



**CIFAR**  
**REACH**  
**2023**

# L'AVENIR DE LA RECHERCHE AUJOURD'HUI

La science nous conduit vers des horizons insoupçonnés. Et plus tôt que vous ne le pensez

## **L'IA EN 2063**

Interprètes, réglementation et automatisation. Dans 40 ans, à quoi pourrait ressembler l'IA?

## **VOIR PETIT**

L'univers quantique pourrait bien changer le monde, une minuscule particule subatomique à la fois

## **LA TERRE, L'ESPACE ET L'INCONNU**

La recherche de vie extraterrestre peut-elle trouver une réponse ici, sur Terre?

## **APPEL À IDÉES MONDIAL**

Trois nouveaux programmes visent à éclairer la réflexion sur l'avenir de l'être humain

# Quel est l'avenir de...

*l'équité en IA?*

*l'exploration de Mars?*

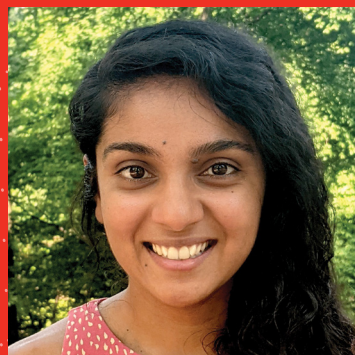
*la santé intestinale?*

*la conscience humaine?*

*le traitement des infections fongiques?*

Pour célébrer le 40<sup>e</sup> anniversaire du CIFAR, nous mettons en vedette chaque mois des scientifiques dont les grandes idées visent à rendre l'impossible possible.

Consultez la série « Croire en l'impossible : L'avenir de... » sur <https://cifar.ca/fr/nouvelles>



## REACH 2023

### L'avenir de la recherche aujourd'hui

MESSAGE DU PRÉSIDENT

**5**

LE CIFAR DANS LES NOUVELLES

**6**

« RIEN SUR NOUS SANS NOUS »

**14**

UNE JOURNÉE AU LABO

**36**

L'ANNÉE EN PHOTOS

**38**

POURQUOI DONNER

**40**

LAISSER UNE TRACE POUR LES GÉNÉRATIONS FUTURES

**42**



#### L'AVENIR DE L'ÊTRE HUMAIN

L'Appel à idées mondial du CIFAR a sollicité des propositions de nouveaux programmes de recherche. Il a donné lieu à trois nouveaux axes exploratoires audacieux qui abordent des questions d'importance auxquelles sont confrontées la science et l'humanité.

**9**

#### VOIR PETIT : COMMENT L'UNIVERS QUANTIQUE CHANGERA LE MONDE

Petits, minces et parfois imperceptibles à l'œil nu, les minuscules matériaux quantiques pourraient offrir de grandes possibilités. Explications des scientifiques du CIFAR.

**16**

#### L'IA EN 2063

Dans quarante ans, comment utiliserons-nous l'IA au quotidien? Trois titulaires de chaire en IA Canada-CIFAR proposent leurs meilleures théories.

**26**

#### LA TERRE, L'ESPACE ET L'INCONNU

Savons-nous ce qu'il y a au-delà? Les membres du CIFAR Katie Mack et Heather Graham percent les mystères de la Terre et de l'espace.

**32**

## RÉDACTION EN CHEF

Hannah Yakobi

## COMITÉ DIRECTEUR DE LA RÉDACTION

Stephen Toope, Hannah Yakobi,  
Leslie McCarley, Elissa Strome,  
Pauline Yick

## DIRECTION GÉNÉRALE

Alison Rutka

## RÉDACTION

Direction de la rédaction  
Liz Do

Rédaction adjointe  
Justine Brooks

Traduction  
Geneviève Beaulnes

Contributions  
Liz Beddall, Ty Burke,  
Ania Czupajlo, Ekua Quansah,  
Kathleen Sandusky, Elissa Strome,  
JP Udo

## CONCEPTION

Direction artistique  
Emma Tarswell

Illustration de couverture  
Ariel Davis

Photographie  
Kate Astaire, Liz Beddall,  
Dominic Blewett, Josh Fee,  
Korina Joseph, Kryani Kanaveros,  
Cheriss May, Mel Musto,  
Ben Nelms, Winni Wintermeyer

Illustration  
Ariel Davies, Christopher  
Dupon-Martinez, Raz Latif,  
Joel Kimmel

## CIFAR

Revue REACH  
Centre MaRS, tour Ouest,  
661, av. University, bureau 505  
Toronto (Ontario) M5G 1M1

## BN/INSCRIPTION

N° 11921 9251 RR0001

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

**William L. Young** (Président)  
Président  
Intact Financial  
Boston (Massachusetts)

**Jacqueline Koerner**  
(Vice-présidente)  
Fondatrice et ancienne présidente  
Ecotrust Canada  
Vancouver (Colombie-Britannique)

**Hon. Anne McLellan**  
P.C., O.C., A.O.E.  
(Vice-présidente)  
Conseillère principale  
Bennett Jones LLP  
Edmonton (Alberta)

**Scott B. Bonham**  
Cofondateur  
Intentional Capital Real Estate  
San Francisco (Californie)

**Anthony R.M. Graham**  
Président et chef de la direction  
Sumarria Inc.  
Toronto (Ontario)

**Jordan Jacobs**  
Cofondateur, chef de la direction et  
associé directeur, Radical Ventures  
Toronto (Ontario)

**Chonnetia Jones**  
Présidente et directrice générale  
Addgene  
Boston (Massachusetts)

**Stephen D. Lister**  
Président  
Private Debt Partners Inc.  
Toronto (Ontario)

**Jason McLean**  
Président et chef de la direction  
McLean Group  
Vancouver (Colombie-Britannique)

## À PROPOS DU CIFAR

Le CIFAR est une organisation de recherche mondiale qui rassemble de brillants cerveaux pour trouver réponse aux plus grandes questions auxquelles font face la science et l'humanité. Nous recevons le soutien des gouvernements du Canada, de l'Alberta et du Québec, ainsi que de fondations, de particuliers, d'entreprises et d'organisations partenaires canadiennes et internationales.

**Patricia Meredith**  
Auteure, enseignante, experte-conseil,  
gouvernance stratégique  
Toronto (Ontario)

**Jennifer Moore Rattray**  
Cheffe de l'exploitation  
Southern Chiefs' Organization  
Winnipeg (Manitoba)

**Marie-Lucie Morin**  
P.C., C.M.  
Administratrice de sociétés  
Ottawa (Ontario)

**Gilles G. Ouellette**  
Président  
BMO Gestion mondiale d'actifs  
Toronto (Ontario)

**Lawrence Pentland**  
Ancien président  
Dell Canada et Amérique Latine  
Toronto (Ontario)

**Irfhan Rawji**  
Fondateur et chef de la direction  
MobSquad  
Calgary (Alberta)

**Ann Rooney**  
Administratrice de sociétés  
Calgary (Alberta)

**Indira Samarasekera, O.C.**  
Présidente émérite  
Université de l'Alberta  
Conseillère principale  
Bennett Jones LLP  
Vancouver (Colombie-Britannique)

**Barbara G. Stymiest, C.M.**  
(Présidente sortante)  
Administratrice de sociétés  
Toronto (Ontario)

**Damon F. Williams**  
Chef de la direction  
RBC Gestion mondiale d'actifs  
Toronto (Ontario)

**Ce numéro de REACH témoigne de la façon dont la communauté mondiale de recherche du CIFAR transforme le monde qui nous entoure.**

Lorsque je me suis joint au CIFAR à titre de président et chef de la direction en novembre dernier, je savais déjà, du moins en partie, que cette organisation avait fait de l'excellent travail dans le passé. Comme j'avais siégé au conseil d'administration et au conseil de recherches, je disposais déjà d'une vue d'ensemble du fonctionnement du CIFAR, ainsi que de l'ampleur et de la profondeur des recherches qu'il soutenait. Cependant, le fait de me joindre à l'organisation en ma nouvelle qualité de dirigeant m'a vraiment permis de comprendre les raisons du succès du CIFAR depuis 40 ans (un jalon que nous avons célébré récemment).

J'ai constaté de première main la clairvoyance et la capacité de voir grand qui font la force de notre organisation et la positionnent résolument en tant que leader au sein de la communauté mondiale de la recherche. Notre capacité à bâtir des réseaux de collaboration interdisciplinaires et mondiaux de longue durée, caractérisés par la confiance, l'ouverture et le libre échange d'idées au-delà des frontières disciplinaires et nationales, n'a jamais été aussi importante.

À ce stade de l'Histoire, nous sommes confrontés à de graves problèmes qui menacent le bien-être de l'humanité et de la planète : intenses divisions politiques, guerres, clivages entre les clas-



ses, insécurité alimentaire et hydrique, pandémies mondiales et, bien sûr, changements climatiques. À l'avenir, je crois sincèrement que la recherche de pointe, dans une perspective de collaboration mondiale et d'application éthique, a le pouvoir exceptionnel de rendre notre monde meilleur.

Ce numéro de REACH témoigne de la façon dont la communauté mondiale de recherche du CIFAR transforme le monde qui nous entoure. L'article de fond vous propulse en 2063 et vous donne un aperçu de la manière dont l'IA s'intégrera sans faille dans la vie quotidienne. Dans « La Terre, l'espace et l'inconnu », nous découvrons comment les scientifiques du CIFAR tentent d'élucider les origines de la Terre afin d'en savoir plus sur la vie extraterrestre. Nous vous entraînonons aussi dans le complexe univers quantique pour mieux comprendre comment l'exploitation de matériaux comme le graphène ou le silicium pourrait aboutir à des applications utilisables. Finalement, nous partageons les résultats passionnants de notre troisième Appel à idées mondial, qui a donné lieu à trois nouveaux programmes de recherche audacieux dont les axes d'étude s'articulent autour de l'avenir de l'être humain.

J'espère que la nouvelle mouture de REACH vous inspirera, en vous offrant

un aperçu de l'avenir du CIFAR. Je me réjouis à l'idée de redéfinir la stratégie du CIFAR afin de miser sur nos nombreux atouts. Nous continuerons à faire ce que nous faisons le mieux : réunir des personnes extraordinaires pour trouver réponse aux questions les plus audacieuses et les plus importantes auxquelles la science et l'humanité sont confrontées. Et nous sommes impatients d'aborder des questions clés, comme les changements climatiques, dans le cadre de nos activités, à la fois au sein de l'organisation, et plus largement auprès d'un plus grand public.

L'heure est à l'action et notre élan témoigne de la force de la communauté du CIFAR - les scientifiques, nos partenaires, la communauté donatrice et, bien sûr, le personnel grâce à qui notre travail est possible. Merci de tourner votre regard vers l'avenir avec nous.

## STEPHEN TOOPE

O.C., LL.D, MSRC  
Président et chef de la direction, CIFAR

## Le CIFAR dans les nouvelles

Des changements climatiques au microbiome humain, les principaux médias du monde entier se tournent vers la communauté de scientifiques de premier plan du CIFAR pour obtenir des commentaires d'expertise. Voici quelques déclarations de scientifiques du CIFAR parues dans les médias internationaux au cours de l'année 2022-2023. En savoir plus : [cifar.ca/fr/nouvelles](https://cifar.ca/fr/nouvelles)

« Quand les gens pensent à un organisme fongique, ils pensent surtout à une infection aux pieds ou à quelque chose de banal, plutôt qu'à une maladie mortelle. Mais dans la réalité, maintenant que les gens y prêtent attention, les organismes fongiques tuent plus de 1,5 million de personnes par année. »

### LEAH COWEN

Coresponsable de programme,  
Règne fongique : Menaces et possibilités, à la *CBC*, février 2023



« Quand ils ont été introduits dans les années 1940, les antibiotiques étaient un véritable miracle, mais depuis 75 ans, nous nous enfonçons dans l'antibiorésistance. Les vaccins ont un rôle important à jouer pour nous sortir du trou. »

### MARTIN BLASER

Spécialiste-conseil, Microbiome humain, dans  
le *Financial Times*, mai 2022

« Nous vivons une "hallucination contrôlée" qui reste ancrée dans la réalité par une valse de prédictions et de corrections, mais qui n'est jamais identique à cette réalité. »

### ANIL SETH

Coresponsable de programme, Cerveau, esprit et conscience, sur la valorisation de la diversité de nos expériences, dans *The Guardian*, octobre 2022

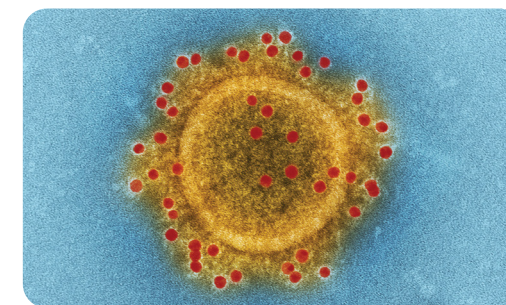


Photos : Leah Cowen (avec la permission de la chercheuse); femme se faisant vacciner (CDC par l'intermédiaire d'Unsplash); Anil Seth (Neil Ta)

« Comme nous nous attendons à beaucoup plus de catastrophes liées aux changements climatiques au cours du prochain siècle, la quantification des coûts des soins de santé liés aux expositions nous permettra de mieux estimer les conséquences de ces catastrophes sur nos sociétés et peut-être d'intervenir de manière proactive. »

### JENNY TUNG

Membre, Développement du cerveau et de l'enfant,  
dans *Scientific American*, mars 2022



« Il est essentiel de comprendre la dynamique à l'origine du système immunitaire pour comprendre comment les pandémies passées, comme la peste, contribuent à notre vulnérabilité à la maladie à l'époque moderne. »

### HENDRIK POINAR

Membre, Microbiome humain,  
dans *The Independent*, octobre 2022

« Lorsqu'une entreprise met au point un nouveau médicament, elle ne peut pas d'emblée le mettre sur le marché. Elle doit respecter des normes et rendre des comptes. Il devrait en être de même avec l'IA. »

### GOLNOOSH FARNADI

Titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR à Mila, dans « Peut-on rendre l'intelligence artificielle moins raciste? », *Toronto Star*, juin 2022



« Je crois que d'ici quelques années notre compréhension des étoiles, des galaxies et de l'évolution de l'Univers aura complètement et irrémédiablement changé. »

### KATIE MACK

Membre du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli, Extrême Univers et gravité, dans *Science Focus* de la *BBC*, juillet 2022

Photos: Jenny Tung (avec la permission de la chercheuse); germe (CDC par l'intermédiaire de Unsplash); Golnoosh Farnadi (avec la permission de la chercheuse); galaxie (Bryan Goff par l'intermédiaire d'Unsplash).

« La recherche ouverte est la seule façon de relever les défis complexes des algorithmes sociétaux d'une manière démocratiquement légitime. »

**GILLIAN HADFIELD**

Titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR à l'Institut Vecteur, dans *WIRED*, février 2023



« Bon sang, c'était de l'hydrogène, ces roches étaient pleines d'hydrogène. »

**BARBARA SHERWOOD LOLLAR**

Responsable de programme, Terre 4D : Science et exploration du sous-sol, au sujet d'une découverte qu'elle a faite lors de l'analyse de sites pour la détection de gaz, dans *WIRED*, février 2023



« La commercialisation de la technologie quantique est la prochaine étape, et nous commencerons alors à voir de petites lueurs, puis tout d'un coup, cela changera tout ce que nous faisons. »

**STEPHANIE SIMMONS,**

Membre, Informatique quantique, à la *CBC*, août 2022



« La population canadienne ne devrait pas craindre l'automatisation, mais plutôt l'absence d'automatisation. Si nous négligeons les nouvelles technologies, il en résultera des salaires plus bas et des emplois beaucoup plus ennuyeux. »

**DAN BREZNITZ**

Coreponsable de programme, Innovation, équité et avenir de la prospérité, dans *The Globe and Mail*, avril 2022



Photos : Gillian Hadfield (avec la permission de la chercheuse); Barbara Sherwood Lollar (avec la permission de la chercheuse); Stephanie Simmons (avec la permission de la chercheuse); bras robotisé (Simon Kadula par l'intermédiaire d'Unsplash)

Par Justine Brooks  
Illustrations par Raz Latif

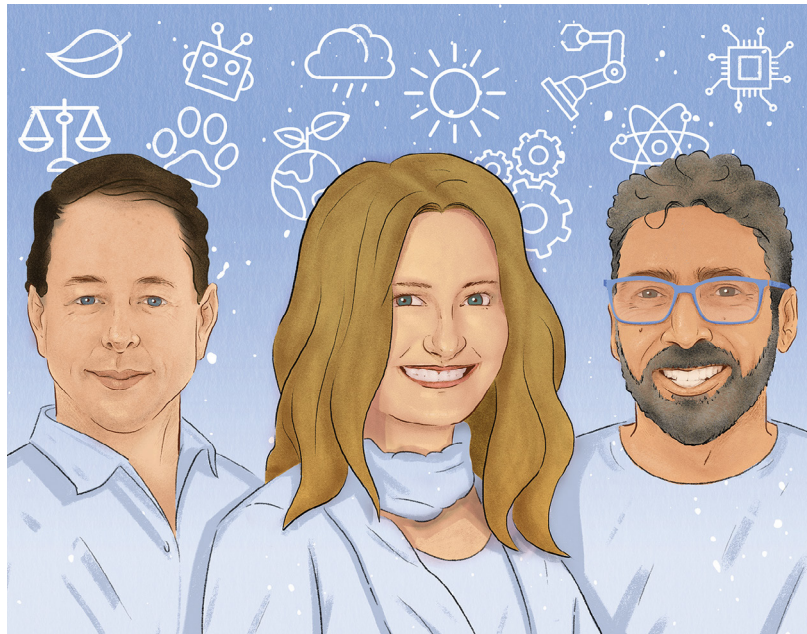
# L'AVENIR DE L'ÊTRE HUMAIN

## APERÇU DES NOUVEAUX PROGRAMMES DU CIFAR

**En avril 2023, le CIFAR a dévoilé trois nouveaux programmes découlant de l'Appel à idées mondial. Ces programmes incarnent des défis de recherche audacieux et à fort impact - et l'avenir de l'être humain.**

Le monde se trouve à un point d'inflexion. Les changements rapides dans l'environnement, la technologie et les menaces à la santé humaine exacerbent les inégalités et révèlent la nécessité de revoir notre position en tant qu'êtres humains et citoyens du monde.

Trois nouveaux programmes de recherche du CIFAR, et leur nouvelle direction, sont prêts à se pencher sur des questions importantes et audacieuses concernant l'avenir de l'être humain. Par l'exploration de facteurs environnementaux, sociologiques et philosophiques, entre autres, ces scientifiques tentent de trouver des solutions aux nouveaux défis du monde.



**« L'instabilité croissante du monde - en matière de politique, d'environnement et d'économie - tient en partie à la "fiction" de l'exceptionnalisme humain. »**

## AVENIR ET ÉPANOUISSEMENT

### CORESPONSABLES DE LA RECHERCHE :

#### TAREK ELHAIK

Université de la Californie à Davis, États-Unis

#### CHRISTOPHER KELTY

Université de la Californie à Los Angeles, États-Unis

#### HÉLÈNE MIALET

Université York, Canada

L'exceptionnalisme humain, l'idée que l'être humain est distinct de tous les autres organismes et séparé de son environnement, a dominé la pensée occidentale. Mais aujourd'hui, cette idée suscite de plus en plus de critiques.

Les membres du nouveau programme Avenir et épanouissement du CIFAR pose la question suivante : « Que signifie (bien) vivre sans exceptionnalisme humain? »

Cette question arrive à point nommé. « L'instabilité croissante du monde - en matière de politique, d'environnement et d'économie - tient en partie à la "fiction" de l'exceptionnalisme humain, déclare Hélène Mialet. L'avenir de l'être humain prend en compte les multiples relations avec les humains ou les non humains qui font de nous ce que nous sommes. »

Le programme, conçu par les coresponsables comme un défi innovant aux débats actuels en études scientifiques et technologiques, en écologie politique, en études animales, en études scientifiques féministes, en sciences humaines de l'environnement et en arts contemporains, examinera le monde de façon holistique afin de redéfinir ce que signifie être humain.

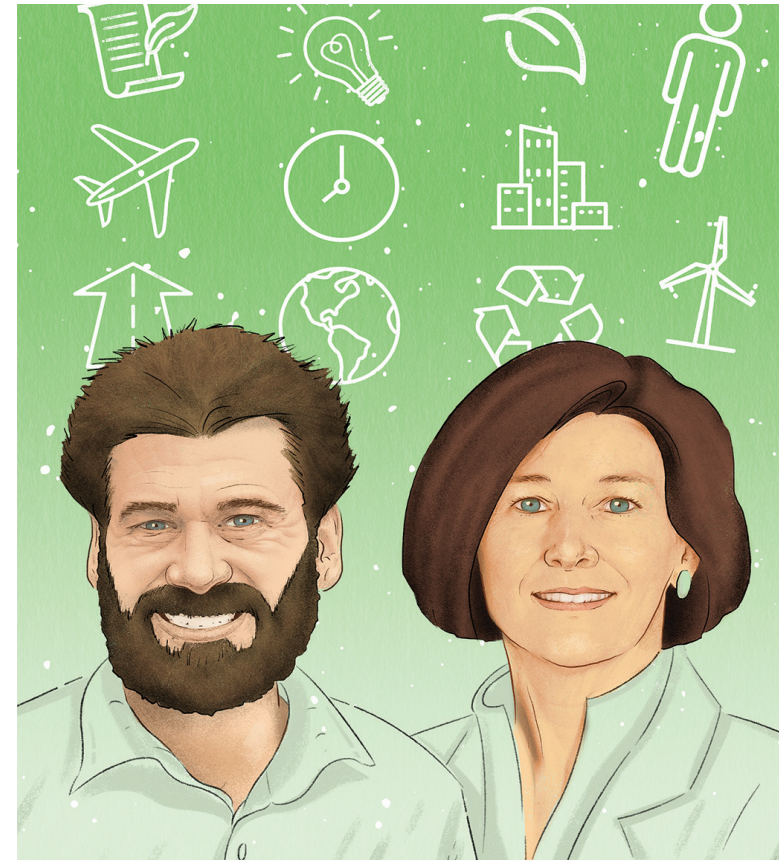
Le programme réunira un réseau hautement interdisciplinaire de

scientifiques et de spécialistes de nombreux domaines, notamment la philosophie, l'histoire, la conservation, la restauration, l'art et l'anthropologie.

« Nous disposerons ainsi de l'environnement idéal où poser de nouvelles questions et générer de nouvelles solutions qui pourraient ne pas cadrer avec les disciplines ou les domaines établis, voire exiger leur redéfinition ou la création d'autres disciplines », explique Mialet.

Il faut aussi de nouvelles méthodologies pour comprendre les relations entre les humains et ceux dont nous dépendons pour vivre. « Le pouvoir de l'imagination est la clé de notre travail et nous l'utiliserons de manière audacieuse et souvent inattendue », déclare Tarek Elhaik.

Selon Christopher Kelty, les résultats des recherches réalisées dans le cadre de ce programme pourraient avoir une profonde influence sur « la manière dont nous abordons les autres créatures, dont nous définissons notre propre bonheur et notre réussite, dont nous réparons ce qui a été endommagé et dont nous nous épanouirons à l'avenir ». Nous pourrions peut-être même « échapper à certains pièges de la pensée sur ce que signifie être humain ».



**« Comment planifier l'aménagement d'une ville, sachant que la ville se développera au-delà du plan établi – et à grande vitesse? »**

## AVENIR URBAIN DE L'HUMANITÉ

### CORESPONSABLES DE LA RECHERCHE :

#### DIANE DAVIS

Université Harvard, États-Unis

#### SIMON GOLDHILL

Université de Cambridge, Royaume-Uni

Quelles sont les caractéristiques d'une bonne ville de l'avenir?

Les membres du nouveau programme du CIFAR, Avenir urbain de l'humanité, étudient la forme que devrait prendre un environnement urbain viable et adaptable. Leurs recherches prendront en compte de nombreux facteurs importants, notamment les infrastructures (matérielles et institutionnelles), les divisions politiques, les questions d'échelle, les changements climatiques et d'autres crises éventuelles qui se profilent à l'horizon.

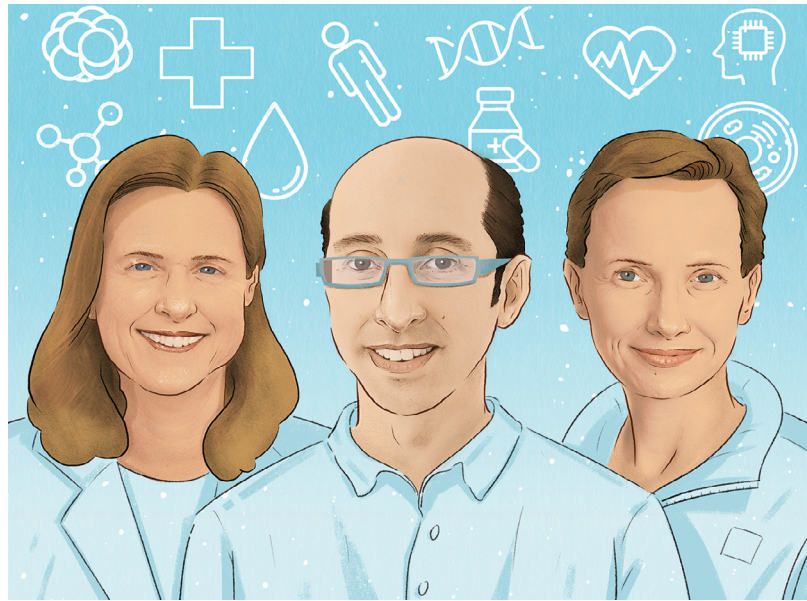
« Comment planifier l'aménagement d'une ville, sachant que la ville se développera au-delà du plan établi – et à grande vitesse? », demande Simon Goldhill.

Pour trouver réponse à ces questions, le programme examinera six villes : Calcutta (Inde), Kinshasa (République démocratique du Congo), Naples (Italie),

Mexico (Mexique), Shanghai (Chine) et Toronto (Canada).

Malgré leur histoire, leur culture et leur géographie différentes, ces villes « sont généralement confrontées à des défis existentiels similaires et tendent à persister, à se développer et à changer », explique Diane Davis, qui ajoute que des réunions de programme sont prévues dans chaque ville au cours des prochaines années afin de réaliser des recherches de première main.

L'objectif est de lancer une conversation plus vaste sur les politiques, l'innovation et les infrastructures, pour éclairer une réflexion et un apprentissage collectifs sur la manière dont nous devons préparer l'avenir, ajoute-t-elle. « Nous espérons que notre travail changera la façon dont on imagine les villes et permettra de façonner au mieux l'avenir urbain de l'humanité », déclare Goldhill.



**« Les connaissances fondamentales que nous découvrons sur le corps humain, associées à nos nouvelles méthodes expérimentales et computationnelles d'analyse multiéchelle, promettent de déclencher une révolution en médecine. »**

## ÊTRE HUMAIN MULTIÉCHELLE

### CORESPONSABLES DE LA RECHERCHE :

**GARY BADER**  
Université de Toronto, Canada

**KATY BÖRNER**  
Université de l'Indiana, États-Unis

**SARAH TEICHMANN**  
Institut Wellcome Sanger et Université de Cambridge, Royaume-Uni

Imaginez un « Google Maps » pour le corps humain. De la cartographie des molécules individuelles à celle d'une personne entière, à travers les populations et le temps, les membres du nouveau programme Être humain multiéchelle du CIFAR cherchent à créer une encyclopédie universelle du corps humain qui transformerait la recherche et la pratique biomédicales.

« Les connaissances fondamentales que nous découvrons sur le corps humain, associées à nos nouvelles méthodes expérimentales et computationnelles d'analyse multiéchelle, promettent de déclencher une révolution en médecine », déclare Sarah Teichmann. Bien que nous sachions qu'une mutation de l'ADN peut toucher tous les systèmes de l'organisme, nous comprenons mal ces effets et leurs relations réciproques.

« L'élucidation de ce processus nous permettrait de prédire les effets des perturbations génétiques et environnementales et de savoir comment les maîtriser », explique Gary Bader.

Un projet aussi ambitieux se heurte à de nombreux défis : comment associer des données issues de différentes modalités, à différentes échelles spatiales et temporelles, et représenter avec précision la diversité de la population humaine? Une approche interdisciplinaire s'impose. L'équipe considère aussi que l'apprentissage automatique

pourrait se révéler utile.

« La cartographie multiéchelle du corps humain est un merveilleux défi qui nécessitera à la fois l'intelligence humaine et l'intelligence artificielle », affirme Katy Börner.

L'interdisciplinarité et la possibilité de travailler sur une longue période représentent des atouts majeurs pour ces scientifiques. « Il est fantastique de pouvoir travailler ensemble sur une période prolongée, ce qui n'est pas le cas avec d'autres sources de financement », déclare Teichmann lorsqu'elle évoque sa sélection dans le cadre de l'Appel à idées mondial du CIFAR.

Qu'est-ce qu'un tel outil de référence pourrait signifier pour l'avenir de l'être humain? Börner imagine un avenir doté d'un programme de « jumeau numérique » lancé à la naissance et utilisé pour prédire la forme physique, la nutrition et les traitements médicaux idéaux pour l'être humain en chair et en os.

« Travailler à cette compréhension de soi nous aidera à résoudre certains des défis les plus urgents auxquels nous sommes confrontés pour améliorer la santé et réduire la souffrance humaine », soutient Bader.

Bien que le programme compte de nombreux objectifs et possibilités de découverte, Teichmann ajoute : « Je pense que beaucoup de nos plus grandes découvertes seront totalement inattendues. »

## EXTRÊME UNIVERS ET GRAVITÉ

### CORESPONSABLES DE LA RECHERCHE

**VICTORIA KASPI**  
Université McGill, Canada

**LUIS LEHNER**  
Institut Périètre, Canada



En 1986, le CIFAR a lancé le programme Extrême Univers et gravité pour percer les mystères du cosmos. Après plus de 30 ans, le programme a été renouvelé pour un dernier mandat.

L'un des nouveaux domaines de recherche passionnants de l'équipe est l'astronomie des phénomènes transitoires qui étudie des événements très variables sur de courtes échelles de temps, c'est-à-dire des choses qui sont là un instant et qui disparaissent l'instant d'après.

Les coresponsables du programme, Victoria Kaspi et Luis Lehner, affirment que les recherches sont très prometteuses, « en particulier compte tenu de la mise en œuvre prochaine de projets d'instrumentation révolutionnaires », qui permettront de recueillir des données sans précédent sur le cosmos.

Parmi ces instruments figurent la version améliorée des détecteurs avancés d'ondes gravitationnelles LIGO/Virgo, ainsi que les télescopes satellites de l'Expérience canadienne de cartographie de l'intensité de l'hydrogène (CHIME) pour la détection de sursauts radio rapides (SRR). De nombreux membres du programme sont à la barre de ces deux projets.

Le projet CHIME/SRR, en particulier, est l'un des plus passionnants du programme, explique Kaspi. L'équipe du projet CHIME/SRR passe au crible les bruits de l'espace, ce qui permet d'obtenir des données inédites sur l'un des plus grands mystères de l'astronomie, la compréhension de l'origine des sursauts radio rapides. Kaspi espère que la prochaine grande découverte sera tout aussi révolutionnaire : l'utilisation du détecteur d'ondes gravitationnelles pour contraindre l'équation de la densité de la matière des étoiles à neutrons.

CIFAR EN TÊTE

 ABONNEZ-VOUS

**Avez-vous un abonnement au bulletin CIFAR en tête?**

**Restez au fait des événements du CIFAR. Les dernières nouvelles, les événements, les photos et les exclusivités – dans votre boîte de réception chaque deuxième jeudi du mois.**

[cifar.ca/fr/abonnez-vous](https://cifar.ca/fr/abonnez-vous)



# « Rien sur nous sans nous »

Un parcours constructif de collaboration pour accroître la participation autochtone en IA

Un essai d'Ekua Quansah et Elissa Strome  
Illustration par Christopher Dupon-Martinez

Les progrès de l'intelligence artificielle (IA) pourraient changer le monde dans lequel nous vivons, procurant au Canada et au reste de la planète des avantages sociaux, économiques et environnementaux. Toutefois, il pourrait aussi s'ensuire des effets néfastes si la création et la mise en œuvre de l'IA ne se font pas de manière responsable. Alors que les outils, produits et services basés sur l'IA ne cessent de se perfectionner et de se répandre, il est plus que jamais essentiel pour les personnes à l'origine des technologies de l'IA d'être le véritable reflet des diverses communautés servies par ces technologies.

Les peuples autochtones sont depuis longtemps exclus et sous-représentés dans l'enseignement et la formation en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM), malgré leurs contributions aux connaissances en STIM. Malheureusement, jusqu'à présent, le domaine de l'IA ne fait pas exception. À titre d'organisme de recherche international de premier plan et de responsable de la stratégie nationale en matière d'IA, le CIFAR est résolu à jouer un rôle déterminant dans l'accroissement de l'équité, de la diversité et de l'inclusion (EDI) en STIM. Et, dans nos rôles respectifs de responsable de l'EDI et de directrice générale de la Stratégie pancanadienne en matière d'IA, cette question nous préoccupe au plus haut point.

En gardant en tête les appels à l'action de la Commission de vérité et réconciliation du Canada, nous nous sommes efforcés de comprendre les obstacles auxquels sont confrontées les personnes autochtones en matière d'éducation et de formation en STIM.

En explorant les possibilités pour le CIFAR de contribuer à accroître le nombre de personnes autochtones qui étudient en IA, nous avons adopté le principe directeur suivant : « Rien sur nous sans nous » - un cri de ralliement utilisé de longue date par les groupes marginalisés dans le monde entier. Il nous rappelle que les personnes les plus touchées par les inégalités sociétales doivent se trouver à la tête et au cœur de toute action visant à remédier à ces inégalités. Nous avons rencontré des leaders autochtones dans le domaine des STIM et des responsables de programmes d'enseignements en STIM et en IA destinés à des personnes autochtones et non autochtones dans l'ensemble du pays, afin de comprendre les défis et de déterminer comment le CIFAR pourrait améliorer les choses.

Parallèlement, nous avons participé au Programme de leadership Mise en œuvre de la réconciliation : inclusion et action du Forum des politiques publiques afin d'approfondir notre compréhension des pratiques exemplaires pour faire progresser la réconciliation, tant sur le plan personnel que professionnel. Nous avons ensuite suivi le cours Principes de propriété, de contrôle, d'accès et de possession (PCAP) du Centre de gouvernance de l'information des Premières Nations, afin de nous assurer que nous avons une compréhension fondamentale des principes qui déterminent comment les données et les informations des Premières Nations devraient être recueillies, protégées, utilisées ou partagées.

Grâce à une connaissance approfondie et à une collaboration constructive avec les partenaires, et en consultation avec des leaders autochtones et de l'IA, nous avons élaboré un plan en trois parties pour accroître la participation des personnes autochtones aux programmes d'enseignement en IA et lancé un programme pilote à l'été 2022. Voici ce que

prévoit notre plan : 1) financement intégral des coûts directs et indirects pour toutes les personnes autochtones admises à un programme de formation en IA destiné à la prochaine génération et offert par le CIFAR et ses partenaires à travers le pays; 2) collaboration avec une équipe dirigée par des Autochtones en vue de bâtir un nouveau programme d'études visant à explorer les perspectives autochtones en matière d'IA et à l'intégrer dans tous nos programmes de formation en IA destinés à la prochaine génération; et 3) collaboration avec des partenaires en vue d'offrir une formation en IA aux jeunes Autochtones dans leurs communautés.

Actua, l'un des principaux organismes de sensibilisation et de mobilisation dans le domaine des STIM au Canada, est un partenaire clé dans nos efforts pour offrir une formation en IA aux jeunes Autochtones. Le programme national Jeunes Autochtones en STIM (A-STIM) d'Actua est le premier programme national du Canada conçu pour éliminer les obstacles à la participation des jeunes Inuits, Métis et des Premières Nations dans le domaine des STIM grâce à un enseignement axé sur le territoire.

« Il est essentiel que les voix autochtones s'expriment dans tous les aspects de l'espace de l'IA », a déclaré Doug Dokis, spécialiste-conseil du programme national A-STIM et membre de la Nation Anishinabe de Dokis dans le nord de l'Ontario. « Bien qu'il existe de formidables possibilités d'inclure l'IA dans la pratique autochtone en ce qui concerne la gestion des terres en tant que pratique culturelle, il y a aussi des éléments à prendre en compte au sujet des impacts éventuels de l'introduction de l'IA dans cet espace sur le savoir et la culture autochtones. »

Grâce à un partenariat avec le CIFAR, Actua a intégré un programme d'études sur l'IA dans son camp d'été axé sur le territoire, assorti de crédits d'étude et destiné aux élèves du secondaire, le camp culturel de l'île Thompson de la Première Nation Akwesasne. De plus, au cours de l'année scolaire 2022-2023, l'équipe du CIFAR a eu l'occasion de rencontrer des leaders autochtones de la délégation des jeunes A-STIM d'Actua afin d'explorer avec eux les possibilités et les défis dans le domaine de l'IA.

Parallèlement à notre travail visant à promouvoir la participation et l'inclusion de la communauté étudiante autochtone en IA, nous continuons à mettre au point des programmes, des mesures de soutien et des ressources pour d'autres groupes sous-représentés en IA, notamment la communauté étudiante noire. Pour ce faire, nous avons récemment lancé la bourse Inclusion en IA du CIFAR destinée aux personnes noires et autochtones, et un nouveau partenariat avec l'Institut Vecteur en soutien à des programmes de stages pour les personnes noires et autochtones.

Alors que nous continuons à mettre en place des initiatives de lutte contre la sous-représentation en STIM, nous sommes reconnaissantes des riches possibilités d'apprentissage que nous avons eues tout au long de ce travail. Les progrès réalisés jusqu'à présent sont le résultat direct de nos partenariats et collaborations, du leadership des communautés et des personnes, et de l'intégration de leurs connaissances et perspectives dans notre travail. Notre engagement en faveur du principe « rien sur nous sans nous » a été la clé pour faire tomber les barrières. Et le pouvoir de cette simple philosophie s'est révélé être la leçon la plus précieuse de toutes. •

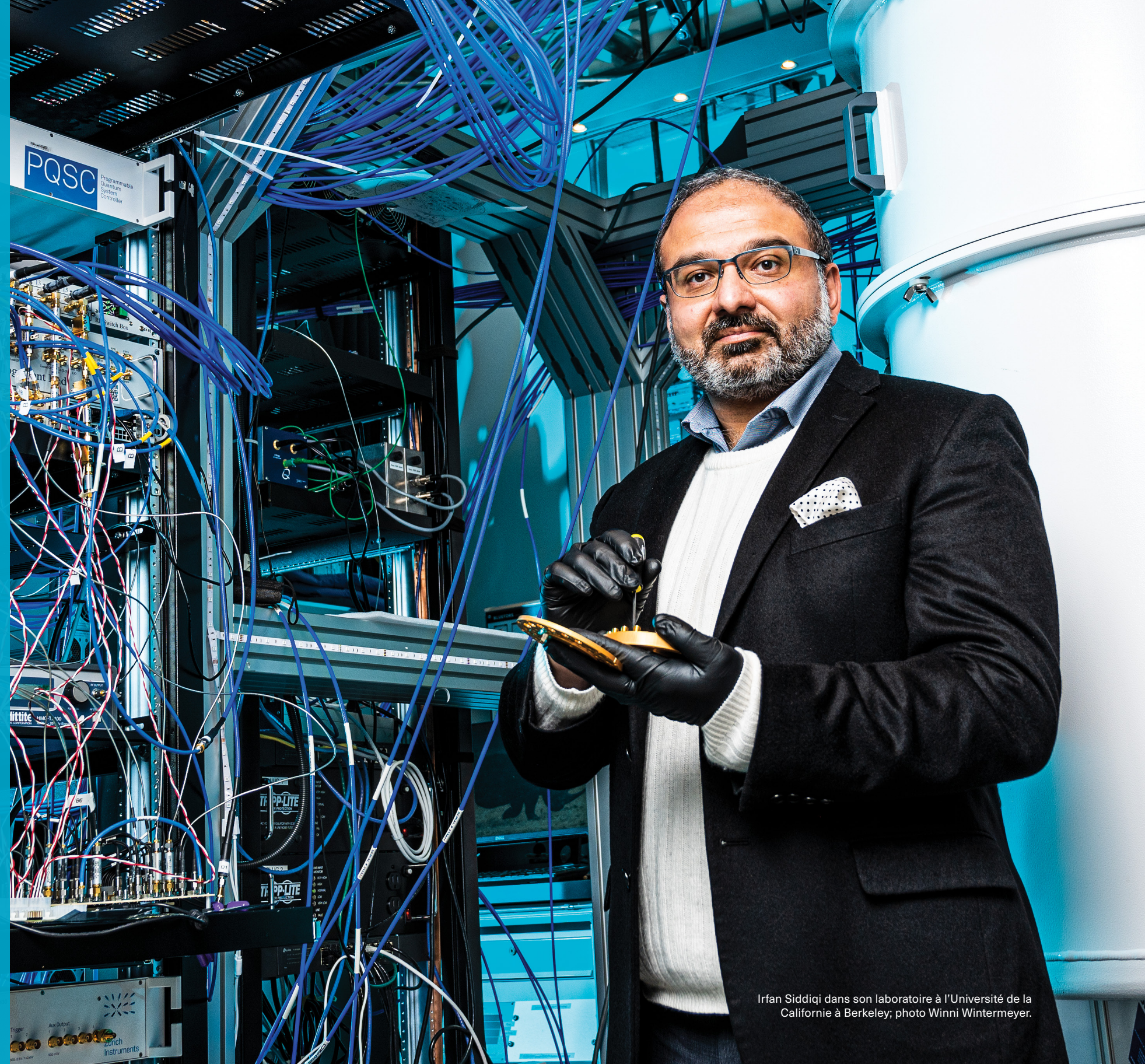


# VOIR PETIT

## COMMENT L'UNIVERS QUANTIQUE CHANGERA LE MONDE

Par Ty Burke

Les membres des programmes Matériaux  
quantiques et Informatique quantique du  
CIFAR réalisent de grandes choses avec  
de minuscules particules



Irfan Siddiqi dans son laboratoire à l'Université de la  
Californie à Berkeley; photo Winni Wintermeyer.

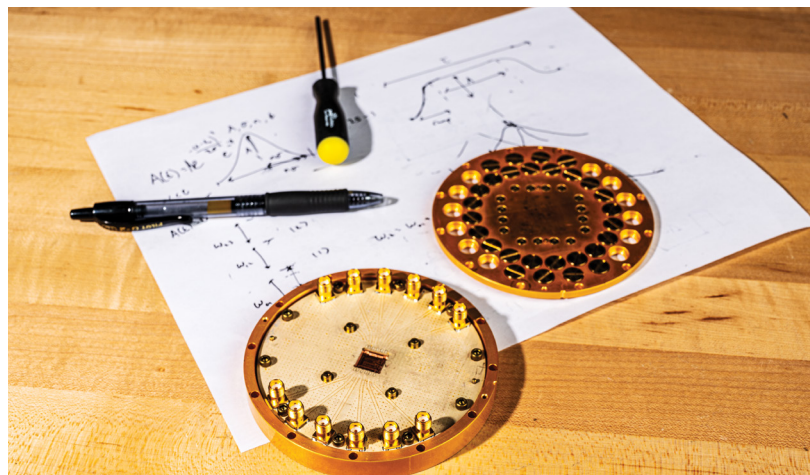
## Nous sommes à l'aube d'une nouvelle révolution technologique.

En grec ancien, le mot « atomos » signifiait « intouchable », et le philosophe Démocrite a appliqué cette idée à la plus petite unité possible de matière. Si vous coupez un matériau en morceaux de plus en plus petits, jusqu'à ne plus pouvoir couper, vous obtenez un atome.

L'idée moderne de l'atome emprunte ce mot, mais nous savons maintenant qu'il existe des particules bien plus petites que l'atome. Ces particules subatomiques défient les explications de la physique classique, si bien qu'il a fallu formuler une nouvelle théorie pour expliquer leurs propriétés étranges. Il s'agit de la théorie de la mécanique quantique qui, au début du XX<sup>e</sup> siècle, a commencé à transformer notre compréhension du fonctionnement de l'Univers, à l'échelle la plus infime.

Elle a déjà permis la mise au point de puissantes technologies comme les puces électroniques et les appareils d'IRM. Aujourd'hui, la mécanique quantique est appliquée à la prochaine génération de technologies transformatrices.

Les membres des programmes Matériaux quantiques et Informatique quantique du CIFAR font progresser les technologies quantiques qui révolutionneront notamment l'informatique, les réseaux électriques et les réseaux de transport.



Une puce quantique, un processeur spécialisé qui exploite les effets quantiques; photo Winni Wintermeyer.

### IRFAN SIDDIQI

Lorsqu'un électron passe d'une orbite à l'autre autour du noyau d'un atome, il y a émission d'une minuscule particule de lumière. Elle est si faible qu'elle est à peine perceptible, mais cette particule, appelée photon, répond aux principes de la mécanique quantique. C'est ce qu'on appelle un « saut quantique », et lorsqu'il se produit, le photon et l'atome deviennent liés par un phénomène appelé « intrication quantique ». Leurs propriétés physiques sont interdépendantes, même si les particules sont très éloignées l'une de l'autre.

Le concept est, en quelque sorte, effrayant. Voilà comment Albert Einstein l'a décrit. Il soutenait que l'intrication quantique était impossible, car elle permettait l'interdépendance des particules, même si la distance qui les sépare est si grande que la lumière elle-même ne pourrait pas voyager assez vite pour la franchir. Einstein l'a qualifiée d'« action effrayante ». Elle semble défier sa théorie de la relativité restreinte, qui postule que rien ne voyage plus vite que la lumière.

Mais il est possible d'observer, voire de créer, l'intrication quantique. Elle est essentielle à la libération du potentiel de l'informatique quantique. Les appareils informatiques classiques, comme les ordinateurs portables, effectuent des calculs à l'aide de bits, constitués de transistors sur une puce d'ordinateur. Chaque bit peut prendre la valeur 0 ou 1. Il peut avoir l'une ou l'autre de ces valeurs, mais pas les deux.

En revanche, un ordinateur quantique réalise des calculs à l'aide de qubits - abréviation de « bits quantiques ». Il y a différentes approches pour créer physiquement ces qubits, mais toutes utilisent des phénomènes de la mécanique quantique pour permettre au qubit de se trouver dans un état de superposition. Autrement dit, il peut prendre la valeur 0 et la valeur 1 en même temps.

Et lorsque plusieurs qubits sont reliés entre eux par intrication quantique, ils peuvent être exploités simultanément. Cela augmente la puissance de calcul de manière exponentielle et permet l'exécution beaucoup plus rapide de certains types d'opérations.

« Dans un appareil informatique classique comme un ordinateur portable, chaque transistor est indépendant - aucun n'interfère avec les autres », explique Irfan Siddiqi, membre du programme Informatique quantique et professeur de physique à l'Université de la Californie à Berkeley (États-Unis).

« Cependant, les qubits sont intriqués les uns avec les autres. Cela pourrait leur permettre de traiter l'information plus efficacement. Voilà la promesse de la mécanique quantique, mais nous devons créer une intrication à grande échelle. Nous pouvons manipuler une centaine de qubits, mais il nous faut en intriquer une centaine de milliers, voire un million. Et nous ignorons comment créer et contrôler des qubits à cette échelle. »

Pour créer une intrication, il est indispensable de disposer d'un environnement hautement contrôlé. Les ordinateurs quantiques sont particulièrement vulnérables aux interférences que les scientifiques appellent « bruit » et qui provoquent des erreurs et perturbent l'intrication quantique. Le « bruit » à l'origine des erreurs peut prendre n'importe quelle forme, de la lumière à des rayonnements émis par les réseaux Wi-Fi avoisinants.

« L'information quantique est de très courte durée, mais il existe des moyens de prolonger sa durée de vie. Il est possible de perfectionner les matériaux et tout le reste, de sorte à éliminer les erreurs et le bruit. Cela fait plus de 20 ans que nous y travaillons et c'est assez difficile. Toutes les pièces doivent être parfaites. Sinon, ça ne fonctionne pas », explique Siddiqi.

Siddiqi recourt au magnétisme pour contrôler l'information quantique, ce

qui peut aider à réduire les erreurs. Cela permet d'éviter certains types de bruit, car le magnétisme se couple plus faiblement que les charges électriques.

« Nous devrions concevoir des systèmes informatiques quantiques de manière à ce que seuls certains types d'erreurs se produisent, puis les associer à des méthodes pratiques de correction d'erreurs », explique Siddiqi.

« Cela facilite la correction des erreurs, car il pourrait suffire de corriger un seul type d'erreur. En revanche, il est difficile de corriger des types d'erreurs arbitraires. Un problème peut survenir de multiples façons. Il suffit d'un photon ou même d'un rayon cosmique. »

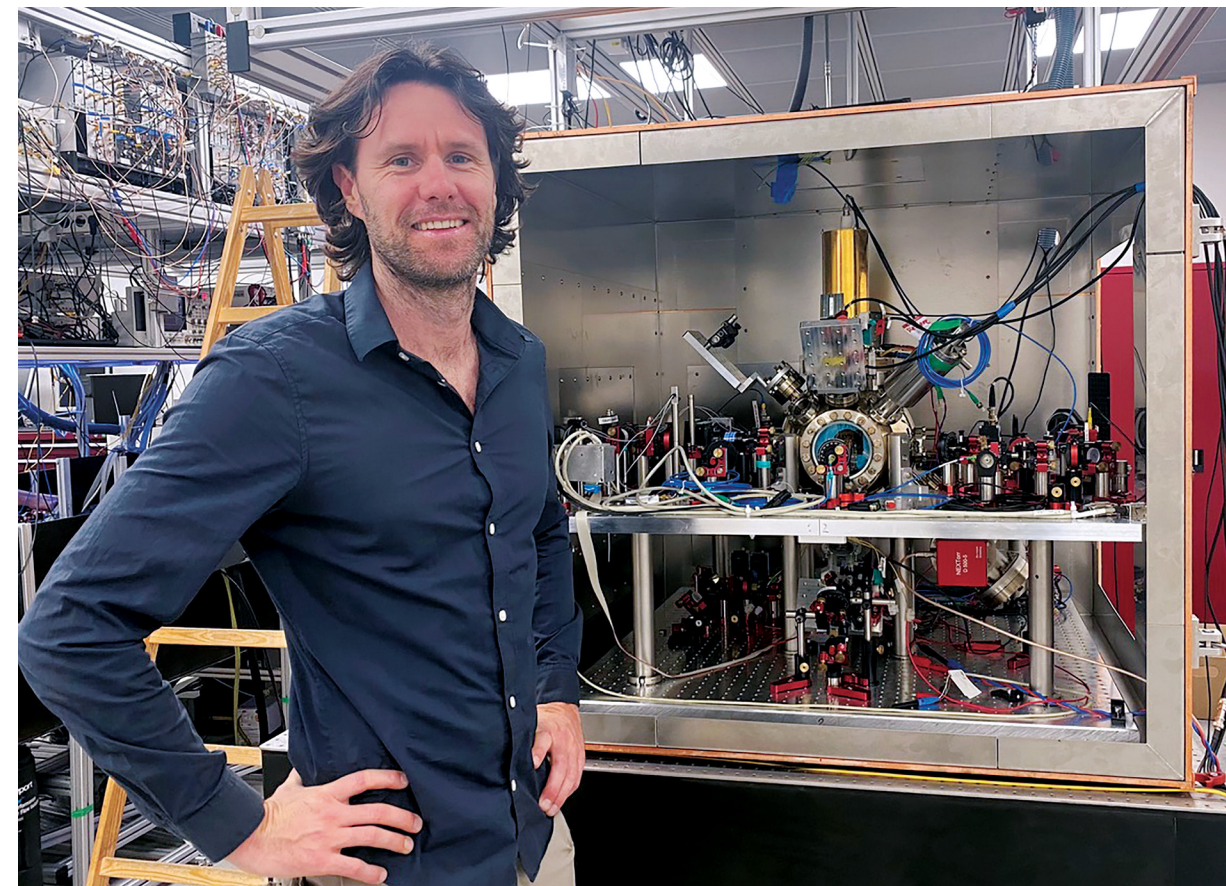
### BEN LANYON

La chambre à ions piégés de l'ordinateur quantique de Ben Lanyon se compose de titane, plaqué or, avec un collage au saphir. Elle utilise des champs électriques pour suspendre des atomes de calcium chargés électriquement, appelés ions, et manipule leur état quantique à l'aide de lasers.

Les systèmes à ions piégés font partie des méthodes les plus prometteuses en informatique quantique.

« Cela s'explique notamment par leur niveau de contrôle quantique avéré », explique Lanyon, membre du programme Informatique quantique et professeur adjoint à l'Université d'Innsbruck, en Autriche.

**« Nous pouvons manipuler les ions avec précision et les faire évoluer vers des états quantiques très intéressants que nous ne saisissons pas encore très bien. » — Ben Lanyon**



Ben Lanyon, membre du programme Informatique quantique du CIFAR, dans son laboratoire à l'Université d'Innsbruck. Photo reproduite avec la permission du chercheur.

« Nous pouvons manipuler les ions avec précision et les faire évoluer vers des états quantiques très intéressants que nous ne saisissons pas encore très bien. Cependant, on ne peut pas tout avoir, et les ordinateurs quantiques à ions piégés ne sont pas aussi faciles à mettre à l'échelle que certaines méthodes d'informatique quantique pourraient l'être. »

Les scientifiques ont mis ce système à l'échelle pour piéger des dizaines d'ions et exploiter leurs états quantiques pour les utiliser comme qubits. Mais il n'y a aucun moyen de faire évoluer directement ce type de système vers les milliers ou les millions de qubits nécessaires pour réaliser certaines applications.

Par conséquent, au lieu de créer de plus gros ordinateurs quantiques à ions piégés, Lanyon les met en réseau.

Ces travaux marquent une étape vers les réseaux quantiques distribués qui ont des applications à court terme dans les domaines de l'informatique, de la

sécurité des communications et des horloges atomiques.

Les éléments constitutifs des réseaux quantiques émergent déjà et, en collaboration avec sa collègue Tracy Northrup de l'Université d'Innsbruck, Lanyon utilise la lumière pour créer des liens entre des ions séparés par des centaines de mètres.

Une expérience récente a permis de relier deux ordinateurs quantiques à ions piégés de l'Université d'Innsbruck à l'aide d'un câble à fibres optiques, le même type de câble de fibre de verre que celui des réseaux de communication existants. À l'intérieur de la cavité de 2 cm de long de chaque ordinateur, un seul ion calcium a été mis en suspension dans un champ électrique. Ces ions ont été entourés de petits miroirs et des lasers ont provoqué l'émission d'un photon - une particule de lumière - par ion.

Les photons ont rebondi des dizaines de milliers de fois à l'intérieur de chaque chambre avant de ressortir à travers un miroir et de se retrouver dans le câble. L'un des miroirs, légèrement plus faible que les autres, était relié au câble. Une fois que les photons ont traversé leurs miroirs respectifs, ils se sont précipités l'un vers l'autre à la vitesse de la lumière, se rencontrant au milieu. Voilà où la théorie quantique entre en jeu.

« Lorsque l'ion calcium produit un photon, il y a intrication. Et lorsqu'il s'échappe par le côté de la chambre, l'intrication persiste. Lorsque les deux photons se rencontrent dans le câble, ils sont toujours intriqués avec les ions qui les ont produits », explique Lanyon.

« Nous pouvons détecter ces particules à l'aide d'un détecteur de photons - et si cela se fait correctement, ils seront détruits. Une fois ces photons détruits ensemble, l'intrication passe des paires ion-photon aux deux ions éloignés. »

Bien que des centaines de mètres séparaient les ions des chambres à ions piégées, ils ont conservé un état intriqué - un pas en avant vers la conception de réseaux quantiques qui relient entre eux des ordinateurs quantiques à travers des villes, des pays, voire des continents.

« L'intrication d'atomes sur une distance de 100 kilomètres constituerait un progrès significatif. Il ne s'agit que de six pas vers Vienne, ou de dix autres vers Paris », explique Lanyon.

**« Les nouvelles technologies passent de la magie à l'ennui, et c'est ce que nous voulons pour le quantique. Nous voulons que cela devienne tout comme un élément du quotidien. » — Stephanie Simmons**

« La vraie question est de savoir comment procéder de façon pratique et fiable. Nous pourrions alors distribuer et stocker l'intrication dans toute l'Europe, ce qui constituerait une nouvelle ressource pour la science et la technologie. »

### STEPHANIE SIMMONS

Le silicium constitue l'épine dorsale de la révolution de l'information. Chaque année, il se fabrique plusieurs milliards de puces électroniques en silicium qui alimentent tout, des téléphones mobiles aux ordinateurs portables, en passant par les réfrigérateurs intelligents. Les puces de silicium sont omniprésentes - une seule automobile peut en compter jusqu'à 3000.

Mais Stephanie Simmons, membre du programme Informatique quantique, pense que les puces électroniques de silicium peuvent faire beaucoup plus que ce qu'elles font aujourd'hui. Elle utilise le silicium pour exploiter l'informatique quantique.

L'omniprésence du silicium constitue un avantage. Nous savons déjà comment le manipuler et Simmons exploite ses propriétés connues pour créer des qubits. Pour ce faire, Simmons utilise des défauts naturels du silicium appelés centres colorés. Grâce à ces défauts, il est possible d'effectuer des calculs avec un type de qubit appelé qubit de spin. Il est possible de maîtriser leur spin grâce au magnétisme, et les qubits de spin peuvent absorber ou émettre des photons, ce qui leur permet de communiquer entre eux. Une telle communication est impossible avec les puces informatiques traditionnelles où chaque bit fonctionne de manière indépendante.

« Depuis des dizaines d'années, je pensais que nous étions à la recherche du bon type de centres colorés », explique Simmons, professeure de physique à l'Université Simon Fraser, au Canada.

« Il devait s'agir de quelque chose qui se forme naturellement. Vous prenez ce que la nature vous donne, autrement il sera difficile de produire des qubits assez uniformes, d'assez bonne qualité et à

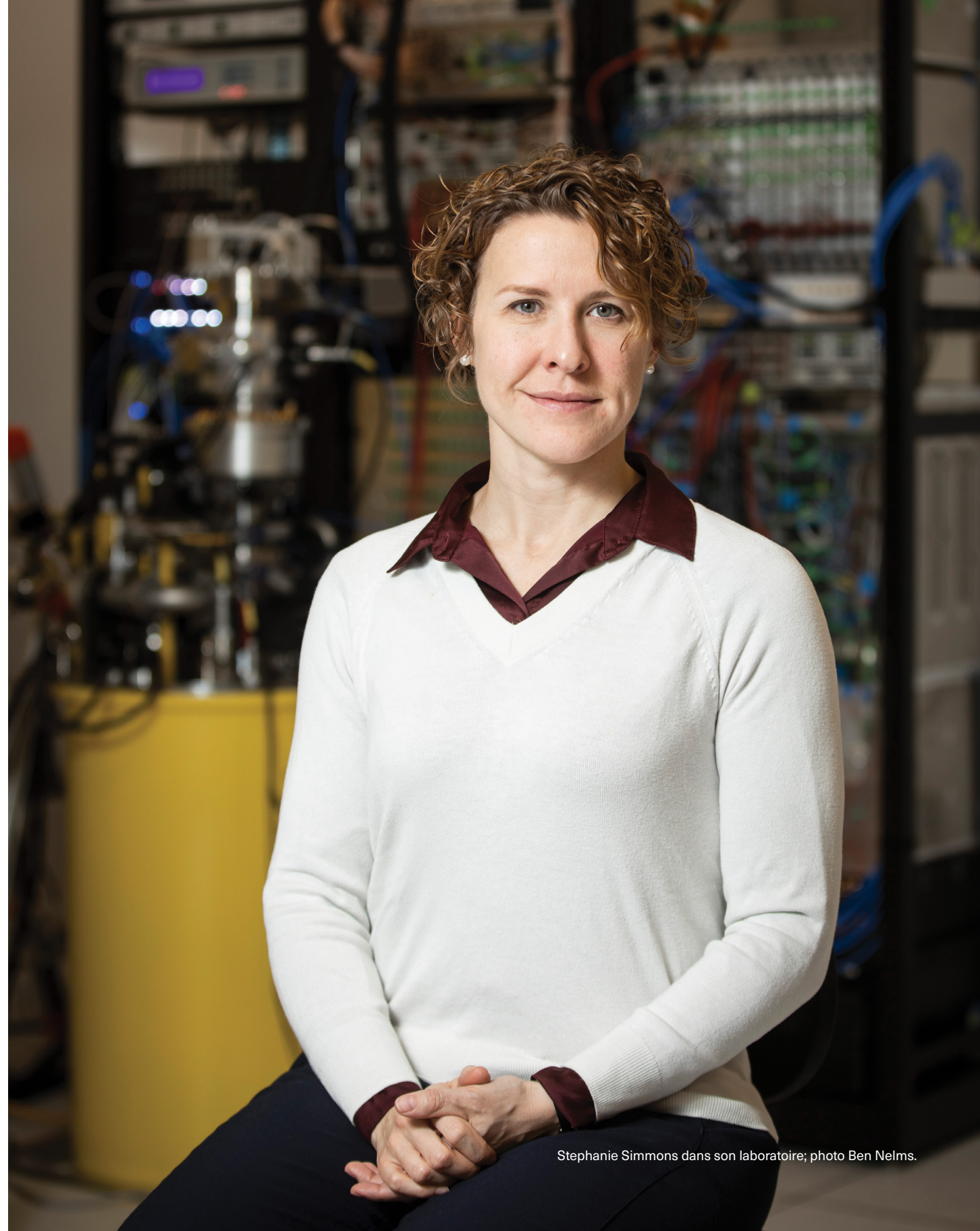
une échelle suffisante. Je ne serai pas nécessairement en mesure de concevoir un défaut entièrement nouveau, mais de nombreux défauts se forment naturellement. Et quand vous utilisez ces défauts comme épine dorsale quantique, vous pouvez les imprimer à l'échelle, directement dans les puces de silicium. Nous travaillons au développement du silicium depuis des dizaines d'années et cela favorise l'évolutivité. »

Le physicien américain Richard Feynman a proposé l'informatique quantique pour la première fois dans les années 1980. La mécanique quantique est trop compliquée pour un ordinateur classique en raison du grand nombre d'interactions dynamiques aux échelles atomique et subatomique. Même avec la technologie informatique puissante d'aujourd'hui, les scientifiques utilisent des approximations pour effectuer ces calculs.

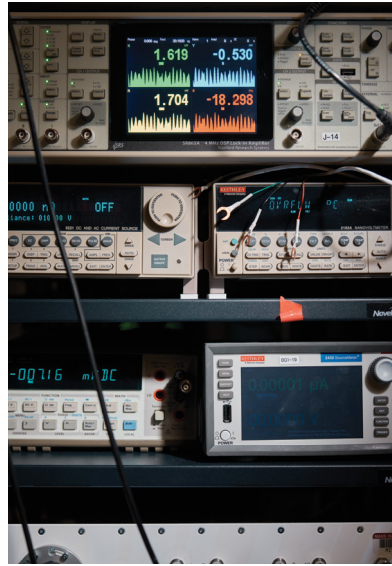
Feynman a soutenu qu'un appareil mécanique quantique pourrait surmonter ce problème, mais il n'a pas été facile d'en construire un. Aucun modèle dominant n'a émergé, mais Simmons pense que le silicium dispose des atouts nécessaires. En 2016, elle a cofondé Photonic Inc. avec Mike Thewalt, professeur émérite à l'Université Simon Fraser, et l'entreprise basée à Vancouver met au point des technologies d'informatique et de réseau quantiques à déployer à large échelle.

« Nous considérons les bits comme des concepts, mais ils existent en fait dans le silicium, ils se déplacent et changent d'état. En fin de compte, l'information est une chose physique », déclare Simmons.

« Une course mondiale est en cours pour exploiter et commercialiser la physique quantique. Par le passé, chaque fois que nous avons observé quelque chose du genre, le résultat a été transformateur et imprévisible. Il y a deux siècles, les gens remplissaient des auditoriums pour voir des aimants. Aujourd'hui, l'électromagnétisme ne suscite plus le moindre étonnement, même si nous l'utilisons chaque fois que nous branchons nos appareils. Les nouvelles technologies passent



Stephanie Simmons dans son laboratoire; photo Ben Nelms.



Cette page à gauche : partie d'un réfrigérateur à dilution utilisé pour maintenir les composants d'un ordinateur quantique à la température requise pour la manifestation des effets quantiques; photo Ben Nelms. Au centre : instruments de mesure électronique (sources de tension, amplificateurs synchrones, etc.) pour mesurer les propriétés électroniques des dispositifs twistroniques de Pablo Jarillo-Herrero; photo Mel Musto. À droite : loupes utilisées pour manipuler de petites pièces électroniques et des échantillons; photo Mel Musto.

de la magie à l'ennui, et c'est ce que nous voulons pour le quantique. Nous voulons que cela devienne tout comme un élément du quotidien.»

### PABLO JARILLO-HERRERO

Le graphène est le matériau le plus solide que l'on connaisse. Il se compose d'une couche de graphite monoatomique, si fine qu'on le qualifie de matériau bidimensionnel. Le graphène est aussi extrêmement souple et sert déjà dans les appareils électroniques comme les téléphones portables pliables.

Un jour, le graphène pourrait vous permettre d'enrouler une tablette autour du poignet comme une montre intelligente, puis de lui redonner facilement sa forme initiale. Mais le graphène pourrait avoir des applications encore plus fascinantes, et Pablo Jarillo-Herrero étudie les propriétés quantiques du matériau pour mieux en comprendre les possibilités.

«Le graphène provient du graphite, qui est tridimensionnel. Mais il est comme un jeu de cartes. Il est constitué de nombreuses pièces bidimensionnelles», explique Jarillo-Herrero, membre du programme Matériaux quantiques et professeur au Massachusetts Institute of Technology (États-Unis).

«Le graphène est le matériau constitutif d'un crayon, et lorsque vous écrivez, c'est un peu comme si vous preniez le jeu de cartes et que vous l'étaliez. Une couche de graphène est comme une carte unique, et avec l'épaisseur d'un seul atome, il s'agit du matériau le plus mince.»

Le graphite est une forme de carbone et, avant 2018, aucune supraconductivité n'avait été observée dans le carbone. Mais en empilant deux couches de graphène à un angle de 1,1 degré, Jarillo-Herrero y est parvenu. C'est ce qu'on appelle le graphène à angle magique.

«Le graphène n'est ni un aimant, ni un supraconducteur, ni un isolant. Mais grâce à différents angles de torsion, nous pouvons lui conférer ces propriétés», explique Jarillo-Herrero.

«En utilisant le graphène et un matériau appelé nitrure de bore hexagonal, nous avons réalisé la plupart des phases quantiques de la matière. C'est absolument inédit. Aucun autre matériau ne peut exhiber toutes ces phases. Habituellement, il faut changer la chimie ou le matériau. Mais en tordant le graphène, nous pouvons tout faire en un seul matériau.»

Les recherches sur les matériaux bidimensionnels tordus n'en sont qu'à

**«Le graphène provient du graphite, qui est tridimensionnel. Mais il est comme un jeu de cartes.»**

— Pablo Jarillo-Herrero

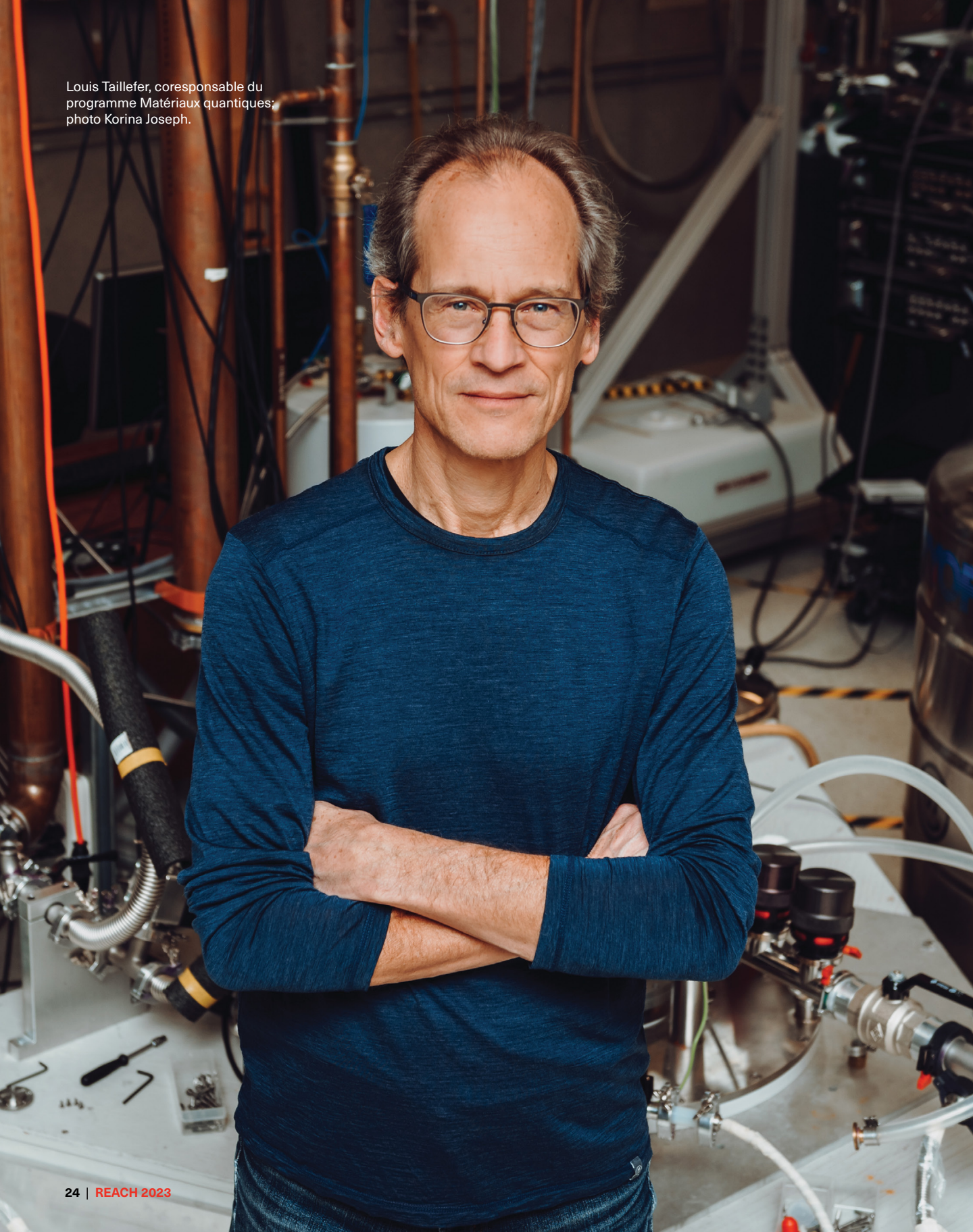
leurs débuts. Jarillo-Herrero établit une comparaison avec les recherches sur les transistors dans les années 1940. Le potentiel est énorme, mais nous n'avons fait qu'effleurer la surface.

«Les défis sont nombreux. Nous voulons fabriquer des appareils avec différents angles de torsion, et toujours reproduire le même angle. Ces systèmes sont sensibles à d'infimes variations. Un angle de 1,13 degré est différent d'un angle de 1,14 degré, et nous ne disposons pas de la technologie nécessaire pour fabriquer des dispositifs toujours identiques», explique Jarillo-Herrero.

Actuellement, ces dispositifs sont fabriqués par des stagiaires aux cycles supérieurs, que Jarillo-Herrero compare à des moines médiévaux qui exercent leur métier avec méticulosité. Il envisage une machine qui automatiserait et normaliserait le processus de fabrication. Il compare cette machine à une presse



Pablo Jarillo-Herrero dans son laboratoire au MIT; photo Mel Musto.



de Gutenberg pour les technologies quantiques. Et tout comme l'invention d'une presse à imprimer automatisée a inauguré une ère d'épanouissement intellectuel en augmentant considérablement la diffusion de l'écrit, Jarillo-Herrero considère que l'automatisation est essentielle à une meilleure compréhension du potentiel des matériaux bidimensionnels.

«Une presse quantique automatiserait l'empilement et permettrait la fabrication de matériaux dans n'importe quelle combinaison et n'importe quel angle. Cela permettrait de mettre systématiquement à l'essai les propriétés électroniques, optiques et mécaniques. Comme il faut à mes stagiaires plusieurs semaines pour fabriquer chaque dispositif, il faudra des décennies pour explorer ce domaine. Une presse quantique nous permettrait de faire tout cela en appuyant sur un bouton.»

#### LOUIS TAILLEFER

Dans le réseau électrique actuel, une quantité importante d'électricité se perd au cours du processus de transport en raison de la résistance électrique des matériaux utilisés dans les câbles de transport. En pratique, cela signifie que nous produisons beaucoup d'électricité que nous n'utilisons pas.

Voilà où entrent en jeu les supraconducteurs. Un supraconducteur est un matériau capable de conduire l'électricité avec une résistance nulle. Il pourrait contribuer à résoudre ce problème de gaspillage en éliminant la résistance, mais son utilisation est problématique. Les supraconducteurs manifestent leurs propriétés uniquement en dessous d'un seuil de température critique, et en ce qui concerne tous les matériaux supraconducteurs connus, cette température est véritablement glaciale.

La supraconductivité a été observée pour la première fois en 1911, lorsque le physicien néerlandais Heike Kamerlingh Onnes a constaté que le mercure ne présentait aucune résistance électrique à une température de -269 °Celsius. Mais cette température correspond à peu près à celle de l'espace lointain et n'a donné lieu qu'à quelques applications spécialisées, comme les aimants des appareils d'IRM.

Cependant, dans les années 1980, des scientifiques ont découvert un

nouveau type de matériau supraconducteur prometteur : les oxydes de cuivre, aussi appelés cuprates. Ceux-ci manifestent un comportement supraconducteur à des températures beaucoup plus élevées - une température qui reste encore très froide, à savoir -140 °C.

Mais il est possible d'atteindre ces températures grâce à des réfrigérants largement disponibles, comme l'air liquide, ce qui a ouvert la voie à de nouvelles applications. Les cuprates contribuent à une révolution de l'énergie propre en permettant la construction d'éoliennes en mer.

«Personne n'aime avoir des éoliennes dans sa cour, et beaucoup d'entre elles sont construites en mer. Il y a beaucoup de vent et elles sont à l'écart, mais elles sont aussi plus délicates», explique Louis Taillefer, coresponsable du programme Matériaux quantiques et professeur à l'Université de Sherbrooke, au Québec (Canada).

«Vous voulez minimiser le poids d'une éolienne. Un supraconducteur peut le faire, tout en maintenant l'efficacité. Il peut réduire de cinq fois le poids, mais il doit être refroidi à l'azote liquide.»

L'objectif est d'aller plus loin que les applications spécialisées. Un supraconducteur fonctionnant sans équipement de refroidissement compliqué ne transformerait pas seulement les réseaux électriques, il permettrait des applications que nous n'avons même pas imaginées. Mais pour y parvenir, nous devons mieux comprendre les propriétés quantiques des cuprates.

Les cuprates sont considérés comme des métaux étranges, c'est-à-dire des matériaux qui défient les conventions de la conductivité électrique. «Les métaux étranges se comportent de manière déconcertante. Ils ne se conforment pas à la théorie standard des électrons», explique Taillefer.

«Il y a de nombreuses collisions entre les électrons, qui semblent atteindre un maximum. Lorsque nous essayons de mesurer le temps qui sépare les collisions, il nous faut utiliser la constante de Planck.»

La constante de Planck est un élément fondamental de la mécanique quantique. Elle a été introduite en 1900 par le physicien Max Planck, lauréat du prix Nobel, considéré comme le père de la théorie quantique. Planck a posé comme

théorie que la lumière se composait de particules individuelles qu'il a appelées «quanta de lumière». Aujourd'hui, les physiciens appellent ces particules des photons, et la constante de Planck calcule la relation entre l'énergie d'un photon et sa fréquence.

«Le fait que la constante de Planck représente le temps le plus court entre les collisions d'électrons nous conduit vers une nouvelle loi fondamentale de la physique que nous ne comprenons pas encore. Les métaux étranges se comportent de nouvelles façons. Et nous ignorons s'il est possible d'en tirer parti sur le plan technologique», explique Taillefer.

Les supraconducteurs sont susceptibles d'avoir diverses applications, car ils se comportent comme des objets quantiques macroscopiques, c'est-à-dire qu'ils ont une fonction d'onde quantique unique et cohérente.

«Faisons une analogie avec le laser. Quelle est la différence entre une ampoule électrique et un laser?», demande Taillefer.

«Les deux émettent de la lumière, mais l'ampoule le fait de manière incohérente. Chaque photon est séparé et il y a beaucoup de longueurs d'onde et de phases différentes. En revanche, dans un laser, chaque photon se trouve dans le même état - même fréquence, même phase. Ce phénomène est connu sous le nom de cohérence. Les supraconducteurs en sont l'équivalent électrique. Tous les électrons sont dans un état quantique cohérent. C'est ce qui les rend si puissants.»

Les applications comme les réseaux électriques sont évidentes, mais les supraconducteurs à température ambiante ouvriraient la voie à des applications entièrement nouvelles.

«Après l'invention du laser, tout le monde ignorait ce que l'on pouvait en faire. Aujourd'hui, ils sont omniprésents», explique Taillefer.

«Il en sera de même avec les supraconducteurs. Quand un laboratoire spécialisé est nécessaire, peu de gens peuvent y travailler. Mais lorsque n'importe quel enfant pourra laisser libre cours à son imagination avec un objet supraconducteur, les possibilités se multiplieront. Une révolution technologique s'ensuivrait.»

# L'IA en 2063

Par Kathleen Sandusky  
Illustrations par Ariel Davis

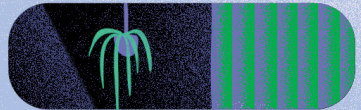


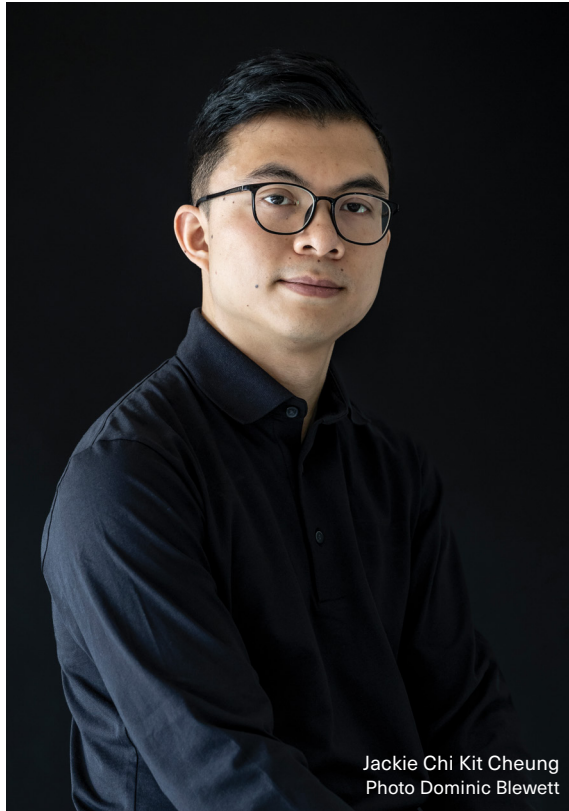
>> logging.basicConfig(level=logging :

>> add(x, y):

>> @staticmethod  
def run():

صَالِحٌ  
SALUT





Jackie Chi Kit Cheung  
Photo Dominic Blewett



Nidhi Hegde  
Photo Katie Astaire

## Nous sommes en 2063. Comment utilisons-nous l'IA au quotidien?

L'IA fait déjà partie de notre quotidien, d'une manière que les générations précédentes n'auraient pas pu imaginer. Alors que le CIFAR achève sa 40<sup>e</sup> année, nous avons demandé à trois titulaires de chaire en IA Canada-CIFAR où l'IA nous mènera, selon eux, au cours des quarante prochaines années.

### JACKIE CHI KIT CHEUNG

Titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR, Mila  
Professeur agrégé, Université McGill

**Nous sommes en 2063. Nous déplaçons-nous dans un monde**

**sans frontières, communiquant dans toutes les langues avec un traducteur universel à l'oreille?**

Le langage est un phénomène éminemment complexe. Il ne s'agit pas seulement de comprendre qu'une chaîne de mots est assemblée pour former une phrase, il faut aussi un traitement contextuel beaucoup plus poussé. Dès leur plus jeune âge, les êtres humains sont étonnamment doués pour extraire de cette chaîne de mots une grande quantité de données, comme les personnes et les objets décrits, leurs contextes, leurs relations et leurs objectifs, et même les attitudes et les émotions de la personne qui parle. Notre cerveau peut détecter toutes ces choses très abstraites en même temps. Mais les techniques actuelles

**Mais même les meilleurs systèmes risqueront toujours de commettre des erreurs, et parfois ces erreurs ne seront pas évidentes, surtout au fur et à mesure que l'IA gagnera en sophistication.**

**Jackie Chi Kit Cheung**

## Introduction par ChatGPT

### Instructions pour ChatGPT

Rédiger l'introduction d'une série d'entretiens avec trois personnes qui sont titulaires de chaire en IA Canada-CIFAR. Les entretiens portent sur leur vision de l'avenir de l'intelligence artificielle dans 40 ans.

### La réponse de ChatGPT:

Bienvenue à notre série d'entretiens avec trois titulaires de chaire en IA Canada-CIFAR qui nous livrent leur vision de l'avenir de l'intelligence artificielle. Ces spécialistes ont consacré leur carrière à l'avancement du domaine de l'IA et possèdent un point de vue particulier sur l'évolution de cette technologie. Au fil de ces entretiens, nous explorerons leurs réflexions sur l'impact éventuel de l'IA sur divers secteurs, ainsi que sur les considérations éthiques à prendre en compte au fur et à mesure de l'évolution de la technologie. Joignez-vous à nous pour explorer les possibilités passionnantes et potentiellement transformatrices de l'IA, dans 40 ans d'ici.

ne permettent pas aux machines d'extraire facilement ces contextes plus subtils. Si l'on pense aux différences entre les langues, le défi est encore plus grand. Il y a différents facteurs à prendre en compte, comme la façon dont les différentes langues sont structurées ou ce qui est requis pour être explicite - par exemple, la façon dont certaines langues utilisent ou n'utilisent pas les pronoms. Voilà donc des défis vraiment intéressants sur lesquels nous nous penchons actuellement avec le traitement du langage naturel.

Dans 40 ans, je pense que la traduction instantanée aura atteint un niveau de précision raisonnable pour ce qui est de la compréhension de l'intention générale. Mais même les meilleurs systèmes risqueront toujours de commettre des erreurs, et parfois ces erreurs ne seront pas évidentes, surtout au fur et à mesure que l'IA gagnera en sophistication. Certaines de ces erreurs pourront même sembler convaincantes. Il ne s'agira pas des erreurs stupides que font aujourd'hui des technologies comme Alexa ou Siri et qui nous font rire - elles seront plus difficiles à percevoir. Je peux donc nous imaginer en train

d'utiliser l'IA dans 40 ans pour traduire rapidement des conversations du quotidien, et même si nous en perdons un peu en matière de fidélité, nous comprendrons l'essentiel du message. Mais s'il s'agit de traduire quelque chose de très important, comme des négociations de paix à l'ONU, nous aurons toujours besoin d'une supervision et d'un suivi humains pour éviter des résultats éventuellement catastrophiques.

Ce que j'espère vraiment dans 40 ans, c'est une adoption beaucoup plus large des technologies de traitement du langage naturel dans la vie quotidienne. Elles seront tellement répandues qu'elles passeront inaperçues.

Il y a beaucoup de petites tâches administratives et banales que nous accomplissons chaque jour et qui prennent bien du temps, comme tous les courriels que nous envoyons ou les notes que nous prenons pour nous souvenir de certaines choses. J'aimerais que les assistants intelligents nous libèrent de ces tâches pour que nous puissions nous concentrer sur des choses plus intéressantes et plus utiles, comme faire progresser les réalisations humaines en science et en art.

### NIDHI HEGDE

Titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR, Amii  
Professeure agrégée,  
Université de l'Alberta

**Nous sommes en 2063. Vivons-nous dans une société plus juste et plus équitable où l'IA est à notre service? Et comprenons-nous enfin les conventions sur la protection des renseignements personnels que nous signons pour les nouvelles technologies?**

Il est difficile d'imaginer un avenir où tout le monde maîtrisera l'IA et où nous saurons exactement ce qui se passe lorsque nous nous abonnons à des services, car ces technologies sont vraiment complexes et ne cessent d'évoluer. Je ne vois pas comment cela pourrait changer. Nous avons maintenant ces longues conventions illisibles parce que c'est facile, mais ce n'est ni juste ni raisonnable.

J'aimerais que ces responsabilités incombent aux développeurs. Ils devraient se poser les questions sui-

# SCIENCE-FICTION ET IA : LES BONS COUPS

**The Expanse** de James S. A. Corey  
(série de romans; plus tard adaptée en série télévisée)  
« Ils ont très bien réfléchi aux répercussions de certaines technologies sur les structures et les dynamiques sociétales, sur les langues et les systèmes de classes, entre autres. » — Jackie Chi Kit Cheung

**Black Mirror** (série télévisée)  
« Certains épisodes peuvent faire assez peur, donc je ne sais pas si leur vision est correcte, mais j'espère que non. Cependant, ils nous ouvrent les yeux sur les conséquences éventuelles de technologies auxquelles nous ne prêtons pas attention, alors que nous devrions le faire. »  
— Nidhi Hegde

**L'âge de diamant** par Neal Stephenson (roman)  
« Une vision très intéressante de ce qui pourrait arriver si on avait recours à un tuteur individuel basé sur l'IA pour les masses, un éducateur personnalisé qui peut enseigner à tout le monde de façon optimale, peu importe les obstacles passés à l'accès. » — Jeff Clune

vantes : est-ce que chaque élément de ces données est vraiment nécessaire pour la tâche à accomplir? Est-ce que je veille à la confidentialité des résultats de ce modèle? D'aucuns affirment que cela étouffera l'innovation, que nous devrions laisser l'IA se développer de la meilleure façon possible, mais il faut se poser la question suivante : de la meilleure façon possible pour qui?

C'est à cela que se résume l'équité en matière d'IA : quel est le résultat réel d'un système d'apprentissage automatique ou d'IA, et tous les groupes en profitent-ils de la même manière?

Peut-être avez-vous postulé à un poste, fait une demande d'admission à l'université ou demandé une évaluation de risque hypothécaire et que vous avez essuyé un refus sans en connaître la raison. Cette force invisible vous empêche de réaliser votre potentiel, et vous ne savez même pas comment. C'est injuste. Il existe de

nombreux exemples de ces préjudices importants, comme le maintien de l'ordre prédictif à l'aide d'algorithmes biaisés ou les outils d'évaluation du risque criminel qui prolongent la durée d'incarcération de certains groupes de personnes. Ces effets s'accumulent au fil du temps, créant des préjudices intergénérationnels.

En fin de compte, il faudrait considérer la protection des renseignements personnels et l'équité comme faisant partie du développement de produits, et reconnaître qu'elles n'étouffent pas l'innovation : elles l'enrichissent. Je souhaite que la communauté de l'IA relève le défi d'obtenir les résultats optimaux escomptés de l'IA, tout en préservant la confidentialité des données et des résultats. Et j'aimerais que les produits de l'IA fassent l'objet d'une réglementation. Nous l'avons fait dans le passé avec les agences de protection des consommateurs qui étudient

**En fin de compte, il faudrait considérer la protection des renseignements personnels et l'équité comme faisant partie du développement de produits, et reconnaître qu'elles n'étouffent pas l'innovation : elles l'enrichissent.**

**Nidhi Hegde**

les médicaments, les jouets et d'autres produits avant leur mise sur le marché, et nous estimons que c'est nécessaire pour prévenir les préjudices. Nous devons reconnaître que les préjugés et le manque d'équité en matière d'IA causent aussi de véritables préjudices.

J'aimerais voir à l'avenir des outils d'IA qui améliorent l'équité de l'IA en soi. Nous disposons déjà de réseaux GAN (réseaux antagonistes génératifs) qui remettent en question leurs propres points de données pour s'affiner et s'améliorer en permanence, et ils se perfectionnent sans cesse. Nous pouvons donc imaginer un système antagoniste pour l'équité, avec un algorithme d'IA qui vérifie et remet en question les préjugés. Il s'agirait d'une solution basée sur l'IA à un problème d'IA.

Dans 40 ans, j'espère que nous intégrerons naturellement l'équité dans les nouvelles technologies basées sur l'IA.

**Le défi consiste toutefois à la répartition équitable de ces technologies - et, par extension, de la richesse - afin qu'elles ne soient pas concentrées entre les mains d'un petit nombre de personnes.**

**Jeff Clune**

**JEFF CLUNE**

Titulaire de chaire en IA  
Canada-CIFAR, Institut Vecteur  
Professeur agrégé, Université de la Colombie-Britannique

**Nous sommes en 2063. La main-d'œuvre humaine est-elle remplacée par des robots dotés d'une intelligence générale artificielle? Des technologies comme DALL-E remplacent-elles les artistes? GPT a-t-il mis les rédacteurs au chômage? Est-ce que même les spécialistes de l'intelligence artificielle ont perdu leur emploi?**

L'histoire nous a appris que les progrès technologiques entraînent la disparition de certains emplois. Mais il s'agit en général d'emplois mal rémunérés, moins intéressants ou dangereux. Et nous nous adaptons, car de nouveaux emplois sont créés. Personne ne se plaint aujourd'hui qu'il n'y ait plus d'emplois pour les forgerons professionnels, ni pour les cochers de voitures à cheval ni pour les balayeurs de rues. Aujourd'hui, il existe des postes en optimisation des moteurs de recherche, en apprentissage automatique ou en programmation de noyaux GPU avec CUDA - des emplois que l'on n'aurait jamais pu imaginer à l'époque des forgerons. Ainsi, tandis que certains emplois disparaissent, d'autres apparaissent. Cela ne diminue en rien la douleur réelle que peuvent causer de telles transitions, mais habituellement, au fil du temps, nous nous adaptons et prospérons grâce au progrès technologique.

Il y a des raisons de croire que la situation actuelle pourrait être bien différente, car l'IA pourrait devenir aussi compétente que l'humain pour exécuter de nombreuses tâches financièrement intéressantes, si ce n'est la plupart d'entre elles. Cela pourrait résulter en beaucoup plus d'emplois perdus qu'ils n'en seront créés.

Il y aura des répercussions économiques majeures dans tous les domaines. Qu'arrivera-t-il lorsque nous réaliserons l'intelligence artificielle générale, c'est-à-dire une IA qui peut faire presque tout aussi bien que les humains? Pourrions-nous en arriver à un point où la richesse et le PIB seraient véritablement infinis, tout le travail étant effectué par l'IA? À quoi cela ressemblerait-il? Peut-être aurons-nous plus de temps à consacrer aux loisirs et à nos intérêts. J'aime faire de l'escalade, peut-être que je pourrai m'y adonner davantage pendant que l'IA fera mon travail à ma place.

Le défi consiste toutefois à la répartition équitable de ces technologies - et, par extension, de la richesse - afin qu'elles ne soient pas concentrées entre les mains d'un petit nombre de

personnes. Nous pouvons espérer que tout deviendra moins cher et que nous aurons un monde plus abondant. Bien entendu, cela ne tient pas compte de nombreux risques et inconvénients existentiels importants. Mais si nous faisons bien les choses, nous pourrions nous en sortir beaucoup mieux, avec de meilleurs soins de santé, une meilleure éducation, de l'eau plus propre... la liste est longue.

Sam Altman a écrit sur un avenir où la loi de Moore s'appliquera à tout, la technologie réduisant de moitié le coût de tout ce dont nous avons besoin pour vivre toutes les quelques années. Je pense que c'est une façon intéressante de réfléchir à la question. À mesure que tout deviendra plus abordable, peut-être aurons-nous plus de ce que nous voulons, à condition de partager, de bien faire les choses et de veiller à ce que l'IA puissante soit sûre et profite à tout le monde. Il s'agit là d'un défi de taille pour la société, mais qui pourrait s'avérer extrêmement payant.

En bref, les enjeux sont très importants pour la société qui doit veiller au bon développement de l'intelligence artificielle générale. •



Jeff Clune  
Photo Kryani Kanavaros



# La Terre, l'espace et l'inconnu

Les membres du CIFAR Katie Mack et Heather Graham percent les mystères de la Terre et de l'espace - de la fin de l'Univers à la vie extraterrestre

Par Liz Do

La naissance du cosmos a fort probablement commencé par un big bang, il y a 13,8 milliards d'années. Un univers primitif, chaud et dense a connu une expansion rapide pour créer les conditions physiques nécessaires à l'évolution de l'Univers et à la vie sur Terre.

En théorie, voilà comment tout a commencé. Mais que savent les scientifiques sur l'avenir de l'Univers? Ou de la vie au-delà de la Terre?

Les travaux des membres des programmes Extrême Univers et gravité et Terre 4D du CIFAR, comme Katie Mack et Heather Graham, percent les mystères de la Terre et de l'espace.

Le destin du cosmos est l'une des plus grandes questions existentielles de l'humanité.

Mack passe son temps à étudier l'Univers primordial. Cela peut paraître contre-intuitif, mais c'est en explorant sa création que les cosmologues peuvent mieux comprendre sa fin.

«Ce qui s'est passé au début est étroitement lié à notre modèle cosmique ultime, qui est étroitement lié à ce qui se passera à la fin», explique Mack, membre du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli au sein du programme Extrême Univers et gravité, et titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique à l'Institut Périmètre.

Bien que la fin soit inconnue, il existe des scénarios prédominants, étayés par des concepts de la physique. Mack explore plusieurs de ces théories dans son livre *The End of Everything*.

L'une de ces théories porte sur la désintégration du vide qui, en raison de la métastabilité de l'Univers, pourrait entraîner sa désintégration soudaine en quelque chose de nouveau. Comme l'explique Mack, au tout début de l'Univers, les lois de la physique ont été quelque peu réécrites.

Un champ d'énergie appelé champ de Higgs a été «activé» après le Big Bang, et son comportement détermine la façon dont la physique des particules fondamentales fonctionne dans l'Univers. Cette transition a créé les conditions nécessaires à la création de tout ce qui existe dans l'Univers et qui se compose d'atomes : les étoiles, les galaxies, les planètes et tout le reste. Rien de tout cela n'aurait pu exister avant cette transition.

«Cependant, selon certaines interprétations des données, comme le champ de Higgs, l'Univers actuel n'est pas tout à fait stable, explique Mack. Il pourrait donc se transformer à nouveau en quelque chose d'autre. Si cela se produisait, les lois de la physique seraient à nouveau écrites de telle sorte que les atomes et les molécules ne pourraient plus exister. Et si cela se produisait, ce serait la fin.»

«Il est impossible de prédire ce phénomène, de le voir venir - la seule chose possible, c'est d'examiner les données. Et je puis dire qu'en l'état actuel des connaissances, même si c'était possible, il est très peu probable que ce phénomène se produise au cours des quelque 10 à la puissance 100 prochaines années», ajoute Mack.

Toutefois, la théorie qui recueille le plus d'assentiment est celle de la mort thermique : l'idée que l'Univers est actuellement en expansion et que cette expansion se poursuivra indéfiniment. L'accélération de l'expansion de l'Univers est causée par l'énergie sombre.

«Mais nous ne savons pas vraiment ce qu'est l'énergie sombre, nous savons simplement qu'elle accélère l'expansion de l'Univers, déclare Mack. Tant que ce phénomène durera, l'expansion de l'Univers continuera et s'accélérera de plus en plus.»

Katie Mack  
Photo Josh Fee



L'accélération de l'expansion signifie que l'Univers devient plus froid et plus sombre, car toute la matière et l'énergie se diffusent dans une région de plus en plus grande.

« Cela veut dire qu'au fil du temps, l'Univers est en quelque sorte en train de s'effacer. »

Bien que de telles théories puissent susciter un effroi existentiel, Mack trouve que ce travail est amusant et qu'il témoigne de la puissance de l'avancement de l'étude de la cosmologie. « Par exemple, au sujet de la théorie de la désintégration du vide : comment quantifier quelque chose d'aléatoire? Quelle en est la probabilité? Comment la calculer? C'est ce que nous faisons tout le temps en physique quantique. »

Mack étudie aussi la matière sombre - la mystérieuse substance gravitationnelle qui compose le gros de la matière dans l'Univers - ainsi que les trous noirs. Sur ce dernier point, elle espère travailler en étroite collaboration avec les membres du programme Extrême Univers et gravité pour approfondir le sujet - élucider leur formation, par exemple - qui n'est qu'un des nombreux mystères à résoudre dans le cadre de l'exploration spatiale.

Alors que Mack explore les origines du cosmos, Graham s'intéresse aux origines de la vie. Elle étudie en particulier comment détecter la « vie bizarre » : des biosignatures agnostiques sur les roches et dans les profondeurs du sous-sol, qui indiquent la présence de la vie, mais dans une forme différente de celle que nous connaissons habituellement.

« Vous et moi sommes constitués d'une sélection de molécules diverses et intrinsèquement beaucoup plus complexes que le type de molécules produites de manière abiotique - si nous allons dans l'espace et saisissons un astéroïde, comme nous le faisons avec la mission OSIRIS-REx, ou si nous capturons des particules solaires, ou si nous observons la chimie organique abiotique dans les profondeurs de la Terre, nous ne voyons jamais de molécules dépassant un certain niveau de complexité intrinsèque, comme c'est le cas dans la vie », explique Graham, membre du programme Terre 4D et scientifique au Goddard Space Flight Center de la NASA.

Cette complexité intrinsèque entraîne différentes réactions chimiques, notamment le métabolisme, qui représente la signature de l'évolution.

« Ce que nous envisageons, ce sont des chimies optimisées au fil de l'évolution qui représentent une complexité intrinsèque qui n'est pas observée et qui serait hautement improbable. Nous ne disons pas que c'est impossible. Mais cela a très peu de chances de se produire dans des systèmes cinétiques où vous attendez que la chaleur, la pression et le temps produisent des molécules spéciales », explique Graham.

Il devient de plus en plus important de mettre au point des outils et des techniques d'identification de la vie

extraterrestre en parallèle avec l'accélération de l'exploration de l'espace. Les travaux de Graham pourraient permettre de déterminer avec certitude la présence d'une vie extraterrestre au-delà de la Terre.

« Je pense qu'une chose est devenue très évidente à mesure que le rythme de l'exploration s'est accéléré : nous devons mieux réfléchir aux expressions de la vie et à la manière dont nous limitons nos observations », explique Graham.

Les travaux de Graham soulignent également la possibilité d'une nouvelle forme de vie dans les profondeurs de la Terre, où des écosystèmes potentiels ne communiquent plus avec la surface depuis des milliards d'années.

« Je m'intéresse beaucoup à ce que la vie a de fondamentalement différent. Comment est-elle apparue? Pourquoi s'agit-il d'un processus inévitable? Il est assez facile de produire en laboratoire des choses qui ressemblent à des cellules et qui commencent à effectuer un métabolisme de base. S'agit-il donc d'un processus inévitable? », déclare Graham.

« Je pense que je suis vraiment motivée pour comprendre l'histoire de la vie. Je suis venue à l'astrobiologie non pas par curiosité innée pour les autres planètes, mais parce que je suis très intéressée par l'histoire de la vie sur Terre », ajoute-t-elle.

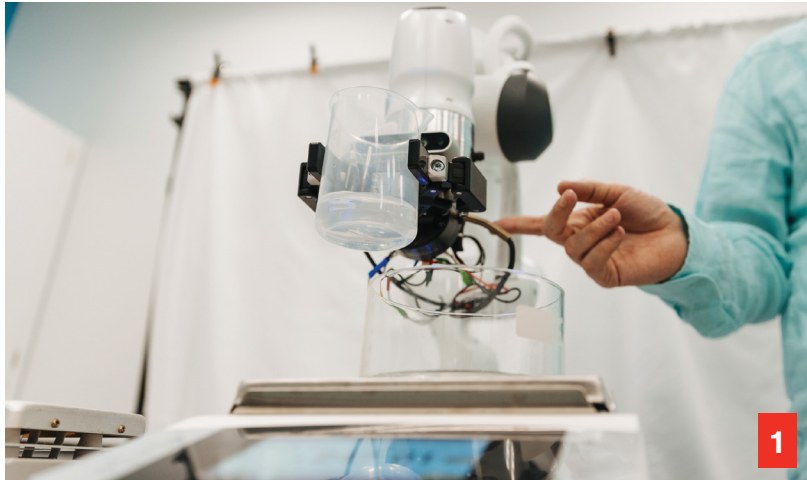
Le travail de Graham est très collaboratif, en particulier au sein du programme Terre 4D, dont les membres jouent un rôle particulièrement actif et participent énormément aux recherches de leurs collègues. Elle collabore actuellement avec des pairs du programme, notamment Jacqueline Goordial, membre du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli, en effectuant des travaux de laboratoire pour Goordial afin d'examiner la vie microbienne dans le sous-sol extrême, comme le pergélisol. Elle travaille aussi avec Barbara Sherwood Lollar, coresponsable du programme. « Nous utilisons des matériaux d'essai qu'elle nous apporte des mines profondes de l'Ontario. »

En définitive, Graham espère qu'il se fera aussi de la détection de vie « bizarre » et des expériences connexes sur d'autres planètes.

« Je souhaite la réalisation de véritables expériences. Une grande partie de l'exploration spatiale consiste à partir en observation et à voir ce qu'il y a là-bas. Et c'est très bien, mais j'aimerais que nous réalisions des expériences de catalyse sur une autre planète pour voir s'il y a des signes de transfert d'énergie auxquels on ne s'attend pas, a déclaré Graham. Je pense qu'il serait fabuleux de commencer à explorer les eaux des mondes océaniques à l'aide des méthodes que nous sommes en train de mettre au point. Par ailleurs, je me réjouis de la poursuite des investissements visant à ramener sur Terre des matériaux extraterrestres. » •

Heather Graham  
Photo Cheriss May





1

## UNE JOURNÉE AU LABO : ALÁN ASPURU-GUZIK

Par Liz Beddall

Alán Aspuru-Guzik est titulaire de bourse Lebovic et coresponsable du programme Énergie solaire bio-inspirée du CIFAR, ainsi que titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR à l'Institut Vecteur. Son travail est ambitieux : il vise à accélérer la découverte de nouveaux produits chimiques et de matériaux utiles à la société grâce à des technologies de pointe comme l'informatique quantique, l'apprentissage automatique et l'automatisation. Son groupe de recherche, le Matter Lab, regroupe les travaux d'un « laboratoire sec » (analyse et calcul appliqués) au sein du département d'informatique de l'Université de Toronto, et ceux d'un « laboratoire humide » (expériences à plus haut risque, comme la manipulation de matières chimiques et biologiques) situé dans l'édifice des Lash Miller Chemical Laboratories de l'université. Nous avons suivi Aspuru-Guzik pendant une journée alors qu'il passait d'un espace de recherche à l'autre.

**1.** Alán commence sa journée au laboratoire sec. « Je vis ici », plaisante-t-il. Il fait une démonstration des capacités de l'un des robots de son laboratoire. « La capacité de voir et de reconnaître les choses est un processus beaucoup plus complexe que vous ne l'imaginez, note-t-il. Ce robot est exceptionnel, car peu importe où se trouve le verre, il sait comment le saisir et verser. »

**2.** Sur une étagère dans son bureau, Alan expose fièrement des bottes ornées de rouge et de blanc vifs. « J'ai grandi au Mexique, explique-t-il. Le jour où j'ai obtenu ma titularisation à l'Université Harvard, mes stagiaires diplômés mexicains m'ont acheté ces bottes. Ce

sont des "bottes de dragon" et elles sont faites pour danser. »

**3.** « Le CIFAR a joué un rôle majeur dans mon embauche au Canada en tant que membre d'un réseau de scientifiques », explique Alán en réponse à une question sur son travail. « Peu après mon arrivée, je suis devenu titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR, ce qui m'a permis de bénéficier des ressources nécessaires pour interagir et travailler avec de nombreux spécialistes de l'informatique. »

**4.** Pendant le trajet du laboratoire sec au laboratoire humide, Alán s'exprime davantage comme un historien plutôt qu'un scientifique. « C'est incroyable



2

de se rappeler que Geoff Hinton a commencé à parler de l'idée des réseaux neuronaux ici même dans les bâtiments qui nous entourent aujourd'hui. »

**5.** Dans le laboratoire humide, Alán enfle une blouse blanche et des gants de sécurité. « Vous avez devant vous un réacteur chimique, un laboratoire de chimie autonome, explique-t-il. Nous fabriquons plusieurs molécules à la fois. Ce laboratoire fait de la chimie classique, tandis que l'autre laboratoire réfléchit à la chimie de l'avenir. »

**6.** Dans la pénombre, Alán fait la démonstration d'une magnifique réaction fluorescente. « Il s'agit de véritables molécules laser organiques qui figurent parmi les molécules fluorescentes les plus brillantes au monde - et nous détenons le record de la fabrication de ces molécules. »

**7.** À la fin de la visite, il nous parle de certains objectifs ambitieux de son travail. « Voici une station qui analyse des molécules pour des batteries organiques, note-t-il. Nous voulons créer la prochaine génération de batteries pour stocker l'intégralité de l'énergie mondiale. »



3



4



5



6



7

## L'ANNÉE EN PHOTOS

Après deux années d'événements exclusivement virtuels, le CIFAR et sa communauté ont accueilli à nouveau des événements en personne en 2022.

En juin, le CIFAR a lancé son 40<sup>e</sup> anniversaire avec un panel hybride mettant en vedette cinq de nos membres de programme. Au cours de ce panel animé par Naomi Azrieli, présidente et directrice générale de la Fondation Azrieli, les membres du CIFAR ont parlé de leur travail et de l'importance du CIFAR au sein de la communauté de la recherche.

En novembre, le CIFAR a organisé un gala en l'honneur de son président et chef de la direction sortant, Alan Bernstein. Les membres du conseil d'administration, la communauté donatrice et le personnel du CIFAR ont célébré le mandat d'Alan Bernstein et ont partagé avec lui l'annonce de la création de la bourse Alan Bernstein, créée en son nom pour encourager la prochaine génération de scientifiques en début de carrière. En mars 2023, Carolina Tropini a été la première personne à recevoir la bourse.

L'année a aussi été marquée par le retour des réunions de programme en personne. Les membres, spécialistes-conseils, titulaires de chaire IACC et membres du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli ont pu à nouveau se rassembler pour échanger des idées et discuter de nouvelles approches audacieuses à d'importantes questions de recherche.

En novembre, le programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli a tenu sa toute première réunion de l'ensemble des cohortes à Montebello. Les membres de la cohorte actuelle ont eu l'occasion d'apprendre de leurs prédécesseurs, d'écouter les membres des programmes du CIFAR et même de jouer au curling.

Les membres du programme Cerveau, esprit et conscience du CIFAR ont organisé une réunion de plusieurs jours, l'École d'hiver sur la neuroscience de la conscience, au Mexique. Cette école a permis à la prochaine génération de leaders en neuroscience de travailler en étroite collaboration avec des scientifiques de renommée mondiale et d'acquérir des connaissances.

Photographie de l'événement du 40<sup>e</sup> anniversaire du CIFAR et du dîner de célébration d'Alan Bernstein : Neil Ta

Photographie de la réunion de l'ensemble des cohortes du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli : Josh Fee

Photographie de l'École d'hiver sur la neuroscience de la conscience : Ivan Luckie Photography



1. De gauche à droite : Joelle Pineau, spécialiste-conseil et titulaire de chaire en IA Canada-CIFAR; Ameet Morjarja, membre du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli; et Leah Cowen, coresponsable du programme Règne fongique, à l'occasion de la célébration du 40<sup>e</sup> anniversaire du CIFAR.

2. Les membres du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli et du comité organisateur de l'École d'hiver sur la neuroscience de la conscience, Michael Cohen, Sahba Nomvula Besharati et Adeel Razi.

3. Stagiaires à l'École d'hiver sur la neuroscience de la conscience.



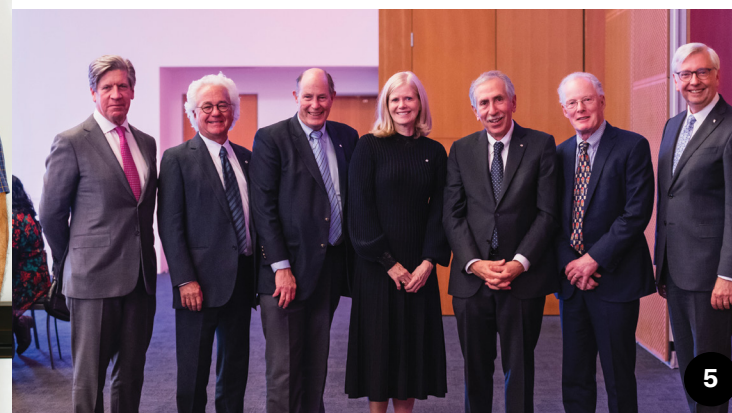
4. Stephen Toope, président et chef de la direction du CIFAR, et Alan Bernstein, président émérite du CIFAR, avec des membres de l'équipe de direction du CIFAR, Pauline Yick, Elissa Strome, Leslie McCarley et Hannah Yakobi, lors du dîner de célébration d'Alan Bernstein.

5. Membres du conseil d'administration actuel et passé du CIFAR lors du dîner de célébration d'Alan Bernstein.

6. Shriharsh Tendulkar, membre du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli, s'essaie au curling lors de la première réunion de l'ensemble des cohortes du programme.

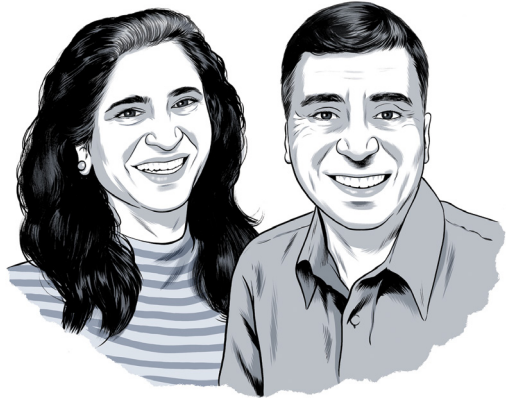
7. Les membres du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli Amanda Lea et Samuel Urlacher retrouvent Alona Fyshe (au centre), ancienne du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli et titulaire actuelle de chaire en IA Canada-CIFAR, lors d'une pause café à la réunion de l'ensemble des cohortes.

8. Benjamin Rosman, membre de la cohorte 2022-2024 du programme des chercheurs mondiaux CIFAR-Azrieli, et Alannah Hallas, membre de la cohorte 2020-2022.



# Pourquoi donner

La philanthropie propulse notre travail. Nous avons demandé à certains membres de la communauté donatrice du CIFAR de nous dire ce qui les incite à donner.



Au cours des quarante dernières années, le CIFAR a fait la fierté du Canada. Il a grandement contribué à l'évolution de l'avant-garde et à la réalisation de percées dans plusieurs domaines de la science, améliorant ainsi la condition humaine. Nous sommes heureux de jouer un petit rôle dans ce parcours.

**ANANTH ET SUMITRA SESHAN**  
Donateurs depuis 2018

Le CIFAR fait la promotion de l'excellence et de la diversité au sein de la communauté scientifique. Comme membre du conseil d'administration et donateur de longue date, je sais que des voix et des perspectives distinctes sont entendues, valorisées et honorées au CIFAR. Il en résulte des recherches solides d'importance pour le monde.

**GILLES G. OUELLETTE**  
Membre du conseil d'administration du CIFAR; président du conseil d'administration, BMO Gestion mondiale d'actifs; donateur depuis 2004



La fondation de ma famille a fait son premier don au CIFAR en 1986 en soutien au programme IA, robotique et société qui a marqué les débuts du leadership du CIFAR et du Canada en intelligence artificielle. La contribution la plus récente de ma famille était au profit du programme Énergie solaire bioinspirée. Nous pensons que le Canada est bien placé pour démontrer qu'une économie fondée sur les ressources naturelles peut évoluer vers une économie durable à faible émission de carbone, tout en maintenant sa prospérité. Le CIFAR a déjà ouvert la voie avec l'intelligence artificielle; il peut le faire à nouveau avec le développement durable.

**RICHARD W. IVEY**  
Ancien président et membre du conseil d'administration du CIFAR (20 ans); membre de la Fraser Mustard Legacy Society; donateur depuis 1998



Lorsque j'ai rencontré Fraser Mustard, fondateur de l'Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), il en était encore aux premiers stades de la réalisation de sa vision, qui consistait à positionner le Canada sur la scène mondiale de la recherche fondamentale et de la création de connaissances. Pendant de nombreuses années, la survie du CIFAR a été incertaine, mais grâce au dur labeur de Fraser et de ses partenaires, le CIFAR a survécu et, grâce à une équipe élargie, l'Institut a connu une formidable croissance. J'ai une admiration sans bornes pour toutes les personnes, passées et présentes, qui ont fait du CIFAR ce qu'il est aujourd'hui - un institut de recherche qui profite à l'ensemble de l'humanité. Je suis très heureuse d'avoir joué un petit rôle dans le parcours du CIFAR et j'ai l'intention de continuer à soutenir cette organisation incroyable.

**BEVERLEY BRENNAN**  
Administratrice émérite du CIFAR; donatrice depuis 1997

Le CIFAR se distingue par sa capacité à rassembler des scientifiques de premier plan par-delà les disciplines et les pays pour se pencher sur certaines des questions les plus difficiles auxquelles l'humanité est confrontée. Comme il s'agit d'une organisation de recherche mondiale basée au Canada, faire un don au CIFAR constitue un investissement à la fois pour un Canada meilleur et pour un monde meilleur.



**YASMEEN ABU-LABAN**  
Membre du CIFAR; professeure à l'Université de l'Alberta; donatrice depuis 2022



Sans le CIFAR, j'aurais été fortement tenté de quitter le Canada. Grâce à cette incroyable organisation, j'ai pu rester au pays pour poursuivre ma carrière universitaire et lancer de nombreuses politiques et initiatives scientifiques proprement canadiennes. Je donne au CIFAR pour que de nouveaux brillants cerveaux aient accès à des possibilités transformatrices tout comme j'y ai eu accès.

**DANIEL TREFLER**  
Ancien membre du CIFAR; professeur à l'École de gestion Rotman, Université de Toronto; donateur depuis 2001



## DITES-MOI POURQUOI VOUS DONNEZ?

J'aimerais savoir ce qui vous motive. Communiquez avec moi à l'adresse : [giving@cifar.ca](mailto:giving@cifar.ca)

**LESLIE MCCARLEY**  
Vice-présidente, Avancement



## LAISSER UNE TRACE POUR LES GÉNÉRATIONS FUTURES

Dès le début, l'idée de créer une « université décloisonnée » était fascinante. Voilà la promesse de collaboration à travers les disciplines et les lieux – une approche inédite et sans pareil au sein de la communauté universitaire – qui a incité un petit groupe d'universitaires, sous la gouverne de Fraser Mustard, à créer le CIFAR.

« Mon père, Fraser Mustard, aimait se plonger dans la pensée créative pour trouver réponse aux problèmes qui faisaient vibrer les gens dans leur domaine », explique John (Jack) Mustard, coresponsable du programme Terre 4D. « Les questions intrigantes et l'inconnu l'amusaient au plus haut point. Je pense que cela fait partie de l'héritage qu'il a laissé au CIFAR et que c'est la raison pour laquelle le CIFAR a encore toute sa pertinence 40 ans plus tard. »

Grâce à sa remarquable capacité à rallier des leaders de différents horizons, intérêts et régions, le CIFAR est passé d'une idée partagée par quelques scientifiques à un réseau canadien dont la portée embrasse des pays et des continents.

La générosité de personnes donatrices visionnaires constitue le moteur de la clairvoyance du CIFAR. Tout comme Fraser, qui est devenu le président fondateur du CIFAR, elles ont un regard qui transcende l'horizon vers la promesse d'un avenir qu'elles ne verront peut-être jamais - et elles choisissent de laisser derrière elles un monde meilleur en faisant un don testamentaire au CIFAR.

En mémoire du président fondateur du CIFAR, la Fraser Mustard Society rend hommage à l'imagination et à la vision de ces personnes donatrices, car elles nous permettent de continuer à nous pencher sur les questions les plus importantes auxquelles la science et l'humanité seront confrontées pour des années à venir.

Votre legs peut soutenir la prochaine génération de scientifiques, établir de nouveaux domaines de recherche et apporter des solutions aux défis mondiaux. Nous serions ravis d'échanger davantage sur la façon dont votre don profitera aux générations futures.



Si vous souhaitez faire un don testamentaire, je me ferai un plaisir de vous fournir de plus amples renseignements, y compris un libellé personnalisé à inclure dans votre testament. Veuillez communiquer avec moi directement au 416-971-5409 ou à l'adresse [nic.miller@cifar.ca](mailto:nic.miller@cifar.ca).

**NIC MILLER, CFRE**  
Direction, Développement

# CIFAR

Centre MaRS, tour Ouest  
661, av. University, bureau 505  
Toronto (Ontario) M5G 1M1

[cifar.ca/fr](http://cifar.ca/fr)

Suivez-nous sur :



Abonnez-vous à nos bulletins :

[cifar.ca/fr/abonnez-vous](http://cifar.ca/fr/abonnez-vous)