

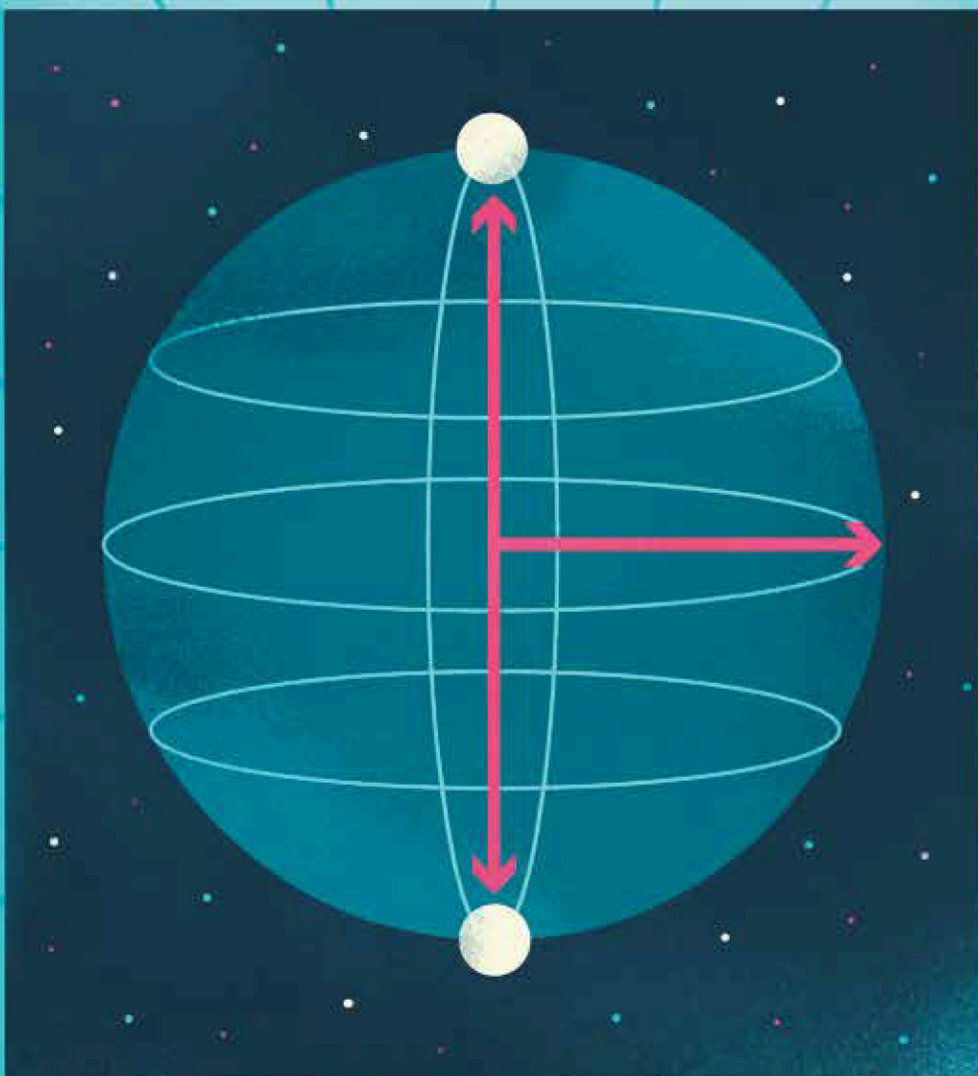
Le Québec va-t-il
manquer d'eau?

L'« école à trois vitesses »
examinée par la science

SEPTEMBRE 2023

QUÉBEC SCIENCE

RÉVOLUTION QUANTIQUE



DES MILLIARDS
SONT INVESTIS
DANS LE SECTEUR.
QU'Y GAGNERONS-NOUS ?



Ponts
**JACQUES CARTIER +
CHAMPLAIN**
Bridges
Canada



LE DÉVELOPPEMENT DURABLE, AU CŒUR DE NOTRE MISSION



Solution Bonaventure

280 000 m³ d'eau traitée en moyenne
par année freinant la migration des eaux
contaminées vers le fleuve Saint-Laurent



Déconstruction du pont Champlain d'origine

10 hectares de nouveaux habitats
pour végétaux et animaux compensant
les pertes temporaires liées aux travaux



Protection de l'environnement

Sept bassins de biorétention aménagés
sous le pont Jacques-Cartier permettant
de récupérer l'eau de pluie



JacquesCartierChamplain.ca

SOMMAIRE

SEPTEMBRE 2023

QUÉBEC SCIENCE

EN COUVERTURE



LA VOIE QUANTIQUE EST OUVERTE (OU PAS)

P. 16

Instituts de recherche, gouvernements et géants du numérique espèrent qu'en domptant les lois étranges de l'infiniment petit, les scientifiques créeront des technologies de rupture. Le Québec défend sa place dans cette course effrénée.

REPORTAGES

24 La ressource invisible

Avec la croissance de certaines villes et le réchauffement climatique, allons-nous manquer d'eau?

30 La division des classes

Écoles privées, programmes publics enrichis et classes ordinaires : cette segmentation de l'école québécoise compromet-elle l'égalité des chances?

36 La conspiration du radium

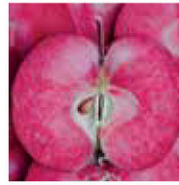
Une propriété située dans la campagne près de Toronto est anormalement radioactive. Enquête exclusive sur un trio infernal qui a causé des dommages jusqu'à Montréal.

42 Les fantômes du Saint-Laurent

Les bélugas du Saint-Laurent ne meurent plus du cancer, mais leur vie est plus pénible que jamais.

47 Le tourisme bolivien sous la loupe des scientifiques

Une équipe de recherche soutenue par le Canada tente de démontrer le potentiel écotouristique de la Bolivie.



P. 6

SUR LE VIF

6 Cabinet des curiosités

On en mange à longueur d'année, au point de la trouver banale. La pomme est pourtant en constante réinvention!

8 La musique des rapaces

La découverte d'instruments à vent datant d'environ 12000 ans apporte de nouveaux indices sur l'évolution de la musique.

10 Des cellules tête en bas

Des scientifiques japonais ont mis au point une nouvelle méthode pour examiner l'effet de la gravité sur le comportement des cellules.

11 Un bout d'astéroïde bientôt sur Terre

Une capsule contenant 250 grammes de poussière de Bennu atterrira dans le désert de l'Utah.

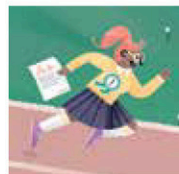
12 Publier et périr quand même

Entrevue avec Mame Penda Ba, professeure sénégalaise qui milite pour la pleine reconnaissance des travaux scientifiques de l'Afrique francophone.

Contenu commandité

54 Chercheuse en vedette

Annie DesRochers scrute de près les racines des arbres.



P. 30

4 Édito par Mélissa Guillemette

La science du comportement douteux



5 Babillard

9 Carnet de santé Par la D^{re} Alexandra S. Arbour

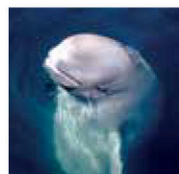
11 Technopop Par Gabrielle Ancil

52 L'écho du labo Une valeur sûre?

56 Culture Par Émilie Folie-Boivin

58 Rétrovisseur Par Saturnome

NOUVELLE RUBRIQUE!



P. 42



MÉLISSA GUILLEMETTE  @mguillemett

ÉDITORIAL

La science du comportement douteux

ÇA ne s'invente pas : des articles d'une chercheuse qui étudie l'honnêteté au travail ont été rétractés cet été parce que les données semblent avoir été manipulées. C'est un trio de professeurs qui a révélé les irrégularités dans un blogue appelé *Data Colada*.

Francesca Gino était jusque-là une vedette de la Harvard Business School et de la science du comportement, un champ de recherche qui a le vent dans les voiles depuis 15 ans. Connue pour son livre à succès *Rebel Talent: Why It Pays to Break the Rules at Work and in Life*, la chercheuse est régulièrement invitée dans les plus grandes entreprises pour parler de ses résultats aux gestionnaires.

Les papiers remis en question concernent des sujets irrésistibles. La chercheuse y affirme que les individus malhonnêtes sont plus créatifs, que faire signer une déclaration d'exactitude en haut d'un document plutôt qu'au bas est plus efficace pour prévenir les mensonges et que l'on peut réseauter de façon utilitariste sans se sentir inauthentique, à condition d'adopter un état d'esprit associé à l'espoir plutôt qu'au devoir. La validité de ces conclusions est maintenant incertaine.

Voilà qui rappelle un autre épisode du genre. Dans une conférence TED de 2012 très populaire, la chercheuse Amy Cuddy avait convaincu la planète de l'intérêt de prendre une « pose de pouvoir » avant une performance sociale, que ce soit une entrevue pour un emploi ou un discours. Imaginez-vous, aux toilettes, vous tenant quelques instants comme une superhéroïne ou comme le fier vainqueur d'une épreuve physique. La chercheuse affirmait que cette astuce « peut changer considérablement le cours de votre vie ».

Dans ses études, les individus qui prenaient de telles poses pendant deux minutes présentaient une hausse du taux de testostérone et une baisse du taux de cortisol, une hormone du stress. Soumis ensuite à un jeu, ils faisaient preuve d'une tolérance au risque plus grande que celle des autres cobayes.

Amy Cuddy a elle aussi publié un livre pour détailler son propos. Puis, des études ont tenté de répliquer ces résultats, sans succès. Les critiques de la communauté scientifique se sont mises à s'accumuler à partir de 2016.

Les manipulations de données existent dans tous les domaines en science, tout comme les conclusions tirées sur la base de travaux encore trop préliminaires. Le problème avec ce type d'études en science du comportement est qu'il intéresse le milieu des affaires, qui n'a pas de temps à perdre ! On y carbure à l'innovation et on s'abreuve aux tendances. La recherche émerge à peine qu'elle se retrouve déjà en vitrine des librairies, avec un titre qui laisse croire qu'une solution facile (et prouvée !) à nos maux professionnels existe. Des politiques bien concrètes en milieu de travail sont ainsi influencées par des résultats qui attendent encore d'être répliqués.

Et si de nouvelles études viennent renverser les premiers constats, il est déjà trop tard ! Sur Twitter, on trouve d'ailleurs, entre les messages de scientifiques choqués par l'affaire, des tweets de gens du milieu des affaires qui continuent de faire l'éloge des idées de Francesca Gino.

Ce genre de cas éclabousse hélas toute la science du comportement. Le sujet était sur toutes les lèvres dans les écoles de commerce ces derniers mois, selon un article du *Financial Times*, notamment parce que les écueils s'accumulent dans le domaine depuis quelques années. Un examen de conscience s'impose pour les chercheurs et chercheuses. D'autant plus que leurs travaux sont souvent utilisés au-delà du monde du travail pour établir des politiques publiques.

Impossible de ne pas vous parler de la théorie du *nudge*, un autre élément archi connu du champ qui est, lui aussi, critiqué. Selon cette théorie, il est possible d'influencer les comportements en modifiant l'environnement physique : que ce soit le design d'un formulaire ou l'aménagement d'un bureau.

Ces travaux sont plutôt solides, mais des scientifiques mettent en doute leur utilité réelle. C'est le cas de deux chercheurs qui ont argué, en 2022, que la théorie agit comme un trompe-l'œil. Ils soulignent que les problèmes de la société ne sont pas que le résultat de mauvaises décisions des individus, mais surtout du contexte politique et d'entraves systémiques. En agissant pour renverser les mauvais choix de monsieur et madame Tout-le-Monde (ne pas économiser pour la retraite, par exemple), on perd de vue les vraies causes (la pauvreté). Comme l'a écrit l'an passé l'économiste Tim Harford dans une chronique du *Financial Times* : « la science du comportement n'est que trop douée pour produire une cerise parfaite sur le gâteau politique ; les praticiens ne doivent jamais oublier le gâteau lui-même ».

Les livres écrits par des scientifiques du comportement et leurs conférences ne sont pas à bannir, au contraire : ils sont précieux dans le dialogue entre la science et le public. On a d'ailleurs besoin de connaissances pour soutenir les politiques publiques et le monde du travail, mais il faut garder son esprit critique.

Un manifeste publié dans *Nature Human Behaviour* en mars dernier fournit des pistes de solution. Son auteur invite les scientifiques du comportement à scruter... leurs propres comportements ! De plus, « nous avons la responsabilité de rejeter les idées si des preuves solides montrent maintenant qu'elles sont fragiles, et d'offrir une vision réaliste de ce que la science du comportement peut accomplir », écrit Michael Hallsworth, du Behavioural Insights Team.

Signe qu'il faut accepter le rythme de la recherche, l'effet des « poses de pouvoir » proposées par Amy Cuddy est peut-être en voie d'être confirmé. Une méta-analyse de 2022 basée sur 88 études laisse croire que l'exercice fonctionne, mais de façon moins spectaculaire que dans les études initiales. ●

SEPTEMBRE 2023
Volume 62, numéro 2

Rédactrice en chef
Mélicca Guillemette

Rédactrice en chef adjointe
Marine Corniou

Journalistes

Raphaëlle Derome, Annie Labrecque

Collaborateurs et collaboratrices

Gabrielle Ancitil, Alexandra S. Arbour, Maxime Bilodeau, Émilie Folie-Boivin, Margot Davier, Joël Leblanc, Sylvain Lumbroso, Etienne Plamondon Emond, Charles Prémont, Saturnome, Tyler Wentzell

Révisseurs-correctrices

Christine Dumazet, Fleur Neesham

Directrice artistique

Sophie Benmouyal

Photographes/illustrateurs et illustratrices

Nicole Aline Legault, Valéry Goulet, Christian Leduc, Luc Melanson, Martin Patenaude-Monette, Renaud Philippe, Pauline Stive

Éditeur Jean-François Rheault

Vice-présidente marketing, communications et partenariats Marie-Hélène Juneau

Comptabilité Mimi Bensaïd

Chargée de projets, communications marketing Anne-Charlotte Thibault

Conseillère, relations de presse et marketing Stéphanie Couillard

Directeur de la croissance numérique Patrice Bray

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 : 24 août 2023 (588^e numéro)

Abonnement

Canada, 1 an : 43 \$ + taxes

États-Unis, 1 an : 82 \$

Outre-mer, 1 an : 128 \$

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 2023 - Québec Science.

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

Indexé dans **repère**

Québec Science reçoit l'aide financière du ministère
de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie 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



Les physiciens et physiciennes trépignent d'impatience : nous serions sur le point d'avoir accès aux premiers ordinateurs quantiques. Une révolution attendue depuis très longtemps. Mais que sont les technologies quantiques, en réalité, et quels problèmes pourront-elles résoudre ? À la recherche d'une ambiance aussi énigmatique que futuriste pour mettre en image ces questions, nous avons confié la couverture de ce numéro à Luc Melanson. L'illustrateur a choisi de mettre en vedette un objet propre au domaine : la sphère de Bloch. Vous ne l'aviez pas reconnue ? C'est bien normal ! Il s'agit d'une représentation géométrique d'un système quantique. Grâce à un jeu de perspective, nous l'entrevoions à la fois de près et de loin, à travers une fenêtre nous permettant d'imaginer les possibilités de cette science du futur.

— SOPHIE BENMOUYAL, DIRECTRICE ARTISTIQUE

SUR LE WEB

Le Québec, consommateur insatiable d'électricité
Alors qu'on entend beaucoup parler de « sobriété énergétique », cet article révèle que nous sommes plutôt du côté de l'« ébriété énergétique ». Le mythe de l'abondance électrique du Québec passe au tordeur.
www.quebecscience.qc.ca/quebec-electricite



Test ultime
Lisez votre magazine d'une couverture à l'autre et rendez-vous ensuite sur notre site Web pour tester vos connaissances grâce au jeu-questionnaire du mois.
www.quebecscience.qc.ca/quiz/septembre-2023

NOUVEAU



DES NOUVELLES DE L'ÉQUIPE

Notre rédactrice en chef adjointe, Marine Corniou, a passé quelques jours en formation à la Harvard Medical School, aux États-Unis. Elle y a rencontré des scientifiques qui travaillent à préparer nos sociétés aux prochaines pandémies. Vous vous souviendrez que c'est cette même journaliste qui avait publié, en octobre 2019, un dossier intitulé « Sommes-nous prêts pour la prochaine pandémie ? ». Voici ce qu'elle a retenu de ses quelques jours d'apprentissage intensif à Boston :

- Il y aura d'autres pandémies (surveillons la grippe de près !).
- La dernière pandémie a fait avancer la recherche scientifique (en immunologie, par exemple), mais le niveau de préparation des gouvernements n'est toujours pas adéquat.
- Le risque qu'un agent pathogène vienne perturber nos sociétés est accru par les changements climatiques.
- Le manque d'équité dans l'accès aux soins et aux vaccins entre les pays et au sein même des pays met en péril nos capacités à faire face aux pandémies.



Abonnez-vous

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

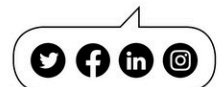
Un changement d'adresse :
serviceclient@quebecscience.qc.ca

Écrivez-nous

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

Suivez-nous

www.quebecscience.qc.ca





Le CLUB SÉLECT des POMMES CHICS

On en mange à longueur d'année, au point de la trouver banale.

La pomme est pourtant en constante réinvention !

Par Marine Corniou

Quel fruit peut se targuer d'avoir symbolisé tour à tour le péché originel, la connaissance, la volupté, la féminité et même la discorde ? D'avoir figuré dans des centaines de contes, de mythes et d'œuvres d'art ? D'avoir parcouru 3000 ans d'histoire ? Au royaume des fruits, la pomme est assurément reine – même si, en nombre de tonnes produites dans le monde, elle arrive derrière les bananes et les melons.

Mais traverser les âges et les cultures ne l'a pas empêchée d'évoluer ni de suivre les modes. L'espèce *Malus domestica* se décline en quelque 7500 variétés mises au point au fil du temps. « Aujourd'hui, les gens veulent des pommes croquantes et sucrées. Le Québec importait beaucoup de Granny Smith il y a peu ; très acides, elles sont maintenant beaucoup moins prisées », explique David Wees, chargé d'enseignement en horticulture et en biologie végétale à l'Université McGill.

Sur le campus Macdonald, à Sainte-Anne-de-Bellevue, il s'occupe d'un verger, initialement planté en 1907,

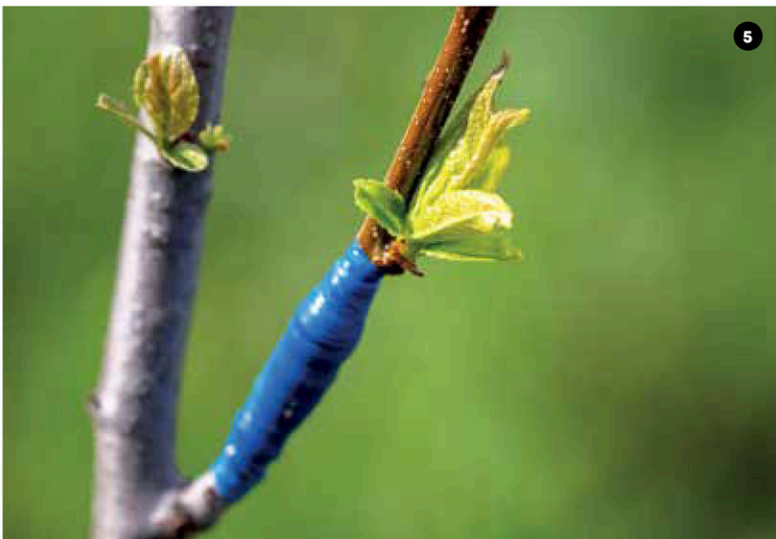
qui rassemble une vingtaine de variétés : Empire, Spartan, Cortland, les plus fréquentes au Québec avec la McIntosh, mais aussi Gala, Honeycrisp et sa préférée, la rare Nova Spy de Nouvelle-Écosse.

Cette plantation est réservée à la recherche et à l'enseignement, mais on compte dans le monde une centaine de collections de ce genre destinées à la création variétale. On doit par exemple plusieurs succès commerciaux, comme l'Empire et la Cortland, à la station expérimentale de l'État de New York, qui possède un verger avec 5000 variétés. En 2020, elle a présenté (et breveté !) trois nouvelles pommes sur le marché américain : la Cordera, la Pink Luster et la Firecracker, qui a une chair presque rouge.

Si les agronomes veulent satisfaire les goûts changeants du public, ils et elles recherchent aussi des hybrides pouvant se conserver des mois et résister aux maladies, notamment à la tavelure, un champignon. « Au Québec, l'autre défi est le froid. Avant de cultiver une nouvelle variété, il faut voir comment

les arbres se comportent sous notre climat », reprend David Wees.

Alors que la province importe encore environ 50 % de ses pommes, le collectif La Pomme de demain, qui regroupe des entreprises pomicoles d'ici, œuvre à mettre au point des cultivars locaux au goût du jour. C'est à ce groupe que l'on doit la Rosinette et la Passionata, commercialisées dans la dernière décennie. Mentionnons aussi l'Orléans, née sur l'île éponyme et offerte sur le marché depuis 2016. Goûtant presque les fruits exotiques, elles restent rares sur les étals. « Ces variétés sont sous le contrôle d'un club qui limite le volume de production. Ce concept a fait son apparition à la fin des années 1990 ; traditionnellement, les variétés étaient produites sans restriction, ce qui menait à une surproduction, puis à une chute des prix. Il existe plein de variétés *clubbées* dans le monde, par exemple la Pink Lady, d'Australie, ou la Smitten, de Nouvelle-Zélande », détaille Jennifer Gagné, conseillère au développement et à la recherche pour les Producteurs de pommes du Québec.



Il faut dire qu'une nouvelle pomme, ça se mérite ! « Il faut de 20 à 30 ans de travail entre le début de la sélection et le moment où la nouvelle variété arrive dans les épiceries », indique Mme Gagné.

Le processus est fastidieux. On croise d'abord deux variétés en fécondant les fleurs de l'une avec le pollen de l'autre (au pinceau). On plante ensuite les centaines de pépins issus de ces hybridations. Au bout d'un an ou deux, les jeunes arbres, tous différents grâce au brassage des gènes, sont transférés dans des parcelles expérimentales et évalués selon les propriétés de leurs fruits, leur vigueur, leur rendement. Après 6 à 10 ans d'observation, 99,9 % des hybrides sont écartés... Les branches des heureux élus sont enfin greffées sur des pommiers porte-greffes (de simples « supports » qui ne font pas de fruits). C'est le seul moyen d'obtenir des fruits tous identiques ; si on plantait les graines, forcément issues de deux « parents », on aurait des résultats imprévisibles.

Et rien n'est jamais acquis ! L'homologation d'une variété ne suffit pas à assurer son avenir : il faut qu'elle séduise les producteurs et productrices et le public. Sa carrière peut aussi se terminer abruptement. Prenez la McIntosh, découverte sur un pommier sauvage en Ontario en 1811. Véritable légende canadienne, elle a longtemps dominé les vergers ; elle est désormais jugée trop molle. Elle représente encore plus du tiers de la production québécoise, mais ses jours sont comptés. « Les producteurs arrachent cette variété déclassée pour planter surtout des Honeycrisp et des Ambrosia, venues de Colombie-Britannique », constate Jennifer Gagné.

Heureusement, d'aucuns veillent à ce que les anciennes pommes ne tombent pas dans l'oubli. « Au verger de McGill, nous conservons quelques vieilles variétés, comme la Wolf River, une pomme gigantesque mais vraiment acide », note David Wees. À l'occasion, il récupère aussi quelques trésors. « La grand-mère d'un de mes étudiants avait deux pommiers mourants qu'elle aimait beaucoup. Nous les avons greffés pour les conserver ; c'est une variété du siècle dernier, la Montréal pêche. » Qui sait, peut-être engendrera-t-elle la prochaine vedette des vergers ? ●

- 1 La Passionata, mise au point au Québec, a un goût de raisin muscat et de fruit de la passion. 2 L'Api étoilé, également connue sous le nom de Star Apple, a été décrite pour la première fois au 17^e siècle, en Europe. 3 Est-ce une pomme de terre ? Non, c'est la Knobby Russett, qui, à défaut d'être belle, a une chair crémeuse et sucrée. Elle a été présentée au public anglais en 1820. 4 La Baya Marisa a été mise au point en Allemagne dans les années 2000. Sa chair est aussi flamboyante que sa floraison. 5 Pour cultiver une variété précise, on ne peut pas utiliser les graines, qui produisent des arbres tous différents. C'est pourquoi on greffe les branches des variétés ciblées sur des porte-greffes.

La musique des rapaces

La découverte récente d'instruments à vent datant d'environ 12 000 ans en Israël apporte de nouveaux indices sur l'évolution de la musique au Levant.

Par Charles Prémont



Les scientifiques ont reproduit un aérophone pour en écouter le son.



Les sept instruments découverts sur le site d'Eynan-Mallaha

Il y a environ 12 000 ans, dans l'actuel Proche-Orient, émergeait la culture natoufienne, à mi-chemin entre les modes de vie nomade et sédentaire. Le site d'Eynan-Mallaha, en Israël, livre depuis plusieurs décennies des informations cruciales sur cette période de transition.

C'est là-bas que Laurent Davin, chercheur à l'Université hébraïque de Jérusalem, effectue ses travaux sur les parures. L'archéologue a scruté en détail les nombreux os d'oiseaux retrouvés sur le site dans l'espoir d'y déceler des traces de prélèvement de plumes. Il en a repéré, mais son inspection lui a permis de faire une découverte encore plus surprenante : celle de sept instruments de musique, semblables à de petites flûtes, sculptés dans les os.

Ces instruments, des « aérophones » dans le jargon archéologique, sont

les plus anciens du Levant, la région bordant la côte orientale de la Méditerranée.

Même si ce ne sont pas les plus vieux instruments connus, cet honneur revenant à des aérophones datant de 40 000 ans trouvés en Allemagne, la découverte reste importante. « Ce sont les plus anciens que nous ayons qui imitent un son naturel », indique Laurent Davin, dont l'étude a été publiée dans *Scientific Reports*. En effet, ces petites flûtes reproduisent à merveille le cri du faucon crécerelle et de l'épervier d'Europe.

Pour arriver à cette conclusion, une équipe multidisciplinaire a reconstruit expérimentalement trois aérophones. S'étant rabattus sur des os de canard (en raison de la difficulté à se procurer ceux des espèces de l'époque), ses membres ont copié avec précision les instruments découverts. Lors de leurs

tests, les scientifiques ont été en mesure de produire des notes aiguës de bonne qualité. Sachant que les oiseaux étaient d'une grande importance pour la culture natoufienne – on a également retrouvé des figurines de rapaces en argile sur le site –, l'équipe a formulé l'hypothèse qu'il s'agissait peut-être d'appeaux. En comparant les sons générés par les aérophones expérimentaux avec les cris de la soixantaine d'espèces identifiées sur le site, les archéologues se sont aperçus que ceux du faucon crécerelle et de l'épervier correspondaient au son de la flûte. « C'était comme deux pièces d'un puzzle qui s'imbriquent », dit Laurent Davin. Et comme par hasard, ces deux espèces d'oiseaux étaient prisées par cette population, entre autres pour leurs serres, qui servaient probablement d'outils et d'ornements.

Le peu d'ossements de ces rapaces trouvés sur le site, surtout si on le



compare au nombre d'instruments, témoignerait toutefois de l'inefficacité de ces aérophones en tant qu'appeaux. Ces instruments servaient-ils plutôt au dressage des faucons pour la chasse? C'est une idée qui reste à explorer.

Mais l'équipe penche plutôt en faveur d'une fonction musicale. De plus, différentes données archéologiques et ethnologiques indiquent que, dans différentes cultures où les sous-produits des oiseaux (les serres, les plumes) sont utilisés comme parures, l'imitation de leurs cris revêt une importance symbolique dans la musique et la danse.

Une hypothèse très bien ficelée, selon Ariane Burke, professeure spécialisée dans la préhistoire au Département d'anthropologie de l'Université de Montréal. « La comparaison entre les sons produits par les instruments expérimentaux et les sons des espèces d'oiseaux que l'on trouve dans le contexte environnemental est fascinante », dit-elle.

Surtout, la méthodologie présentée dans l'article s'avère rigoureuse. « Tout est fait dans les règles de l'art pour démontrer que ce sont des objets exceptionnels qui ont été créés volontairement », indique-t-elle.

La chercheuse souligne que cette découverte et les hypothèses qui en découlent humanisent le registre archéologique. « Ça fait rêver un peu : on pense tout de suite à ces humains qui s'intéressaient à ces sons et qui, peut-être, faisaient de la musique », illustre-t-elle.

Ce genre de découverte prouve une fois de plus l'importance de la minutie lors des fouilles. Pour les scientifiques, il est assez évident que la conception des flûtes n'est pas le fruit du hasard, mais le résultat d'un acte délibéré : ces objets seraient le produit d'une technique de fabrication bien rodée, un savoir transmis qui se serait perfectionné au fil du temps. « C'est pourquoi nous croyons qu'on trouvera peut-être de ces instruments dans d'autres collections d'oiseaux [provenant de sites natoufiens] » qui n'ont pas été inspectées sous cette lorgnette, explique Laurent Davin.

Pour lui, cette découverte consolide le fait que les Natoufiens avaient des liens avec les rapaces. « Ça nous permet de développer l'histoire autour de cette relation et de cette symbolique. » ●

Moins de pilules, plus de chocolat

Par un bel après-midi, je reçois dans mon bureau madame Gagnon, 78 ans, accompagnée de sa fille. Elles sont tout sourire et me remettent une boîte de chocolats. « Merci, docteure, grâce à vous, ma mère va tellement mieux! » s'exclame la fille. Je baisse la tête et regarde le dossier pour me rafraîchir la mémoire. Quelle pilule miracle lui ai-je donc prescrite au dernier rendez-vous? Ah oui! Ça me revient... Je lui en ai plutôt enlevé quatre!

Madame Gagnon était venue me voir quelques mois plus tôt pour des problèmes cognitifs et des chutes. La liste de ses médicaments se détaillait alors comme suit : une benzodiazépine à l'heure du coucher pour dormir ; un antidépresseur pour la dépression ; un diurétique pour ses jambes enflées ; une aspirine pour la prévention cardiovasculaire (madame n'a jamais fait de crise cardiaque ni d'accident vasculaire cérébral) ; un antiacide pour protéger l'estomac. À cela s'ajoutaient un anti-hypertenseur, une statine, de la vitamine D, du calcium et un laxatif.

Madame Gagnon illustre à merveille ce qu'est la polypharmacie, c'est-à-dire le fait de prendre plus de cinq médicaments. Certes, elle est âgée et a plusieurs maladies chroniques qui nécessitent un traitement à long terme : hypertension artérielle, excès de cholestérol, ostéoporose, dépression. Le calcium et la vitamine D sont justement prescrits en prévention pour préserver sa santé osseuse. Mais le cocktail peut avoir des effets délétères... en l'occurrence, des troubles cognitifs et des chutes.

Cette patiente n'est pas la seule dans cette situation. La moitié des Canadiens et Canadiennes de plus de 60 ans prennent plus de trois médicaments. Et qui dit plus de pilules dit plus de problèmes : plus d'effets indésirables, plus d'interactions médicamenteuses, plus d'hospitalisations. Jusqu'à 30 % des visites à l'urgence sont liées aux médicaments et le tiers d'entre elles mènent à une hospitalisation chez la clientèle âgée.

Comment madame Gagnon s'est-elle retrouvée avec une telle liste en pharmacie? Avec l'âge apparaissent certaines affections qui doivent être traitées. Il y a alors un risque de « cascade médicamenteuse », certaines pilules étant ajoutées pour contrer les effets secondaires d'un premier médicament. Dans son cas, madame Gagnon prenait un antihypertenseur qui provoque l'enflure des jambes... traitée à son tour par un diurétique. Même chose avec l'aspirine, qui irrite l'estomac et qui a donc entraîné la prescription d'un antiacide.

Il est important de noter que des médicaments pris depuis longtemps peuvent être moins bien tolérés avec le temps, en raison des changements du métabolisme dus à l'âge. Votre médecin dispose d'ailleurs de plusieurs outils pour déterminer quels médicaments pourraient ne plus être appropriés, le plus connu étant les critères de Beers, publiés dans le journal de l'American Geriatrics Society et révisés sur une base régulière depuis une trentaine d'années.

Nous avons donc fait un grand ménage des pilules de madame Gagnon, pour son plus grand bonheur. En retirant la benzodiazépine – un médicament proscrit par les fameux critères de Beers –, on a amélioré sa mémoire et diminué les risques de chute. Nous avons cessé la prise d'aspirine et de protection gastrique, car elle n'en avait pas besoin. Finalement, changer son antihypertenseur pour une autre molécule a permis à ses jambes de désenfler, ce qui a rendu le diurétique inutile. De quoi améliorer la qualité de son sommeil, puisqu'elle n'a plus besoin de se lever plusieurs fois par nuit pour uriner.

La déprescription est l'une des tâches que je préfère dans mon travail. Cette cure minceur appliquée à une liste de médicaments est encore plus agréable à orchestrer lorsqu'elle s'accompagne de chocolat pour me remercier! ●

Des cellules tête en bas

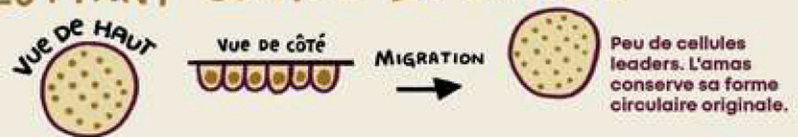
Des scientifiques japonais ont mis au point une nouvelle méthode pour examiner l'effet de la gravité sur le comportement des cellules.

Par Raphaëlle Derome

AMAS DE CELLULES À L'ENDROIT



AMAS DE CELLULES INVERSÉES LUTTANT CONTRE LA GRAVITÉ



Malgré des décennies d'exploration spatiale, l'effet de la gravité sur la structure et le comportement des cellules vivantes reste mal compris. C'est notamment le cas pour la migration cellulaire, processus essentiel auquel font appel les cellules pour guérir une blessure, défendre notre corps contre un microbe, former un embryon ou propager un cancer (en créant des métastases). Étudier cette dynamique est donc important.

Or, les méthodes utilisées jusqu'ici pour étudier la migration cellulaire nécessitent un contact physique avec les cellules, ce qui risque de les endommager. Par exemple, les scientifiques peuvent gratter un amas de cellules, ce qui incite celles-ci à migrer pour refermer le trou.

Une équipe de l'Institut national de la science des matériaux (NIMS, selon l'acronyme anglais), au Japon, propose une nouvelle méthode sans contact, peut-on lire dans *Science and Technology of Advanced Materials*. Pour ce faire, les scientifiques ont mis au point des lames de verre enduites d'un revêtement photosensible.

Tant que l'enduit n'est pas exposé à la lumière ultraviolette, il empêche les cellules d'adhérer au verre. Au début d'une expérience, il suffit d'illuminer la zone centrale pour détruire le revêtement photosensible et ainsi permettre l'adhésion des cellules, une étape nécessaire pour toute croissance et migration.

Une fois les cellules bien accrochées dans la zone centrale, le reste de la lame de verre enduite est exposé à la lumière ultraviolette. L'amas de cellules peut alors commencer à coloniser toute la surface, à migrer, donc, sans bris. (Dans un organisme, les cellules ne migrent pas de façon solitaire, mais sous forme d'amas.)

L'équipe a comparé ce qui se passe selon que la lame est placée face en haut ou face en bas. Dans le deuxième cas, cela « entrave la migration collective des cellules, a expliqué Shima Abdellatif, chercheuse en biomatériaux et postdoctorante au NIMS, par voie de communiqué. La position inversée réduit

le nombre de cellules leaders aux marges de l'amas ». Les cellules leaders sont celles qui lancent la migration cellulaire en se déplaçant vers l'extérieur du groupe.

Habituellement, une cellule explore son environnement en projetant sa membrane vers l'avant, ce qui forme une structure nommée lamellipode. Pour rigidifier le lamellipode, la cellule doit réarranger complètement le réseau de filaments d'actine et de myosine, des protéines qui forment son « squelette ». Dans le cas d'un amas de cellules circulaire au départ, cela donne une forme « étoilée ». Quand les cellules sont plutôt cultivées tête en bas, la réorganisation du « squelette » est affectée et l'amas demeure essentiellement circulaire.

L'équipe japonaise veut maintenant étudier l'impact de la direction de la gravité sur les cellules cancéreuses. Ces résultats pourraient aider à mieux comprendre la progression du cancer chez les malades alités, espèrent les scientifiques.

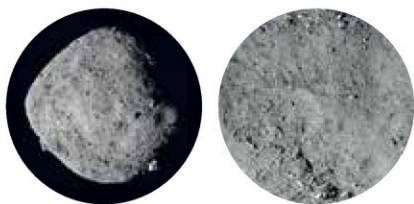
SUR TERRE ET DANS L'ESPACE

Il est effectivement possible que les données sur le cytosquelette et la migration cellulaire permettent un jour de développer de nouveaux traitements, selon Luchino Cohen, scientifique principal de l'exploration à l'Agence spatiale canadienne et spécialiste de la santé des astronautes en contexte de microgravité. « Si on identifie des molécules qui jouent un rôle critique dans ce phénomène, on pourrait mettre au point un médicament qui viendrait interférer avec leur fonction. »

Les données pourraient aussi être utiles pour les missions spatiales puisque, si un astronaute se blesse en apesanteur, « les cellules doivent migrer pour réparer les tissus ». Mais on est encore loin des retombées cliniques, pense le chercheur. Il faudra notamment mener des études sur l'animal ou l'humain, car des cellules en culture ne se comportent pas de la même manière que si elles se trouvent dans un organe. « Nos cellules ne sont pas affectées uniquement par la gravité, mais aussi par le contact avec nos autres cellules. » ●

Un bout d'astéroïde bientôt sur Terre

Par Annie Labrecque



Une trentaine d'équipes scientifiques attendent ce moment avec impatience : le 24 septembre prochain, une capsule contenant 250 grammes de poussière d'astéroïde atterrira dans le désert de l'Utah, après plus de deux ans de voyage.

C'est le point culminant de la mission OSIRIS-REx, lancée par la NASA en 2016, et qui a permis de recueillir – puis de rapporter – un échantillon de l'astéroïde Bennu. L'enjeu : mieux comprendre la naissance de notre système solaire, grâce à ce corps primitif qui a peu évolué depuis 4,5 milliards d'années.

Une fois la capsule récupérée, les échantillons seront transportés avec précaution à Houston dans un laboratoire de la NASA réservé à cet effet, afin de prévenir toute contamination. Ils seront ensuite répartis entre plusieurs laboratoires dans le monde participant à la mission.

« Bennu est un matériau relativement peu évolué, c'est pour ça qu'il est si précieux, indique Michael Daly, chercheur à l'Université York. Des météorites de composition semblable à celle de Bennu tombent sur Terre, mais elles brûlent en partie dans l'atmosphère ou sont contaminées par l'environnement terrestre. »

Le chercheur fait partie des scientifiques canadiens triés sur le volet qui pourront mener des analyses sur l'échantillon. Grâce à la contribution du Canada à cette mission avec l'altimètre laser (OLA, selon l'acronyme anglais), qui a permis de créer un modèle 3D de la surface de Bennu, l'Agence spatiale canadienne aura accès à 4 % du butin, soit... 10 grammes.

L'équipe de Michael Daly mesurera la conductivité thermique de son échantillon. « Les grains proviennent de matériaux rocheux qui possèdent chacun une conductivité différente. En combinant ces éléments, nous pourrions déduire les propriétés thermiques de l'ensemble de l'astéroïde », explique le chercheur, également scientifique en chef de l'instrument OLA et titulaire d'une chaire de recherche en sciences planétaires.

Dominique Weis, directrice du Centre de recherche isotopique et géochimique du Pacifique à l'Université de la Colombie-Britannique, et ses collègues essaieront quant à eux de déterminer la composition de Bennu. En recourant à un type de spectrométrie de masse particulièrement sensible, l'équipe sera en mesure de détecter les éléments présents à l'état de traces. « L'échantillon sera mis en solution et dissous par des acides forts, indique la chercheuse. Si on rate notre coup, on est mal pris ! »

Les trois-quarts de l'échantillon resteront toutefois à l'abri à Houston, et seront conservés intacts pour être étudiés par des générations futures, selon le souhait de la NASA.

Le voyage d'OSIRIS-REx ne se terminera pas après la livraison de la capsule. La sonde poursuivra sa route pour se mettre en orbite de l'astéroïde Apophis en 2029. ●

Gabrielle Ancitil @_ganctil

TECHNOPOP



Ode aux messages vocaux

La moitié des messages vocaux envoyés via l'application Messenger proviennent du Cambodge. C'est ce qu'a découvert en 2018 une équipe de Meta (qui s'appelait Facebook à l'époque), propriétaire de l'application. Pourquoi ? La langue khmère, qui comporte 74 caractères, est notamment résistante aux claviers virtuels. « Au Cambodge, tout le monde, des chauffeurs de tuk-tuk au premier ministre, Hun Sen, préfère envoyer des notes vocales plutôt que des messages textes », constatait un article de *Rest of World* en 2021.

Le Cambodge n'est pas le seul endroit du monde à avoir été touché par la fièvre des messages vocaux, ces courts enregistrements qui ne sont pas sans évoquer les anciens messages sur répondeur. En 2022, sept milliards d'entre eux étaient envoyés chaque jour via l'appli WhatsApp. Selon un sondage daté d'avril 2023, 30 % des gens aux États-Unis communiqueraient de cette manière quotidiennement. On peut présumer que le chiffre est semblable de ce côté-ci de la frontière.

Toutefois, les messages vocaux suscitent encore bien des grognements. Plusieurs personnes se plaignent de devoir trouver un endroit privé pour les écouter, ou lèvent les yeux au ciel lorsqu'elles reçoivent des messages de plusieurs minutes.


Les messages vocaux offrent pourtant de nombreux avantages. Ils permettent de s'exprimer de manière plus nuancée que par écrit, mais sans avoir à déranger son interlocuteur. Imaginons un texto qui dirait : « Je ne suis plus disponible pour le souper ce soir, désolé. » L'émotion sous-jacente peut être difficile à déceler. À l'inverse, une note vocale permettra de transmettre la déception ou le regret grâce au simple ton de la voix.

Un autre avantage : ils permettent de préserver notre vie privée. Sur l'appli de messagerie d'iPhone, par exemple, les enregistrements vocaux sont configurés pour s'autodétruire après deux minutes. Il est bien sûr possible de changer cette fonctionnalité, mais les messages vocaux demeurent plus difficiles à disséminer. On n'a qu'à penser, en comparaison, à une capture d'écran d'une série de textos...

Cela dit, il faut aussi savoir s'en servir correctement. Des guides d'étiquette se sont multipliés sur le Web, nous avisant de limiter nos messages à 1 minute 30 secondes et d'aller droit au but. Dans une chronique parue dans *The Guardian*, la journaliste Annie Lord déplorait que certains messages qu'elle reçoit soient de longues divagations. « C'est comme si vous deviez écouter un balado non édité », résume-t-elle. Le cauchemar !

D'ailleurs, WhatsApp offre maintenant la possibilité d'accélérer la vitesse de lecture des messages audio...

Parfois, un simple texto est encore la manière la plus efficace de se parler. ●



PUBLIER

et périr quand même

La recherche africaine en français est invisible, selon Mame Penda Ba, une professeure sénégalaise de science politique qui milite pour la pleine reconnaissance des travaux de ses collègues dans cette langue, mais aussi dans les autres langues du continent.

Par **Mélissa Guillemette**
ILLUSTRATION : PAULINE STIVE



Mame Penda Ba n'a pas la langue dans sa poche. C'est peut-être son bagou qui en a fait la coqueluche du forum La science en français au Québec et dans le monde – Entre richesse et rayonnement, organisé par les Fonds de recherche du Québec au printemps dernier. Impossible de réaliser une entrevue avec elle sur place sans se faire interrompre !

En conférence, cette doyenne adjointe à l'Université Gaston Berger a soutenu que le français pouvait être le porte-étendard des revendications pour le plurilinguisme en science. Bien que l'anglais domine, les autres langues doivent elles aussi occuper un espace, car elles enrichissent les connaissances et permettent de mieux partager celles-ci avec certaines populations.

C'est d'ailleurs cette vision qui est à l'origine de la nouvelle revue savante interdisciplinaire *Global Africa*, dont la professeure Ba assure la rédaction en chef. Chaque article y est traduit en français, en anglais, en arabe et en swahili. Et ce n'est qu'un début !

Mame Penda Ba est de toutes les tribunes pour défendre et promouvoir la science africaine. Nous avons profité de son passage au pays pour en savoir plus sur la réalité du continent.

Québec Science Comment se porte la recherche africaine ?

Mame Penda Ba J'aime utiliser l'image d'un iceberg pour répondre à cette question. Si vous faites une recherche sur le Net, vous trouverez beaucoup de rapports de grandes organisations qui chiffrent la contribution africaine à la science mondiale à 2 %. C'est très peu ! Et ces 2 % sont essentiellement le fait de pays anglophones : Afrique du Sud, Kenya, Égypte. On note quand même une petite participation francophone en Afrique du Nord. En dehors de ces régions se trouverait une grande zone qui ne contribue pas à la science, qui n'existe pas scientifiquement.

Mais le bon sens nous oblige à remettre cela en question. Quelle est la rigueur de ces données ? On sait que seules les revues indexées sont prises en compte et ces référencement se font évidemment en anglais, avec des standards fixés dans les pays du Nord qui éliminent de fait énormément de choses robustes scientifiquement et pertinentes socialement. Ces 2 % ne sont que la pointe de l'iceberg.

QS Qu'est-ce qui reste caché ?

MPB Il faut creuser un peu plus pour le trouver. Nous sommes 2000 enseignants-chercheurs au Sénégal seulement. Cette communauté assez considérable est complètement écartée. C'est un constat difficile.

La seule chose qu'on nous offre, c'est de copublier en anglais avec des collègues étrangers. Les scientifiques des STIM [science, technologie, ingénierie et mathématiques] réussissent cela mieux que nous, les chercheurs en SHS [sciences humaines et sociales]. Ce qui veut dire que lorsque vous êtes en SHS en Afrique francophone, vous publiez et périssez quand même [référence à l'expression « publier ou périr », qui souligne l'impératif de publication en recherche], parce que vous publiez dans de petites revues locales. Vous pouvez y dire les choses les plus extraordinaires, ça ne change rien !

Le reste de l'iceberg, c'est l'ensemble des revues qui se battent pour continuer à produire du contenu dans des conditions artisanales.

QS Il y a donc des revues scientifiques publiées en Afrique francophone ?

MPB Oui, mais elles manquent de moyens. Publier une revue a un coût et demande des secrétaires d'édition, des maquetistes... Pour le libre accès, il faut des com-

pétences en numérique, ce que nous n'avons pas.

Avec les politiques d'ajustement structurel [des programmes imposés par le Fonds monétaire international pour réduire la dette de certains pays à partir des années 1980], les budgets des universités ont été gelés pendant 30 ans, des années 1980 à la fin des années 2000. Les universités ont dû faire des choix. Les presses universitaires ont été les premières à être fermées, l'idée étant de préserver ce qui touchait à l'enseignement.

Une presse universitaire à l'Université de Dakar a résisté. Elle existe encore, mais met cinq ans pour publier un manuscrit, car tout se fait bénévolement. Il faut se battre pour tout ! Et quand l'ouvrage sort, la plupart du temps, le sujet est désuet. En dépit de tous les efforts, ces publications ne sont pas référencées, reconnues, respectées.

Puis, autour de l'iceberg, il y a la mer.

QS Que voulez-vous dire ?

MPB Comme Africains, on apprend vite que la science que nous faisons est une sorte de copie de la science du

Nord. Nous avons de plus en plus accès aux articles écrits dans le Nord. Nous reprenons leurs cadres théoriques, leurs méthodologies, parce que c'est valorisant, parce que c'est ce que nous avons sous la main, et nous les appliquons ici. Parfois, cela donne des aberrations extraordinaires...

On parle souvent de la dépendance de nos élus envers l'aide internationale. Nous, les scientifiques, nous sommes intellectuellement dépendants. Pour arriver à la souveraineté intellectuelle, il faut pouvoir se questionner. La mer, ce sont toutes ces choses qui sont sous nos yeux, mais dont nous ne savons plus tirer profit, comme le savoir des femmes, des guérisseurs, et notre manière de concevoir le climat.

QS Justement, on parle beaucoup de « décolonisation » de la science ces temps-ci, du nord du Canada à l'Australie. Ce mot a-t-il un sens pour vous ?

MPB C'est absolument passionnant. Nous sommes des nations indépendantes politiquement, mais la conséquence la plus inconsciente, et donc la plus perfide et persistante, de la colonisation, c'est la colonisation des esprits. On nous a inculqué depuis des décennies que la connaissance est blanche ; que la seule chose que nous puissions faire, ce sont des approximations qui ne méritent pas l'étiquette de science. Il faut déconstruire cela.

QS Sentez-vous que la communauté scientifique du Nord est conscientisée sur ce sujet ?

MPB Nous sommes dans un moment de transition. Il ne faut pas le rater. Nos jeunes n'ont pas vécu les périodes de colonisation et de décolonisation ; ils se considèrent comme des citoyens du monde et ils n'ont pas de complexes. C'est une excellente nouvelle pour nos sociétés en matière de démocratie. Sur le plan international aussi, car la jeunesse n'acceptera pas les compromis ni les faiblesses de leurs aînés.

Nos étudiants sont d'ailleurs géniaux ! Les terrains qu'ils font et les questions qu'ils posent sont excellents. Regardez ce qui se passe quand ils arrivent au Canada : ils sont bons, bien formés, ils

n'ont rien à envier à personne. C'est tant mieux pour le Nord et le Sud.

QS On parle souvent de l'Afrique francophone comme de la région qui « sauvera » le français, car sa démographie croissante assurera une longue vie à la langue. Comment voyez-vous cela ?

MPB Chaque fois que j'entends ça, je souris : c'est bien la seule fois qu'on parle de la démographie de l'Afrique sans que ce soit affolant ! On ne pense pas aux migrations, on ne parle pas d'être envahi.

Je pense que nous apportons de la diversité au monde, et la diversité est une bénédiction. C'est important que nous prenions la parole, car nous voyons les choses de manière radicalement différente.

QS Comment va la revue *Global Africa* ?

MPB Nous voudrions traduire les articles dans plus de langues africaines, comme l'haoussa, le bambara, le fulani. Ces langues sont parlées par des dizaines de millions de personnes.

Qu'il s'agisse des objectifs de développement durable, du changement climatique, de la question migratoire, des pandémies, mais aussi de questions locales, nous voulons participer aux discussions mondiales à armes égales avec nos collègues, et le faire dans nos langues.

L'Afrique est un espace fascinant pour se poser des questions : celle du vivant, celle des limites planétaires, celle de la sobriété énergétique, celle de la direction que prennent la technique et la science.

QS Ces dernières années, au Canada, la communauté de la recherche a beaucoup critiqué le gouvernement fédéral, car il est très difficile de faire venir des scientifiques d'Afrique pour des conférences : les visas ne leur sont pas octroyés. Qu'en pensez-vous ?

MPB Je ne me permettrai pas de juger la politique des pays du Nord, parce que je suis trop concentrée à critiquer mes propres décideurs. En fait, si certains espaces nous sont fermés, j'ai envie, moi, de vous accueillir chez nous et de construire des espaces de conversation

en Afrique. Qu'on tienne les conférences à Douala ou au Congo ! Cela dit, la mobilité intra-africaine, c'est très compliqué, et très cher. Je voudrais des politiques généreuses et hospitalières, car on apprend de chaque voyage.

QS Ces deux dernières années, plusieurs grandes revues savantes ont prévenu les scientifiques : il est inacceptable d'aller mener des projets de recherche dans un pays du Sud et de ne pas reconnaître l'apport des partenaires locaux parmi les auteurs des publications liées à ces travaux. Cette omission est-elle fréquente ?

MPB Si vous venez d'Angleterre ou des États-Unis et que vous travaillez sur Ebola, le terrain, c'est le Liberia, la Sierra Leone, la Guinée. Vous avez besoin de médiateurs pour être accueilli, avoir accès aux populations, comprendre ce qui se passe. Une distribution des tâches se fait : le chercheur occidental s'occupe de tout ce qui est théorie et protocole de recherche, et le collègue africain s'occupe des tâches « manuelles », de la « cuisine », d'aller chercher des données. Et comme vous le savez, les théories sont plus valorisées que les autres aspects, qui ne sont parfois mentionnés que dans un remerciement en bas de l'article. C'est tellement violent !

QS Comment jugez-vous les investissements africains en science ?

MPB En 2015, il y a eu beaucoup de bruit : tous les chefs d'État de l'Union africaine ont décidé de consacrer 1 % de leur PIB à la science. Mais personne ne l'a fait !

Les chefs d'État doivent gérer des urgences vitales tout le temps : financer des hôpitaux, des écoles et des routes. Quand vous leur expliquez que vous voulez travailler sur les neutrinos ou le boson de Higgs, ils vous répondent qu'ils n'ont pas le temps de jouer à ça, car le prochain mandat, c'est dans cinq ans.

Ce qui est problématique, c'est qu'ils ne comprennent pas qu'il faut expliquer à la société pourquoi c'est important d'allouer 1 % à la science. Dans trois, quatre, cinq ans, on pourra utiliser les résultats de ces investissements dans l'agriculture ou l'élevage. Il faut donc outiller les universitaires africains pour faire de la diplomatie scientifique. ●

Le Québec s'est doté d'une stratégie quantique pour l'avancement du secteur

LE QUÉBEC EST EN EXCELLENTE POSITION

pour profiter de la création de richesse du quantique.

Une zone d'innovation dédiée au secteur : **435 M\$ d'investissement**



Infrastructures importantes et secteurs connexes forts : **optique-photonique, micro-électronique, intelligence artificielle**

LE SECTEUR QUANTIQUE

QUÉBEC

Près de **200 M\$** sur 8 ans
2019 - 2027

CANADA

360 M\$ sur 7 ans
2021 - 2028

PROJECTIONS POUR LE QUÉBEC EN 2040

27 G\$ en revenu
45 000 emplois

Le Québec possède tous les ingrédients nécessaires pour lancer et faire croître une entreprise en technologies quantiques

15 acteurs en financement et investissement



De l'accès au financement

De l'accès au financement et à plusieurs organisations de support afin de créer des synergies et un effet de levier pour les entreprises du secteur.

Consultez la cartographie dynamique de l'écosystème : quebec-quantique.ca

Des chercheur(e)s de classe mondiale

- Gilles Brassard**
Université de Montréal
- Alexandre Blais**
Université de Sherbrooke et Institut quantique
- Claude Crépeau**
Université McGill
- Nicolas Godbout**
Polytechnique Montréal et INTRIO
- Louis Taillefer**
Université de Sherbrooke et Institut quantique
- Lilian Childress**
Université McGill
- Oussama Moutanabbir**
Polytechnique Montréal
- Roberto Morandotti**
INRS



15 institutions, universités et centre de recherches couvrant les divers sous-secteurs des technologies quantiques.



+60 entreprises présentes au Québec

Des infrastructures couvrant toute la chaîne de valeurs

20 organisations de support pour les entreprises du secteur

Des infrastructures couvrant toute la chaîne de valeurs permettant le développement complet d'innovations en technologies quantiques, de la conception jusqu'au déploiement industriel.

UN BASSIN DE TALENTS EXCEPTIONNEL

18 établissements universitaires dont 10 offrent des programmes en génie, avec des campus répartis sur l'ensemble du territoire.

500 000 étudiant(e)s postsecondaires dont 300 000 étudiant(e)s universitaires et 87 000 étudiant(e)s internationaux.

90 000 diplômé(e)s universitaires chaque année.

30 000 étudiant(e)s universitaires inscrit(e)s dans des programmes en lien avec les technologies quantiques.



Parmi les meilleurs taux de scolarisation de l'OCDE

1/3

des emplois en R&D au Canada se trouvent au Québec

45%

de la population bilingue (français et anglais)

Partenaire public



LA VOIE QUANTIQUE EST OUVERTE (OU PAS)

Instituts de recherche, gouvernements et géants du numérique n'ont plus qu'un mot à la bouche : « quantique » ! Ils espèrent qu'en domptant les lois étranges de l'infiniment petit, les scientifiques créeront des technologies de rupture.

Le Québec entend bien défendre sa place dans cette course effrénée.

Par Marine Corniou

ILLUSTRATION : LUC MELANSON

L faut parfois reculer pour mieux sauter. C'est du moins ce qui vient en tête lorsqu'on se tient devant l'ordinateur du futur, la crème de la crème de la technologie. La bête, qui occupe une pièce entière à elle toute seule, semble paradoxalement sortie des années 1960. Oubliez les transistors microscopiques et les écrans tactiles. MonarQ – c'est son nom – a des airs de chauffe-eau encastré dans une structure métallique d'où émergent d'innombrables câbles.

« C'est un ordinateur quantique entièrement québécois », annonce fièrement notre guide, Christian Bassila, président de l'entreprise montréalaise Anyon Systèmes. Fondée en 2014, la jeune pousse a conçu et fabriqué l'ensemble de la machine, qui sera réservée à la recherche publique.

S'il repose pour l'instant dans les locaux d'Anyon Systèmes, dans la zone industrielle de Dorval, MonarQ sera installé d'ici quelques semaines chez Calcul Québec, une organisation dont les membres sont des établissements universitaires et des centres de recherche, aux côtés de supercalculateurs classiques.

Des ordinateurs quantiques, il en existe encore très peu dans le monde. D'abord, parce qu'ils sont incroyablement complexes et onéreux à construire. Ensuite, parce qu'ils ne servent à rien ! Du moins, pour l'instant. « Un professeur américain a proposé une analogie : l'informatique quantique en est au même stade que l'aviation au moment où les frères Wright avaient fait voler un avion quelques secondes. Cela n'a aucune utilité à proprement parler, mais la preuve de concept est faite », illustre Christian Bassila.



**À LIRE SUR NOTRE
SITE WEB :**

Un article sur la sécurité
informatique à l'ère quantique

[www.quebecscience.qc.ca/
cryptographie](http://www.quebecscience.qc.ca/cryptographie)

COMME UN LABYRINTHE

Pour comprendre la différence entre le mode de calcul d'un ordinateur classique et d'une machine quantique, la métaphore du labyrinthe – qui représente le problème à résoudre – est souvent utilisée. Un ordinateur classique doit explorer tous les chemins, aller dans les culs-de-sac, revenir sur ses pas, avant de trouver la sortie. L'ordinateur quantique, lui, a la faculté de superposer plusieurs « avatars » qui vont explorer simultanément toutes les voies. À la sortie, l'avatar qui a trouvé la solution est sélectionné – c'est le résultat du calcul.



Alexandre Blais, directeur scientifique de l'Institut quantique

Cela dit, le décollage imminent du quantique ne semble faire aucun doute. « Calcul Québec a acheté MonarQ pour former des programmeurs en quantique. L'idée est de se préparer, d'appivoiser la machine et de ne pas manquer le train », explique Suzanne Talon, directrice générale de Calcul Québec, fébrile face au monstre de métal.

Calcul Québec n'est pas seul à y croire. Depuis quelques années, les grandes puissances financent massivement la recherche quantique. Selon un rapport de 2022 du Forum économique mondial, les investissements publics dans le domaine à l'échelle du globe excèdent désormais 30 milliards de dollars américains. Si la Chine, les États-Unis et l'Europe mènent la danse, le Canada n'est pas en reste. « Le Québec est la province qui investit le plus en ce moment. L'objectif du gouvernement est que le quantique ne soit pas qu'un axe de recherche, mais que l'on passe bientôt au stade industriel », indique Christian Bassila. La province a promis de mettre

200 millions de dollars sur la table d'ici 2027, sans compter les quelque 400 millions consacrés à la zone d'innovation Sherbrooke quantique, un pôle public-privé en cours de construction. Outre l'ordinateur, on fantasme sur des réseaux de communication inviolables et des capteurs ultra-sensibles. Signe que le sujet devient incontournable, les géants du Web ont eux aussi rejoint la course : Google bien sûr, mais aussi Alibaba, Intel, Amazon, Microsoft et IBM s'affairent à construire leurs propres ordinateurs quantiques. À la clé : des machines aux capacités de calcul inégalées, inatteignables par des ordinateurs traditionnels.

Les efforts et les investissements sont-ils justifiés ? Le pari est assurément risqué. Pour certains scientifiques, investir de telles sommes dans le quantique est un acte de foi. D'autres craignent l'éclatement d'une bulle financière gonflée davantage par la spéculation que par la compréhension du véritable potentiel de ces approches.

Les enthousiastes, eux, voient plutôt le quantique comme un remède à bien des maux de notre époque. « Cela va avoir un impact concret sur beaucoup de choses, comme la découverte de médicaments et de matériaux, l'optimisation des réseaux de transport et d'énergie, la sécurisation des secteurs financier et bancaire, la modélisation des changements climatiques... Certes, personne ne sait quand l'ordinateur quantique sera prêt ; mais dans 10, 20, 30 ans, ce sera une réalité », affirme Samy Bjaïji, chargé de projet – adoption des technologies quantiques chez Québec Quantique, un organisme qui fait la promotion de la filière et rassemble ses acteurs. En attendant, on s'équipe. En plus de MonarQ, le foisonnant écosystème québécois disposera sous peu d'un ordinateur quantique conçu par IBM, le cinquième de ce type dans le monde, qui sera installé à l'usine IBM de Bromont. Il sera géré par la Plateforme d'innovation numérique et quantique, un organisme à but non lucratif créé par l'Université de Sherbrooke et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie en 2020. Le processeur est un des plus puissants jamais mis au point (soit 127 qubits, les unités de base de l'information quantique). Même s'il est lui aussi inexploitable pour des projets pertinents sur le plan industriel, il permettra aux entreprises et aux universités de se familiariser avec la logique de la programmation quantique et de tester quelques algorithmes.

ENFIN DU CONCRET

Imaginé dans les années 1980 par des adeptes de la physique théorique et des mathématiques, l'ordinateur quantique a longtemps paru impossible à fabriquer. « Mais il y a un changement de paradigme. Ce n'est plus

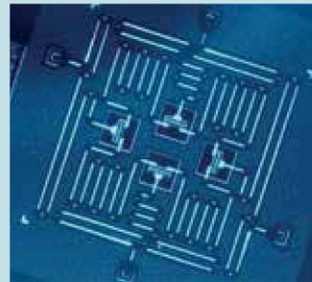
uniquement de la théorie, des machines commencent à être mises à disposition en ligne », se réjouit Olivier Landon-Cardinal, qui enseigne la programmation quantique à l'École de technologie supérieure (ETS), où loge Calcul Québec.

Autre preuve que le rêve se concrétise doucement, le processeur Sycamore de Google a atteint en 2019 ce qu'on appelle l'« avantage quantique ». Ses 53 qubits ont réalisé un calcul (inutile, toujours) plus rapidement que ce qu'aurait pu faire un ordinateur standard. Un « exploit » mis en doute par plusieurs spécialistes, mais qu'importe... « Le fait qu'on puisse croire à la capacité d'une puce artisanale de 53 qubits d'être plus rapide qu'un superordinateur, lequel a coûté un demi-milliard de dollars et dont le développement a pris des décennies, c'est une réussite en soi ! » estime Alexandre Blais, professeur au Département de physique de l'Université de Sherbrooke.

C'est un fait : depuis peu, des verrous techniques considérés comme infranchissables sautent les uns après les autres. « Il y a des difficultés, mais il n'y a plus de blocage. Il y a des percées tout le temps, et tout va toujours plus vite que ce que j'essaie de prédire », constate Alexandre Blais.

Il reçoit *Québec Science* dans les locaux flambant neufs de l'Institut quantique, dont il est le directeur scientifique. Inauguré en 2022 sur le campus de l'Université de Sherbrooke, ce cube de baies vitrées et de bois clair abrite une trentaine de scientifiques (et une centaine d'étudiants

À LA RECHERCHE DU QUBIT IDÉAL



Alexandre Blais nous présente une plaque circulaire de quelques centimètres de diamètre – un « dinosaure qui a déjà huit ans » – au centre de laquelle on distingue quatre minuscules carrés métallisés : ce sont quatre qubits. « C'est de l'aluminium, qu'on refroidit à très basse température pour qu'il devienne supraconducteur. Avec la supraconductivité, ces atomes d'aluminium agissent de concert pour se comporter comme un seul atome artificiel, que l'on peut exciter avec des impulsions dans les fréquences micro-ondes », explique le chercheur de l'Université de Sherbrooke.

Le dispositif a l'air simple, mais il n'en est rien. Fabriquer les « briques » de base de l'ordinateur quantique est une tâche complexe, qui donne du fil à retordre aux scientifiques : il faut pouvoir intriquer ces unités, les manipuler pour les programmer, mais il faut aussi qu'elles soient suffisamment robustes pour ne pas perdre leurs propriétés à la moindre perturbation.

La quête du qubit parfait donne lieu à une compétition de haute voltige ! Parmi les candidats en lice, outre les circuits supraconducteurs, citons les atomes, les ions, les électrons, les photons... « Il est encore trop tôt pour savoir quelle technologie va gagner le marathon, estime Christian Bassila, même si son entreprise, Anyon Systèmes, a misé toutes ses billes sur les qubits supraconducteurs. Chacune a ses avantages, ses défauts et ses problèmes d'ingénierie. »

Juste après les circuits supraconducteurs (voir image ci-dessus), c'est la piste des pièges à ions qui sort du lot. Ces derniers sont issus de décennies de recherche qui ont permis d'isoler les atomes (ou plutôt des ions, des atomes chargés), de les refroidir à l'aide de lasers et de les immobiliser par un jeu de champs électromagnétiques. En excitant ces ions disposés en rang à l'aide d'impulsions lumineuses, il est possible de manipuler leur état et de les coupler. Ils offrent un temps de cohérence imbattable, mais une certaine lenteur à la manipulation. La compagnie Honeywell a annoncé dans *Nature* en 2021 avoir conçu une puce de six qubits de ce type (en laboratoire, on atteint une vingtaine). Et en février dernier, une équipe de l'Université d'Innsbruck, en Autriche, a pu intriquer deux ions situés dans deux laboratoires distants de 230 mètres.

Un dernier candidat a émergé récemment : les électrons (et leur spin, une propriété quantique qui pourrait s'apparenter à un sens de rotation) dans le bon vieux silicium. Même si la recherche est moins avancée de ce côté, le fait d'utiliser les mêmes matériaux qu'en électronique laisse penser que la montée en puissance des processeurs sera facilitée. Les jeux sont ouverts !



Merci Québec Science pour ce regard scientifique sur l'actualité si important, édition après édition.

Bravo pour plus de 60 ans de partages de savoirs fondamentaux!

RUBA GHAZAL
Députée de Mercier

Porte-parole du 2e groupe d'opposition en matière d'éducation

Ruba.Ghazal.MERC@assnat.qc.ca



1012 Mont-Royal Est, bureau 102
Montréal, Québec

LA TRAQUE DES ERREURS

Trop sensibles aux perturbations extérieures, les qubits sont instables et accumulent les erreurs. « Dans un transistor, il y a des milliards d'électrons qui circulent. Si quelques-uns d'entre eux se décident à faire autre chose, ce n'est pas grave, illustre Alexandre Blais, de l'Université de Sherbrooke. Avec un qubit, on a une seule excitation. Si on la perd, c'est fini. »

Pour pallier ce défaut majeur, et créer de la « redondance », la stratégie la plus explorée est de répartir l'information (0 ou 1) sur un grand nombre de qubits. Cet « escadron » de qubits erratiques équivaut en fin de compte à un seul qubit fiable, dit « qubit logique ». « L'enjeu, c'est qu'il faut actuellement de 1000 à 10 000 qubits physiques pour avoir un qubit logique. Contrairement à ce qui existe sur le marché, on propose de notre côté un système dans lequel chaque qubit physique peut être corrigé », explique Julien Camirand-Lemyre, fondateur de la jeune pousse sherbrookoise Nord Quantique. Depuis sa création en 2020, l'entreprise ne cesse de croître – et il semble que même Google lorgne avec envie son approche. Il faut dire qu'elle est séduisante : pour avoir un ordinateur performant, il faudrait des milliers de qubits efficaces – et donc des millions de qubits physiques. « Faire de la correction d'erreur sur des qubits individuels permet d'avoir beaucoup moins de qubits au final », explique le jeune physicien, qui a fait sa thèse à l'Université de Sherbrooke.

Son secret ? Un grand nombre de photons, contenus dans une espèce de « four à micro-ondes miniature », qui n'ont pas seulement deux états (0 ou 1) possibles, mais beaucoup de « niveaux d'énergie qui créent la redondance ». L'entrepreneur est confiant : « On parie que ce sera la technologie gagnante qui permettra d'arriver le plus vite au produit final. »

et étudiantes) leaders dans le domaine des matériaux, de l'information et de l'ingénierie quantiques. Au rez-de-chaussée, un laboratoire permet entre autres de plancher sur les composants d'un futur ordinateur.

Dans le bâtiment baigné de lumière, les espaces communs organisés autour d'un large vide central, tout en courbes, invitent à la collaboration. Partout, les murs noirs couverts d'équations griffonnées à la craie témoignent de ces échanges. Le ton est donné : la physique quantique est née sur papier, et elle reste avant tout un ensemble de concepts mathématiques. Ce qui la rend très complexe à vulgariser, même si ses lois, qui règnent à l'échelle des atomes et des particules, ont été maintes fois vérifiées expérimentalement.

UN MONDE CONTRE-INTUITIF

Avant d'aller plus loin, il faut plonger un peu dans l'abstrait... Avec la théorie de la relativité générale (qui décrit l'infiniment grand), la mécanique quantique est le socle de la physique, élaboré au début du 20^e siècle. Un socle jamais pris en défaut, mais complètement déroutant. Les phénomènes quantiques sont aléatoires, discontinus et se traduisent en probabilités. À ces échelles minuscules, rien ne se passe « normalement ».

Chaque particule (atome, ion, photon) se comporte en fait comme une onde et peut ainsi se trouver à plusieurs endroits à la fois. Il en résulte une règle d'or, au cœur de tout le développement technologique dans le domaine : la superposition d'états. En effet, un système quantique peut être simultanément dans plusieurs états différents. L'état en question peut être la position, la vitesse, la polarisation dans le cas de la lumière, un niveau d'énergie dans le cas d'un électron ou quantité d'autres propriétés mesurables.

À l'instar d'une pièce jetée en l'air qui serait à la fois pile et face, ou du célèbre chat de Schrödinger, enfermé dans une boîte avec une fiole de poison, qui est mort et vivant tant qu'on n'a pas soulevé le couvercle pour vérifier son état. Car seul le fait de mesurer le système permet d'arrêter la superposition chaotique et de

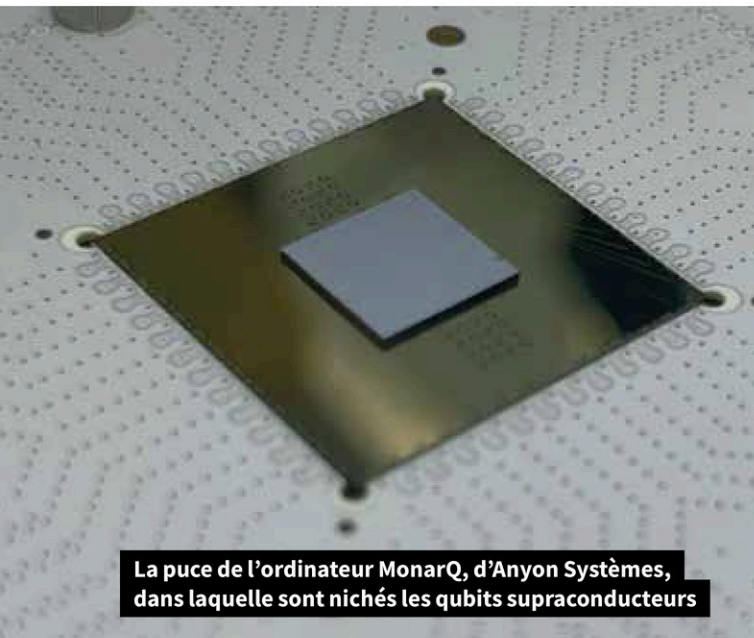
s'arrêter sur une des deux valeurs (0 ou 1 par exemple, ou bien la mort ou la vie!).

Les technologies quantiques tirent parti de cette étrange propriété. Alors que l'ordinateur classique fonctionne avec des transistors qui peuvent laisser ou non passer le courant (donc prendre seulement deux états, notés 0 et 1), l'ordinateur quantique fonctionne avec des qubits, qui peuvent être à la fois 0 et 1. Ou, plutôt, être dans une superposition de 0 et de 1, c'est-à-dire une combinaison de ces valeurs, chacune étant associée à une probabilité de survenir en cas de mesure. Ainsi, un système de seulement 50 qubits compte en théorie plus d'un million de milliards de configurations possibles ! C'est le secret de ces calculateurs futuristes : ils peuvent opérer à une vitesse exponentielle en traitant toutes les possibilités simultanément.

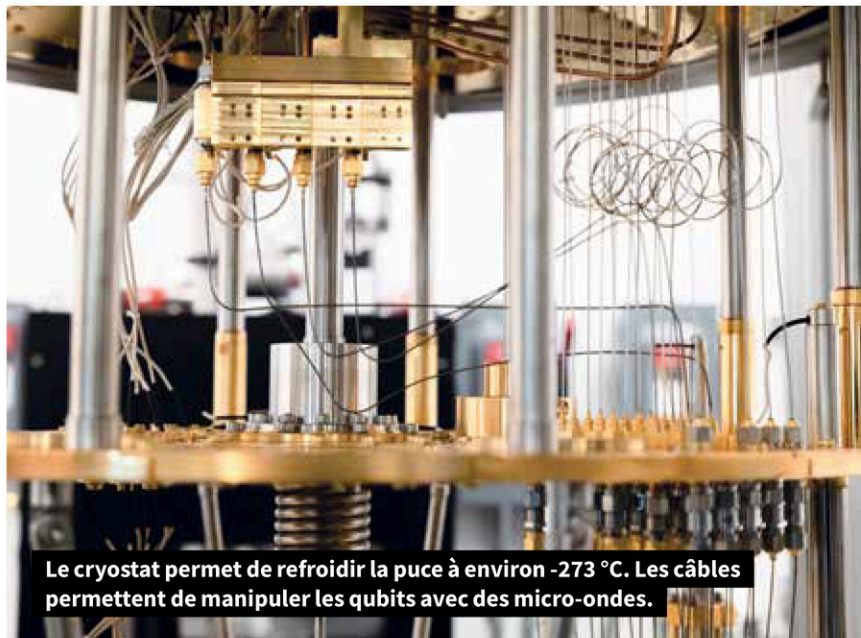
« La superposition d'états est simple quand on y pense en termes d'ondes. Imaginons une corde de guitare. Je peux la faire osciller verticalement ou horizontalement. Mais si je la fais vibrer à 45 degrés, elle est à la fois horizontale et verticale, indique Philippe St-Jean, professeur au Département de physique de l'Université de Montréal. Les ingénieurs quantiques sont les luthiers du 21^e siècle, parce qu'ils fabriquent les meilleures caisses de résonance possible pour faire résonner non pas des ondes sonores, mais des ondes de lumière, des ondes électroniques. »

Quand on manipule ces ondes et qu'on les fait interagir entre elles, certaines « vagues » s'annulent, d'autres s'amplifient. Bref, elles interfèrent, ce qui permet de calculer et de mesurer. C'est ce jeu d'ondes qui est à la source de la deuxième révolution quantique, celle qui suscite tant d'engouement.

Vous avez bien lu : la première révolution quantique a déjà eu lieu, et a permis de mieux comprendre la lumière et la façon dont le courant électrique est conduit. « Elle a donné le transistor, à la base de tous les appareils électroniques, et le laser. On utilise pour cela des propriétés quantiques collectives des photons et des électrons. Avec la révolution 2.0, on contrôle des systèmes quantiques individuels : un atome, un photon, un qubit. Ce qui ouvre



La puce de l'ordinateur MonarQ, d'Anyon Systèmes, dans laquelle sont nichés les qubits supraconducteurs



Le cryostat permet de refroidir la puce à environ -273 °C. Les câbles permettent de manipuler les qubits avec des micro-ondes.

beaucoup de possibilités », explique Olivier Landon-Cardinal.

Le fait de jouer avec des « objets » uniques permet aussi d'exploiter un autre phénomène quantique, de loin le plus bizarre de tous : l'intrication. Cette connexion immatérielle lie deux particules de façon inextricable, quelle que soit la distance qui les sépare. Si l'état de l'une d'elles se modifie, celui de sa « jumelle » change de façon instantanée, comme s'il s'agissait d'un seul et même système. Disons-le clairement : on est presque dans le registre de la magie puisqu'aucune force, aucun contact n'opère entre les membres du duo.

« L'intrication est la propriété qui distingue le plus la physique quantique de la physique classique. Il semble que la puissance de l'ordinateur quantique résulte de l'intrication encore plus que des superpositions d'états », résume Alexandre Blais. Le fait d'intriquer des qubits permet notamment de leur faire exécuter des commandes de façon coordonnée, et donc de réaliser une succession de changements d'état (passer de 0 à 1 par exemple) pour exécuter des algorithmes.

Avec une équipe de l'École polytechnique fédérale de Zurich, Alexandre Blais teste les limites du phénomène.

Le groupe a réussi à intriquer deux objets séparés de 30 mètres, dans un immense laboratoire en Suisse, ce qui a fait l'objet d'une publication en mai 2023 dans *Nature*.

Les objets en question, ce sont des qubits dits supraconducteurs, du même type que ceux qui composent les ordinateurs expérimentaux d'Anyon et d'IBM. Si ce ne sont pas les seuls qubits prometteurs, ils sont la voie privilégiée par l'écosystème québécois et par la plupart des poids lourds de l'industrie. « On pense que, pour avoir un ordinateur quantique de taille utile, il faudra connecter plusieurs processeurs de

UNE EXTRÊME SENSIBILITÉ À EXPLOITER

À l'été 2020, un drôle d'appareil rappelant vaguement le robot R2D2 a été installé au sommet de l'Etna, l'un des volcans les plus actifs du monde. Sa mission : mesurer d'infimes variations de la gravité qui pourraient trahir un afflux de magma dans la cheminée du volcan sicilien, et donc annoncer une éruption imminente. Mis au point par une entreprise française, Muquans, ce gravimètre expérimental dernier cri est, vous l'aurez deviné... quantique.

Car si la sensibilité des systèmes quantiques est un défi pour construire des ordinateurs efficaces, elle peut être un sacré atout dans le domaine des capteurs. « Les capteurs quantiques sont la technologie qui va être prête le plus vite sur le marché. Au Québec, il y a déjà des compagnies minières qui sont intéressées par des magnétomètres quantiques [pour détecter des gisements], même s'ils ne sont pas encore tout à fait prêts pour des applications commerciales », indique Samy Bjaïji, de l'organisme Québec Quantique.

Gravité, champ magnétique, température, activité neuronale... Les dispositifs quantiques promettent des mesures extrêmement précises grâce, entre autres, à des atomes refroidis à l'extrême et placés dans un état de superposition quantique, comme ce qu'on utilise dans les horloges atomiques. Se comportant comme des ondes, ils peuvent alors être séparés et emprunter des chemins différents, puis être recombinaés – le résultat de cette interférence permet de déduire les différences minimes entre les deux trajets, témoignant des forces subies en chemin. Si on laisse les atomes tomber sous l'effet de la gravité, on peut ainsi mesurer les forces d'accélération ou de rotation. Le gravimètre de Muquans, par exemple, permet d'évaluer l'accélération de la pesanteur avec une incertitude 1 milliard de fois plus faible que la valeur de la pesanteur, g.

Autres outils en vogue pour obtenir des magnétomètres : des cavités nichées dans des diamants artificiels, dans lesquelles des électrons flottent librement et détectent les variations de leur environnement.

Si les applications sont prometteuses pour le domaine biomédical et l'industrie, la science fondamentale, elle aussi, a tout à gagner à accéder à des mesures ultraprécises. « Quand on mesure des choses qu'on n'était pas capables de mesurer avant, on fait des découvertes, dit avec enthousiasme Alexandre Blais. Les progrès du domaine quantique permettent depuis peu d'envisager de détecter les axions, des particules qui pourraient constituer la matière noire dans l'Uni-vers. En présence d'un champ magnétique, ils sont censés se transformer en photons. Maintenant, on peut mesurer ces photons à toutes les plages de fréquence, y compris micro-ondes [et donc élargir le champ de recherche]. C'est incroyable, j'en ai presque des frissons ! »

taille modeste. C'est l'intrication qui leur permettra d'agir comme un seul ordinateur ; l'expérience à Zurich est le premier pas vers cela », explique le chercheur. Cette démonstration est un pied de nez aux prédictions théoriques : « construire un ordinateur quantique, c'est contourner le principe qui veut que, lorsque la taille des systèmes augmente, on retombe dans la physique classique ».

ENCORE LOIN DU COMPTE

Sous l'impulsion de la recherche privée, les qubits supraconducteurs ont pris une longueur d'avance. En novembre 2022, IBM a présenté son processeur Osprey, constitué de 433 qubits de ce type, un record. La machine d'Anyon, MonarQ, aura 24 qubits – ce qui reste un beau terrain d'entraînement.

« Le *nec plus ultra* pour l'instant, c'est de 50 à 100 qubits. Mais pour avoir un ordinateur vraiment efficace, on pense qu'il faudrait en avoir un million ! La difficulté est la mise à l'échelle, notamment des systèmes de refroidissement », dit Christian Bassila.

Dans les locaux d'Anyon Systèmes, justement, un groupe est en pleine conférence technique autour d'un « réfrigérateur à dilution ». Sorte de lustre doré constitué de plusieurs plateaux reliés par des câbles, c'est l'objet emblématique de l'informatique quantique et celui qui illustre joliment les articles sur le sujet. Il permet de maintenir les qubits à près de -273 °C, tout près du zéro absolu, condition requise pour que l'aluminium soit supraconducteur (c'est-à-dire qu'il conduise parfaitement les électrons, et qu'il acquière ses propriétés quantiques).

« La minuscule puce est logée dans l'étage inférieur de cette tour », indique Gabriel Éthier-Majcher, qui dirige l'équipe de physique quantique d'Anyon, en désignant le « lustre ». « On utilise un mélange de deux isotopes d'hélium, et c'est l'expansion de l'hélium qui crée le refroidissement. La chaleur peut exciter les qubits, donc il faut les refroidir pour qu'ils soient tranquilles avant de leur envoyer des impulsions par les câbles. » Ces câbles, qui servent à « parler » aux qubits avec des micro-ondes (et donc à les faire changer d'état), véhiculent de la chaleur. Plus il y a de qubits, plus il faut de câbles, et plus le refroidissement est complexe !

Cette extrême sensibilité des qubits aux variations de température, mais aussi au champ magnétique, aux ondes wifi, aux vibrations – et à peu près à tout –, est un véritable casse-tête. On veut les manipuler, donc qu'ils soient réceptifs aux signaux extérieurs, mais la moindre perturbation détruit les délicates superpositions d'ondes essentielles au calcul quantique. Cet effondrement, nommé « décohérence », survient en quelques millièmes de seconde en moyenne.

Autre conséquence de cette instabilité : les qubits font beaucoup d'erreurs, le taux pouvant atteindre 0,1 %, voire 1 %. Il faut donc mettre en œuvre des systèmes pour corriger les bogues – à l'aide d'algorithmes. « Une façon d'y parvenir est de délocaliser l'information dans plusieurs qubits, par exemple 1000. Si l'un d'eux fait une erreur, les autres peuvent compenser, car l'information est détenue de manière collective », explique Olivier Landon-Cardinal.

Décohérence, erreurs, manque de fiabilité... Les défis restent immenses. « Il faut améliorer chacune des

composantes, travailler sur l'équipement et les logiciels. Il faut faire encore beaucoup de recherche fondamentale », souligne Alexandre Blais.

UNE MACHINE À FAIRE QUOI?

Parmi les questions de recherche, il en reste une de taille : à quoi pourront donc servir ces fameux ordinateurs quantiques? Chose certaine, de telles machines ne seront jamais des objets grand public, et ne remplaceront pas nos portables et nos téléphones intelligents. « Le terme *ordinateur* est mal choisi, car il s'agira de complètement autre chose », reprend le professeur Blais. La plupart des opérations se feront en mode hybride, en combinant supercalculateurs classiques et ordinateur quantique, prédit de son côté Samy Bjaïji.

En fait, on a recensé pour l'instant trois types de problèmes qui pourront assurément être soumis à un ordinateur quantique. Il y a d'abord la factorisation en nombres premiers de très grands

nombres, utile en cryptographie. Vient ensuite la simulation de grosses molécules et de réactions dans le domaine de la chimie et des matériaux ; ces simulations requièrent des puissances de calcul faramineuses, parce que les interactions sont complexes et que les électrons impliqués dans les réactions obéissent eux-mêmes aux lois quantiques. Enfin, les problèmes d'optimisation, qui visent à trouver une solution parmi un très grand nombre de possibilités, pourraient eux aussi bénéficier du parallélisme quantique.

C'est pour réfléchir à ces questions (et trouver d'autres problèmes à résoudre !) que l'équipe de Calcul Québec souhaite mettre MonarQ à la disposition des universités le plus vite possible. Olivier Landon-Cardinal insiste lui aussi sur le besoin de formation. « Le facteur limitant en ce moment, ce sont les gens capables d'interagir avec un ordinateur quantique. À l'ETS, on forme des étudiants pour qu'ils deviennent des

développeurs quantiques et qu'il lancent des calculs sur les machines d'IBM et d'Anyon Systèmes. On pense que ce n'est pas nécessaire d'avoir un doctorat en physique quantique, de la même façon qu'un programmeur classique n'a pas besoin de comprendre le fonctionnement d'un transistor. Mais il faut les former dès maintenant, pas attendre le jour où le quantique sera opérationnel ! »

Au cœur des laboratoires, on se garde bien de faire des conjectures. « Prédire la technologie du futur est une tâche très difficile. Dire par exemple que le calcul quantique va avoir un impact dans le domaine de l'énergie ou du climat, ce qu'on entend parfois, c'est une pente glissante. Ça donne l'impression que nos problèmes de société vont être réglés par les nouvelles technologies. Si c'est le cas, tant mieux, mais les véritables applications seront probablement différentes de ce qu'on a imaginé, conclut Philippe St-Jean. C'est la beauté de la science et de la vie en général ! » ●

Chef de file en sciences et technologies quantiques, l'Institut quantique offre un environnement de recherche collaboratif, centré sur l'expérience étudiante.

USHERBROOKE.CA/IQ



LA RESSOURCE INVISIBLE

Le Québec connaît encore mal ses ressources en eau souterraine, cette eau qui circule sous nos pieds et qui abreuve une personne sur cinq dans la province. Avec la croissance de certaines villes et le réchauffement climatique, allons-nous manquer d'eau ?

Par Raphaëlle Derome

Prise d'échantillon d'eau.
Un filtre (l'embout jaune) retire les particules en suspension qui pourraient fausser certaines mesures.



« Voici le petit bijou », dit Antoine Picard, doctorant à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), en ouvrant la grosse mallette posée sur la banquette arrière de la minifourgonnette. Au centre trône un enchevêtrement de boutons, de tubes de plastique et de gros cylindres d'acier. L'appareil – un spectromètre de masse – analysera en temps réel la composition chimique de l'eau de la rivière Jaune, petit affluent de la rivière Saint-Charles.

En cette matinée de fin d'hiver, nous sommes garés sur un pont de Lac-Beauport, à une trentaine de minutes de voiture au nord de Québec. De nombreux véhicules et quelques piétons nous contournent. Penchés par-dessus le parapet, deux collègues d'Antoine Picard font descendre la pompe submersible dans l'eau. Cela permettra de remplir plusieurs bouteilles d'échantillonnage et d'alimenter le spectromètre, resté dans l'auto. « Ne claquez pas les portes de la voiture, s'il vous plaît, il faut éviter les vibrations », nous met en garde l'hydrogéologue, qui prend grand soin de l'appareil, récente acquisition de l'UQAM.

L'hydrogéologie est une branche des sciences de la Terre qui étudie l'eau qui circule dans le sol et dans le roc. Et si l'équipe prélève aujourd'hui des échantillons dans la rivière plutôt que dans un forage profond, c'est qu'une partie de ce qui coule ici a d'abord séjourné sous terre, avant de refaire surface pour gonfler le cours d'eau. Un cours d'eau qui



En haut à gauche : l'hydrogéologue Antoine Picard analyse l'eau de la rivière Jaune, près de Québec, à l'aide d'un spectromètre de masse. La récolte d'échantillons d'eau (à droite) et de neige (à gauche) l'aidera à mieux comprendre le cycle de l'eau souterraine.

alimente notamment la prise d'eau potable principale de Québec, située à quelques kilomètres en aval, qui approvisionne 300 000 personnes – plus de la moitié de la population de la ville!

Si monsieur et madame Toutle-Monde ont conscience de l'importance de protéger les lacs, les rivières et le fleuve Saint-Laurent, l'eau souterraine reste méconnue et mal comprise. Pourtant, la nappe phréatique abreuve directement une personne sur cinq au Québec! Et encore plus si on considère ses liens avec l'eau de surface, comme on est en train de le faire dans le bassin de la rivière Saint-Charles.

Dans cette province habituée à l'abondance des ressources en eau, des signaux inquiétants apparaissent quant à la quantité ou à la qualité des eaux souterraines. Des municipalités en croissance démographique peinent à fournir assez d'eau à leurs citoyens et citoyennes ces dernières années. D'autres villes voient la ressource ruinée par de bêtes accidents, comme à Saint-Hubert-de-Rivière-du-Loup, dans le Bas-Saint-Laurent,

où l'eau a été contaminée au diesel par le passage d'un camion au réservoir percé.

Bref, notre eau souterraine est peut-être plus fragile qu'on le pense. La science commence toutefois à fournir des données pour mieux gérer cette ressource. Aurons-nous la sagesse de l'écouter?

DES PUIXS À SEC

Mathieu Maisonneuve raconte que, lorsqu'il a été élu maire en 2021, « c'était la catastrophe » à Saint-Lin-Laurentides. Cette ville des Basses-Laurentides était aux prises avec d'importantes pénuries d'eau. Après des années de croissance démographique soutenue et deux étés secs, de nombreux puits privés n'avaient plus d'eau. Aux heures de pointe, les puits municipaux et l'aqueduc ne fournissaient plus à la demande : impossible de prendre une douche après 18 h, avait constaté l'émission *Enquête*. Le pire dans tout ça? « On n'était même pas en mesure de déterminer la source du problème », se rappelle le maire.

Pourtant, depuis 15 ans, le Québec a réalisé de grandes études pour améliorer sa connaissance de l'eau souterraine. À la demande du gouvernement, les universités ont cartographié et caractérisé les nappes d'eau souterraine dans presque toutes les régions du sud du Québec, un travail achevé l'an dernier. Chaque « projet d'acquisition de connaissances sur l'eau souterraine », comme on appelle ce type d'étude, doit indiquer d'où vient l'eau souterraine, où elle va, quelles formations géologiques sont présentes, où sont les zones plus propices à l'infiltration de l'eau, la topographie et l'utilisation du sol, la qualité de l'eau souterraine...

Un premier portrait essentiel, mais encore très général. « Les données ne sont pas toujours assez détaillées pour répondre à des questions spécifiques », reconnaît Miryane Ferlatte, coordonnatrice scientifique du Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES), organisme qui forme les responsables de l'aménagement du territoire à utiliser ces études.

LA MÉMOIRE D'UNE GOUTTE D'EAU

L'eau d'une goutte de pluie ou d'un flocon de neige n'est jamais pure à 100 %. En tombant, elle capte dans l'atmosphère toutes sortes d'impuretés – en quantités microscopiques – avant de s'infiltrer dans le sol. Elle séjourne ensuite sous terre pendant des mois ou des années, préservant en elle cette « signature chimique », notamment sous forme de gaz dissous. Ce sont ces gaz que traquent et mesurent les hydrogéologues dans l'eau souterraine.

Mais n'allez pas imaginer un coca-cola rempli de bulles : ces gaz dissous sont présents en infimes quantités. « On utilise des appareils de mesure extrêmement performants, capables de détecter des concentrations de quelques parties par trillion ! C'est un peu comme si on prenait un grand pétrolier, qu'on le remplissait d'eau, puis qu'on y diluait un, deux ou trois cubes de sucre. L'appareil nous permettrait de connaître la quantité exacte de sucre en trois minutes », illustre Florent Barbecot.

On recherche notamment les chlorofluorocarbones (les fameux CFC, désormais bannis, car destructeurs de la couche d'ozone) et l'hexafluorure de soufre (SF₆), des gaz produits par l'activité industrielle dont la quantité a augmenté progressivement dans l'atmosphère au cours des années. D'autres sont des substances radioactives, comme le tritium, dégagées par les essais nucléaires menés depuis les années 1950.

« Pour chaque gaz, on a une courbe connue de sa concentration dans l'atmosphère terrestre en fonction de l'année. Une fois qu'on a notre échantillon et qu'on mesure la concentration de gaz traceurs à l'intérieur, on va reporter ça sur la courbe et ça nous donne l'année à laquelle l'eau est tombée et s'est infiltrée sous terre », dit Florent Barbecot.

À Saint-Lin-Laurentides, le manque d'informations précises a éveillé des suspicions qui nuisaient au climat social. Les fermes des environs étaient-elles en train de vider la nappe phréatique ? Les pompages de la Ville mettaient-ils en péril les puits privés ? La Ville a embauché un consultant privé pour tirer la situation au clair.

Verdict ? La nappe phréatique locale peut suffire à la demande actuelle, mais la Ville devra forer de nouveaux puits et construire une nouvelle usine d'eau potable pour assurer une pression suffisante dans l'aqueduc – la situation devrait être réglée fin 2024, assure le maire. Les propriétaires de puits privés ont aussi trouvé de l'eau en creusant plus en profondeur. Mais l'approvisionnement en eau reste « le sujet numéro un » pour les 25 000 Saint-Linois et Saint-Linoises, dit Mathieu Maisonneuve. « Ce qu'on a vécu a ouvert une fenêtre sur l'avenir. Avec le réchauffement climatique, d'ici quelques décennies, je pense que d'autres villes vivront les mêmes problèmes. »

CES ÉTÉS TROP CHAUDS

Avec les changements climatiques, qu'advient-il de notre eau ? Les simulations informatiques réalisées par le consortium de recherche Ouranos prédisent que les précipitations annuelles augmenteront légèrement au cours des prochaines décennies. Cela peut sembler rassurant. Toutefois, celles-ci seront moins bien réparties au cours de l'année. Un problème majeur pour les eaux souterraines. « Quand on parle de recharge des eaux souterraines, on regarde les précipitations saisonnières, pas juste le total annuel », indique Miryane Ferlatte, du RQES.

Au Québec, la recharge s'effectue au printemps et à l'automne avec la fonte des neiges, les précipitations et les températures fraîches. L'hiver, les sols gelés ne peuvent pas absorber d'eau. Et l'été, la recharge est presque nulle, car l'évaporation est très forte.

Qui plus est, nos étés font de plus en plus alterner des périodes de sécheresse avec de gros orages, ce qui est moins propice à la recharge que des pluies plus régulières. « Lors d'un événement

extrême, l'eau s'infiltrer mal dans le sol : il y a plus de ruissellement en surface », prévient Florent Barbecot, professeur au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM et directeur de thèse d'Antoine Picard. Et c'est pire si le sol est très sec.

« Le Québec n'est pas à la veille de manquer d'eau, nuance Marie Larocque, professeure au même département. Ce n'est pas parce qu'un puits est à sec que l'aquifère [la formation géologique] est à sec : si on creuse plus, on va trouver de l'eau. Par contre, on verra plus de changements dans le cycle hydrologique. Il faudra s'adapter. »

Il faut donc s'assurer que la recharge annuelle soit suffisante pour pouvoir passer l'été. « La nappe phréatique est comme un réservoir qui se remplit au printemps. Il ne faut pas toucher le fond avant le prochain remplissage. Ce bilan est la clé : il faut arrêter le développement [immobilier, agricole, industriel] avant d'atteindre la limite », explique Yves Leblanc, ingénieur géologue chez Richelieu Hydrogéologie. Or, les données sur l'eau souterraine sont encore trop imprécises actuellement pour que les scientifiques puissent dire où se situe cette limite.

TOUTES CONCERNÉES

La loi oblige les municipalités qui alimentent plus de 500 personnes à partir d'eau souterraine à produire une analyse de vulnérabilité de leurs puits et à protéger leurs environs immédiats. Mais la quantité d'eau souterraine et sa qualité devraient interpellier toutes les municipalités, même celles qui puisent leur eau... en rivière ! Les travaux d'Antoine Picard dans le bassin versant de la rivière Saint-Charles le démontrent bien.

Dans ses analyses chimiques, le doctorant s'intéresse plus précisément aux gaz rares dissous, afin d'estimer l'« âge » de l'eau. Explication : si l'eau de la rivière provenait uniquement de la fonte des neiges ou du ruissellement de surface après les pluies, les gaz qui y sont dissous porteraient la signature chimique de l'atmosphère actuelle. Mais la signature ici est différente : diluées parmi les « jeunes eaux » de la rivière se



À 30 minutes de Québec, Lac-Beauport est un secteur en pleine expansion, ce qui pourrait compromettre la prise d'eau potable de la capitale nationale.



Ce puits (un simple tuyau enfoncé dans le sol et instrumenté de sondes) permet de surveiller les variations de niveau et de température de l'eau souterraine.

trouvent aussi de « vieilles eaux ». De l'eau de pluie ou de la fonte des neiges qui s'est infiltrée sous terre il y a des années avant de ressurgir aujourd'hui.

Et cette vieille eau souterraine joue un rôle majeur : « 80 % de l'année, plus de la moitié du débit de la rivière provient des eaux souterraines ! » souligne Antoine Picard. Autrement dit, si la Ville de Québec veut garantir son approvisionnement en eau potable, elle doit s'intéresser à ce qui se passe dans les cours d'eau, certes, mais aussi sous terre. Et protéger les précieuses « zones de recharge », ces coins du territoire où l'eau peut s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe phréatique.

« La Ville l'a bien compris et c'est pourquoi elle mène ces projets de recherche », explique Florent Barbecot. Le projet, qui regroupe plusieurs étudiants et étudiantes de l'UQAM et de l'Université Laval, vise à évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines face aux changements climatiques et aux changements dans l'utilisation du sol, afin de planifier l'aménagement du territoire dans les années à venir. « Notre eau de demain, on la prépare aujourd'hui », rappelle le professeur Barbecot.

Or, le bassin versant de la rivière Saint-Charles s'est beaucoup développé ces dernières années, constate le photographe Renaud Philippe, qui nous accompagne en reportage. « Avant, ici, c'était de la forêt », raconte le collaborateur de *Québec Science*, qui a grandi dans la région, en pointant les dizaines

de maisons qui se dressent autour de nous, à Lac-Beauport.

Une forêt mature, c'est justement ce qu'il y a de mieux pour recharger les eaux souterraines. Elle dirige les précipitations doucement vers le sol, via l'écoulement des gouttes sur les feuilles, les branches et les troncs, puis le réseau racinaire profond des arbres. À l'inverse, l'urbanisation favorise un ruissellement rapide vers les cours d'eau en multipliant les surfaces imperméables (routes, stationnements, bâtiments). Sans compter les sources potentielles de contamination : fosses septiques ou systèmes d'égoûts parfois déficients, routes déglacées avec du sel, pelouses et jardins entretenus de manière peu écologique...

« C'est inexorable : on va avoir un développement de l'activité humaine dans tous les bassins versants, dit Florent Barbecot. Mais, avec la bonne information, une MRC pourra dire "l'essentiel de notre eau souterraine vient d'une recharge qui se fait dans

tel secteur, donc on va le protéger". » Il faut dire que, sur 90 % du territoire québécois, les gens boivent de l'eau souterraine. Question de coût : filtrée naturellement, elle est beaucoup moins chère...

À QUI LA FAUTE ?

Si certains puits sont à sec, c'est d'ailleurs peut-être parce que la population québécoise n'a pas l'habitude d'économiser son eau... généralement gratuite. Les municipalités québécoises distribuent en moyenne 521 litres (L) d'eau par personne par jour. Une partie de cette eau fuit dans le réseau et une autre est utilisée par les commerces et les industries. La consommation résidentielle moyenne est donc de 276 L par personne par jour, beaucoup plus qu'en Ontario (184 L) ou que la moyenne des autres provinces canadiennes (220 L).

Mais une partie de l'eau puisée sous terre échappe à ces statistiques. Depuis 2002, tout prélèvement d'eau souterraine

MONTRÉAL ET LAVAL À L'AVEUGLE

Si l'eau souterraine a été étudiée dans la plus grande partie du Québec habité, aucun projet n'a encore été mené à Montréal ni à Laval. « L'eau de Montréal étant puisée dans le fleuve, l'eau souterraine n'y est pas considérée comme une ressource aussi importante... En gros, on ne fait que la polluer ! » indique Marie Larocque. La Ville n'a jamais jugé bon de mener ce type de recherches. L'intérêt est par contre grandissant à Laval, car on y trouve beaucoup de fermes et d'utilisateurs d'eau souterraine.



Marie Larocque et son collègue Daniele Pinti devant une résurgence d'eau souterraine

EN LAISSER POUR LES POISSONS

Au primaire, l'élève qui boit trop longtemps à la fontaine entendra les autres protester : « Laisse-en pour les poissons ! » Le même réflexe devrait peut-être s'imposer dans la gestion des eaux souterraines. Car l'eau, faut-il le rappeler, est aussi essentielle à la survie des écosystèmes qu'à celle des humains. Et bien comprendre le cycle de l'eau est parfois vital pour sauver les espèces menacées.

C'est le cas dans le secteur du mont Covey Hill, charmante colline située en Montérégie, non loin de la frontière américaine. L'organisme Conservation de la nature Canada y a acquis plusieurs terrains afin de protéger un habitat unique, qui abrite la plus grande diversité de salamandres au Québec. Au total, 10 espèces y vivent, dont la salamandre sombre des montagnes, inexistante ailleurs dans la province.

Lors de notre visite, le soleil plombe, mais l'ombre des grands pins protège nos bras enduits de chasse-moustiques. Nous ne sommes qu'en mai, mais en raison du temps chaud et sec qui perdure, les feux à ciel ouvert sont interdits partout au Québec. Nous marchons dans la forêt, le long d'un ruisseau asséché.

Soudain, au pied de quelques pierres, la professeure Marie Larocque et son collègue Daniele Pinti désignent un mince filet d'eau frémissante. Lentement, par gravité, elle s'est frayé un chemin jusqu'ici à travers les fissures du roc. « Vous voyez comme elle est fraîche ? » On dirait une flaque de boue, mais c'est une « résurgence d'eau souterraine », disent les spécialistes. Autrement dit... une source !

« C'est l'habitat idéal pour les salamandres », dit Joël Bonin, qui a découvert ici la présence de la salamandre sombre des montagnes à la fin des années 1980, pendant sa maîtrise. Les salamandres n'ont pas de poumons : elles respirent par leur peau, qui doit demeurer humide en tout temps. « Dans un cours d'eau permanent, elles sont vulnérables aux prédateurs, comme les truites. Alors qu'ici, elles sont tranquilles », poursuit le biologiste, aujourd'hui vice-président associé pour le Québec chez Conservation de la nature Canada.

Pour assurer la survie de ces petits amphibiens, il faut préserver les sources. Voilà pourquoi, depuis 20 ans, Marie Larocque accumule les données pour bien comprendre le cycle de l'eau dans le secteur. Au sommet du mont Covey Hill, une station météo et deux puits d'observation du niveau d'eau accumulent les données collectées chaque heure. Un peu partout sur les pentes, on mesure le débit d'eau dans les ruisseaux. Et l'équipe veut maintenant mesurer l'âge de l'eau souterraine pour déterminer d'où elle vient (plus l'eau est âgée, plus elle est susceptible d'arriver de loin).

« L'eau qui arrive ici vient-elle de 50 mètres en amont ou bien des monts Adirondacks, à 75 kilomètres au sud de la frontière américaine ? demande Marie Larocque. Tant qu'on n'a pas la réponse, on ignore quelle zone il faut protéger. »

qui approvisionne plus de 20 personnes ou qui dépasse 75 000 L par jour nécessite une autorisation du ministère de l'Environnement. Or, les puits agricoles creusés avant 2002 n'ont pas l'obligation de divulguer leurs prélèvements d'eau souterraine, même s'ils dépassent le seuil de 75 000 L par jour.

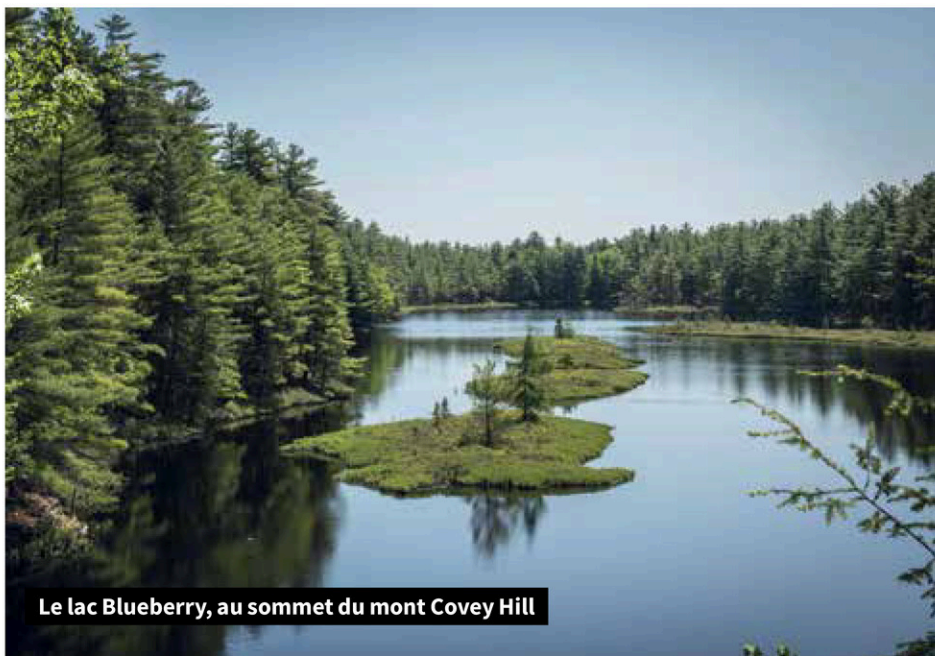
Le nombre peut sembler gigantesque, mais ce n'est « pas tant que ça pour une entreprise agricole », selon Yves Leblanc : ça correspond à laisser couler quatre robinets résidentiels 24 heures par jour, à un débit standard de 13 litres par minute.

Les divulgations vont devenir obligatoires progressivement d'ici 2029. « Ça devrait aider à mieux comprendre la situation à bien des endroits. Actuellement, on observe l'influence des prélèvements agricoles sur les niveaux des nappes, mais on ne sait pas exactement où sont situés les puits ni combien d'eau ils prennent », dit Yves Leblanc, qui a étudié la nappe phréatique de Saint-Lin-Laurentides.

Ça complique drôlement les calculs quand une municipalité cherche à estimer les volumes d'eau disponibles sur son territoire ! « Pour délimiter quelle est la portion du territoire qui contribue à recharger un puits, il faut connaître les propriétés de l'aquifère, le sens d'écoulement de l'eau... Ça nécessite des forages, des calculs, des modélisations. Les petites municipalités n'ont souvent pas l'argent, il ne faut pas se le cacher », se désole le consultant.

Il ne faut pas pour autant jeter la pierre aux agriculteurs et agricultrices, tempère Florent Barbecot : leur travail est essentiel pour que nous puissions manger des produits locaux.

Et si les urbains et urbaines accusent les propriétaires de fermes, ces derniers leur reprochent en retour de gaspiller l'eau pour remplir leurs piscines et arroser leur gazon et leur asphalte... D'ailleurs, dans les régions comme les Laurentides, Laval et l'Outaouais, c'est la croissance de la population – et non l'agriculture – qui aura le plus d'impact sur la ressource, révèle une étude présentée en 2020 au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. « Je crois qu'il faut qu'on apprenne à gérer ça sur le plan



Le lac Blueberry, au sommet du mont Covey Hill

local, à anticiper tout ça, dit Florent Barbecot. C'est notre responsabilité à tous de trouver de bonnes solutions pour qu'on puisse gérer l'eau à long terme. » D'autant plus que les changements climatiques vont augmenter la pression en zones agricoles : plus d'eau sera nécessaire pour irriguer les cultures, mais aussi pour abreuver et rafraîchir les animaux d'élevage.

LIENS MAL COMPRIS

Pas facile de gérer une ressource invisible. On sous-estime encore l'importance de l'eau souterraine et ses interactions avec l'eau de surface. Si on comprend facilement l'impact d'un puits à sec, le lien avec les milieux naturels est moins étudié et moins bien compris par le grand public, les consultants ou même les ministères, constate Marie Larocque. « La loi actuelle sur la protection des milieux humides protège les milieux eux-mêmes, mais pas leurs zones d'alimentation en eau ! » déplore-t-elle.

Résultat : les pompages en menacent plusieurs. C'est le cas de la tourbière de Lanoraie, dans Lanaudière, où la professeure mène des recherches depuis des années. Ce milieu humide ouvert est un épais tapis de mousses (des sphaignes) qui vivent les pieds dans l'eau.

Non loin de là, on puise de l'eau souterraine pour irriguer les champs de pommes de terre. Le niveau d'eau de la tourbière baisse. Comme le sol est plus sec, des arbres arrivent à s'y établir. « En

transpirant, ces arbres pompent plus d'eau souterraine, ce qui assèche davantage le sol. Depuis 70 ans, on assiste donc à une afforestation de la tourbière », dit Marie Larocque. L'équilibre hydrologique qui a permis à la tourbe de s'accumuler pendant plusieurs millénaires est rompu. Mais il faut bien produire notre nourriture...

Depuis 20 ans, dans chaque région, les organismes de bassins versants sont responsables d'assurer la gestion intégrée des ressources en eau, en concertation avec les secteurs municipal, agricole, industriel et touristique. « Mais souvent, dans les plans directeurs de l'eau, seule l'eau de surface a été prise en compte », dit Miryane Ferlatte, du RQES.

Il faudra plus de recherche pour régler ces conflits, croit Karine Dauphin, directrice générale du Regroupement des organismes de bassins versants du Québec. « On doit connaître précisément les quantités d'eau disponibles en mètres cubes dans chaque localité, des données qu'on n'a pas actuellement. »

Le Québec dispose bien d'un Réseau de suivi des eaux souterraines, 263 stations qui mesurent en continu le niveau des nappes phréatiques. « Mais c'est encore peu, compte tenu de la taille du territoire ! Il faut continuer à développer ce réseau, à garder les données à jour et à les diffuser largement », croit Marie Larocque.

Car, en fin de compte, que l'eau soit en surface ou sous terre, c'est la même ressource, que nous devons apprendre à partager. ●

< MTL > CONNECTE

10 au 13 OCTOBRE

5^e ÉDITION



INTELLIGENCE
COLLECTIVE

Comprendre
et tirer profit de
la révolution numérique

Un événement par

PRINTEMPS
NUMÉRIQUE

MTLCONNECTE.CA

LA DIVISION DES CLASSES

Écoles privées, programmes publics enrichis et classes ordinaires : cette segmentation de l'école québécoise compromet-elle l'égalité des chances ? Des scientifiques étudient la question.

Par Etienne Plamondon Emond

ILLUSTRATION : VALÉRY GOULET

Dès que je le rencontre dans un couloir bordé de casiers de l'école secondaire de la Montée de Sherbrooke, Alain-Guillaume Marcotte-Fournier me prévient de l'ironie de la situation : il enseigne actuellement la biologie à des élèves d'un programme enrichi en sciences. C'est ironique, car, il y a une dizaine d'années, il a fait une pause de l'enseignement pour entreprendre une maîtrise à l'Université de Sherbrooke sur les conséquences négatives de la multiplication de ce genre de projets pédagogiques particuliers.

Avant cette pause, il enseignait à des classes ordinaires. Le fardeau de la tâche semblait s'alourdir : il fallait plus d'énergie pour gérer des troubles de comportement et il y avait moins de temps à allouer aux apprentissages. « Le midi, lorsqu'on se retrouvait autour d'une table entre enseignants, j'entendais des phrases comme : "je n'enverrais jamais mon enfant au régulier", raconte-t-il. On se disait ça entre nous, mais personne n'agissait. » Il a donc décidé de faire la lumière sur la situation. Le problème

était-il dû aux programmes sélectifs, qui dépouillaient ces classes de leurs élèves ayant le plus de facilité à apprendre ?

Durant l'entrevue, ma position m'est aussi apparue ironique : j'appartiens à la première génération instruite dans un programme enrichi à l'école publique. Et le couloir du pavillon Le Ber, où j'ai retrouvé M. Marcotte-Fournier, est celui où se trouvait mon casier lorsque j'étudiais dans la « concentration sciences et informatique ».

Quand j'ai fait le saut du primaire au secondaire en 1995, sept ans seulement s'étaient écoulés depuis que la Loi sur l'instruction publique avait permis aux établissements publics d'offrir des projets pédagogiques particuliers, dans le but de motiver les élèves. Toutes les écoles secondaires publiques de Sherbrooke offraient déjà un programme enrichi qui leur était propre. À partir des années 2000, le phénomène allait s'étendre à l'ensemble de la province.

Voilà qui ajoutait une nouvelle division à celle déjà existante entre les établissements publics et les écoles privées, ces dernières ayant le droit

depuis 1968 d'être financées à majorité par l'État et de sélectionner leurs élèves.

L'école privée, le public enrichi et les classes ordinaires forment ce qu'il est désormais coutume d'appeler l'« école à trois vitesses », un système dénoncé comme inégalitaire, d'autant plus que la barrière à l'entrée de certains programmes se complexifie : des notes élevées, des tests psychométriques, des vidéos de présentation et même des frais supplémentaires sont parfois exigés. Le sujet refait surface puisque le Québec s'apprête à revivre une réforme en éducation. Dans une entrevue accordée au *Devoir* en mai dernier, le ministre de l'Éducation, Bernard Drainville, déclarait que les études qui documentent cette « école à trois vitesses » ont « un biais conceptuel ». Qu'en est-il vraiment ?

TRIER SUR LE VOLET

Le tri effectué par le privé et le public enrichi change assurément la composition des classes. Isabelle Plante, professeure au Département



de didactique de l'Université du Québec à Montréal, a analysé le passage du primaire au secondaire de 480 jeunes des régions de Saint-Hyacinthe et de Joliette. Son rapport de recherche, publié en 2019, dresse un premier constat : les élèves avec des troubles de comportement sont quasi absents des programmes sélectifs. « Ils ne sont plus répartis dans différentes classes comme ils l'étaient au primaire, souligne-t-elle. Ils se retrouvent ensemble, en petite communauté. Imaginez la tâche de l'enseignant! »

La chercheuse a aussi noté que moins de garçons sont admis dans les programmes sélectifs, qui accueillent 30 % plus de filles. « C'est la réussite, la motivation et l'engagement en français qui créent ce filtre », explique la titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur les différences de genre à l'école.

De plus, ce « marché scolaire » reproduit les inégalités liées à l'origine sociale. C'est ce qui ressort des travaux de Pierre Canisius Kamanzi, professeur agrégé au Département d'administration et fondements de l'éducation de

l'Université de Montréal. Ce dernier a analysé les statistiques d'une cohorte de plus de 2500 élèves nés en 1984 et dont le parcours scolaire au Québec a été suivi jusqu'à l'âge de 22 ans.

Dans des articles parus en 2019 dans la *Revue des sciences de l'éducation* et dans *Social Inclusion*, le sociologue démontre que la fréquentation des secteurs sélectifs est fortement liée à la scolarité des parents. À l'école privée, 85 % des élèves ont un père ou une mère avec un diplôme collégial ou universitaire. Au public enrichi, c'est 72 %. Cette proportion chute au public ordinaire, où 46 % des élèves sont les enfants de personnes qui ont tout au plus obtenu un diplôme d'études secondaires.

De plus, la segmentation du parcours scolaire semble perpétuer les inégalités. Plus de 90 % des personnes qui ont passé la majorité de leur secondaire à l'école privée ou au public enrichi ont poursuivi des études collégiales après avoir obtenu leur diplôme. Or, moins de la moitié des élèves qui avaient surtout fréquenté les classes ordinaires ont fait ce saut. Le constat est le même pour l'université :

60 % des élèves des écoles privées et 51 % des élèves des programmes enrichis publics y accèdent, contre seulement 15 % pour les élèves des classes ordinaires.

« Si on mettait tout le monde dans le même programme ordinaire ou enrichi, est-ce que la situation changerait? Oui, affirme sans hésitation Pierre Canisius Kamanzi. Le processus d'apprentissage, de réussite et de performance ne se joue pas seulement dans la matière qu'enseigne le professeur, mais aussi dans les relations qu'entretiennent les élèves. Ils apprennent et performant en fonction des pairs. »

EFFET DE GROUPE

L'influence des voisins et des voisins de pupitre dans la réussite a été mise en lumière après l'adoption aux États-Unis du Civil Rights Act, en 1964. Le département de l'Éducation avait alors demandé au sociologue James S. Coleman d'enquêter sur les inégalités scolaires. Contrairement à ce qui était prévu, son rapport remis



LES PROGRAMMES SÉLECTIFS : SOURCES D'ANXIÉTÉ ?

Regrouper les élèves les plus habiles au sein d'un même programme sélectif exacerbe-t-il l'anxiété de performance chez ces derniers ? La science montre plutôt qu'il faudrait d'abord se préoccuper de ce problème dans les classes ordinaires. « Il y a plus d'anxiété de performance dans les milieux publics ordinaires que dans tous les autres milieux, dont le privé, souligne Isabelle Plante, qui a mené des recherches sur le sujet. Les élèves qui ont des notes autour de 65 % ou 70 % sont massivement plus à risque d'atteindre les niveaux les plus élevés d'anxiété. »

Elle constate une remontée de l'anxiété chez les perfectionnistes dont les résultats dépassent 90 %, mais celle-ci ne se manifeste jamais avec la même intensité ni par des symptômes physiques aussi graves. « On sous-estime fortement l'anxiété évaluative chez les élèves qu'on va qualifier d'opposants, de négligents, de démotivés. Ils ont adopté des stratégies comme la procrastination parce qu'ils ont appris que l'évaluation était une menace, remarque-t-elle. Ils ont des maux de ventre ou des maux de tête le matin de l'examen. Ce sont des élèves qui ont vraiment un risque d'échouer. » Après tout, rappelle-t-elle, en général, « plus on fait de l'anxiété, moins on performe ». Une meilleure mixité des classes briserait-elle ou amplifierait-elle ce cycle ? La question reste ouverte !

en 1966 ne pointait pas un manque de ressources financières dans les écoles des milieux défavorisés. Il soulignait plutôt que l'entourage en classe semblait avoir un grand effet, car les enfants de minorités ethniques réussissaient mieux dans les écoles fréquentées par des familles aisées de la majorité blanche. Fortement critiqué, le rapport a néanmoins lancé un débat dans la communauté scientifique sur l'influence des camarades.

Le Conseil supérieur de l'éducation du Québec, lorsque Claude Lessard en était le président, entre 2011 et 2015, a commandé une synthèse de la recherche sur la mixité et la composition des groupes-classes. Une tendance claire s'en dégage : dans de bonnes conditions, les élèves aux prises avec des difficultés tirent beaucoup d'avantages à côtoyer des jeunes performants, sans pour autant nuire à la réussite de ces derniers. « Ce qui m'a frappé en relisant [cette synthèse], c'est à quel point ces recherches sont peu développées au Québec », déplore toutefois Claude Lessard. Depuis cette publication, des équipes d'ici ont tout de même démontré que le manque de mixité dans le système scolaire québécois cause du tort aux élèves moins favorisés.

Isabelle Archambault, professeure à l'École de psychoéducation de l'Université de Montréal, a remarqué un cercle vicieux. Dans un chapitre du livre *Inequality in Key Skills of City Youth: An International Comparison*, publié en 2023 par l'American Educational Research Association, elle analyse avec des collègues les données concernant 4000 jeunes âgés de 15 ans dans 36 écoles montréalaises. « Les élèves de milieux défavorisés sont plus susceptibles de présenter des difficultés et donc de fréquenter des écoles avec plus d'élèves en difficulté, explique-t-elle. La capacité de ces milieux à soutenir ces élèves devient alors plus limitée. Cela fait en sorte qu'ils vont finalement éprouver encore plus de difficultés. »

L'ajout d'un programme enrichi dans la même polyvalente, si sa cohorte reste en vase clos, n'aide pas pour autant. « Il est démontré que c'est souvent ce qui se passe à l'intérieur même des groupes qui

a une répercussion importante, parce que c'est là que les matières sont transmises, souligne Isabelle Archambault. Lorsque les élèves en difficulté sont dans des groupes avec des élèves plus forts, ils sont plus susceptibles de réussir et d'être motivés. »

Mais qu'arrive-t-il lorsque ces élèves sont séparés dans des classes distinctes ? Au moment d'analyser les notes officielles et les informations amassées à l'aide de questionnaires dans les régions de Saint-Hyacinthe et de Joliette, Isabelle Plante s'attendait à observer un phénomène de « gros poisson, petit bassin ». Selon cette théorie, les élèves perçus comme les meilleurs dans leur école primaire risquaient de voir leur estime d'eux-mêmes diminuer une fois en compagnie d'élèves plus forts dans un programme sélectif. La chercheuse prévoyait donc une chute dans la motivation et le rendement de ces jeunes lors de leur transition au secondaire. « On a observé absolument l'inverse », lance Isabelle Plante. Elle raconte avoir cru un moment qu'elle avait entré les données à l'envers, tant sa surprise a été grande. « En fait, il y a un effet d'assimilation pure et dure. Les élèves qui vont dans les programmes sélectifs sont tirés vers le haut et des élèves qui avaient un dossier équivalent initialement sont tirés vers le bas dans le public ordinaire. »

Durant sa maîtrise, Alain-Guillaume Marcotte-Fournier a aussi décelé un effet de la composition des groupes sur le rendement scolaire. Assis dans un local de science, il me montre sur un ordinateur les cartes de Sherbrooke dans l'Atlas de la défavorisation. C'est à partir d'elles que le ministère de l'Éducation alloue du financement aux établissements de milieux jugés défavorisés. Les zones liées aux codes postaux se colorent selon le niveau socioéconomique relevé dans le recensement.

L'enseignant a creusé ces données pour comparer 968 élèves de 2^e secondaire. Il a examiné pour chaque élève des facteurs individuels, comme le sexe, la note à un examen uniforme de mathématiques en sixième année et l'indice de défavorisation, mais aussi la composition du groupe classe.



« Lorsque les élèves en difficulté sont dans des groupes avec des élèves plus forts, ils sont plus susceptibles de réussir et d'être motivés. »

– Isabelle Archambault

D'emblée, les données révélèrent que les groupes ordinaires accueillent de manière disproportionnée les élèves issus de milieux défavorisés. Mais surtout, son analyse montre que, lorsque deux élèves présentent les mêmes caractéristiques individuelles, celui ou celle qui se trouve dans un groupe où la moyenne des élèves est plus défavorisée présente un moins bon rendement en mathématiques en 2^e secondaire. L'écart peut atteindre près de 14 % du seul fait que l'élève se retrouve dans le groupe le plus favorisé ou le plus défavorisé.

« Ça reste les variables individuelles qui expliquent le plus la réussite, nuance l'enseignant. Mais le niveau de défavorisation du groupe-classe a un effet. »

Une partie de ces résultats pourrait s'expliquer par l'attitude des enseignants et enseignantes. Dans une étude publiée en 2012 dans *The Journal of Educational Research*, Isabelle Archambault dévoilait que les attentes rapportées par le personnel enseignant avaient une incidence directe sur les résultats scolaires. Un phénomène attribuable à ce que la psychologie désigne comme une prophétie autoréalisatrice. Un autre article qu'elle a cosigné en 2014 établissait un lien entre ces attentes et la composition du groupe. « Dans deux milieux comparables, des attentes élevées des enseignants envers leurs élèves sont associées

à une meilleure réussite de ces derniers, explique-t-elle. Mais en milieu défavorisé, ou même en milieu favorisé pluriethnique, les attentes sont plus faibles par rapport à la capacité des élèves du groupe à réussir. »

CONTENTER TOUT LE MONDE

Philippe Tremblay, professeur au Département d'études sur l'enseignement et l'apprentissage de l'Université Laval, remarque d'ailleurs une tendance des enseignants et des enseignantes à baisser leurs exigences quand ils jugent être en présence d'un groupe d'élèves faibles.

Il parle même d'une « école à quatre vitesses », en déplorant l'existence de classes spéciales accueillant seulement des élèves avec des problèmes d'apprentissage. « Ces classes sont souvent les mieux dotées en ressources, mais c'est une très mauvaise idée de mettre tous ces élèves ensemble. »

Pour les intégrer dans des classes hétérogènes, le coenseignement au premier cycle du secondaire constitue selon le chercheur une solution. Cela implique de faire intervenir une ressource spécialisée devant la classe au moment de livrer certains apprentissages. « On pense que le professeur aussi est en difficulté, ajoute Philippe Tremblay. Si j'aide

l'enseignant, j'aide l'élève. » La ressource en renfort profite également aux élèves avec de bonnes notes, car il devient possible d'adapter les interventions selon les forces et les difficultés de chacun tout en gardant des exigences élevées.

Le chercheur a mené un projet de recherche-action à l'école secondaire de l'Odysée, à Terrebonne. Des élèves en classe spéciale pour problèmes d'apprentissage en 1^{re} secondaire ont pris deux voies différentes en 2^e secondaire. Une partie est retournée dans une classe spéciale, alors que l'autre s'est retrouvée dans une classe ordinaire avec du coenseignement. Les résultats, qui n'ont pas encore été publiés, montrent un effet jusqu'en 5^e secondaire : quasiment aucun élève ayant bénéficié du coenseignement trois ans plus tôt n'avait abandonné l'école. En revanche, le tiers de ceux et celles qui étaient restés en classe spéciale avait décroché.

Philippe Tremblay donne aussi l'exemple du centre éducatif L'Abri de Port-Cartier, où il mène un autre projet. Cet établissement offre un seul parcours à presque tous ses élèves et du coenseignement à temps plein dans les classes de français, de mathématiques et d'anglais de 1^{re} et de 2^e secondaire.

D'autres établissements, comme l'école secondaire de la Ruche à Magog, offrent plutôt des projets particuliers



« Pour que les adultes et citoyens de demain vivent ensemble dans le même quartier, dans le même moyen de transport et dans le même milieu professionnel, il faut préparer ce vivre-ensemble à l'école. »

– Pierre Canisius Kamanzi

à l'ensemble des élèves durant les trois premières années, tout en les mélangeant dans leurs cours obligatoires. Mais ces écoles demeurent des exceptions.

Alain-Guillaume Marcotte-Fournier raconte avoir rencontré une résistance de la part de membres de directions scolaires à l'idée de réunir les élèves des programmes ordinaires et enrichis dans certains cours de tronc commun. Les arguments évoqués? La complexité de créer de tels horaires et le risque de voir les parents inscrire leurs enfants dans d'autres établissements à proximité.

C'est justement après avoir échoué à convaincre des parents de Gatineau d'envoyer comme lui leurs enfants à l'école primaire du quartier que Stéphane Vigneault a lancé le mouvement citoyen École ensemble. L'appel de l'école internationale était trop grand pour son voisinage. « Je me suis rendu compte qu'on s'attaquait à quelque chose de très gros », dit-il. École ensemble revendique aujourd'hui un système dans lequel les écoles offriraient des parcours particuliers à tous et à toutes, et sans pouvoir sélectionner leurs élèves.

« Cela ne sert à rien de blâmer les parents, souligne Stéphane Vigneault, dont la fille fréquente aujourd'hui le public sélectif au secondaire. Tout le monde cherche ce qu'il y a de mieux

pour ses enfants et fait ce qu'il peut avec le système. »

Un système qu'une méta-analyse publiée en 2023 dans *Review of Educational Research* invite à remettre en question. Des scientifiques de l'Université de Trente, en Italie, y observent que la segmentation en programmes est en général inefficace du point de vue éducatif, qu'elle accroît les inégalités scolaires et pénalise les élèves défavorisés. Leur conclusion? Des réformes qui diminuent le nombre de filières ou atténuent leurs distinctions ont le potentiel de réduire les inégalités liées aux origines sociales, sans nuire à la réussite globale des élèves.

Le gouvernement du Québec ne semble pas aller dans cette direction. Il a plutôt annoncé en mai 2023 le démantèlement du Conseil supérieur de l'éducation, qui l'invitait en 2016 à adopter des mesures pour augmenter la mixité sociale dans les classes et les écoles. Dans la foulée, le ministre de l'Éducation, Bernard Drainville, a annoncé la création d'un Institut national d'excellence en éducation, dont la mission sera de faire la synthèse des approches pédagogiques démontrées comme efficaces par la recherche pour former le personnel. « Il y a beaucoup de cynisme chez les enseignants, constate

Alain-Guillaume Marcotte-Fournier. On parle d'un gouvernement qui veut nous montrer les meilleures façons d'enseigner avec des données probantes. C'est plate, mais je vais avoir de la difficulté à y adhérer si on ne tient pas compte du fait que les groupes que j'ai devant moi, et l'organisation de ces groupes, influencent beaucoup la pédagogie. »

Il rappelle qu'en plus d'« instruire » et de « qualifier » les jeunes, l'école québécoise a officiellement comme mission de les « socialiser ».

« Ma principale préoccupation, c'est que l'école soit un instrument de cohésion sociale, confie d'ailleurs Pierre Canisius Kamanzi. Pour que les adultes et citoyens de demain vivent ensemble dans le même quartier, dans le même moyen de transport et dans le même milieu professionnel, il faut préparer ce vivre-ensemble à l'école. » ●

Le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada, qui finance les travaux de chercheuses et chercheurs d'ici, dont certains cités dans ce texte, soutient financièrement Québec Science dans sa mission de couvrir des sujets liés aux sciences humaines. Le magazine conserve son indépendance dans le choix et le traitement des sujets.

Un concours
pour les classes,
les jeunes et
les adultes

Journée nationale Je lis la science!

20 septembre 2023

Participez en classe et à la maison

Les lecteurs et les lectrices
de tout âge sont invité-e-s
à consacrer une période
de la journée à des lectures
scientifiques :

- livre documentaire
- magazine de vulgarisation
- roman de science-fiction
- biographie d'un-e scientifique
- BD, etc.

Par la suite, les jeunes,
les adultes ou les classes
peuvent s'inscrire sur le site
de l'événement.

Détails du concours et inscriptions

jelislascience.com

ou avec le mot-clic #jelislascience

+ Une foule de suggestions de lecture !

À GAGNER 5 000 \$ de livres et magazines

- GRAND PRIX** • Un bon d'achat de
1 000 \$ chez **leslibraires.ca** pour la classe
gagnante **PRIX SECONDAIRES**
• Quatre prix d'une valeur de **500 \$** chacun
pour les classes • Cinq prix d'une valeur
de **200 \$** chacun pour les jeunes en
participation individuelle • Cinq prix d'une
valeur de **200 \$** chacun pour les adultes
en participation individuelle

Organisé par :



Avec la participation financière de

Québec

Partenaires :



LA CONSPIRATION DU RADIUM

Une propriété située dans la campagne près de Toronto est anormalement radioactive. Cette contamination permet de remonter le fil d'une affaire explosive que le Canada a préféré étouffer au sortir de la Seconde Guerre mondiale. Enquête sur un trio qui a causé des dommages jusqu'à Montréal.

Par Sylvain Lumbroso et Tyler Wentzell

A seulement une heure du tumulte torontois, rien ne semble perturber le calme de cette vieille grange située dans la campagne de Caledon East. Rien ou presque, car un discret crépitement s'échappe de l'entrée principale. Deux hommes s'activent à l'intérieur du bâtiment, armés d'un détecteur de matières radioactives. Ce jour-là, les scientifiques envoyés par les Laboratoires nucléaires canadiens repèrent les endroits contaminés sur les murs et le sol de la grange pour les marquer d'un point à l'aide de peinture orange. Les poutres devront être démontées et le sol excavé, puis le tout sera évacué dans une zone réservée aux déchets nucléaires à Chalk River. « Cette histoire ne finira donc jamais ! » dit en soupirant Andrew Stewart, le propriétaire des lieux, qui assiste impuissant à l'opération.

L'archéologue torontois rêvait de bâtir une maison au sommet de la colline verdoyante, à quelques pas de la grange, au milieu du domaine autrefois possédé par ses parents. Un projet qui lui a été déconseillé il y a déjà quelques années, en raison de la radioactivité du lieu, phénomène aussi invisible que dangereux.

Cette visite des agents mandatés par le fédéral est la dernière d'une longue série amorcée dans les années 1970 sans que les parents d'Andrew Stewart

s'inquiètent outre mesure. Les autorités en matière de sûreté nucléaire se sont toujours montrées rassurantes, tout en poursuivant leurs interventions... Son rêve brisé, le fils veut maintenant comprendre ce qui a pu se tramer sur son terrain.

M. Stewart sort tous les papiers liés à la propriété, conservés par sa famille. Parmi les relevés de radiation se trouve la lettre d'une voisine envoyée aux Stewart en 1978. L'autrice y dit avoir recueilli le témoignage d'un agriculteur ayant travaillé sur la propriété quand cette dernière abritait une ferme. « Mes informations permettent de comprendre que toute cette saga est reliée à la folie débridée de Carl French ! » écrit-elle.

Carl French : ce nom à lui seul va bousculer notre enquête en la faisant passer d'une colline ontarienne anonyme à un scandale nucléaire impliquant le Canada, les États-Unis, l'URSS et le Japon... Une saga jusqu'ici bien enterrée.

L'INQUIÉTANT CARL FRENCH

Carl French est l'ancien propriétaire du domaine acheté par les Stewart. Sa biographie officielle, parue dans le *Toronto Star* lors de son décès en avril 1984, le décrit comme un véritable héros du nucléaire. Le papier très élogieux rappelle que l'homme a contribué au

projet Manhattan, le programme atomique américain pendant la Seconde Guerre mondiale. Il était à l'époque un des dirigeants d'une compagnie minière ontarienne spécialisée dans les produits radioactifs, Eldorado. « Eldorado a fourni radium et uranium au groupe de recherche étatsunien, et monsieur French était une des rares personnes à connaître le secret de la bombe nucléaire en préparation », avance le quotidien de Toronto. La photo illustrant l'article montre un Carl French souriant, et la légende souligne son engagement au sein de la Société canadienne du cancer.

Pour en savoir plus sur le personnage, il faut se rendre aux archives fédérales d'Ottawa, où sommeillent tous les documents consignants l'histoire d'Eldorado. Les liasses de textes dactylographiés révèlent une autre facette de l'homme.

L'histoire commence en 1937 quand Carl French arrive de son Michigan natal pour prendre en charge la comptabilité d'Eldorado. L'entreprise est une structure encore jeune, lancée quelques années auparavant par les frères Gilbert et Charles Labine, originaires de l'Ontario, à la suite de la découverte d'un gisement de minerais radioactifs dans les Territoires du Nord-Ouest. Elle exploite alors une petite raffinerie sur le bord du lac Ontario, à Port Hope, pour produire du radium, élément prisé pour les



Le domaine d'Andrew Stewart



La mine d'Eldorado au bord du Grand lac de l'Ours en 1936

radiographies et les traitements anti-cancer. Ses fondateurs ne connaissent absolument rien à l'industrie.

Carl French apprend rapidement les bases de la physique nucléaire et monte aussi vite les échelons d'Eldorado : deux ans après son recrutement, il est déjà membre du comité de direction. Nous sommes en 1939 et la société s'apprête à vivre un grand bouleversement ; la guerre accroît brutalement la demande d'uranium. C'est un rapport britannique, connu sous l'appellation *Mémoire de Frisch et Peierls*, qui a provoqué l'engouement. Les deux physiciens signataires y prouvaient qu'il était possible de fabriquer une bombe atomique surpuissante, transportable en avion, avec de l'uranium.

Rapidement, Eldorado se retrouve dans une situation très favorable. L'entreprise a des réserves immenses de pechblende, la matière brute qui contient l'uranium et le radium. Sa raffinerie peut extraire ces deux produits de façon industrielle. À sa tête depuis 1932, un scientifique français, formé à Paris dans le sillage des Curie : Marcel Pochon. L'homme à la carrure athlétique est un des rares experts disponibles sur la planète pour gérer la production. Cela tombe bien, car la chute de la Belgique dans l'escarcelle nazie coupe les Alliés d'une source principale d'uranium : le petit royaume et ses colonies africaines riches en minerais ne sont plus accessibles.

Tous les astres s'alignent donc pour Eldorado, qui réussit de plus à signer un contrat de distribution avec un des seuls spécialistes de la vente de produits

radioactifs : Boris Pregel. L'entreprise confie sa matière en exclusivité à ce Russe d'origine qui bénéficie d'un large carnet d'adresses.

Trois hommes, tous compétents dans le domaine atomique, prennent ainsi en main la destinée de la compagnie ontarienne. Carl French supervise les finances, Marcel Pochon fait fonctionner la raffinerie et Boris Pregel commercialise l'uranium depuis New York. Le scénario semble idéal, mais c'est pourtant à ce moment clé que le piège se referme sur les actionnaires, parmi lesquels l'État canadien...

L'ÉMERGENCE DU PROJET MANHATTAN

Officiellement, tout se passe pour le mieux. Boris Pregel a ouvert des discussions en juin 1941 avec des scientifiques américains avides

d'uranium. Dans une lettre marquée du sceau « confidentiel », l'un d'entre eux, Leó Szilárd, dévoile discrètement ses intentions à la demande de son fournisseur canadien : « Les cinq tonnes d'oxyde d'uranium dont nous parlons seront utilisées dans des expériences menées à l'Université Columbia, qui est sous contrat avec le comité de recherche de la défense nationale. » Le physicien, en compagnie de nombreux autres scientifiques, pose les bases du projet Manhattan, qui vise à doter les Américains d'une arme atomique.

Les expériences américaines pour créer une première réaction en chaîne, prélude à la bombe, vont bon train et nécessitent des quantités énormes d'uranium. Boris Pregel transmet à Eldorado des bons de commande de plusieurs centaines de tonnes. Pour honorer ces contrats hors norme, les opérations s'avèrent complexes.

La mine de pechblende est située dans un environnement reculé et sauvage des Territoires du Nord-Ouest, au bord du Grand lac de l'Ours. Les tonnes de matières sont acheminées ensuite en Ontario par bateau et par train pour que Marcel Pochon entreprenne le travail de raffinage dans une usine de traitement en pleine expansion. Les trois hommes clés d'Eldorado reçoivent des moyens et la confiance aveugle des fondateurs de l'entreprise. La course à la bombe franchit une étape décisive lorsque la première pile atomique entre en service dans un laboratoire de Chicago



La raffinerie d'Eldorado, à Port Hope, en 1938

le 2 décembre 1942. Ce module, qui contient de la matière radioactive, entretient une réaction en chaîne, pouvant lancer ensuite une explosion nucléaire.

Bertrand Goldsmith, un scientifique français, assiste en personne à cette prouesse. L'homme n'est pas là par hasard : c'est un observateur délégué par le Laboratoire de Montréal, qui lui aussi travaille à la conception d'une pile nucléaire. Les Anglais et les Canadiens ont en effet uni leurs efforts dans le domaine en envoyant les meilleurs cerveaux disponibles au Québec.

À l'abri des bombes allemandes et proche de la matière première, le projet est censé concurrencer celui des Américains. La raréfaction de l'uranium vient hélas bloquer les recherches. En 1943, Bertrand Goldsmith est dépêché à la raffinerie de Port Hope pour s'entretenir avec Marcel Pochon. Ce qu'il révèle à son retour est désastreux : les Américains accaparent la matière d'Eldorado.

Pregel et French sont convoqués en juillet 1943 au Laboratoire de Montréal pour négocier l'achat de produits radioactifs. Le compte-rendu de la réunion dévoile la façon dont les deux hommes sont perçus : « French nous a fait une très bonne impression. Pregel fidèle à sa réputation... »

Anglais et Canadiens s'agitent pour obtenir de la matière fissile à un coût abordable, mais se heurtent à l'intransigeance de Boris Pregel, qui cherche à faire grimper les prix. « Si nous lui forçons la main et lui demandons des comptes, son ressentiment pourrait le rendre hostile envers le Laboratoire de Montréal et cela pourrait avoir certaines conséquences scientifiques que l'équipe détesterait ! » stipule un rapport du Laboratoire de Montréal.

HORS DE CONTRÔLE

Ces plaintes remontent jusqu'au gouvernement canadien et font écho à celles reçues de la part des Américains, qui cherchent à contourner la mainmise de Boris Pregel, le soupçonnant même d'être un espion à la solde des Soviétiques. Un élément les agace par-dessus tout : les factures expédiées sont toujours au nom de ses compagnies personnelles... Et Carl French, pourtant

à la tête des finances d'Eldorado, ne montre aucune velléité de récupérer les contrats.

Plusieurs audits signalent en outre que les flux de matières radioactives sont mal surveillés chez Eldorado et que des quantités sont manquantes. En réalisant qu'il a perdu le contrôle d'une industrie stratégique, le gouvernement canadien choisit de nationaliser la compagnie en 1944. La décision intervient tardivement et le Laboratoire de Montréal doit quand même passer sous le contrôle des Américains pour bénéficier d'un accès à la matière.

Cela ne freine pas les ambitions du trio, qui demeure employé d'Eldorado et garde la mainmise sur les approvisionnements. Une commission d'enquête gouvernementale est alors mise sur pied pour explorer les arcanes de l'entreprise. En avril 1945, la Gendarmerie royale du Canada est mobilisée, car il faut saisir de force tous les documents nécessaires. Les bureaux liés aux activités de French, de Pochon et de Pregel font l'objet de perquisitions.

La moisson de documents est fructueuse : de nombreux courriers montrent que les trois hommes ont commis une fraude géante au moyen d'une constellation de sociétés leur appartenant secrètement. Pour s'arroger une partie des gains de la minière canadienne, French, Pochon et Pregel

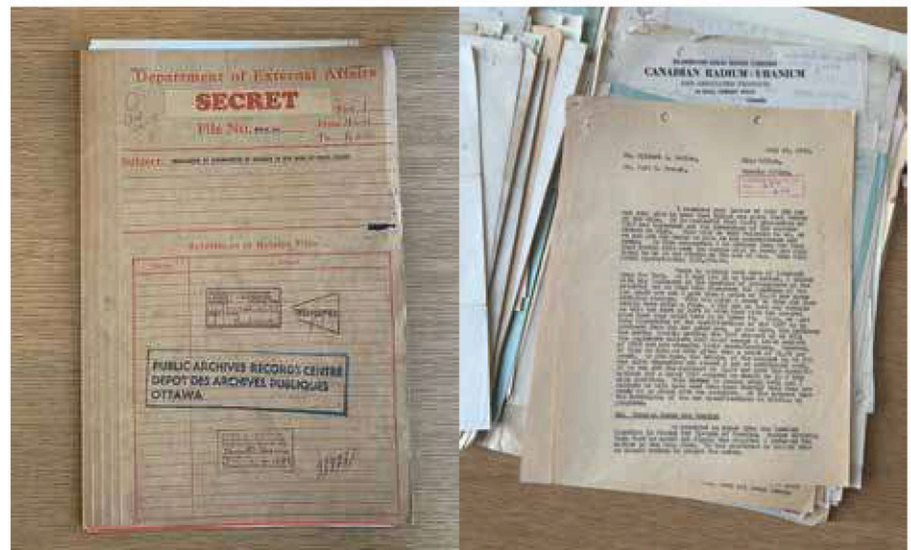
redirigent une part des profits et des activités vers ces entreprises. Les témoignages des équipes montrent même que le trio cherchait à provoquer la faillite d'Eldorado pour récupérer le contrôle du capital à un prix dérisoire.

Au lieu d'optimiser la production au service des Américains, lancés dans la course à la bombe contre les puissances de l'Axis (Allemagne, Italie, Japon), les trois hommes ont délibérément ralenti les activités pour empocher les gains à la place des actionnaires d'Eldorado. Si les nazis avaient été plus rapides dans leurs recherches nucléaires, ces malversations auraient eu de lourdes conséquences.

Loin d'avoir conclu leur mission, les enquêteurs tomberont par la suite sur d'autres découvertes compromettantes...

UNE AFFAIRE À ÉTOUFFER

En décembre 1945, French et Pochon sont arrêtés en Ontario tandis que Boris Pregel, installé aux États-Unis, échappe à ce coup de filet. Mais, contre toute attente, la poursuite criminelle est abandonnée au Canada par le procureur de la Couronne au début de l'année 1946. C'est Eldorado qui prend le relais judiciaire à New York pour récupérer une partie des fonds détournés ; elle attaque Pregel, une de ses compagnies et Carl French. La somme réclamée, qui ne concerne pourtant que huit



Une foule de documents racontent l'histoire de l'alliance frauduleuse des trois hommes d'Eldorado.



Boris Pregel (à gauche) lors de la remise d'une récompense scientifique française au futur président des États-Unis Dwight D. Eisenhower (à droite) en 1949

malversations avérées, est colossale : 2 663 362 dollars américains. En dollars d'aujourd'hui, cela représenterait plus de 43 milliards !

Le gouvernement canadien argue que cette somme exorbitante est la meilleure des sanctions et qu'un procès aurait révélé trop de secrets militaires américains. Pourtant, depuis l'explosion des deux bombes nucléaires au Japon, plusieurs documents officiels, dont le rapport Smyth du 12 août 1945, avaient livré au public les grands principes du développement de l'arme atomique. Comme le montrent les échanges gouvernementaux, retrouvés par nos soins dans les archives, le Canada cherche plutôt à éviter la divulgation de transactions embarrassantes effectuées par le trio pendant la guerre. Par ailleurs, le détail du règlement n'a jamais été révélé.

Alors que la guerre froide a déjà commencé, certains échanges avec l'URSS ne sont pas du meilleur aloi. Plusieurs courriers impliquant Pregel montrent ainsi que de l'uranium canadien a été vendu sous le manteau aux Soviétiques, dès 1943, avec l'accord du gouvernement. Une autre lettre indique qu'une société de Carl French a amorcé un dialogue commercial parallèle avec les Russes au même moment. Que dire enfin des tractations menées par Carl French jusqu'en 1941 pour vendre de la matière fissile au Japon, qui s'appêtait à bombarder les troupes canadiennes à Hong Kong ?

Le rapport rédigé à l'issue de l'enquête sur Eldorado est aujourd'hui

accessible. Sans surprise, il ne mentionne pas ces opérations. Dans une lettre restée confidentielle, un enquêteur écrit à son supérieur : « Au vu des événements actuels, j'ai préféré ne pas parler de ces transactions dans le rapport final. Ceci pour éviter que certaines personnes ne puissent émettre des avis embarrassants. Je tenais quand même à vous en faire part. »

En 1949, des rumeurs font état des transactions avec l'URSS, à l'aube de la chasse aux sorcières anticommuniste lancée aux États-Unis. Clarence Decatur Howe, ancien ministre canadien des Munitions, est interrogé lors d'une conférence américaine à propos de la vente d'uranium aux Soviétiques pendant la Seconde Guerre mondiale. Il nie vigoureusement les faits, mais nuance son propos de façon ambiguë : « même s'il y a eu envoi d'uranium à l'époque, je ne crois pas que les Russes en connaissaient l'importance ». L'affaire Fuchs, du nom du physicien du projet Manhattan arrêté quelques mois après ce discours, prouvera le contraire : les Soviétiques étaient parfaitement au courant de l'avancée des recherches américaines et tentaient de reproduire les mêmes procédés dans leurs laboratoires.

EN TOUTE IMPUNITÉ

Alors que le gouvernement canadien a choisi d'enterrer l'affaire, notre trio reprend la direction de ses multiples entreprises. Ainsi, Pregel est à la tête d'une raffinerie qu'il a fait construire spécialement dans l'État de New York grâce aux connaissances de Pochon et avec la complicité de French pour l'approvisionnement. Jusqu'en 1966, l'usine récupère des déchets de matières radioactives pour fabriquer des dérivés : uranium et radium purifiés, actinium et polonium.

Cette production participe à la prolifération puisque Pregel vend notamment du polonium à Israël. « Cela ne m'étonne pas. Tous les laboratoires qui travaillent sur l'énergie atomique à l'époque ont besoin de polonium, car c'est la source de neutrons la plus accessible pour les expériences », explique Gilles Sabourin, physicien québécois et auteur de *Montréal et la bombe*, sorti en 2020. Le polonium sert notamment

de détonateur dans certaines bombes atomiques.

À Toronto, French traite ces mêmes produits en toute impunité, dans des conditions de travail dangereuses pour ses équipes. Son entreprise, censée exploiter la luminescence du radium pour produire des montres et des tableaux de bord visibles dans le noir, n'hésite pas à livrer du polonium de Pregel à l'Université de Toronto.

La matière transite donc entre les États-Unis et le Canada. Le trio a besoin d'un lieu pour stocker discrètement des produits ou des déchets à détruire. Une ferme proche du centre de Toronto est un endroit idéal pour ce genre d'activité polluante et dangereuse. Jusqu'en 1953, French utilise une exploitation agricole dans le quartier de Scarborough, puis choisit de déplacer son dispositif vers une banlieue plus éloignée, à mesure que la ville s'étend : ce sera Caledon East, futur berceau des Stewart. Pour rassurer les fermiers, le propriétaire devait sans doute relayer les bonnes paroles de son acolyte Boris Pregel, qui proclamait à l'époque que les produits radioactifs constituaient d'excellents fertilisants !

Pour ne pas réveiller une sombre histoire, Ottawa n'intervient pas et laisse des citoyens comme les Stewart acquérir, sans le savoir, des terrains contaminés.

Au sujet de la propriété de Caledon East, les Laboratoires nucléaires canadiens nous ont indiqué qu'il s'agit de « déchets radioactifs historiques de faible activité ». Ce type de déchets



Photo de Marcel Pochon publiée en 1933 dans *Le Devoir*, qui présente la nouvelle raffinerie de Port Hope



Carl French, le jour où il a été interviewé par Frank Giorno

« résultent de pratiques passées, qui ne sont plus considérées comme acceptables selon les normes d'aujourd'hui, et le gouvernement du Canada en a pris la responsabilité, car le propriétaire actuel ne peut raisonnablement être tenu responsable », a indiqué un porte-parole, assurant qu'ils « présentent peu ou pas de risques pour la santé et l'environnement dans leur forme actuelle ». Les Laboratoires nucléaires canadiens poursuivent néanmoins les opérations pour les prélever et les stocker ailleurs.

La ville de Montréal est aussi concernée puisque le 1670, rue William a accueilli une succursale de French (Dial and Instrument Finishers Ltd). La Commission canadienne de sûreté nucléaire s'est emparée discrètement du sujet en 1975, sans qu'il soit possible de savoir si les lieux ont été efficacement traités par la suite.

L'affaire Eldorado a ressurgi dans les années 1980, quand George Heighington,

un professeur habitant une maison contaminée, bâtie sur la première ferme de French à Scarborough, a décidé d'attaquer le gouvernement de l'Ontario pour négligence, en compagnie de dizaines d'autres propriétaires.

Frank Giorno a consacré son projet de fin d'études en journalisme à cette contamination de Scarborough. Joint par téléphone, il évoque son entretien avec Carl French, réalisé pour un article paru dans le *Globe and Mail* : « Avec une autre étudiante, nous sommes allés le voir chez lui en prétendant l'interroger sur son engagement contre le cancer. Au départ, il nous a accueillis chaleureusement. Quand nous avons commencé à poser des questions sur les dégâts causés par ses entreprises, il est entré dans une colère terrible et nous a jetés hors de sa maison. Nous avons publié des articles à l'époque, mais sans avoir toutes les pièces du puzzle. J'attendais depuis longtemps que quelqu'un finisse le travail... » ●

Des centaines de ressources gratuites sur le climat, au bout de vos doigts!

parlons sciences

Vivez l'expérience
Parlons sciences!
Allez plus loin avec
des activités et des
contenus thématiques
comme vous n'en avez
jamais vu!



Lancez-vous!

Offert gratuitement grâce à nos généreux donateurs!



La Fondation de la famille Mitchell et Kathryn Baran



LES FANTÔMES DU SAINT-LAURENT

Le Forum international pour l'avenir du béluga s'est tenu en 1988 à Tadoussac. On s'inquiétait alors de la fréquence élevée de cancers chez l'espèce. Trente-cinq ans plus tard, les bélugas du Saint-Laurent ne meurent plus du cancer, mais leur vie est plus pénible que jamais.

Par Joël Leblanc

Dans un supercongélateur maintenu en permanence à -80 °C d'un laboratoire de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, à Saint-Hyacinthe, des sacs de plastique portent des dates écrites au marqueur : 1995, 2003, 2014. Le givre empêche de bien voir ce qu'ils contiennent, mais on distingue des masses informes.

« Ce sont des échantillons prélevés sur les bélugas qui ont été apportés ici pour nécropsie au cours des décennies. Des échantillons de gras, de foie, d'intestins... On les garde pour les besoins futurs de la recherche », explique Émilie L. Couture, vétérinaire et clinicienne-enseignante spécialisée en animaux sauvages.

En déambulant dans ces installations normalement destinées à la dissection des bœufs et des porcs, elle garde son téléphone dans sa poche. « C'est moi qui suis sur appel en ce moment. Si un béluga échoué est signalé quelque part sur les rives du fleuve ou du golfe, et qu'il est en assez bon état pour être transporté, je recevrai l'appel et j'organiserai le transport, le ramassage de l'animal, la préparation de la salle de nécropsie... »

L'odeur de désinfectant est subtile, mais omniprésente. Le décor est singulier : un débarcadère intérieur pour accueillir le camion de « livraison » ; des treuils au plafond pour soulever l'animal par la queue ; de grands rails orangés au plafond pour le déplacer portant l'inscription « maximum 4000 livres » ; une chambre froide haute de deux étages pour préserver la dépouille en attendant que tout le monde soit prêt ; et une imposante salle à l'accès restreint, meublée de trois tables en inox assez grandes pour recevoir le

cadavre d'un cheval... ou d'un petit cétacé. À l'extrémité de chaque table, un trou a été percé pour permettre l'écoulement des fluides...

C'est dans ces lieux que, chaque année, de 15 à 20 bélugas viennent terminer leur parcours, bien loin du fleuve qui les a vus naître, sous les scalpels des scientifiques qui tentent de déterminer la cause de leur mort. De toutes ces petites baleines blanches, il ne reste que les fantômes, endormis dans le congélateur depuis des décennies dans des sacs datés.

UNE ÉPOPÉE DE 35 ANS

L'histoire du suivi des bélugas du Québec commence un jour d'automne 1982 sur la plage de Pointe-au-Père, près de Rimouski. Ce jour-là, Pierre Béland, qui travaille pour Pêches et Océans Canada (MPO), fait la rencontre de son premier béluga. Signalé par des passants, l'animal échoué et sans vie ne porte aucune blessure apparente. « J'étais avec Daniel Martineau, alors vétérinaire, et David Sergeant, chercheur au MPO, qui était justement à Rimouski pour donner une conférence sur les bélugas. Sur la plage, j'étais fasciné par la beauté de cet animal. On l'a ouvert. Et on a ouvert un nouveau champ de recherche. »

En disséquant le mâle d'environ 55 ans, les trois scientifiques ont repéré des tumeurs cancéreuses dans son tube digestif – probablement la cause de sa mort. Une surprise, tellement les cas de cancer sont rares chez les animaux sauvages. Deux autres bélugas morts ont été retrouvés cet automne-là, dont un avec le même type de cancer. Dans les années suivantes, mis en





« Mettre des petits au monde semble être devenu difficile pour les femelles : elles meurent en couche ou tout de suite après la naissance et, privés de soin, les veaux meurent aussi. »

– Nadia Ménard

alerte, les chercheurs ont continué de traquer les cancers dans les carcasses échouées. C'était le début d'un grand programme de recherche toujours actif à ce jour. Et des cancers, ils en ont beaucoup trouvé.

Sur la quarantaine de carcasses de bélugas analysées par la suite, environ les deux tiers portaient les traces d'un cancer du système digestif. Préoccupés, Pierre Béland et ses collègues tiennent en 1988, à Tadoussac, un grand forum sur l'avenir du béluga. « Le forum avait pour but d'enclencher un effort de recherche pour trouver les causes de ces cancers et, si possible, corriger la situation », se remémore Pierre Béland.

La cause fut trouvée rapidement. Les analyses montraient que les carcasses étaient fortement contaminées aux insecticides, aux composés chlorés, aux BPC, aux retardateurs de flammes... Mais aussi aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, ou HAP, des composés chimiques émis principalement lors d'une combustion incomplète de carburants ou de matières organiques, et rejetés par à peu près toutes les industries. Cancérogènes reconnus, les HAP étaient à l'époque rejetés en grande quantité par les alumineries du Saguenay. Ces substances aboutissaient dans les eaux de la rivière Saguenay, puis de l'estuaire, pour se mélanger aux sédiments et se déposer sur les fonds. Les bélugas en quête de repas descendent à de grandes profondeurs pour mettre le museau dans les sédiments et trouver leur pitance. Ils ingurgitaient ainsi des HAP qui finissaient par provoquer l'apparition de tumeurs.

Les médias de l'époque parlaient régulièrement des bélugas, des initiatives de nettoyage des berges à l'échelle de la province se mettaient en branle, un programme de parrainage avait été mis en place. Une vraie bélugamania ! « Ça a été le réveil du Québec à l'environnement, aux dangers de la pollution et aux enjeux de conservation, estime Nadia Ménard, biologiste et coordinatrice régionale en conservation du milieu marin pour le Québec et l'Atlantique chez Parcs Canada. Le béluga est devenu notre panda, tellement il est un symbole fort de ce qui ne va pas dans notre fleuve. »

Aujourd'hui, des lois limitent fortement les rejets d'HAP par les alumineries, et l'effet sur les bélugas est concret : voilà 20 ans qu'aucun cancer n'a été relevé sur un animal échoué. Mais la population du Saint-Laurent ne se rétablit pourtant pas et les petits cétaqués blancs continuent de mourir.

L'AUTRE DRAME

En effet, depuis une dizaine d'années, un nouveau problème frappe les bélugas du Saint-Laurent. Parmi les carcasses retrouvées, la proportion de veaux âgés de seulement quelques jours est très élevée. « On trouve aussi trop souvent des femelles mortes en plein accouchement, avec leur petit encore coincé dans le conduit vaginal, ou avec des signes évidents qu'un accouchement difficile a précédé la mort de peu, dit Nadia Ménard. Mettre des petits au monde semble être devenu difficile pour les femelles : elles meurent en couche ou tout de suite après la naissance et, privés de soin, les veaux meurent aussi. »

Dans le jargon des biologistes et des vétérinaires, on parle de dystocies : des problèmes essentiellement mécaniques qui surviennent lors de l'accouchement. Si les dystocies chez les animaux domestiqués, comme les vaches ou les chiens, ne surprennent pas les vétérinaires, elles sont très rares chez les animaux sauvages. Pour une espèce classée « en voie de disparition » comme le béluga du Saint-Laurent, ne plus parvenir à donner naissance, c'est tragique.

Dans de nombreuses institutions québécoises, l'effort de recherche, qui n'a jamais faibli depuis 1988, se concentre donc maintenant sur ce nouveau drame sous-marin : que se passe-t-il ? Contrairement aux cancers, qui avaient une cause facile à détecter, cette fois, la cause est floue. Les causes, devrait-on dire, car on soupçonne une synergie.

Il y a d'abord la question des contaminants, qui est loin d'être réglée. Les bélugas sont exposés à une soupe alphabétique de substances chimiques (BPC, HAP, DDT, POP...), d'huiles et de carburants, de médicaments, d'anovulants, de pesticides, de rejets agricoles, de retardateurs de flammes... « Il y a beaucoup moins de BPC ou de DDT qu'autrefois dans leur

corps, mais les bélugas sont toujours parmi les mammifères marins les plus contaminés du monde. Ils ne sont justes pas contaminés par les mêmes substances que leurs parents », explique Jonathan Verreault, professeur spécialisé en écotoxicologie au Département des sciences biologiques de l'Université du Québec à Montréal.

Les polybromodiphényléthers (PBDE) sont particulièrement dans sa mire. « Ce sont des retardateurs de flammes ; ils servent à ralentir la progression des incendies. On en met partout : dans nos sofas, nos matelas, nos téléphones, les matériaux de construction... On les utilise tellement qu'ils se retrouvent dans l'environnement, et notamment dans le Saint-Laurent. On en trouve de 10 à 25 fois plus dans les bélugas d'ici que dans leurs congénères en Arctique. »

Or, les PBDE sont des perturbateurs endocriniens, c'est-à-dire que leur structure moléculaire est tellement semblable à celle de certaines hormones qu'ils passent pour elles et provoquent des dégâts. « Le corps les confond avec la thyroxine, une hormone thyroïdienne, poursuit Jonathan Verreault, ce qui provoque un dérèglement, qui entraîne à son tour des modifications dans la reproduction. Il peut y avoir par exemple des malformations fœtales, ou une baisse de la production de sperme chez les mâles. Sans compter que l'axe thyroïdien est aussi relié au système immunitaire et qu'un dérèglement hormonal peut l'affaiblir et rendre l'individu plus vulnérable à de nombreux pathogènes. »

Les PBDE et les autres contaminants peuvent venir de loin : les eaux du fleuve proviennent des Grands Lacs, autour desquels se trouvent de grandes agglomérations aussi bien du côté américain (Chicago, Detroit, Cleveland) que canadien (Hamilton, Toronto), puis passent par des municipalités comme Montréal ou Québec, qui y déversent leurs eaux usées partiellement traitées...

UNE MER DE STRESS

Autre suspect : le stress. L'estuaire du Saint-Laurent, où les bélugas vivent toute l'année, est parcouru des dizaines de fois par jour par de gros navires commerciaux, auxquels s'ajoutent des



La Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, à Saint-Hyacinthe, est équipée pour réaliser des nécropsies sur les bélugas trouvés morts.

bateaux de pêche commerciale, des embarcations de plaisance et, dans les endroits où ils sont plus nombreux, des navires d'observation de baleines. Non seulement le dérangement que causent toutes ces embarcations peut perturber des comportements sociaux comme la reproduction ou les soins aux petits, mais le bruit des moteurs transforme le milieu sous-marin en un spectacle heavy métal quasi perpétuel, comme ont permis de le mesurer plusieurs dizaines d'hydrophones immergés un peu partout dans le grand territoire du béluga. Pour un animal qui repère ses proies par écholocation et qui vocalise de façon complexe lors de ses interactions sociales, le Saint-Laurent est un enfer auditif.

Pour avoir une idée du niveau de stress auquel sont exposés les bélugas du Saint-Laurent, Marion Desmarchelier tente de trouver des biomarqueurs dans leur corps. « Le système de tous les mammifères est conçu pour vivre des stress aigus et momentanés, explique la professeure à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal. La présence soudaine d'un prédateur, par exemple, déclenche la production de cortisol, une hormone qui prépare le corps à l'action, pour fuir ou combattre. Puis, le cortisol diminue une fois la menace écartée. Mais l'organisme n'est pas fait pour du stress continu et chronique, pour être constamment sous l'effet du cortisol. On sait très bien ce que cela entraîne comme problèmes chez l'humain, notamment sur le plan du système immunitaire. »

Des mesures du taux de cortisol chez les bélugas donnent donc un indice du niveau de stress. « Mais ça ne suffit pas, poursuit la chercheuse. Le cortisol varie selon les événements et, selon le moment où l'on fait notre mesure, il peut être très élevé ou très bas. Je m'intéresse donc aussi à la DHEA, une hormone impliquée dans la reproduction, mais aussi dans le fonctionnement du système nerveux. En stress chronique, les taux de DHEA sont très bas. Je tente donc d'établir le ratio entre le cortisol et la DHEA. Plus le premier est élevé par rapport à la seconde, plus l'animal est stressé. » Pour l'instant, il s'agit d'une piste de recherche, et les données sont encore rares.

Car ces mesures hormonales doivent se faire sur des animaux vivants. Classiquement, on prélève des biopsies en s'approchant par bateau et en utilisant une arbalète qui insère un petit tube acéré sur quelques centimètres dans la peau de la bête. En récupérant le dard, on obtient un échantillon cylindrique de gras, gros comme la moitié d'une cigarette, à partir duquel on peut faire les analyses en laboratoire. Mais la manœuvre est discutable, puisqu'elle est stressante pour l'animal touché, alors qu'on veut justement mesurer le stress « ordinaire »...

« J'essaie d'adapter une méthode moins invasive qu'on utilise avec de plus gros cétacés : échantillonner les aérosols qu'ils émettent lorsqu'ils respirent en surface. L'air expulsé est chargé des sécrétions du conduit respiratoire.



COMBIEN SONT-ILS ?

Pas facile de compter des bélugas : ils ne passent qu'une petite partie de leur temps en surface, occupés qu'ils sont à chercher leur subsistance en profondeur. « On peut seulement tenter d'estimer leur nombre par différentes méthodes d'inventaire, concède Véronique Lesage, biologiste spécialiste des cétacés chez Pêches et Océans Canada. Nos plus récentes estimations sont de 1850 individus, mais avec une incertitude de plus ou moins 350. Et ce chiffre diminue d'environ 1 % par an depuis une quinzaine d'années. »

Peut-être sont-ils 2000, donc. Est-ce peu ou beaucoup ? Pour le savoir, il faudrait connaître les inventaires qui prévalaient au temps des premiers visiteurs européens. « On sait qu'ils étaient beaucoup plus abondants qu'aujourd'hui, poursuit Véronique Lesage. Nous n'avons pas les chiffres exacts, mais les archives des débarquements de barils d'huile de béluga aux 17^e et 18^e siècles permettent d'extrapoler : ils étaient au moins 10 000. »

Leur déclin rapide est en partie dû à la chasse intensive de la première moitié du 20^e siècle : persuadés que les bélugas dévastaient les stocks de poissons de fond, les pêcheurs étaient encouragés à les abattre et à rapporter leur queue en guise de preuve pour recevoir une prime...

On peut y mesurer la concentration en hormones et extrapoler pour connaître le taux dans le sang. Il faut s'approcher de la baleine et, au moment où elle souffle, passer une boîte de Petri dans le nuage à l'aide d'une perche. Les grosses baleines émettent des souffles volumineux qui persistent dans l'air assez longtemps pour faire la manœuvre. Avec les bélugas, c'est une autre histoire. »

En effet, leur souffle est bref et produit un nuage tout petit et fugace. « Je travaille dans l'Arctique avec les populations de bélugas plus abondantes et moins stressées à peaufiner la méthode pour obtenir un échantillon suffisant avec un seul passage dans le nuage, précise Marion Desmarchelier. Si j'y parviens, on pourra utiliser la méthode dans l'estuaire. »

UN ÉCOSYSTÈME SURCHAUFFÉ

Les changements climatiques ont aussi des répercussions directes sur l'habitat des bélugas. Les eaux du golfe et de l'estuaire se réchauffent en profondeur, l'oxygène se fait de plus en plus rare et l'acidité augmente... Si l'eau de surface provient des Grands Lacs et des nombreux affluents, les eaux de fond proviennent, elles, de l'Atlantique. Elles remontent le chenal laurentien à 300 ou 400 mètres de profondeur. Autrefois, elles étaient un mélange à parts à peu près égales du courant du Labrador, froid et oxygéné, et du Gulf Stream, chaud et pauvre en oxygène. Mais depuis le début du siècle, en raison de grands remaniements dans les courants océaniques du globe, les eaux du Labrador n'y entrent presque plus et ce sont surtout celles du Gulf Stream qui remontent sous le Saint-Laurent.

Normalement, ces eaux profondes finissent par ressurgir en surface à l'embouchure du Saguenay, face à Tadoussac. En oxygénant les eaux de surface, elles contribuent au foisonnement de plancton et de krill à cet endroit, ce qui soutient toute une chaîne alimentaire, du hareng au rorqual bleu, aussi bien à l'embouchure du Saguenay que partout en aval du Saint-Laurent. Sans les eaux du Labrador pour jouer ce rôle, tout l'écosystème vacille.

« On en a eu une belle démonstration en 2012, se rappelle Jonathan Verreault. Cette année-là, les stocks de harengs et de capelans se sont effondrés. Des fous de Bassan aux baleines franches, on a assisté à un *crash* complet de l'écosystème. »

Ce fameux été de 2012, le nombre de bélugas échoués a monté en flèche, faute de nourriture. Chez Pêches et Océans Canada, la biologiste spécialiste des cétacés Véronique Lesage suit l'évolution de l'état de santé des bélugas. « Dans les carcasses, on constate que les acides gras essentiels diminuent depuis des années. Leur condition physique se détériore, et ce changement semble avoir commencé très soudainement autour de 2010, ce qui correspond aussi à la hausse des cas de dystocies. »

Selon la chercheuse, les eaux de l'estuaire étaient relativement froides dans les années 1990 et les poissons démersaux, c'est-à-dire vivant en pleine eau mais proche du fond, comme les morues ou les sébastes, étaient plus abondants. Les années 2000 ont vu l'eau se réchauffer et 2010 a été le théâtre d'anomalies climatiques extrêmes. Cette année-là, le couvert de glace sur le fleuve en hiver a été minime et il semble y avoir eu un déséquilibre du système alimentaire complet. « Les poissons démersaux ont décliné et les morts de bélugas ont augmenté, résume Véronique Lesage. On soupçonne un changement de diète chez eux. Ils sont peut-être obligés de se tourner vers de nouvelles proies, qui ne comblent pas aussi bien leurs besoins énergétiques. »

Les changements climatiques peuvent aussi avoir un effet direct sur les bélugas, des animaux arctiques. Une eau plus chaude et dépourvue de glace même en hiver, c'est une eau qui s'éloigne de leur habitat naturel.

Bref, qu'est-ce qui cause les dystocies chez les bélugas et empêche l'espèce de se rétablir ? Le bruit ? Le dérangement par les navires ? Le stress ? Les changements climatiques ? La sous-alimentation ? L'absence de glace ? Les contaminants ? Toutes ces causes cumulées ? Autant de questions sont déjà un début de réponse : le problème du béluga, c'est nous... ●

LE TOURISME BOLIVIEN

SOUS LA LOUPE DES SCIENTIFIQUES

Diversité de paysages

à couper le souffle, somptueuses

rives du lac Titicaca, gastronomie

traditionnelle, riche patrimoine

culturel et naturel... La Bolivie n'a pas

à rougir de ses atouts, qui en font

un pays au grand potentiel

écotouristique. Une équipe

de recherche multidisciplinaire,

soutenue par le Canada, tente

de le démontrer.

Par Margot Davier

LE véhicule à quatre roues motrices s'élançait sur une immense plaine blanche, qui se déploie à perte de vue. Il ne s'agit pas d'un sol de chaux, encore moins de neige, mais du désert de sel le plus célèbre au monde, le salar d'Uyuni. Ce joyau naturel de Bolivie fait près de 10 500 km² et se trouve à 3658 mètres d'altitude. Situé dans la province de Sud Lípez, une région aride proche de la frontière chilienne, ce paysage irréel devient magique lors de la saison des pluies, entre décembre et mars. Le sol se recouvre alors d'une fine couche d'eau, qui crée un effet miroir éblouissant. Quelques guides proposent aux touristes de prendre la pose sur cette surface sans le moindre relief qui offre des illusions d'optique, en plus de fausser complètement les distances.

Ce désert de sel a été visité par 298 000 personnes en 2016, selon les dernières données disponibles. Si le salar d'Uyuni demeure l'une des destinations les plus prisées du pays, avec la capitale La Paz, le reste du territoire ne jouit pas du même engouement, même si son potentiel est immense.

C'est du moins le diagnostic posé par la quinzaine de personnes qui constituent l'équipe d'Orbita, un observatoire bolivien du tourisme durable et centre de recherche inauguré en 2022, sous la houlette de la Fundación IES (un organisme privé à but non lucratif) et du Réseau de solutions pour le développement durable des Nations unies (SDSN, selon le sigle anglais), qui comprend plusieurs instituts nationaux, dont un en Bolivie. Orbita est soutenu par le Centre de recherches pour le développement international du Canada (CRDI), d'où notre visite dans le pays.

Le but du projet, qui a commencé en 2022 et se terminera en mai 2024, est de produire des preuves de l'intérêt touristique de la Bolivie et de fournir des données destinées à encourager les investissements pour favoriser un modèle responsable. Les recherches orienteront le tourisme pour qu'il soit un pourvoyeur d'emplois de qualité, tout en respectant l'environnement. « L'objectif final est de comprendre comment et dans quelles circonstances le tourisme peut être un outil de développement inclusif et bénéficier à l'ensemble de la population, en particulier aux femmes,



La minuscule île Chiquipa n'abrite que quelques maisons abandonnées et une cabane utilisée par les adeptes de pêche.

Selon l'Indice de développement du voyage et du tourisme 2021 du Forum économique mondial, qui mesure l'ensemble des facteurs qui favorisent le développement du secteur, la Bolivie est classée 91^e sur 117. À titre de comparaison, le Pérou voisin atteint la 65^e place et le Chili, la 34^e. Même la Colombie, qui sort tout juste de décennies de conflit partiellement soldées par la signature, en 2016, d'un accord de paix avec la guérilla des FARC, fait mieux, avec le 58^e rang.

qui occupent 72 % des postes du secteur », indique avec enthousiasme Julian Vargas, consultant à la Fundación IES.

L'enjeu est de taille. Le pays de 12 millions d'habitants et habitantes est l'un des plus pauvres du continent : 13 % de la population se trouve dans une situation de pauvreté extrême et 37 %, sous le seuil de pauvreté, selon les chiffres du Programme alimentaire mondial. Les communautés autochtones sont les plus vulnérables. Le tourisme pourrait-il renverser la vapeur ?

AU-DELÀ DES MINES

Le travail du groupe de recherche consiste d'abord à comparer le secteur touristique aux industries associées à l'exploitation des ressources naturelles. Il faut savoir que l'économie bolivienne est fortement dépendante des industries extractives (le fameux salar d'Uyuni renferme d'ailleurs un quart des réserves de lithium de la planète). Les activités minières et pétrolières représentent le premier secteur d'exportation, ce dont témoignent les chiffres pour la période 2016-2019 : les exportations de minéraux représentaient 3,8 milliards de dollars américains annuellement, tandis que les exportations d'hydrocarbures

s'élevaient à près de 2,7 milliards. Ces deux industries, particulièrement polluantes, génèrent des emplois, mais presque exclusivement pour les hommes.

Le tourisme a quant à lui rapporté 799 millions de dollars américains en 2019. Le pays compte 1200 hôtels, en plus de centaines d'établissements informels et de logements privés, mais il en a vu des dizaines fermer leurs portes en raison de la pandémie de COVID-19. Dès lors, il apparaît crucial de stimuler de nouveau le secteur, l'un des objectifs affichés par Orbita.

Bien que défini comme un secteur stratégique, le tourisme reçoit seulement 8,7 millions de dollars d'investissements publics par an. Les travaux d'Orbita « sont des informations précieuses qui, je l'espère, permettront au gouvernement de mieux comprendre comment fonctionne le tourisme », avance Helga Cisneros, directrice de la Chambre d'hôtellerie départementale de La Paz.

La compilation de données actualisées, autre activité principale d'Orbita, prévue jusqu'en 2024, est indispensable pour définir le profil des visiteurs. « Il est clair que les statistiques sur le tourisme ne font pas partie des priorités



Susiblica Apasa, responsable du développement du tourisme dans la région du lac Titicaca



L'apiculteur Demetrio Alavi devant son échoppe, où les touristes ont droit à une dégustation de différents miels

du gouvernement, qui ne produit que des chiffres sur les flux et les moyens de transport, qui ne sont pas fiables, précise Andres Aramayo, directeur général d'Orbita. Ces chiffres s'appuient sur les points frontaliers ; or, dans plusieurs cas, ils sont gonflés parce qu'il s'agit de points de contrebande. C'est le cas par exemple à Desaguadero, à la frontière avec le Pérou. » On sait néanmoins qu'en 2022, près de 800 000 personnes ont visité le pays, selon Luis Ampuero, directeur de la Chambre d'hôtellerie de la Bolivie, un chiffre bien inférieur à la fréquentation antérieure à la pandémie de COVID-19.

Or, c'est en étudiant les flux, l'origine ou la consommation des voyageurs et voyageuses que l'équipe d'Orbita arrive à déceler différentes formes de tourisme. Elle s'intéresse ainsi au cas du village de Luribay, à trois heures de La Paz. Dans cette petite localité à la végétation luxuriante et encerclée de majestueuses montagnes rocheuses, gastronomie, vignobles et vergers sont mis à l'honneur pour des touristes majoritairement locaux (seulement 20 % viennent de l'étranger). C'est la destination idéale pour une escapade à l'extérieur de la capitale, même si elle demeure peu fréquentée : elle attire

environ 800 personnes par année, dont 600 souscrivent un forfait de type tout-inclus et y passent la nuit, alors que les 200 autres n'y restent qu'une journée. Nous circulons sur la coquette place centrale pour constater le manque de services : à peine un restaurant et quelques *tiendas* (épiceries, en espagnol) peu garnies.

Il y a pourtant de quoi s'amuser : dégustation de vins, promenades au milieu des vastes terres agricoles, visite de ruches et sensibilisation aux effets du réchauffement climatique avec l'apiculteur Demetrio Alavi. Les curieux peuvent ensuite se rendre dans le village tout proche de Catavi, à la *bodega* (maison coloniale) de José Manuel Pando, soldat de la guerre du Pacifique contre le Chili, au 19^e siècle, devenu président de la Bolivie. Armes et boîtes de médicaments semblent n'avoir jamais bougé de cette bâtisse, presque en ruine et un peu poussiéreuse.

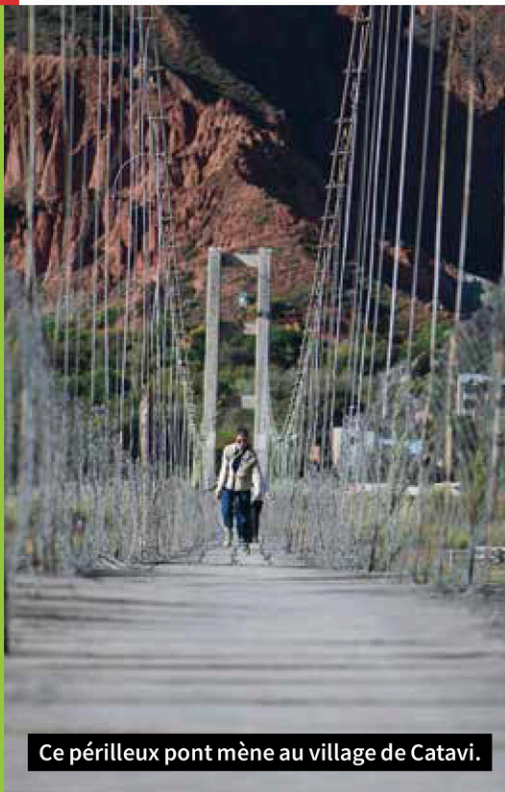
Comment valoriser la région et son patrimoine, et attirer davantage de visiteurs et visiteuses ? C'est à cette question que réfléchit l'équipe d'Orbita, soucieuse d'améliorer une offre touristique à petite échelle et d'en faire profiter les 200 familles du coin, selon les principes du tourisme communautaire.

Pour stimuler la réflexion, la communauté universitaire est mise à profit. Orbita a d'ailleurs pour partenaire l'Université privée de Bolivie (UPB) et l'Université catholique bolivienne.

Au total, 25 thèses ou mémoires de maîtrise sont financés à hauteur de 14 000 bolivianos (environ 2700 dollars canadiens) chacun par le projet. Ces travaux sont également publiés sur des blogues spécialisés et bénéficient d'un accompagnement pédagogique poussé.

L'objectif est double : utiliser les résultats pour faire avancer les recherches d'Orbita et du SDSN, et encourager les étudiants et étudiantes à s'orienter vers des carrières touristiques. « Depuis la pandémie, rares sont les étudiants à vouloir travailler dans ce secteur, souligne Marco Antonio Abastoflor Portugal, directeur des carrières pour le programme d'administration touristique à l'Université catholique. Nous pouvons parler de crise. »

Les profils, retenus sur concours, sont variés et issus de toutes les disciplines. Dans les bureaux du SDSN, hébergés par l'UPB, Pia Piovesan, 24 ans, inscrite au baccalauréat en économie, étudie le rôle des femmes comme actrices et consommatrices du tourisme intérieur bolivien, tandis que Loreley



Ce périlleux pont mène au village de Catavi.



Les ruelles de Luribay, où se cachent de modestes maisons d'hôte

Huanca, 23 ans, ingénieure, s'intéresse au pouvoir des compagnies aériennes sur le flux de touristes. « Je ne connaissais rien au tourisme avant cette convocation, admet en riant Pia Piovesan. Mais c'est un secteur transversal, qui nous affecte tous, avec un immense potentiel. Il y a une quantité d'activités et de types de tourisme différents. » Assise à côté d'elle, sa collègue Loreley Huanca se verrait bien évoluer dans le domaine. Les deux étudiantes doivent remettre leurs travaux en décembre prochain.

Viviana Valda, de la Faculté des sciences économiques de l'Université Franz Tamayo, une autre université avec laquelle Orbita a signé un accord, explique : « Nous devons rendre le secteur attractif pour les futures générations, les former comme des professionnels, et il me paraît important que les universités s'impliquent. »

ACCOMPAGNEMENT PERSONNALISÉ

Dans le cadre du projet, les équipes d'Orbita et du SDSN offrent également un service de conseil. Elles guident ainsi 33 entreprises de tourisme communautaire dans le développement d'une

offre touristique adaptée à la demande. Pour le moment, Orbita collabore avec deux représentantes, l'association La Cabaña Unión, située à Luribay, au pied de la cordillère Quimsa Cruz, et l'organisation touristique d'Astucopacha (qui rassemble 31 communautés), au bord du lac Titicaca. Elles ont été « choisies en fonction d'un tableau d'évaluation des besoins », selon Martha Jemio, coordinatrice à Orbita qui chapeaute cet aspect du projet.

Au détour d'une jolie ruelle ombragée de Luribay, nous arrivons chez Omar Apaza Calle, 42 ans. Cet affable père de famille, à la tête de la rustique auberge Cabaña Unión, d'une capacité de 32 lits, et du vignoble alentour, nous propose d'emblée un lait frappé au vin pour le petit déjeuner. « Tous nos plats sont proposés en concertation avec les producteurs locaux, assure-t-il; ce ne sont que des circuits courts. Nous essayons de développer une offre fondée sur la qualité, l'esprit gourmet et l'esthétique, plutôt que sur la quantité. » Au menu, des recettes locales traditionnelles, comme le *lambreado de cuy*, de la viande de cochon d'Inde, consommée lors de célébrations.

S'il coopère avec plusieurs voyageurs qui lui assurent une clientèle régulière,

Omar Apaza Calle a sollicité l'assistance d'Orbita pour étendre son offre en ligne. Grâce à plusieurs ateliers gratuits organisés tout au long de l'année, il apprend progressivement à maîtriser les réseaux sociaux et à mettre en valeur ses photographies. « C'est essentiel de travailler avec Orbita autour de la promotion du site, et l'ensemble du projet est positif, car cela peut générer un revenu important pour toutes les familles », confie-t-il. Lors de notre passage, il attendait 12 touristes pour la fin de semaine.

Il n'est pas le seul à devoir opérer un virage numérique. Plus de « 40 % des agences affiliées ABAVYT [Association des agences de voyage et de tourisme de Bolivie] ont fermé depuis le début de la pandémie, passant de 120 à 75. Cela nous oblige à diriger le secteur vers le numérique; de nombreuses entreprises doivent faire le saut technologique. Il y a certes un manque d'investissements publics; nous avons beaucoup à faire pour améliorer notre offre », explique Patricia Cespedes, directrice de l'ABAVYT, que nous avons rencontrée dans les locaux d'Orbita, au cœur de La Paz.

Sur les rives du lac Titicaca, la portion « conseil » d'Orbita en est à ses balbutiements. À trois heures de voiture de l'emblématique ville de Copacabana, qui



Quelques pêches issues des jolis vergers de Luribay

attire la majorité des flux touristiques de la région, le hameau de Challapata n'a pas la même popularité, en dépit de multiples excursions possibles.

Nous frappons à la porte d'une modeste maison d'hôtes de sept lits, où nous rencontrons l'autorité locale responsable du développement du tourisme dans la région, Susibilica Apasa. Vêtue des habits traditionnels associés aux *cholas* (femmes boliviennes à la forte identification culturelle indigène), robe à volants et *bombin* (chapeau melon) recouvrant ses deux longues nattes nouées d'un *tullma* (terme quechua qui désigne cette attache particulière), cette femme joviale de 48 ans énumère fièrement les attractions locales : sites archéologiques, églises, lagunes, sans oublier la très sauvage île Chiquipa, à une heure de bateau, qui offre une vue imprenable sur la baie. « Nous aimerions stimuler des échanges culturels entre les visiteurs et la population locale », dit-elle.

Dans son activité de conseil, Orbita souligne la valeur d'une offre fondée sur la promesse de paysages préservés et encore confidentiels. « Il faut aider les leaders communautaires à comprendre l'occasion que peut représenter le tourisme », explique Andres Aramayo.

Les 7186 habitants et habitantes d'Escoma, petite ville à proximité de Challapata, n'espèrent qu'une chose : que le tourisme attire de nouveau la jeunesse locale, partie ailleurs au pays après la pandémie de COVID-19, à la recherche d'emplois. « Les jeunes pourraient devenir guides, travailler dans des restaurants. Comment les ramener ? » s'interroge Susibilica Apasa.

DÉFIS STRUCTURELS

Luis Ampuero, président de la Chambre d'hôtellerie de Bolivie, pointe deux problèmes structurels. « Au moins deux freins au tourisme existent : l'obligation, pour certaines nationalités, comme les Américains ou les Israéliens, d'obtenir un visa pour entrer sur le territoire bolivien, et une mauvaise connexion entre les villes ; il n'y a pas de compagnie aérienne à bas prix. » Les voyages à l'intérieur du pays peuvent s'avérer très onéreux, ou très longs, lorsque les bus sont préférés.

Surtout, « le problème de la Bolivie, c'est que nous ne nous considérons pas comme un pays touristique, alors que c'est le secteur qui peut avoir le meilleur impact [sur la population] le plus rapidement possible »,

poursuit-il. L'équipe d'Orbita a bien envie d'y remédier.

Ses 15 salariés tentent en effet de rendre leur modèle durable et de l'implanter à long terme. « Pour l'instant, Orbita n'existe pas en tant qu'institution propre, mais nous réfléchissons justement à rendre le projet pérenne, au-delà des deux ans prévus par le CRDI », promet Julian Vargas, de la Fundación IES.

En mars 2024, Orbita doit présenter ses résultats au CRDI. Les équipes ont jusqu'au mois de mai, date de la fin du projet, pour évaluer les possibilités de continuer à collaborer avec les leaders communautaires et les entreprises. À l'instar des spectaculaires paysages du salar d'Uyuni, d'autres lieux pourraient ainsi contribuer à faire du pays une référence en matière d'offre touristique respectueuse de l'environnement. ●

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



Une rubrique qui donne
la parole aux scientifiques

L'ÉCHO DU LABO

NOUVELLE
RUBRIQUE!

UNE VALEUR SÛRE ?



Québec Science inaugure une nouvelle rubrique qui donne la parole aux scientifiques d'ici. Il y est cette fois question de statistiques : la valeur p passe au tordeur!

Par Sébastien Béland, Michael Cantinotti et Denis Cousineau

« Les résultats sont statistiquement significatifs. » Cette phrase, omniprésente en science, est souvent considérée comme une sorte de sceau de validité d'une étude scientifique. Cette préconception repose sur une mesure régulièrement utilisée : la valeur p . Un chiffre abstrait, souvent mal compris et interprété par rapport à un seuil arbitraire : tous les ingrédients sont réunis pour mystifier autant le grand public que des chercheurs et chercheuses aguerris. De plus en plus de voix s'élèvent d'ailleurs pour dénoncer la toute-puissance de ce p , qui fait la pluie et le beau temps dans le monde de la publication scientifique.

La valeur p représente la « signification statistique » d'un test d'hypothèse. Pour comprendre cet élément, il faut savoir que de nombreuses

recherches quantitatives testent une hypothèse dite « nulle », qui positionne l'absence d'effet entre les variables à l'étude. De l'interprétation de la valeur p découlent deux cas de figure : soit on rejette l'hypothèse nulle, soit on la garde.

Imaginons qu'une étude examine l'augmentation des déplacements actifs chez 300 participants qui utilisent une nouvelle application mobile. L'hypothèse nulle stipule que le nombre total de kilomètres parcourus sera le même avec ou sans l'appli. Si, à l'inverse, une augmentation ou une diminution des déplacements actifs est enregistrée par l'étude, comment savoir si l'écart est attribuable à l'appli ou plutôt à une fluctuation d'échantillonnage (tout échantillon est, en effet, une partie d'une population qui la représente plus ou moins bien)? C'est là que la valeur p entre en

La communauté scientifique ne devrait pas clamer
une découverte sur la seule base d'une valeur p .
Un résultat prometteur (donc, ayant une faible valeur p)
doit être reproduit et une explication sensée
devra compléter le résultat.

scène. Supposons qu'avec l'appli, 165 personnes bougent plus, tandis que 135 autres bougent moins. La probabilité qu'un tel résultat apparaisse sans appli (soit une situation décrite par l'hypothèse nulle) est de 9 % (donc 0,09). Pour comprendre, imaginez 300 pièces de monnaie sur lesquelles il est écrit « augmentation » d'un côté et « diminution » de l'autre. Lancez-les en l'air un grand nombre de fois, et comptez le nombre de fois où 165 ou plus d'entre elles tombent du même côté. Vous trouverez que cela n'arrive qu'assez rarement, soit dans 9 % des lancers. Ce résultat constitue la valeur p .

Pour déterminer si l'appli a bel et bien un effet, on a besoin du seuil alpha. Ce seuil prend généralement une valeur prédéfinie, telle que 0,05 ou 0,01 en sciences biomédicales et en psychologie ou encore 0,00003 en physique. Si la valeur p est supérieure au seuil prédéterminé, les données ne sont pas jugées suffisamment convaincantes pour justifier le rejet de l'hypothèse nulle. Autrement dit, le changement observé sera attribué à une fluctuation d'échantillonnage. À l'inverse, lorsque la valeur p est inférieure à ce seuil, les données sont considérées comme incompatibles avec l'hypothèse nulle. On peut alors rejeter celle-ci (et donc considérer que l'utilisation de l'appli se distingue de sa non-utilisation quant à la distance parcourue) en se disant qu'il y a suffisamment peu de risques de se tromper. Dans l'exemple des déplacements, le seuil alpha serait probablement de 0,05. Les données (on se souvient que $p = 0,09$) ne sont donc pas assez probantes pour rejeter l'hypothèse nulle.

Des questions se posent quant à l'intérêt de la valeur p en soi. Dans notre exemple, pourquoi devrait-on se réjouir d'une valeur p de 0,049 et éprouver de la déception face à une valeur de 0,051? À l'évidence, ces deux valeurs résultent de différences négligeables dans les données et généralement sans portée réelle pour le développement des connaissances.

En outre, rejeter le fait qu'un phénomène soit associé à une simple fluctuation d'échantillonnage ne constitue pas une indication de la force de la relation qui est étudiée, que l'on nomme « taille d'effet », ni de la pertinence pratique de la relation (parfois appelée « signification clinique » dans le domaine de la santé). Ainsi, un

phénomène avec une valeur p significative peut être peu intéressant pour l'avancée des connaissances, surtout si d'autres interventions ou médicaments existants sont caractérisés par une taille d'effet plus importante.

LE CAS DE LA COLCHICINE

Une illustration récente concerne le traitement avec la colchicine, un anti-inflammatoire qui a suscité tout un battage médiatique au Québec après la publication d'une étude scientifique en 2021. L'équipe de l'Institut de cardiologie de Montréal a étudié l'effet de cette substance sur la prévention des hospitalisations et de la mortalité reliées à la COVID-19 avant l'arrivée des vaccins. On retrouve dans cette étude un bénéfice du médicament statistiquement significatif ($p = 0,042$) pour un sous-groupe de 4 159 patients, dont la moitié avait reçu un placebo. Toutefois, en ajoutant 329 participants pour qui le diagnostic de COVID-19 n'était pas établi hors de tout doute par un test PCR, la valeur p passe à 0,081. Ce résultat ne permet plus d'affirmer que le médicament est efficace.

Il est intéressant de rappeler que d'autres travaux scientifiques ont montré que la colchicine ne constituait pas une intervention pertinente pour combattre la COVID-19. La valeur p de 0,042 n'était donc pas... une valeur sûre! Comment s'y retrouver?

Selon nous, la communauté scientifique ne devrait pas clamer une découverte sur la seule base d'une valeur p . Un résultat prometteur (donc, ayant une faible valeur p) doit être reproduit et accompagné d'une explication sensée. De plus, il ne faut pas oublier qu'une bonne méthodologie peut se passer de statistiques, mais que les statistiques, elles, ne peuvent jamais se passer d'une bonne méthodologie et du contexte qui les ont vues naître. Une valeur p significative est surtout une invitation à poursuivre une piste de recherche qui semble encourageante. ●

Sébastien Béland est professeur au Département d'administration et fondements de l'éducation de l'Université de Montréal, Michael Cantinotti, professeur au Département de psychologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières et Denis Cousineau, professeur à l'École de psychologie de l'Université d'Ottawa.

Les scientifiques qui ont envie de prendre la parole dans nos pages peuvent écrire à courrier@quebecscience.qc.ca

La vie sous terre

Ensemble, on va plus loin : les arbres soudent leurs racines pour partager leurs ressources. Un réseau découvert et scruté de près par Annie DesRochers.



ON ne s'intéresse pas à ce qu'on ne voit pas. Cet adage est on ne peut plus vrai en ce qui a trait aux racines des arbres. Les biologistes ont longtemps ignoré ces appendices souterrains invisibles à l'œil nu. C'est pourtant grâce à eux que les végétaux s'abreuvent et captent des sels minéraux. Des recherches récentes démontrent même que les racines unissent les arbres par l'entremise de greffes physiques et fonctionnelles : des anastomoses.

Ces fusions racinaires indiquent qu'une plantation mature se comporte dans les faits comme un seul organisme vivant, ce qui a des implications majeures en matière de partage des ressources et de signaux de stress. « Les arbres ne sont pas indépendants, mais bien interconnectés. Ce qu'on fait subir à l'un a des effets sur ses voisins, même relativement éloignés », explique Annie DesRochers, professeure à l'Institut de recherche sur les forêts de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

La chercheuse a reçu en 2022 le prix David J. Gifford de la Société canadienne de biologie végétale pour l'excellence et l'originalité de ses travaux sur le phénomène du réseautage des racines. « Nous sommes peu à nous intéresser au cas spécifique des gros arbres, comme ceux de la forêt boréale, indique-t-elle. C'est un champ de recherche laborieux ; nous utilisons des jets d'eau à haute pression pour dénuder les racines et ainsi pouvoir les étudier. »

DE L'ENTRAIDE ?

C'est en exposant les racines de peupliers faux-trembles qu'Annie DesRochers a pris conscience que les arbres sont en fait reliés entre eux. C'était il y a plus de 20 ans, à l'époque de son doctorat en biologie forestière et en aménagement, réalisé à l'Université de l'Alberta. « Cette espèce était alors en déclin et nous voulions vérifier si cela était lié à une maladie racinaire, raconte-t-elle. Quelle ne fut pas notre surprise de découvrir des anastomoses plutôt que des racines malades ! »

Cette découverte explique pourquoi certains peuplements peinent parfois à se régénérer, après une éclaircie commerciale par exemple. « Il suffit de quelques individus [non coupés] capables d'alimenter

Les questions de Rémi Quirion

SCIENTIFIQUE EN CHEF DU QUÉBEC *

l'ensemble du réseau racinaire pour que le peuplement s'accroche de peine à la vie. En matière de pratiques sylvicoles, cela signifie qu'il faut abattre l'ensemble des arbres greffés pour ne pas favoriser la croissance d'autres espèces aux alentours qui profiteront alors de cet état de vulnérabilité », souligne celle qui est notamment membre de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec.

Par ailleurs, le partage de ressources est circonstanciel. Dès lors que les conditions sont défavorables, comme lors de sécheresses estivales, les arbres greffés entrent en compétition et la mise en commun cesse. De quoi remettre en question le discours selon lequel les arbres s'entraideraient, qui relève davantage de l'anthropomorphisme que de la science. « On parle de processus physiologiques qui sont dénués de toute logique morale. Ce n'est pas blanc ou noir », nuance la chercheuse.

CHANGEMENT DE PARADIGME

Les travaux d'Annie DesRochers contribuent à l'avancement des connaissances fondamentales en biologie végétale. Grâce à eux, les anastomoses sont aujourd'hui considérées comme des phénomènes communs et non anecdotiques. « On en retrouve chez environ 50 % des arbres, chez plusieurs espèces, aussi bien en nature qu'en plantation. Malgré tout, plusieurs de mes collègues font encore comme si elles n'existaient pas », déplore-t-elle.

C'est que cette vision écosystémique bouscule les préconceptions, fait valoir Yves Bergeron, professeur au Département des sciences biologiques de l'Université du Québec à Montréal. « J'ai été formé en pensant que chaque plante réagissait de manière individualiste, comme si les besoins de chacune s'additionnaient. On sait dorénavant qu'ils sont plutôt complémentaires, ce qui ne correspond à rien de moins qu'un changement de paradigme en écologie forestière », estime celui qui collabore régulièrement avec Annie DesRochers, qu'il qualifie de « vraie dynamo ». ●

Par Maxime Bilodeau

D'où vient votre passion pour l'écologie forestière ?

Elle me vient certainement du fait que j'ai passé mon adolescence, de 13 à 19 ans, dans les forêts d'Abitibi à travailler sur des projets de plantation d'arbres ! J'ai aussi toujours été passionnée par la croissance des plantes ; j'aime comprendre ce qui les affecte et comment leur offrir les meilleures conditions pour qu'elles soient productives.

Quels impacts auront les incendies qui ont fait rage ces derniers mois dans les forêts du Québec sur les anastomoses entre les arbres ?

Sans arbres vivants, les anastomoses disparaissent ! On a tendance à voir les racines comme une partie de l'arbre qui l'aide à mieux pousser, à capter les éléments nutritifs et l'eau. C'est vrai, mais, en contrepartie, les racines ont aussi besoin de beaucoup d'énergie venant de la photosynthèse pour simplement se maintenir en vie. Sans tiges vivantes, les systèmes racinaires meurent.


Lorsque le feu passe dans la forêt boréale, il remet le cycle à zéro et permet aux essences de se régénérer, souvent de façon très dense, par exemple par le relâchement de graines qui étaient en attente dans les cônes sérotineux de certaines espèces. La proximité des tiges en régénération facilite ensuite la formation d'anastomoses, comme nos études l'ont montré pour plusieurs espèces forestières.

Comment les nouvelles découvertes pourraient-elles être communiquées au grand public pour le sensibiliser quant à l'importance de la conservation de l'écosystème naturel ?

Le rôle du scientifique dans la société est très important pour faire passer la connaissance des grandes revues scientifiques vers le public. J'aime bien organiser des visites sur le terrain, ouvertes à tous, afin de discuter avec les gens et de mettre en lumière nos découvertes par des exemples concrets et observables. J'en profite aussi, lors de sorties en forêt avec des amis ou ma famille, pour montrer au moins une chose (un nom de plante ; faire goûter, sentir) à quelqu'un. On est plus enclin à aimer et à protéger ce qu'on connaît !

* Le scientifique en chef du Québec conseille le gouvernement en matière de science et de recherche, et dirige les Fonds de recherche.

Québec 
Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

 scientifique-en-chef.gouv.qc.ca

 facebook.com/SciChefQC

 @scichefqc



Émilie Folie-Boivin [@efolieb](#)

CULTURE



REGARDER



UNE ASTRONOME PAS COMME LES AUTRES

Si on vous demande d'imaginer à quoi ressemble une personne travaillant en astronomie, votre esprit esquissera probablement les contours d'un homme un peu asocial et à l'air plutôt sérieux, plongé dans l'obscurité d'un local éclairé seulement par la lumière bleutée des moniteurs. La série documentaire *Étoile du Nord* déconstruit ce stéréotype en présentant le parcours de Laurie Rousseau-Nepton, une dynamique astronome résidente du prestigieux observatoire Canada-France-Hawaii.

Son parcours est assez atypique. D'origine innue, elle est à la tête d'un énorme projet de recherche rassemblant une soixantaine de scientifiques dont le but est de démystifier la formation des étoiles pour mieux comprendre leur influence sur l'Univers. « On a là une jeune femme au sommet de son art, intéressée par les savoirs ancestraux et la recherche de pointe. Sans compter que ce n'est pas fréquent d'avoir une astrophysicienne aussi fascinée par l'ingénierie et le développement des outils ! » explique Patrick Bossé, réalisateur de la série divisée en cinq courts chapitres.

Il a travaillé en étroite collaboration avec la chercheuse pour accomplir une double mission : présenter Laurie et vulgariser sa science. Entre le Québec et Hawaï, le duo nous amène tantôt à la chasse près de la rivière Ashuapmushuan, territoire qui a fait naître la curiosité scientifique de la chercheuse, puis au sommet du Mauna Kea à la découverte des télescopes de l'observatoire et de leur fonctionnement, et enfin à l'ASTROLab du parc du Mont-Mégantic pour initier de jeunes filles aux secrets des astres.

Si la série est conçue comme un outil de vulgarisation pour les classes, rien n'y paraît : le ton intimiste et les magnifiques images de la faune et de la flore font d'*Étoile du Nord* un documentaire à large spectre capable d'inspirer toutes les générations. « Je crois que Laurie est une bonne ambassadrice du message voulant que, peu importe d'où l'on vient, avec de la curiosité, du travail et un bon esprit de collaboration, il y a moyen de réaliser de grands rêves ! » dit Patrick Bossé.

Étoile du Nord, par Patrick Bossé, 5 épisodes de 15 minutes, onf.ca



LIRE

PURES SCIENCES

Cinquante des plus grands esprits du Québec et du Canada se rencontrent dans *Faire connaissance : 100 ans de sciences en français*, un recueil publié à l'occasion du 100^e anniversaire de l'Acfas. L'historienne Marie-Claire Daveluy, le vétérinaire Ibrahima Diallo, la philosophe Corinne Gallant et le pionnier de l'océanographie du Saint-Laurent Mohammed El-Sabh se retrouvent parmi les scientifiques d'hier et d'aujourd'hui honorés pour leurs contributions marquantes. Le livre revient en beauté sur le parcours de ces brillants cerveaux au fil de pages agrémentées de photos et de documents d'archives.



Faire connaissance : 100 ans de sciences en français, par l'Acfas, Éditions Cardinal, 256 p.

LE CERVEAU DES ACCROS

L'adolescence est la période où les jeunes se mettent à expérimenter une foule de choses : la cigarette, l'alcool, les drogues, bref des substances pouvant entraîner la dépendance. Un concept parfois un peu flou pour eux. Dans *C'est quoi être accro ?*, notre journaliste Marine Corniou vulgarise les mécanismes de la dépendance et ses effets sur le cerveau pour les 11-14 ans. Elle le fait avec simplicité et sans leur faire la morale à l'aide de courts textes, et des illustrations engageantes soutiennent son propos. Ce premier documentaire d'une nouvelle collection jeunesse parle également des risques des réseaux sociaux et du jeu de façon éclairante.



C'est quoi être accro ? La dépendance expliquée aux ados, par Marine Corniou et illustré par Cathy Karsenty, Auzou Québec, 78 p.

choses à savoir

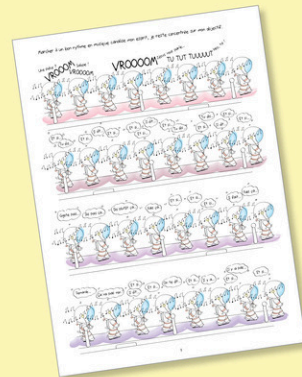
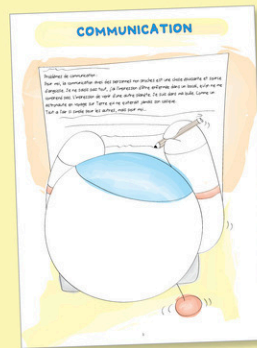
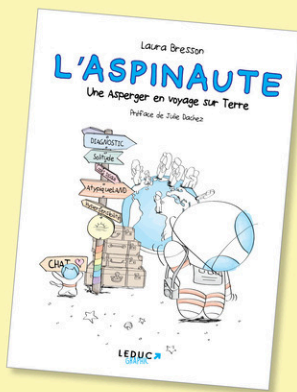


ÉCOUTER

VITE FAIT BIEN FAIT

Pourquoi le sel de l'Himalaya est-il rose ? Quelles sont les conséquences de l'isolement sur le cerveau ? Pourquoi a-t-on parfois envie d'aller aux toilettes en entrant dans une librairie (!) ? Et saviez-vous qu'il est quasi impossible d'avaler sa salive plus de trois fois d'affilée ? Voilà quelques-unes des questions auxquelles répondent les 25 balados du réseau Choses à savoir, dont *Cerveau*, *Incroyable!*, *Sciences et .tech*. Chaque production se décline en plusieurs épisodes, qui arrivent à faire le tour de sujets surprenants en deux à quatre minutes. C'est toujours amusant, pédagogique et efficace. Et puisque les cerveaux derrière ces balados ne sont pas nés de la dernière pluie, les archives sont bien garnies.

Pour découvrir tous les balados de **Choses à savoir** : chosesasavoir.com



LIRE

IMMERSION NEUROATYPIQUE

Il y a des livres qui bouleversent votre vision des choses, et *L'aspinaute, une Asperger en voyage sur Terre* est de ceux-là. Ce roman graphique permet de se mettre dans la peau d'une personne atteinte d'autisme de haut niveau, qu'on qualifiait jusqu'à récemment de syndrome d'Asperger. Cette personne, c'est la Française Laura Bresson, illustratrice et autrice du livre. Jeune femme créative et brillante promise à une grande carrière en sciences, Laura Bresson est dotée d'une hypersensibilité aliénante et elle a de profondes difficultés à entrer en contact avec les autres. Elle se sent « comme un astronaute en voyage sur Terre, qui ne quitterait jamais son casque », d'où la combinaison spatiale qu'elle porte dans ses dessins. Elle esquisse ainsi son

parcours, du lycée jusqu'à l'obtention de son diagnostic, dans un récit intimiste, avec une générosité de détails familière aux individus vivant avec ce trouble. La facture est également fort ingénieuse, puisque l'autrice réussit le tour de force de nous faire ressentir l'anxiété que les personnes neuroatypiques peuvent éprouver lors d'activités pourtant banales pour la moyenne des gens. Le passage où elle expose en quoi le simple fait d'acheter des chocolatinas à la boulangerie peut la drainer mentalement tant elle est sensible aux stimuli en est le plus bel exemple : la page croule sous les bulles montrant ce qui se passe dans sa tête. Le dessin est doux et les textes chargés, mais c'est tout indiqué pour offrir une expérience littéraire immersive vectrice d'empathie.

L'aspinaute, une Asperger en voyage sur Terre, par Laura Bresson, Leduc Graphic, 304 p.



VOIR

DE TOUT POUR FAIRE UN MONDE

Il faudra avoir quelques heures devant soi lors de sa prochaine visite au Musée de la civilisation de Québec parce que le programme est costaud ! Les thèmes de l'identité et du genre soulèvent des questions complexes au sein de la population, et l'institution ose s'aventurer sur ce terrain délicat. Son exposition *Unique en son genre : bienveillance et ouverture, pour mieux comprendre* présente le sujet à travers l'art, l'histoire sociale et même l'expérience du règne animal. Elle s'adresse toutefois à un public averti de 14 ans et plus. L'exposition *Pour demain* croise quant à elle l'art, la philosophie, le design et la technologie pour parler des bouleversements climatiques et motiver le public à entamer la marche vers les changements qui sont nécessaires. Il faut également profiter des derniers moments de l'exposition sur le biomimétisme *Nature inspirante, techno inspirée*, conçue par le Musée de l'ingéniosité J. Armand Bombardier, avant qu'elle ne plie bagage vers une autre institution. Les enfants (et les grands aussi !) vont être épatés de découvrir que des modèles de trains ont été inspirés par le bec des martins-pêcheurs et que les calmars ont des similitudes avec les motomarines !

Au Musée de la civilisation, www.mccq.org



Un jour d'été, il y a plus de 160 ans...



C'est le 28 août 1859. Le plus grand orage magnétique jamais enregistré frappe la Terre!



Au fait, je sais qu'il n'y avait pas de voitures à Cuba en 1859 : c'est juste que j'aime dessiner ces vieilles voitures là.



Saturnome??

Le gouvernement du Québec s'engage dans l'essor de la **QUANTIQUE**

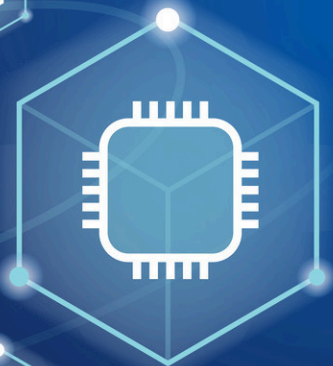
Avoir la sensation de toucher des personnes qui sont à des milliers de kilomètres, exécuter des opérations chirurgicales de haute précision ou sentir des odeurs à distance... de la science-fiction? **Vivre virtuellement des expériences multisensorielles pourrait s'avérer possible grâce à la quantique et à un Internet ultrapuissant.**

Roberto Morandotti, professeur à l'Institut national de la recherche scientifique, se spécialise en optique non linéaire et en quantique, laquelle transmet l'information à l'aide de photons plutôt qu'à partir d'électrons et de signaux électroniques. Ce chercheur mène des travaux qui permettent d'améliorer les technologies et qui jouent un rôle clé dans la création de machines d'intelligence artificielle extrêmement rapides. **Lors de la remise des Prix du Québec en 2022, Roberto Morandotti a reçu le prix Marie-Victorin, la plus haute distinction gouvernementale attribuée à une personne qui a mené une carrière remarquable en recherche dans le domaine des sciences naturelles et du génie.**

Cette même année, le gouvernement du Québec a désigné la zone d'innovation DistriQ à Sherbrooke, consacrée aux technologies quantiques. Il demeure présent dans ce secteur de pointe à travers différentes actions, notamment en appuyant l'Institut quantique de l'Université de Sherbrooke et en proposant différents appels de projets, dont celui concernant l'innovation en technologies quantiques.

En savoir plus sur l'appel de projets
Quebec.ca/appele-technologies-quantiques


LES PRIX DU QUÉBEC
culture • science



**Découvrir
DistriQ**





Portes ouvertes

Découvrez nos 350 programmes.

Sur le campus

21 octobre 2023
10 février 2024

En ligne

24 au 26 octobre 2023
13 au 15 février 2024

portesouvertes.uqam.ca

UQÀM