasant les bureaux d'Agri-Fusion, c'est d'avoir une salle de contrôle remplie d'écrans où je pourrais suivre tout ce qui se passe sur l'exploitation. »

C'est aussi l'image que Thierry Warin se fait de l'agriculture de demain. « Ce n'est plus de la science-fiction, la technologie est là. C'est un changement incroyable de paradigme », affirme le professeur à HEC

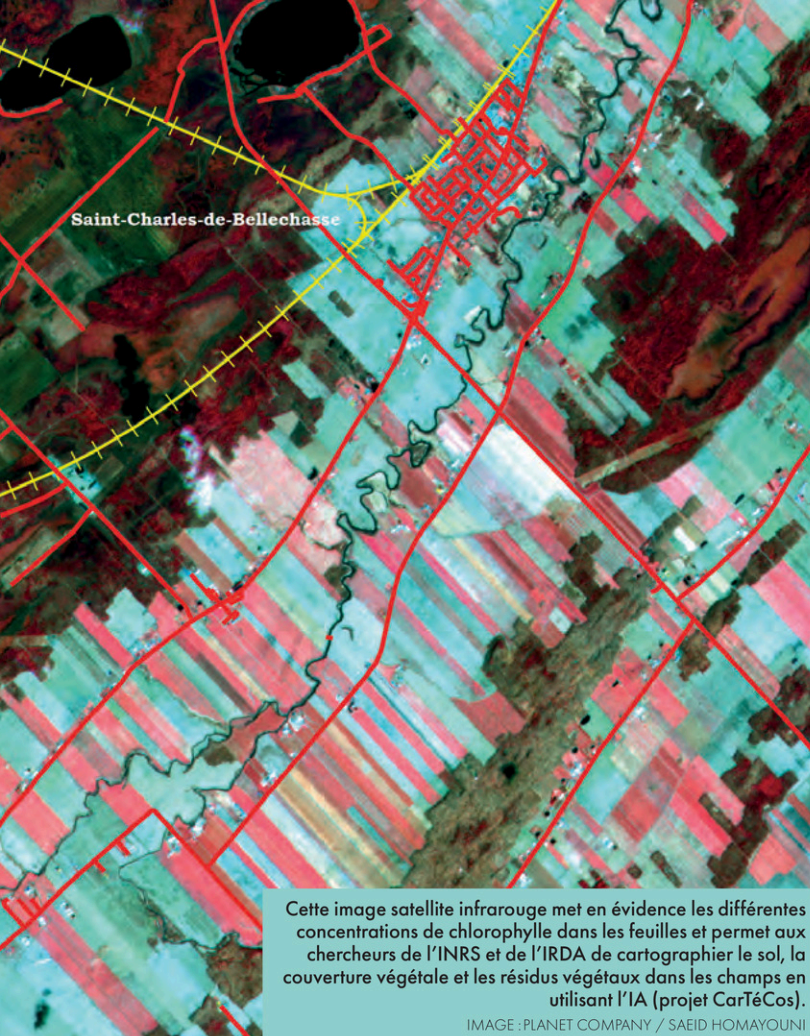
Montréal et spécialiste de la science des données. En 2020, il a cosigné avec le Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO) un rapport sur les enjeux du numérique dans le secteur agricole québécois. Basé en partie sur une enquête menée auprès de producteurs et productrices, il se révèle le seul portrait disponible sur le sujet – le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec nous ayant dirigés vers ce rapport pour trouver réponse à nos questions. Si certains domaines, comme l'industrie laitière ou la culture en serre, ont déjà amorcé le virage vers la numérisation, la province accuse, globalement, un retard comparativement à d'autres régions, comme les États-Unis et l'Europe, indique ce rapport.

DOUBLE DÉFI

La numérisation du secteur apparaît comme un passage obligé. À la fois grande victime des changements climatiques et grande contributrice au phénomène, l'agriculture n'a d'autre choix que de se transformer si elle veut pouvoir nourrir les 9,6 milliards de bouches qu'il devrait y avoir sur Terre en 2050 (contre près de 8 milliards en 2022).

Il faudra « accroître la productivité agricole moyenne de 28 % dans les 10 prochaines années pour atteindre à l'échelle planétaire l'Objectif de développement durable Faim zéro », souligne un récent rapport conjoint de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Or les activités agricoles sont déjà responsables d'environ 30 % des émissions totales de gaz à effet de serre, principalement en raison de l'élevage intensif et de l'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides.

En théorie, l'agriculture de « précision » portée par l'essor des mégadonnées est la voie à prendre pour relever ce double défi. « Tout repose sur le principe suivant : utiliser la bonne source de nutriments ou de pesticides, à la bonne dose, au bon moment et au bon endroit », résume Saeid Homayouni, spécialiste en télédétection et géomatique environnementale à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS). Il utilise l'imagerie infrarouge ou en lumière



Saint-Charles-de-Bellechasse

Cette image satellite infrarouge met en évidence les différentes concentrations de chlorophylle dans les feuilles et permet aux chercheurs de l'INRS et de l'IRDA de cartographier le sol, la couverture végétale et les résidus végétaux dans les champs en utilisant l'IA (projet CarTéCos).

IMAGE : PLANET COMPANY / SAEID HOMAYOUNI

L'agriculture connectée a émergé dans les années 1990, avec les premiers tracteurs équipés de GPS. Mais l'essor des mégadonnées lui donne un nouveau souffle, que Philippe La Roche Audette embrasse pleinement.



Ce désherbeur d'Agri-Fusion pourra un jour utiliser la vision par ordinateur pour identifier les mauvaises herbes. Pour l'instant, sa caméra lui permet d'ajuster sa trajectoire au centimètre près.



PHOTOS : DONALD ROBAILLE

visible, réalisée par drone ou par satellite et combinée à des images satellites radar, pour suivre l'état de santé de la végétation, qu'assément plant par plant.

Avec des collègues de l'INRS et de l'Université McGill, le chercheur forme une trentaine de fermes canadiennes à utiliser des drones pour prédire la productivité des cultures de luzerne. « Les agriculteurs téléversent leurs images dans une plateforme infonuagique. En les combinant avec la télédétection et la météorologie, nous pouvons modéliser le rendement, donner des conseils : à tel endroit, vous avez des parasites ou un stress hydrique. L'objectif ultime, c'est d'aller vers l'agriculture durable, avec des cartes au centimètre près. Ça va se démocratiser, car beaucoup de données sont disponibles gratuitement. »

Le chercheur valide notamment un modèle qui aidera à estimer le pourcentage de résidus végétaux recouvrant les champs avant l'hiver (une pratique qui protège les sols), à partir des seules données satellites gratuites. Il tente également de mettre au point des outils gratuits, alors que les applications disponibles à ce jour peuvent coûter plusieurs centaines de dollars par année.

DES DONNÉES TOUS AZIMUTS

Même en dehors des projets de recherche, les données fleurissent aux champs. En plus des sites internet publics, la plupart des agriculteurs et agricultrices disposent de leurs propres stations météo. Les quantités de pesticides épandus et d'eau utilisée de même que les rendements sont déjà, en général, consignés dans des bases de données par les technologues ou les agronomes, notamment car elles sont exigées à des fins de contrôle par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Quant aux tracteurs, ils sont désormais de vrais ordinateurs sur roues, bourrés de capteurs. « Le problème, c'est que les logiciels et les systèmes sont très hétérogènes. John Deere n'a pas les mêmes standards que d'autres équipementiers, par exemple. Un de nos défis est de faire une application qui va connecter toutes les sources sans que l'agriculteur ait besoin de faire des lignes de code », indique Pierre

Otis, cofondateur d'Agrisoft et partenaire du projet DataBio.

Autre défi : se concentrer sur les informations réellement pertinentes. « Si on mesure les mauvaises herbes, est-ce qu'on doit noter leur densité, leur distribution ? Cueillir la donnée, c'est beau, mais il faut avoir des protocoles », ajoute-t-il. Dans le cadre du projet DataBio, l'IRDA se penche justement sur cette question. « Collecter les données demande du temps, cela a un coût d'entreposage, de traitement. Donc on veut identifier les variables importantes et développer des protocoles de collecte standardisés dès le départ, pour que cela ne devienne pas un fardeau pour les producteurs », ajoute Caroline Côté, chercheuse et coordonnatrice aux partenariats et à l'innovation à l'IRDA.

À l'automne, le projet accouchera de son premier outil d'aide à la décision, généré par l'apprentissage automatique. Le modèle déterminera la date idéale de semis en se basant sur quelques variables comme le type de sol, la variété et la température. « Qu'est-ce que ça va donner ? On ne le sait pas exactement. Une des premières retombées de cette démarche est d'encourager les producteurs à analyser leurs processus, à les normaliser. C'est un premier pas vers l'optimisation », reprend Pierre Otis.

Mais tous les membres du projet le concèdent : rendre l'IA performante sur le terrain agricole est un travail de longue haleine. Ils espèrent rallier peu à peu d'autres fermes. « On va sortir une ébauche de plateforme pour permettre à d'autres agriculteurs de contribuer à améliorer les prédictions en mettant leurs données à la disposition des chercheurs », ajoute Pierre Otis. Le but est que la technologie ne soit pas réservée à l'agriculture et à l'élevage intensifs, mais puisse aussi bénéficier aux petites exploitations et à l'agroécologie. D'autant que, pour que l'apprentissage automatique soit pertinent, il faut que les bases de données couvrent le plus de conditions et de territoire possible.

Passer des « petites » données récoltées par chaque ferme à des données massives, agrégées et puissantes est un pas difficile à franchir. En Amérique du Nord comme en

Europe, les gouvernements investissent des millions pour y parvenir, une tendance à laquelle n'échappe pas le Québec avec son Plan d'agriculture durable 2020-2030. À ce jour, toutefois, il ne se passe pas grand-chose de concret, déplore Martin Caron, le président de l'Union des producteurs agricoles du Québec, alors que les données recueillies de manière routinière pourraient déjà être exploitées. « Il faut que les indicateurs exigés par l'État soient aussi des outils qui m'aident dans ma gestion. Pour l'instant, les données sur l'eau ou les pesticides que j'envoie aux ministères sont utilisées pour le côté réglementaire, mais rien de tout ça ne m'est utile pour la gestion de mon entreprise. On ne me dit pas quelles actions mettre en place pour être plus efficace sur les ravageurs ou dans l'utilisation des pesticides. »

À QUI LES RICHESSES ?

Ces investissements massifs sont-ils justifiés ? Certains y voient un engouement prématuré, voire un techno-optimisme aveugle. « Il y a un activisme politique fort sur cette question, avec une croyance partagée par les pouvoirs publics et privés que l'agriculture doit s'appuyer sur des données. Or, pour l'instant, l'agriculture ne produit pas tant de données, comparativement à d'autres secteurs. Et tout est très éparpillé », avance Baptiste Kotras, sociologue du numérique à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, en France.

Il commence ses recherches sur le sujet, mais dresse déjà quelques constats. « Les promoteurs de ces technologies et leurs détracteurs s'entendent paradoxalement pour dire que les données agricoles sont une nouvelle forme de capital. Or la sociologie montre que c'est un casse-tête technique, politique et professionnel de mettre tout ça en lien et d'en faire quelque chose d'intelligible. »

Se pose aussi la question de la souveraineté de l'information, alors que des géants des technologies et de l'agriculture font déjà partie de l'équation. À titre d'exemple, le nombre de spécialistes en science des données embauchés par Monsanto est

passé de 200 en 2017 à 500 en 2020. Quant à Climate FieldView, la plateforme numérique de Bayer, elle est utilisée par des agriculteurs et agricultrices dans 20 pays et couvre déjà 60 millions d'hectares. Le risque est que le milieu agricole devienne encore plus tributaire de ces entreprises. « La donnée devrait appartenir au producteur. Mais quand un fermier achète un équipement, c'est l'équipementier qui collige l'information et la lui transmet, sous forme agrégée. Or, pour faire de l'IA, on a besoin des détails », déplore en outre Pierre Otis.

Philippe La Roche Audette, un touche-à-tout qui « codait un jeu du pendu tout seul dans son coin à huit ans », est bien conscient de l'enjeu. Il veut d'ailleurs développer son propre logiciel pour compter les plants avec son drone plutôt que de dépendre d'un fournisseur. Des réflexions sont en cours, au Canada comme ailleurs, pour que les données puissent être détenues par des coopératives agricoles plutôt que par le secteur privé.

« Il existe un besoin urgent de gouvernance des données, en ce qui concerne la protection de la vie privée, la propriété et la compensation des agriculteurs lorsque les entreprises utilisent leurs données de terrain pour améliorer les performances des technologies du secteur privé », avertissaient des chercheurs de l'Université de Guelph, dans un article paru fin 2021 dans la revue canadienne en accès libre *FACETS*.

Autre écueil : le risque de creuser le fossé entre petites et grandes exploitations, entre pays pauvres et riches, entre zones connectées et déserts numériques. Dans l'enquête du CIRANO, près de 20 % des entreprises agricoles québécoises disaient rencontrer de graves problèmes de connexion. Dans un document publié en février 2022, la Commission de l'éthique en science et en technologie du Québec notait que la fracture numérique renvoie « à l'écart entre, d'un côté, les entreprises de l'agronumerique qui possèdent les technologies et les données numériques et qui ont l'expertise pour interpréter les résultats et, de l'autre côté, ceux qui n'ont pas accès au traitement des données, en l'occurrence les agriculteurs [...] ».

Ces enjeux d'éthique et d'autonomie ne sont pas les seules ombres au tableau. Le virage numérique permettra-t-il vraiment à l'agriculture d'être plus efficace ? Plus écologique ? D'autant que son coût intrinsèque pour l'environnement (fabrication des capteurs, stockage des données, etc.) n'est pas chiffré... Permettra-t-il aux producteurs et productrices de gagner en qualité de vie ? « On ne le sait pas encore », admet Sophie Rochefort, directrice adjointe à la protection des ressources à l'IRDA.

Très peu d'études existent sur le sujet. Il y en a bien une, parue au début de 2022, qui a estimé que l'adoption de technologies numériques permettait de réduire de 7 % l'utilisation d'engrais, de 9 % celle d'herbicides, de 4 % la quantité d'eau... Sauf que l'étude en question a été menée par l'Association américaine des manufacturiers d'équipements, l'Association américaine du soya, CropLife America et l'Association américaine des producteurs de maïs. Un léger parti pris, disons...

EFFET À PROUVER

Une revue de la littérature sur les retombées concrètes de l'agriculture numérique est à l'étape de finalisation à l'Université d'Ottawa. Kelly Bronson, titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur la science et la société, et son équipe ont trouvé 142 études quantifiant l'impact de ces pratiques. Bilan ? « Seuls 11 articles montrent un effet positif, révèle la chercheuse. Nos conclusions, c'est d'abord qu'il y a très peu de données sur le sujet. Ce n'est pas forcément une mauvaise approche, mais il faut absolument faire davantage de recherche. Le deuxième constat, choquant, c'est qu'il y a beaucoup de *greenwashing* de la part de l'industrie, mais aussi de la part des universitaires. Tous les articles scientifiques sur le sujet partent de la prémisse que l'agriculture de précision permet d'adopter des pratiques plus durables, sans la remettre en question ! » Et sans la prouver, donc.

L'équipe de l'Université de Guelph concluait la même chose dans son article de 2021, après une revue moins exhaustive :

les technologies « n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiquement fondées qui permettraient d'estimer leur impact sur l'environnement ». Pire, ajoutent les auteurs, l'utilisation de ces outils « pourrait être motivée par la maximisation des profits plus que par leurs bienfaits pour l'environnement ; par conséquent, l'intensification de l'agriculture grâce au numérique pourrait exacerber l'expansion [des terres agricoles] plutôt que de protéger les écosystèmes ».

L'une des auteures, Emily Duncan, le dit sans détour : pour l'instant, le potentiel de ces technologies est surestimé. La géographe, en mission de terrain au Ghana, fait l'hypothèse que le numérique sera peut-être plus transformateur dans un contexte d'agriculture peu industrialisée. « Au Canada, les jeux de données générés par ces technologies risquent plutôt d'être utilisés comme données d'entraînement pour développer l'IA dans d'autres industries ou comme moyen de surveillance par ceux qui investissent dans les terres agricoles », dit-elle.

Impossible, en effet, de dissocier agriculture et économie. « L'agriculture 4.0, c'est la valorisation des données, mais c'est surtout un modèle économique qui est en train de changer, comme en finances, en santé et dans l'industrie automobile, où les données massives ont déjà fait leur entrée », analyse Thierry Warin.

Comme dans tous les domaines, les données ne sont que des outils, et non une fin en soi. Leur potentiel dépendra surtout des cibles et des lois mises en place par les gouvernements pour réduire l'empreinte environnementale de l'agriculture.

Chez Agri-Fusion, où les pesticides sont déjà bannis, on reste toutefois convaincus que la technologie est la voie d'avenir pour les exploitations agricoles. Elle sera notamment indispensable pour faire face au défi du réchauffement. « Les changements climatiques, on les sent déjà, on les voit partout : sur les plantes, les insectes, l'apparition de maladies », témoigne Philippe La Roche Audette. Quand tout se dérègle, les algorithmes ont le mérite de garder la tête froide. Espérons qu'ils seront à la hauteur des attentes. ●



RÉINVENTER L'AVION EN PLEIN VOL

Pourrez-vous bientôt prendre l'avion sans contribuer à accélérer le réchauffement climatique ? Regagnez votre siège : les solutions explorées seront difficiles à faire atterrir dans les prochaines années.

PAR ETIENNE PLAMONDON EMOND



Deux appareils d'Airbus se tenant à 3 km de distance durant le trajet entre Montréal et Toulouse pour profiter du sillage et de l'effet d'aspiration

Coués au sol durant les premiers mois de la pandémie, les avions reprennent désormais leur vitesse de croisière dans le ciel.

Alors que la planète a grandement besoin que nous réduisions nos émissions de gaz à effet de serre, ce retour à la « normale » est-il vraiment souhaitable ? Les voyages par avion représentent 4,5 milliards de passagers et de passagères par année, selon les données de 2019. Cette année-là, le trafic aérien avait relâché environ une gigatonne de CO₂ dans l'atmosphère, selon l'Agence internationale de l'énergie.

« Si vous prenez un seul vol long-courrier par année, vous augmentez considérablement votre empreinte carbone », observe Seth Wynes, postdoctorant au Département de géographie, d'urbanisme et d'environnement de l'Université Concordia.

En 2017, il avait comparé les manières de réduire, sur une base individuelle, ses émissions de gaz à effet de serre (GES), des travaux parus dans *Environmental Research Letters*. Éviter de prendre l'avion figurait parmi les plus efficaces... tout juste derrière le fait ne pas posséder de voiture et d'avoir un enfant en moins !

La question trotte donc dans la tête de bien des voyageurs et des voyageuses : les avancées technologiques nous permettront-elles un jour de nous envoler sans mettre en péril les champs, les forêts, les océans et les glaciers contemplés par le hublot ?

Mauvaise nouvelle : « ce qui fait de l'aviation un problème fascinant, c'est à quel point elle est difficile à décarboner », prévient Seth Wynes.

Et pour compliquer les choses, sa contribution aux changements climatiques ne se résume pas à ses émissions de carbone, puisque les réacteurs rejettent d'autres

composés dans l'air : oxyde d'azote, vapeur d'eau, soufre, suie... « Ce n'est pas parce que leurs concentrations sont faibles qu'ils ne peuvent pas avoir des effets importants », insiste François Garnier, professeur de l'École de technologie supérieure (ÉTS), dont les travaux consistent à mieux comprendre la formation de ces particules dans les propulseurs.

Une fois relâchés en haute troposphère ou en basse stratosphère, ces aérosols interagissent avec l'air et entraînent des réactions complexes. En interaction avec l'oxygène et les rayons solaires, l'oxyde d'azote crée de l'ozone, un gaz à effet de serre. Quant à la vapeur d'eau et à la suie, elles génèrent dans certaines conditions météorologiques une traînée de condensation capturant les infrarouges provenant de la Terre. Résultat : une étude, parue en 2020 dans *Atmospheric Environment*, évalue qu'en prenant en compte ces phénomènes et d'autres, l'aviation réchauffe en fait le climat trois fois plus que ce qui est estimé quand on calcule seulement ses émissions de CO₂ !

L'industrie cherche donc des moyens pour limiter l'ensemble de ces conséquences. Et les gouvernements la soutiennent. Le président français, Emmanuel Macron, a par exemple promis un investissement de 1,5 milliard d'euros (2 milliards de dollars canadiens) entre 2020 et 2022 pour la conception d'un avion « bas carbone » d'ici 2030. Aux États-Unis, le gouvernement Biden a annoncé un financement de 4,3 milliards de dollars américains consacré aux carburants plus propres. Chez nous, depuis 2010, le gouvernement du Québec a déboursé près de 135 millions pour rendre les avions plus écologiques.

Les technologies subventionnées se révèlent-elles prometteuses ou sont-elles vaines ? Présentez-vous à la porte d'embarquement pour un survol des solutions actuellement explorées.



PORTE 1 | L'EMBARQUEMENT
RECOURIR À DE NOUVEAUX
CARBURANTS

Avant l'embarquement, on a généralement droit au spectacle du ravitaillement de l'avion dans lequel on s'apprête à monter. Justement, le secteur mise gros sur le recours à de nouveaux carburants au moment de remplir les réservoirs.

Depuis peu, l'industrie s'intéresse à ce qu'on appelle les « carburants d'aviation durable ». Leur viscosité et leur densité énergétique s'avèrent quasi identiques à celles du kérosène conventionnel. Cependant, certains d'entre eux (les biocarburants) sont plutôt conçus à partir de biomasses agricoles ou forestières, d'algues, d'huile de cuisson ou de graisse animale. D'autres sont carrément des produits de synthèse, comme les « électrocarburants », fabriqués à l'aide d'électricité, d'eau et de CO₂.

Comme aucune ressource fossile n'est extraite pour leur production, les émissions de CO₂ qui leur sont associées sont moindres si l'on effectue une analyse de cycle de vie.

Autre atout : ils contiennent moins de soufre et de composés aromatiques précurseurs de particules comme la suie, favorable à la formation de traînées de condensation. Plusieurs expériences, dont certaines menées par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), ont détecté une plus faible concentration de ces aérosols à la queue d'avions alimentés par ces carburants. « C'est très difficile à mesurer en vol et il y a beaucoup d'incertitude », nuance toutefois Pervez Canteenwalla, chef du programme Aviation à faible émission au CNRC.

Si des compagnies aériennes, dont Air Canada et Air France, ont publicisé certains vols effectués avec ces carburants de nouvelle génération, leur production actuelle ne pourrait combler que 0,05% des besoins.

Qu'à cela ne tienne, l'Union européenne a adopté un règlement en juillet 2022 pour qu'ils représentent 6 % du ravitaillement dans ses aéroports en 2030. Comme les carburants de synthèse demandent encore beaucoup de recherche et de développement, « une cible plus haute nécessiterait de se rabattre sur les biocarburants », met en garde Nikita Pavlenko, expert en la matière pour l'International Council on

Clean Transportation (ICCT), un organisme indépendant publiant des avis techniques et scientifiques. « Cela exigerait l'exploitation de plus de terres agricoles et contribuerait à la déforestation. Dans certains cas, les émissions de GES pourraient devenir pires qu'avec l'utilisation du pétrole. »

Après un passage à l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), Alexandru Iordan a réalisé le même constat en effectuant des projections sur la demande anticipée en biocarburant en tant que directeur principal au Groupe Conseil Carbone.

« J'étais choqué », raconte-t-il. C'est ce qui l'a motivé à se lancer dans la production d'un électrocarburant. En 2018, il a cofondé le Consortium SAF+ et réuni autour de ce projet des partenaires comme Aéroports de Montréal, Air Transat et Polytechnique Montréal.

Dans son usine pilote de Montréal-Est, il récupère d'abord le CO₂ relâché par la cheminée de l'usine d'hydrocarbures voisine. Son procédé dissocie le carbone de l'oxygène, pour ensuite le mélanger à de l'hydrogène produit grâce à l'électrolyse de l'eau. Le gaz de synthèse obtenu est alors passé dans un réacteur pour en tirer un carburant liquide.

L'AVENIR SERAIT-IL ÉCRIT DANS L'HYDROGÈNE ?

Si ces nouveaux carburants dits « durables » sont intéressants, « on pense que ce ne sera pas suffisant », lance Stéphane Azam, gestionnaire du programme Zéro émission chez Airbus. L'avionneur français s'est donc donné une cible plus ambitieuse : mettre en service d'ici 2035 un avion de 100 à 200 sièges propulsé à l'hydrogène.

Les trois aéronefs considérés pourront parcourir de 1 800 à 3 700 kilomètres, soit au mieux la distance entre Montréal et Vancouver. Deux systèmes demeurent à l'étude. L'un consiste à injecter l'hydrogène

dans une chambre à combustion, comme on le fait avec le kérosène. L'autre s'articule autour de piles à combustible, qui convertiraient l'hydrogène en énergie électrique.

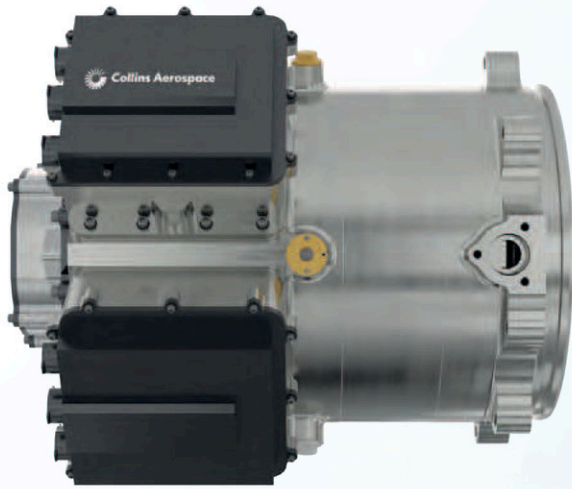
Chose certaine, cet avion n'émettra aucun carbone en vol. La chambre à combustion peut toutefois générer des oxydes d'azote. L'eau, qui constituera le principal rejet, risque quant à elle de toujours former des traînées de condensation.

Un banc d'essai prévu d'ici 2026 mettra les choses au clair. Un moteur à combustion d'hydrogène sera installé sur une poutre à l'arrière d'un Airbus A380 pour voir ce qui en sera évacué, et des réservoirs et un système de distribution à l'intérieur d'un appareil seront aussi testés.

Les défis techniques, en effet, ne manquent pas. Trois fois plus léger que le kérosène, l'hydrogène prend cependant quatre fois plus de volume pour fournir la même énergie. Et ça, c'est lorsqu'on le maintient sous forme liquide, état dans lequel il occupe le moins d'espace. Pour y arriver, il faut le conserver à des températures sous -253 °C, ce qui exige des réservoirs mieux isolés et un stockage cryogénique dans les aéroports.

Autre souci : la vaste majorité de l'hydrogène reste produite à partir d'hydrocarbures. Stéphane Azam assure qu'Airbus discute déjà avec des fournisseurs pour obtenir suffisamment d'hydrogène dit « vert », c'est-à-dire fabriqué à partir d'eau et d'électricité de source renouvelable.

Les besoins en énergie s'annoncent néanmoins colossaux. Dans un document publié en 2020, l'ICCT estime que la demande d'énergie pour produire les biocarburants, les électrocarburants et l'hydrogène nécessaires à l'alimentation de la flotte aérienne mondiale en 2050 équivaldra à toute l'électricité générée par des sources renouvelables en 2019 ! Ce qui soulève une question : pourquoi ne pas tout simplement électrifier les avions ?



Le moteur électrique d'un mégawatt de Pratt & Whitney

PORTE 2 | LE DÉCOLLAGE ÉLECTRIFIER LA PROPULSION

Le corps qui s'enfonce dans le siège, la piste qui défile à toute vitesse par le hublot, les oreilles qui se « bouchent » et l'horizon qui disparaît sous les nuages : l'envol pourrait bientôt être propulsé à l'aide de l'électricité.

Le motoriste Pratt & Whitney Canada, installé à Longueuil, travaille à la démonstration d'ici 2024 d'un système combinant un moteur à combustion avec un moteur électrique d'un mégawatt. Ce dernier sera essentiellement sollicité lors du décollage et de la montée.

Les gouvernements provincial et fédéral ont investi plus de 78 millions de dollars dans ce projet. L'entreprise ne renonce pas à l'idée d'intégrer ce système hybride électrique à des avions transportant de 100 à 200 personnes, mais elle vise d'abord à prouver son efficacité sur un avion régional à turbopropulseur de 35 à 40 sièges. C'est dans ce genre d'appareil que cette technologie promet les gains les plus substantiels avec une baisse de 30% des émissions de CO₂.

« L'équipement électrique est très léger, petit, compact et efficace pour la puissance qu'il peut livrer, affirme Jean Thomassin, directeur général, nouveaux produits et services chez Pratt & Whitney Canada. Le gros défi réside dans la densité d'énergie des batteries. » Celles utilisées dans ce projet

posséderont la capacité de deux à quatre véhicules électriques de taille normale. Reste qu'elles demeureront extrêmement lourdes. Un détail loin d'être anodin quand il faut défier la gravité!

David Rancourt, professeur en génie mécanique à l'Université de Sherbrooke, a analysé par le passé d'autres systèmes hybrides pour Pratt & Whitney Canada. S'il juge que « tout le monde apprendra de l'expérience » actuelle du motoriste, il modère les attentes. « Pour tout trajet dépassant 500 kilomètres avec les technologies d'aujourd'hui et des 10 prochaines années, si je mets une batterie à bord, elle augmente en fait la consommation d'essence » en raison de son poids.

Quant à l'électrification complète des moteurs d'avion à grande échelle, « on ne verra pas ça de notre vivant », avertit-il. « S'il fallait qu'un Boeing 787 soit électrique, la puissance au décollage équivaldrait à celle fournie au complet [dans le même intervalle de temps] par Hydro-Sherbrooke », un réseau qui dessert près de 90 000 clients et clientes!

PORTE 3 | EN PLEIN VOL
REDESSINER LES AVIONS
ET LEURS TRAJETS

Dans le ciel, les déplacements de l'air jouent parfois les trouble-fêtes. Ils peuvent donner la frousse en cabine – bonjour, les turbulences ! – ou souffler des vents contraires demandant à l'avion une grande poussée.

Afin d'éviter ces mauvaises conditions, Ruxandra Botez, directrice du Laboratoire de recherche en commande active, avionique et aéroélasticité à l'ÉTS, développe à l'aide de simulateurs de vol des algorithmes pour trouver les trajectoires les plus favorables. « Nous pensons qu'on peut ainsi diminuer jusqu'à 10 % la consommation de carburant », souligne la chercheuse, qui souhaite voir ces algorithmes intégrés à des logiciels de navigation embarqués dans la cabine de pilotage.

Volker Grewe, du Centre aérospatial allemand, suggère quant à lui d'éviter les zones très froides et humides propices à la formation de traînées de condensation. Selon ses simulations publiées en 2017, les vols transatlantiques diminueraient de 10% leur effet sur le réchauffement climatique en les contournant.

Et tant qu'à revoir son itinéraire, pourquoi ne pas en profiter pour voyager en groupe ? Dans le sillage d'un autre avion, un appareil peut exploiter l'aspiration de celui-ci et ménager sa poussée. Volker Grewe a modélisé l'implantation de vols en formation semblable à celle des oiseaux migrateurs entre les 50 aéroports les plus achalandés du monde. Avec une telle coordination, l'incidence des avions commerciaux sur le climat serait réduite en moyenne de 24%, tandis que la consommation en carburant chuterait de 5%.

L'idée semble passer l'épreuve du réel : Airbus a chiffré les mêmes économies en kérosène lorsqu'il a fait voler, en novembre 2021, deux Airbus A350 à trois kilomètres de distance entre Toulouse et Montréal.

L'entreprise est donc inspirée par les oiseaux, mais aussi par les... raies mantas ! C'est du moins la silhouette d'une configuration fusionnant les ailes avec l'habitacle explorée par Airbus. L'avionneur n'est pas le seul à voir dans ces avions-mantas un potentiel pour l'aviation civile. La NASA a estimé que cette forme, sur laquelle travaille également Boeing, permettrait de se déplacer avec 20% de kérosène en moins.

Appelé « avion à fuselage intégré », ce concept déjà utilisé dans l'aviation militaire est en ce moment aussi étudié par Bombardier pour d'éventuels jets d'affaires.

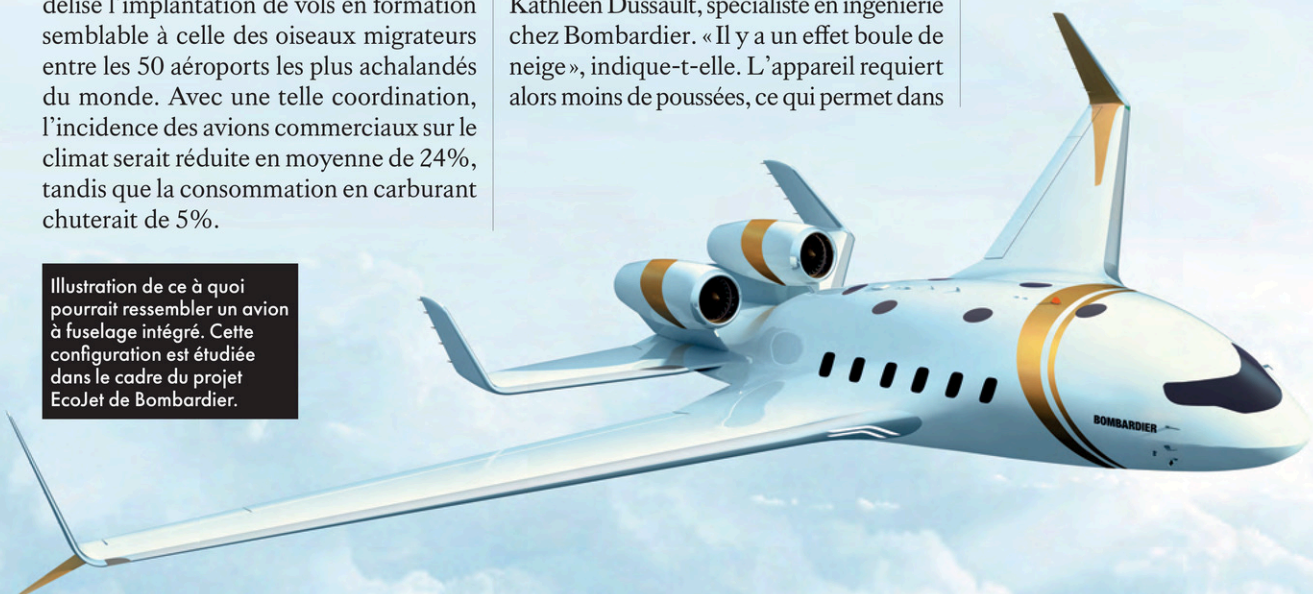
L'avantage ? Ce design pourrait optimiser la portance et mieux déjouer la force de résistance de l'air. Améliorer l'aérodynamisme des engins constitue ainsi la clé pour réduire la consommation en carburant et les émissions de GES, selon Kathleen Dussault, spécialiste en ingénierie chez Bombardier. « Il y a un effet boule de neige », indique-t-elle. L'appareil requiert alors moins de poussées, ce qui permet dans

la foulée de diminuer la taille des moteurs, donc le poids de l'avion.

Sans revoir la forme entière de l'aéronef, Ruxandra Botez s'est plutôt demandé si l'aérodynamisme pouvait s'adapter en plein vol selon les conditions rencontrées. Dans un coin de son laboratoire se dresse une partie d'aile. À l'intérieur de celle-ci, des actionneurs électriques peuvent déformer sa surface. Muni de capteurs de pression au moment d'être testé en soufflerie, le système favorisait un écoulement laminaire, soit un glissement de l'air plus ordonné.

Reste à voir si cela se traduit comme prévu en économies d'essence. « J'aimerais que ce soit testé en vol. Mais d'ici là, il reste un grand pas à franchir », admet la chercheuse. Une percée lui semble difficile à court terme, notamment pour des raisons de faisabilité manufacturière. Comme quoi les technologies doivent aussi affronter des vents contraires avant de se rendre sur le terrain.

Illustration de ce à quoi pourrait ressembler un avion à fuselage intégré. Cette configuration est étudiée dans le cadre du projet EcoJet de Bombardier.



PORTE 4 | L'ATTERRISSAGE
ATTEINDRE
LES OBJECTIFS

Rêver à des solutions, c'est bien, mais atteindront-elles leur objectif? Voici venue l'heure de redescendre sur terre.

Volker Grewe, chercheur au Centre aérospatial allemand, s'est étonné des cibles que s'est données le milieu de l'aviation, notamment par l'entremise de l'OACI, pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050. Il flairait un écart entre ces cibles et les ambitions de l'Accord de Paris.

Il a donc mis à l'épreuve la croissance anticipée du trafic aérien avec un déploiement optimiste des technologies «vertes» plausibles dans les prochaines décennies, dont l'avion à fuselage intégré et les carburants d'aviation durable. Ses projections, publiées en 2021 dans *Nature Communications*, refroidissent l'enthousiasme.

«On voit une légère augmentation des émissions de l'ensemble de la flotte aérienne à travers le temps», explique le chercheur. Trois pistes étaient toutefois absentes de son étude : l'optimisation des trajectoires de vol, l'électrification et l'avion à hydrogène.

Reste que, tant dans la conception de nouveaux carburants que dans celle de nouveaux moteurs, «il faut considérer les répercussions sur toute la chaîne d'approvisionnement : le stockage, la logistique, la production», rappelle Samira Keivanpour, professeure à Polytechnique Montréal. La chercheuse, qui étudie l'économie circulaire dans l'industrie aéronautique, se demande aussi qui payera les coûts de l'adoption de ces nouvelles technologies. Elle pressent que cela induira un nouveau modèle d'affaires des compagnies aériennes et une hausse du prix des billets.

Pour Seth Wynes, augmenter les frais constitue en fait une mesure indispensable, puisqu'«il n'y a pas de bonne solution technologique dans un avenir prévisible». Dans ce contexte, il lui apparaît juste d'imposer dès le deuxième vol d'une personne durant une année une taxe, qui augmenterait à chaque voyage supplémentaire. «Nous devons réduire de manière draconienne et urgente nos émissions. Il est donc vraiment important de regarder les façons de diminuer le plus possible la demande pour le transport aérien.»

Et pourquoi ne pas conserver nos bonnes habitudes pandémiques? Dans un article publié dans *Environmental Science & Technology* en 2021, le chercheur s'est penché sur celles du sport professionnel. Si les ligues nord-américaines continuaient de limiter le mouvement de leurs équipes comme elles l'ont fait en 2020, pour des raisons sanitaires, elles abaisseraient de 22% les émissions dues à leurs déplacements par la voie des airs. L'avenir se joue peut-être dans les avions cloués au sol. ●



Des modèles d'avions à hydrogène d'Airbus

Presses de l'Université du Québec

50 ans de savoir

POPULARISÉ DANS LES MÉDIAS

D' David FORTIN

LE CERVEAU
une galaxie dans votre tête

Tout ce que nous savons sur le cerveau, simplifié et vulgarisé

PUQ.CA

f t in

L'ARCTIQUE, NOUVEAU TERRAIN DE JEU DU CASTOR

Voilà que les castors s'établissent plus au nord, profitant d'un territoire devenu propice avec les changements climatiques. Pour le meilleur ou pour le pire ? **PAR ANNIE LABRECQUE**

Un barrage par ici, des troncs d'arbres rongés par là. Les traces du castor sont bien visibles partout où il passe. « Un seul castor peut couper en moyenne 200 arbres et arbustes par année autour de sa hutte, explique Denis Fournier, technicien en aménagement de la faune à Montréal, désormais retraité. En ville, cela provoque parfois des inondations. »

Le rongeur semi-aquatique prolifère dans les milieux humides du sud du Québec, où il se nourrit de feuillus et d'arbustes. Mais, depuis quelques années, cet ingénieur architecte étend son territoire vers le nord. *Castor canadensis* commence d'ailleurs à y façonner le paysage en modifiant la trajectoire des cours d'eau avec ses barrages.

Des découvertes récentes témoignent de cette conquête. Dans un article paru dans *Scientific Reports*, le biologiste de la faune Ken Tape, de l'Université de l'Alaska de Fairbanks, et des collègues ont examiné des photos aériennes et des images satel-

lites couvrant la période allant de 1959 à 2019 pour constater l'avancée du castor dans la toundra arctique de l'Alaska. Ils ont trouvé un peu plus de 11 000 barrages au total ! Les premiers signes d'établissement remonteraient aux années 1980. Et la tendance s'accélère : le nombre de barrages aurait plus que doublé au cours des 20 dernières années, tant et si bien que Ken Tape considère le castor comme un animal arctique au même titre que l'ours polaire et le caribou.

Plusieurs éléments expliqueraient la présence étendue de ces rongeurs, les changements climatiques en tête de liste. Si les castors sont friands de peuplier faux-tremble, de saule et d'aulne, ils peuvent également se contenter des arbustes qui poussent en Arctique et qui sont de plus en plus nombreux en raison du dégel du pergélisol et de l'expansion de la végétation arbustive.

Dire que l'espèce a frôlé l'extinction au 19^e siècle, alors que sa peau était au cœur de la traite des fourrures ! « Les castors ont été traqués presque jusqu'à l'extinction et leur population est en train de se rétablir »,

rappelle Ken Tape. Et de s'étendre !

Comme il s'agit d'un animal territorial, qui ne supporte pas la présence d'autres colonies, le castor peut parcourir de grandes distances pour s'installer dans des régions où il est le seul de son espèce.

INGÉNIEUR ENVIRONNEMENTAL

Mis à part l'humain, le castor est le seul animal qui peut façonner son environnement à une grande échelle. Quand le rongeur construit un barrage, celui-ci provoque l'inondation des terres aux alentours et favorise l'implantation de milieux humides qui attirent faune et flore. « Lorsque le castor s'installe à un endroit, il crée un milieu extrêmement riche en biodiversité », souligne Denis Fournier, en parlant du sud du Québec.

C'est ce qui s'est produit dans des champs abandonnés de L'Île-Bizard, qui se sont transformés en un grand parc-nature prisé par les ornithologues. « De nombreuses espèces d'oiseaux aquatiques viennent désormais nicher, s'alimenter et faire des pauses migratoires à cet endroit », observe Denis Fournier. Ce milieu humide profite aussi aux plantes, aux poissons et aux invertébrés.

Mais s'agit-il d'une bonne nouvelle pour les régions nordiques ? « Si vous aimiez l'Arctique tel qu'il était auparavant, la perspective n'est pas très bonne, dit Ken Tape. Mais ce "nouvel" Arctique, au climat potentiellement plus chaud, pourrait être profitable pour plusieurs espèces. »

PISTER LES CASTORS

L'effet environnemental des castors sur la toundra reste toutefois méconnu. « Le pergélisol contient beaucoup de carbone stocké, ajoute le chercheur. Quand les barrages de castors causent des inondations, le pergélisol dégèle et libère du dioxyde de carbone et du méthane dans l'atmosphère. Peut-être qu'à long terme, les barrages de castors créeront des zones humides qui piégeront le carbone. Pour l'instant, on l'ignore. »

Pour évaluer l'ensemble des changements qui surviennent avec l'accroissement

du nombre de castors en Arctique, Helen Wheeler, biologiste de la faune de l'Université Anglia Ruskin, au Royaume-Uni, ira mener des recherches sur le terrain au cours des trois prochaines années.

En collaboration avec Philip Marsh, chercheur spécialisé en hydrologie arctique de l'Université Wilfrid-Laurier, en Ontario, ainsi que des Inuits, elle se penchera sur l'effet des castors sur l'hydrologie, la qualité de l'eau, le pergélisol et la disponibilité des poissons, qui tend à diminuer lorsqu'il y a un barrage à proximité, un problème soulevé par les communautés nordiques. « Nous examinerons différents endroits en Arctique pour comprendre ce qui se passe et évaluer l'effet sur les poissons. »

Tout un réseau de scientifiques du Canada, de l'Europe et des États-Unis s'intéresse à la présence actuelle et passée

du castor en Arctique pour comprendre si ces animaux sont de passage ou s'ils resteront durablement dans la région : il s'agit du Arctic Beaver Observation Network. Ses membres observent les castors directement sur le terrain et utilisent la télédétection pour observer les changements hydrologiques.

« Nous testons également le recours à la dendrochronologie, c'est-à-dire l'analyse des anneaux des arbustes. Lorsqu'un castor coupe un arbuste, celui-ci arrête de croître. Nous pouvons ensuite comparer les anneaux de croissance avec ceux d'autres arbustes poussant dans le même environnement pour estimer l'année à laquelle les castors étaient présents sur ce site », explique Helen Wheeler, qui espère pouvoir reconstituer l'histoire de leur présence et, en parallèle, de l'évolution de l'environnement. ●





LIRE

Une fille aux deux pieds sur terre



Après nous avoir fait vivre de l'intérieur la mission de *Perseverance*, l'ingénieure en aérospatiale Farah Alibay nous emmène vers une nouvelle galaxie : la sienne.

Québec Science : Dans votre livre *Mon année martienne*, vous expliquez comment faire un égoportrait martien, vous parlez de vos défis à l'école secondaire et vous donnez des trucs pour vaincre le syndrome de l'imposteur. Quelle structure aviez-vous en tête quand vous avez commencé à l'écrire ?

Farah Alibay : C'est toujours comme ça avec moi : on commence à un endroit et on part dans une autre direction ! Je l'ai écrit comme si vous étiez chez moi et que je vous racontais ma vie. Je voulais que la personne qui me lit se sente comme mon amie.

QS : C'est un livre que je mettrais entre les mains d'adolescentes parce que vous vous livrez sur votre jeunesse. Pensiez-vous à ce public en écrivant ?

FA : C'est un livre qui se lit à tout âge, mais oui, je pensais aux jeunes ! Ça n'a pas été facile à écrire, mais je l'ai fait parce que, à 16-17 ans, j'aurais aimé que quelqu'un qui a réussi dans la vie me dise : « Hey, moi aussi, j'avais de la misère avec la nourriture, et oui, j'ai échoué aussi à des examens. »

QS : Comment voyez-vous l'avenir pour les futures petites Farah ?

FA : La société commence à changer et ça me donne beaucoup d'espoir. Juste le fait d'avoir pu écrire ce livre et que des gens se montrent curieux de mon parcours, c'est déjà extraordinaire ! On sent que c'est devenu important de raconter les histoires de personnes différentes. Que ces personnes peuvent en inspirer d'autres.

QS : Les œuvres que vous citez sont très variées, d'Harry Potter à *Mafalda* en passant par le livre *The Martian* et le film *Apollo 13*. Comment la culture a-t-elle façonné la femme de science que vous êtes devenue ?

FA : Ça fait tout simplement partie de moi. Je voulais également montrer qu'une scientifique, une ingénieure peut s'intéresser à plusieurs sujets... tout en étant capable de faire atterrir des robots sur Mars ! *Mon année martienne*, par Farah Alibay, Éditions de l'Homme, 224 p.

ÉCOUTER Éveil à la vie

Avec ses histoires bien ancrées au cœur de notre territoire, le balado *Enracinés : récits de nature* propose, d'une manière fort originale, un éveil contemplatif aux beautés du monde. La créativité débordante de ses textes nous initie en douceur aux sciences de la nature. La tomate et le pissenlit permettent de parler de l'origine des plantes comestibles, tandis que l'épisode sur les insectes plonge l'auditeur dans l'organisation sociale des fourmis et le conduit sur la route extraordinaire du ver à soie. La voix douce de la narratrice, ses réflexions et les mille faits surprenants qu'elle glisse ici et là donnent envie de l'écouter à petite dose pour mieux en savourer chaque instant.

Enracinés : récits de nature, par le Théâtre du Renard, épisodes d'une vingtaine de minutes à télécharger sur votre plateforme de balados préférée

Un printemps marquant

La biologiste américaine Rachel Carson publiait, en 1962, *Le printemps silencieux*, un essai coup-de-poing sur les effets destructeurs des pesticides, notamment sur les oiseaux, mais aussi sur notre santé. Sa réflexion a été à l'origine du mouvement écologiste en Occident. Soixante ans plus tard, cette lutte est loin d'être terminée, d'après le balado *Des Rachel qui changent le monde*. L'animatrice Émilie Schwartz entreprend une enquête citoyenne dans laquelle elle rencontre 10 spécialistes d'ici (biologistes, juristes, agronomes) qui sont engagées dans ce dossier. Elles abordent avec intelligence et lucidité des thèmes comme l'ingérence du milieu privé dans la recherche, les solutions de remplacement aux pesticides, sans oublier de glisser des notions de base sur l'écologie et l'écotoxicologie.

Des Rachel qui changent le monde, animé par Émilie Schwartz, une initiative de Vigilance OGM, réalisé et produit par Pivot Média, 11 épisodes à télécharger sur votre plateforme de balados préférée

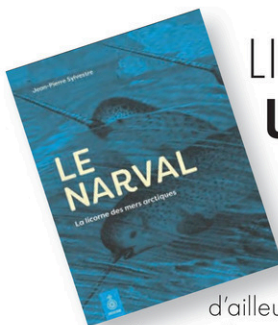
Fenêtre sur le monde

Trésor bien gardé du centre-ville de Montréal, le Centre canadien d'architecture présente deux sympathiques expositions par les temps qui courent.

D'abord, *Vers chez soi* s'intéresse à la notion de « chez-soi » dans les communautés autochtones de l'Arctique à travers les pratiques architecturales contemporaines. Reconstructions d'entrées principales et de chalets, œuvres d'art illustrant le quotidien, extraits de la radio locale (essentielle pour consolider les liens entre les peuples au Nord et les expatriés des villes du Sud) : chaque élément permet une rencontre enrichissante entre le public et le Nord.

Quant à l'exposition *Vente finale*, elle examine comment l'architecture a contribué à la marchandisation extrême de la planète, où tout peut s'acheter et se vendre. Présentée en trois volets, elle utilise une petite sélection de pièces d'archives pour revenir sur la naissance des grands magasins, propose une série de films suscitant une réflexion sur la mort du magasinage comme activité et montre des études de cas architecturales et de marques de mode.

Vers chez soi, commissariée par Joar Nango, Taqralik Partridge, Jocelyn Piirainen et Rafico Ruiz, est présentée jusqu'en février 2023. **Vente finale**, commissariée par Fredi Fischli et Niels Olsen, est présentée jusqu'en janvier 2023.



LIRE Une dent en or

Si la science a livré plusieurs informations sur le narval au cours des 50 dernières années, le timide et craintif odontocète demeure assurément le mammifère marin le plus mystérieux, et pas seulement en raison de sa singulière dent hyperdéveloppée ! Le reporter animalier (nouvellement collaborateur de *Québec Science* d'ailleurs !) Jean-Pierre Sylvestre rassemble entre deux couvertures les réponses à presque toutes nos questions dans l'ouvrage *Le narval : la licorne des mers arctiques*. Le cétacé est analysé sous toutes ses coutures – jusqu'aux angles de découpe des communautés nordiques qui le consomment. Le terrain de jeu de l'auteur est immense : il partage avec générosité tout son savoir, photos à l'appui. Il corrige certains mythes, en plus de faire une plongée ethnologique et historique en abordant les relations que les habitants des régions polaires entretiennent avec l'animal autant que les légendes qui lui sont rattachées.

Le narval : la licorne des mers arctiques, par Jean-Pierre Sylvestre, Éditions du Septentrion, 216 p.

LIRE Élémentaire, mon cher Watson



La maison d'édition Phaidon sait comment magnifier la beauté de ses sujets. C'est au tour de la création de Mendeleïev de goûter à sa magie avec *Explorons les éléments : tout savoir sur le tableau périodique*. Le manganèse, le brome, le carbone, l'arsenic et toutes les autres « briques » composant l'Univers ont droit à leur double page. L'auteure Isabel Thomas explique où les trouver, quelles sont leurs propriétés, quel est l'usage que nous en faisons hier et à quoi ils serviront demain. Elle révèle même quelques secrets sur le comportement des éléments dans des textes vivants et faciles à appréhender. Grâce à l'esthétique de la présentation et aux illustrations soignées de Sara Gillingham, les apprentis physiciens et chimistes auront en main toutes les cartes pour comprendre l'origine de la matière... et réussir leurs cours de science !

Explorons les éléments : tout savoir sur le tableau périodique, par Isabel Thomas et illustré par Sara Gillingham, Phaidon Jeunesse, 224 p.

Tous pour un

Prenons quelques instants pour penser à ce que serait notre monde sans l'audace des premiers écologistes québécois. Montréal ne serait peut-être pas la ville cyclable qu'elle est devenue ; il y aurait peut-être toujours du plomb dans l'essence et les lieux protégés au Québec seraient assurément moins nombreux. Des combats, ils en ont mené une flopée dans les dernières décennies, rappelle l'ancien rédacteur en chef de *Québec Science* Raymond Lemieux dans son livre *Écologie, une bataille sans fin*. Il revient sur les moments, les personnalités et les luttes marquantes d'un mouvement résonnant plus que jamais dans l'espace public. Alors que le climat est devenu une cause cruciale de notre époque et que la Terre se dégrade plus rapidement que n'agissent les instances diplomatiques, le livre se remémore tout ce que les collectivités ont pu – et peuvent encore – gagner en montant au front.

Écologie, une bataille sans fin, par Raymond Lemieux, Éditions MultiMondes, 244 p.



Québec Science rayonne depuis 60 ans!

Abonnez-vous maintenant et
économisez jusqu'à **51 %**.



ABONNEMENT
41 \$
1 AN
+ taxes

68 \$ + taxes 2 ANS

94 \$ + taxes 3 ANS

*Aussi disponible
en version numérique.*

Abonnez-vous!

quebecscience.qc.ca

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

QUÉBEC SCIENCE
L'heure est à la science



Petit manuel scientifique de révolution sociale



« Le monde change quand les institutions changent. » Ces mots employés par l'ancien maire de la ville de Gatineau Maxime Pedneaud-Jobin, dans un texte paru dans *L'état du Québec 2022*, me semblent bien en phase avec les constats qui sous-tendent le plus récent rapport de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services

écosystémiques (IPBES).

Publié en juillet dernier, alors que l'hémisphère Nord suffoquait de chaleur et que plusieurs écosystèmes terrestres partaient en fumée, ce nouveau rapport entériné par 139 nations nous force à revoir la relation que nous entretenons avec la nature. C'est une volée de bois vert que nous donnent les scientifiques qui l'ont signé quant à la façon dont nous valorisons les écosystèmes naturels depuis les dernières décennies.

En effet, bien qu'il existe plus de 50 approches et méthodes pour estimer la valeur des écosystèmes et de la biodiversité, c'est la valeur marchande et utilitaire de ces derniers qui a servi de principal étalon pour établir nos critères de priorisation des milieux naturels à protéger. Malheureusement, cette vision anthropocentrique et essentiellement axée sur les biens et services largement pécuniaires que nous procure la nature dicte largement nos prises de décision.

Or, s'il existe une crise mondiale de la biodiversité, c'est en grande partie à cause de cette façon réductrice d'évaluer nos écosystèmes – un constat sans appel de la part de la communauté scientifique de l'IPBES. En d'autres mots, la recherche de profits à court terme et la croissance économique sont à la source de la dégradation des écosystèmes de notre biosphère et ont pris en otage notre bien-être collectif.

Autre constat majeur tiré du rapport : on y déplore le fait que nos méthodes d'élaboration des politiques environnementales ont constamment ignoré les valeurs et connaissances traditionnelles autochtones et des communautés locales. À preuve, sur 1 000 études recensées pour l'élaboration de ce rapport, seulement un pour cent ont fait appel aux parties prenantes à chaque étape du processus d'évaluation des valeurs associées à la nature !

Dans un premier temps, les spécialistes de l'IPBES nous convient à reconnaître les différentes valeurs associées à la nature en tenant compte des multiples façons dont nous la percevons : par exemple, nous pourrions adopter une vision qui incorpore l'importance de protéger et de respecter la diversité du vivant ou encore percevoir la nature comme élément permettant de façonner un sentiment d'appartenance et l'identité des personnes. L'IPBES propose dans un deuxième temps d'intégrer ces diverses valeurs au processus décisionnel politique.

Mais ce qui détonne sans doute le plus parmi les propositions du rapport, c'est l'invitation à remettre en question nos systèmes et institutions. Il suggère de réformer les politiques et de stimuler le changement de nos institutions en plus de modifier les normes et objectifs sociétaux afin que ceux-ci reposent sur la « durabilité ».

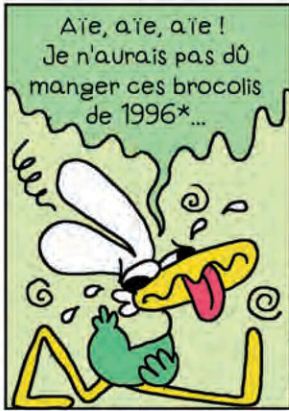
Ce à quoi l'IPBES appelle n'est rien de moins qu'une petite révolution ! Non sans rappeler les propos d'Hugo Séguin dans son essai *Lettre aux écolos impatientes et à ceux qui trouvent qu'ils exagèrent*, la communauté scientifique de l'IPBES fait preuve de plus d'audace et de radicalité que ce que nos politiques environnementales courantes proposent en nous enjoignant de briser la fausse dichotomie qui oppose « l'environnement » et « nous ».

Au lieu d'analyser notre relation avec l'environnement sous le prisme économique et matérialiste, on nous parle de décroissance et de qualité de vie, faisant écho au dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Au lieu d'adopter une posture individualiste, on nous invite à parler d'intendance, de justice et de responsabilité. Quelle bouffée d'air frais !

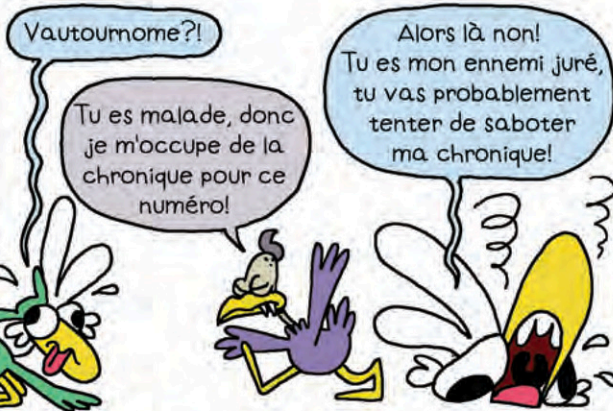
Comme le second volet de la 15^e Conférence des parties (COP) de la Convention sur la diversité biologique des Nations unies se déroulera à Montréal en décembre prochain, nous avons là une occasion en or de reprendre et de mettre en lumière les propos des scientifiques de l'IPBES, qui nous rappellent noir sur blanc que des transformations systémiques et significatives doivent être opérées dès maintenant. Si l'on souhaite inverser un tant soit peu l'effet des activités humaines sur les systèmes qui sous-tendent la vie sur Terre, nous ne pouvons faire abstraction de ces constats.

Cela tombe bien, car le regroupement québécois G15+, qui réunit des leaders des milieux environnemental, économique et universitaire, se penche depuis peu sur des indicateurs du bien-être pour le Québec. Voilà un balbutiement d'initiative tout indiqué qui pourrait – espérons-le – contribuer à changer nos institutions et peut-être même le monde ! ●

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



Aïe, aïe, aïe !
Je n'aurais pas dû
manger ces brocolis
de 1996*...



Vautournome?!

Tu es malade, donc
je m'occupe de la
chronique pour ce
numéro!

Alors là non!
Tu es mon ennemi juré,
tu vas probablement
 tenter de saboter
ma chronique!



Mais non, ne t'inquiète pas!
Je ne fais cette chronique que
pour financer mon projet secret
afin de réellement te saboter!
Allons-y!

* voir numéro précédent.



1969, Alberta. Un débat a lieu
à l'Assemblée législative sur les
crédits provisoires. Un député,
Clarence Copithome, sort alors
du tiroir de son bureau...



... un vieil hamburger
tout mou !!!

Argh! Ne raconte
pas des choses
dégoûtantes!
Je suis malade!

Haha
haha
ha !!!



Copithome se sert de ce hamburger venant de la
cafétéria du Palais de la législature pour appuyer
son argument : « Puisqu'on parle de crédits, une
chose qu'on pourrait nous payer, en haut, c'est
de la bonne nourriture. »



Mais voilà, le vieux
sandwich peu appétissant
étant présenté comme preuve,
il devenait un document
parlementaire et devait
être préservé!



Ce qui fait que, plus de 50 ans
plus tard, le burger est toujours
dans la collection de la
bibliothèque de l'Assemblée !!

Pouaaahh !!
Mon estomac
tourne comme une
machine à laver !!



Ne t'en fais pas trop,
car pour le préserver
on l'a coulé dans de
la résine.



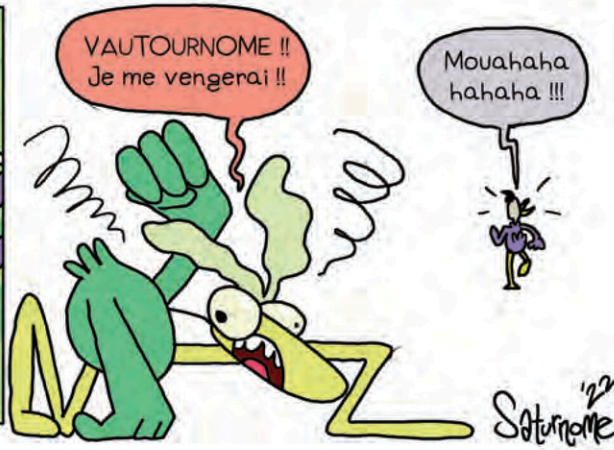
Mais la résine n'empêche pas
l'apparition de moisissures si l'aliment
n'est pas déshydraté au préalable,
ce qui fait que le burger a
quand même l'air pourri: on y
voit des taches blanches.



Voilà: j'ai fini.
Merci de ton hospitalité.
Je te laisse un
petit cadeau!

EMPRUNT

Gggghh!!



VAUTOURNOME !!
Je me vengerai !!

Mouahaha
hahaha !!!

Urrgghh !!

Saturnome '22

Les magazines d'ici
vous connectent
à vos intérêts
sans notifications.



AQEM

ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DES
ÉDITEURS DE MAGAZINES

A graphic consisting of a large yellow semi-circle at the top, followed by three concentric blue semi-circles, and another large yellow semi-circle at the bottom, all set against a blue background.

Incontournables

Portes ouvertes

Samedi 22 octobre 2022

portesouvertes.uqam.ca

UQÀM