

# RAPPORT ANNUEL 2021

INSTITUT  PÉRIMÈTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE



# VISION

Constituer le principal centre mondial de recherche, de formation supérieure et de diffusion des connaissances en physique théorique, en conjuguant les initiatives de partenaires publics et privés ainsi qu'en favorisant une synergie entre les plus brillants esprits scientifiques du monde, pour permettre la réalisation de recherches aboutissant à des avancées qui transformeront notre avenir.



# TABLE DES MATIÈRES

Message du président du conseil . . . . .	2
Message du directeur de l'Institut . . . . .	3
Une institution à haut rendement . . . . .	4
Recherche . . . . .	6
Formation . . . . .	30
Diffusion des connaissances . . . . .	36
Développement de l'Institut . . . . .	42
Gouvernance et finances . . . . .	46
Annexes . . . . .	53

Ce rapport présente les activités et les finances  
de l'Institut Péricètre de physique théorique  
pour l'exercice allant du 1<sup>er</sup> août 2020 au 31 juillet 2021.

Note du traducteur :  
Dans la présente version française du rapport annuel,  
toutes les citations sont traduites de propos tenus à l'origine en anglais par leurs auteurs.



LA PHYSIQUE THÉORIQUE D'AUJOURD'HUI  
EST LA TECHNOLOGIE DE DEMAIN.



# MESSAGE DU PRÉSIDENT DU CONSEIL

Ce n'est pas très canadien d'être vantard, mais certaines choses doivent être dites.

L'Institut Péricimètre est un lieu extraordinaire. En seulement 2 décennies depuis sa fondation, il est devenu l'un des instituts de physique théorique les plus grands et les meilleurs au monde.

La recherche fondamentale et la quête de percées scientifiques ont sous plusieurs aspects l'allure d'une compétition, et l'Institut Péricimètre a mis le Canada sur le podium. À titre d'exemple, une étude récente a montré que l'Institut Péricimètre a fait grimper le Canada de la 4<sup>e</sup> à la 1<sup>re</sup> place parmi les pays du G7 en physique et en sciences de l'espace quant à des mesures-clés de la qualité et de l'impact de la recherche.

Dans quel autre domaine scientifique le Canada peut-il se vanter d'avoir créé de toutes pièces l'un des centres les plus grands et les plus prestigieux de la planète?

Ce n'est pas seulement une question de statut. C'est d'abord et avant tout une question de savoir : les découvertes réalisées par l'Institut Péricimètre font progresser notre connaissance de l'univers et de la place que nous y occupons. Les chercheurs de l'Institut Péricimètre ont publié des milliers d'articles revus par des pairs, dans des domaines allant de la théorie quantique des champs et de la théorie des cordes à la cosmologie, en passant par la physique des particules. Ils ouvrent la voie dans des domaines complètement nouveaux, et leurs travaux sont récompensés par certains des honneurs les plus prestigieux en sciences.

C'est aussi une question d'impact économique. L'histoire a montré que la physique théorique peut transformer une économie, en particulier à long terme. Un exemple nous en est donné par le long parcours qui a mené de la découverte des équations de Maxwell de l'électromagnétisme à la mécanique quantique. Ces percées ont engendré les premiers dispositifs électromécaniques quantiques tels que le transistor, puis la microélectronique et notre ère actuelle de l'information – où nous avons dans nos poches des milliards de transistors et un accès au savoir de l'humanité.

C'est enfin une question de talent, le carburant de l'ère de l'information. Non seulement l'Institut Péricimètre attire-t-il au Canada les esprits les plus brillants du monde entier, mais il contribue aussi à bâtir la prochaine génération de chercheurs. Nos programmes d'études supérieures et de postdoctorat ont formé plus d'un millier de scientifiques. Nos ressources pédagogiques sont utilisées des millions de fois par année dans des classes partout dans le monde – elles éveillent les jeunes esprits qui représentent notre avenir.

Il y a bientôt 10 ans que je suis membre du conseil d'administration de l'Institut Péricimètre. J'ai vu de près les réalisations de l'Institut et je l'ai regardé grandir. Lorsqu'on m'a demandé de succéder au légendaire Mike Lazaridis comme président du conseil, j'ai accepté sans hésitation. Je sais que nos recrues au conseil d'administration – Jane Kinney, nouvelle vice-présidente, Donna Strickland, lauréate d'un prix Nobel, et Gabriela Gonzáles, pionnière des ondes gravitationnelles – ont les mêmes sentiments que moi à propos de l'Institut Péricimètre et de son potentiel.

C'est un véritable honneur que de participer à l'édification et au maintien d'une telle fontaine de découverte. Ses travaux ont joué un rôle crucial dans l'éblouissante première image d'un trou noir. Ses chercheurs ont conçu le logiciel qui a fait d'un télescope canadien peu coûteux le meilleur détecteur de sursauts radio rapides au monde; ils étudient de nouveaux états de la matière et de nouvelles géométries de l'espace-temps; ils ont contribué à la cartographie de 2 milliards de galaxies; ils enseignent la physique quantique aux systèmes d'intelligence artificielle.

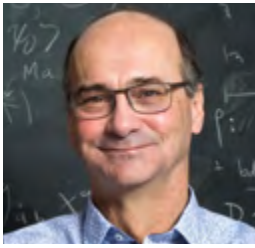
Tout cela est extraordinaire.

On n'a pas souvent l'occasion d'avoir un impact mondial, et rien n'est plus rare que d'avoir un impact durable sur des générations. Je n'ai aucun doute que les scientifiques de l'Institut Péricimètre travaillent sur ce qui s'avérera le point de départ d'un nouveau parcours qui – tout comme celui qui a mené des équations de Maxwell à l'ère de l'information – transformera ultimement notre monde. Quand on voit par exemple l'état actuel de l'informatique quantique, c'est aussi difficile pour nous d'en prédire les résultats à long terme qu'il aurait été difficile aux frères Wright d'envisager la navette spatiale. Mais on peut facilement percevoir le potentiel qu'elle a de prendre son envol.

En fondant l'Institut Péricimètre, Mike Lazaridis a fait un cadeau à tous les Canadiens, au monde et à l'avenir. Nous avons accompli beaucoup, et nous avons certainement le droit d'en être fiers. Mais ce n'est qu'un début. L'arc du progrès scientifique est long : nous en sommes à la 21<sup>e</sup> année d'un voyage de plus d'un siècle. L'Institut Péricimètre est notre pari sur l'avenir. Il suscitera des percées qui, à long terme, profiteront à tout le Canada, à notre économie et à l'ensemble de l'humanité.

– **Michael Serbinis**

Président du conseil d'administration



# MESSAGE DU DIRECTEUR DE L'INSTITUT

Pour l'Institut Périmètre comme pour le monde, 2021 a été une année de changement. La pandémie en est à sa 2<sup>e</sup> année, rappelant que la nature et la science ont leur propre échelle de temps. Un rapport annuel comme celui-ci est, par définition, annuel. Mais il vaut parfois la peine de porter son regard sur une plus longue période.

L'Institut Périmètre a maintenant 20 ans, au cours desquels il est passé d'une idée – que certains qualifiaient de folle – à l'une des meilleures institutions de physique théorique au monde.

La « folle » idée de départ est venue de Mike Lazaridis. Mike a inventé le BlackBerry, qui a lancé l'industrie mondiale du téléphone multifonctionnel. Mais au moment même où il déclenchait cette révolution, Mike voyait plus grand. Il se rendait compte que le BlackBerry et pratiquement tous les autres dispositifs technologiques modernes reposent sur des percées réalisées auparavant en physique théorique. Il a posé une question à la fois simple et inspirante : d'où viendront les prochaines percées – celles qui transformeront la vie des petits-enfants de nos petits-enfants?

La fondation de l'Institut Périmètre constituait une réponse à cette question : un institut indépendant se consacrant exclusivement à la physique théorique, réunissant des esprits brillants, les libérant des contraintes typiques du milieu universitaire et visant rien moins que de véritables percées scientifiques. Mike a fait don d'un tiers de sa fortune personnelle pour aider à la fondation de l'Institut. Les gouvernements fédéral et provincial, ainsi que les administrations locales, ont apporté leur contribution, et l'Institut Périmètre est né.

Au cours des deux décennies qui ont suivi, Mike a passé des milliers d'heures à investir son énergie et à donner de sages conseils à titre de président du conseil d'administration de l'Institut Périmètre. Cette année, il s'est retiré – quelque peu – pour devenir président émérite fondateur ainsi que le plus grand promoteur et ami de l'Institut. Ce fut un honneur et un plaisir de travailler avec lui, et nous lui exprimons tous – à l'Institut et dans l'ensemble de la communauté scientifique – notre profonde reconnaissance pour ses extraordinaires contributions.

Nous accueillons maintenant un nouveau président du conseil en la personne de Mike Serbinis. Tout comme Mike Lazaridis, Mike Serbinis est un entrepreneur en technologie, un meneur parmi la relève technologique du Canada. Il est membre du conseil d'administration de l'Institut Périmètre depuis 2014. Sa passion pour la science remonte à loin : alors qu'il était au secondaire, il a inventé un système de propulsion pour des véhicules spatiaux. Plus tard, il a cofondé de nombreuses entreprises à succès, dont Kobo, Critical Path, DocSpace et, plus récemment, League. Il apporte énergie, audace et vision à tout ce qu'il fait. Je n'ai aucun doute que l'Institut Périmètre atteindra de nouveaux sommets grâce à son aide et à ses conseils (voir la page 46).

Notre nouveau président du conseil fait souvent remarquer que l'Institut Périmètre est un projet d'un siècle. Il faut parfois considérer plus d'une année pour percevoir l'ampleur de la transformation rendue possible par la science.

À titre d'exemple, le Centre de recherches de l'Institut Périmètre sur l'univers en est maintenant à sa 5<sup>e</sup> année de fonctionnement (voir les pages 16 à 21). Il y a 5 ans, les trous noirs étaient encore considérés comme des objets théoriques. Maintenant, grâce au télescope EHT, ils feront pour toujours partie de notre représentation de l'univers. Il y a 5 ans, le télescope CHIME était en construction. Maintenant, il propulse le Canada à l'avant-garde de la radioastronomie. L'Institut Périmètre n'a physiquement construit aucun de ces 2 télescopes, mais il a fait les premiers investissements cruciaux dans les brillants chercheurs et les grandes idées qui ont rendu ces projets possibles.

Des réalisations comme celles du Centre de recherches sur l'univers montre que l'activité scientifique de l'Institut Périmètre va bien au-delà d'un article, d'un chercheur ou d'une année. C'est pourquoi nous avons lancé avec enthousiasme en octobre 2020 le Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique, grâce à un généreux don de 10 millions de dollars de la Fondation de bienfaisance de la famille Riddell. Ce centre étudiera de nouveaux matériaux aux propriétés quantiques – comme des supraconducteurs et des isolants topologiques –, pour accélérer la création clairement annoncée de puissantes nouvelles technologies quantiques.

L'Institut Périmètre émerge comme chef de file dans ce domaine d'une importance stratégique (voir les pages 8 à 11). De fait, l'une de nos nouvelles recrues, Dominic Else, vient de remporter l'un des plus grands prix pour de jeunes physiciens – le prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) – pour ses travaux dans ce domaine. Je suis impatient de voir ce qu'apporteront 5 années de travaux concentrés au Centre de recherches sur la matière quantique.

Depuis la mise sur pied de l'Institut Périmètre il y a 20 ans, nos chercheurs ont réalisé une impressionnante série de percées. Notre équipe de diffusion des connaissances a atteint des dizaines de millions d'élèves. Nos programmes de formation ont contribué à lancer la carrière de plus de mille scientifiques. Nous attirons des talents de premier ordre venus de partout au Canada et dans le monde. Seulement cette année, en plus de Dominic Else, nous avons recruté au sein de notre corps professoral Sabrina Gonzalez Pastorski, jeune chercheuse étoile dans le domaine en émergence de l'holographie céleste, ainsi qu'Anton Burkov et Theo Johnson-Freyd à titre de professeurs associés (voir les pages 24 et 25).

L'année sur laquelle porte ce rapport est remarquable; les 5 années mentionnées ici et là sont impressionnantes; les 20 ans d'existence de l'Institut sont tout simplement extraordinaires. Nous avons beaucoup accompli, mais l'avenir nous réserve encore davantage. Nous sortons plus forts de cette pandémie, encore plus convaincus que notre avenir réside dans la science, et que le meilleur reste à venir.

– **Robert Myers**, directeur de l'Institut Périmètre  
et titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton  
de physique théorique de l'Institut



# L'INSTITUT PÉRIMÈTRE CONTRIBUE À METTRE LE CANADA À L'AVANT-GARDE DE LA RECHERCHE

Pour des fins de transparence et de reddition de comptes, l'Institut Péricètre (IP) fait régulièrement l'objet d'évaluations effectuées par des tiers, qui mesurent le rendement, l'impact scientifique et la valeur de l'Institut pour ses partenaires publics et privés.

En 2020-2021, la Direction générale de la vérification et de l'évaluation du ministère canadien de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique a effectué un examen approfondi du fonctionnement et du modèle financier de l'Institut Péricètre pour la période de 2016 à 2020. Voici quelques conclusions sur la pertinence, le rendement et l'efficacité de l'Institut :

« L'IP a contribué à d'**importantes percées scientifiques** en physique théorique et continue de faire progresser ce domaine. En outre, ses recherches sur la théorie quantique débouchent sur des **applications en intelligence artificielle** et soutiennent les entreprises en démarrage dans le domaine de l'**informatique quantique**, un nombre croissant de chercheurs de l'IP mettant à profit leurs connaissances dans le secteur privé. »

« **L'IP est unique au Canada**, et dans le monde, par sa taille et sa nature indépendante en tant qu'institut sans but lucratif non affilié à une université, ainsi que par l'ampleur de ses recherches, **en particulier dans les domaines de la science quantique**. »

« L'approche de partenariat public-privé offre également à l'IP la **souplesse nécessaire pour saisir** rapidement et efficacement des **occasions de recherche uniques** afin de **positionner le Canada à l'avant-garde** des progrès et des percées en recherche. »

# ENTREZ DANS LE PÉRIMÈTRE

À l'Institut Périmètre, 2020-2021 a été une année de nouvelles percées, de nouveaux liens et de nouvelles manières d'apprendre. Voici quelques-unes des réalisations présentées dans les pages qui suivent.

## Recherche

Quatre ans après sa mise sur pied, renseignez-vous sur les percées scientifiques réalisées par le Centre de recherches sur l'univers – notamment son rôle important dans la production de la première image d'un trou noir, les découvertes sans précédent du télescope CHIME et de nouvelles idées sur les axions – et qui lui ont valu une reconnaissance à l'échelle mondiale (pages 16 à 21). Aux pages 12 à 15, apprenez-en davantage sur le calcul quantique hybride et d'autres recherches menées aux limites de la physique théorique. Lisez les pages 8 à 11 pour prendre connaissance des fantastiques progrès accomplis par le Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique au cours de sa 1<sup>re</sup> année de fonctionnement.

## Formation

À cause de la pandémie, le programme de maîtrise PSI s'est déroulé entièrement en ligne pour la première fois de son histoire. Lisez à la page 34 comment ces étudiants et instructeurs exceptionnels ont formé une communauté solidaire remarquable.

## Diffusion des connaissances

Alors que des enseignants du monde entier continuaient de donner leurs cours en mode virtuel, l'Institut Périmètre a intensifié ses efforts avec un camp intensif en ligne, davantage d'ateliers de formation pour enseignants, ainsi que de nouvelles ressources pour les aider à s'adapter à la situation. Voyez plus de détails aux pages 36 à 41.

## Inclusion, diversité, équité et accessibilité

À nouvelles questions, nouvelles réponses : à l'Institut Périmètre, nous croyons que la physique théorique s'épanouit lorsqu'elle englobe la plus grande partie possible de l'humanité. Voyez aux pages 22 et 23 comment nous faisons en sorte que cela soit possible.

## Communauté

L'excellence en recherche est impossible sans un excellent soutien de la communauté. Cela comprend la contribution des membres du personnel administratif de l'Institut Périmètre, qui veillent à ce que celui-ci fonctionne. L'apport de quelques-uns d'entre eux est souligné dans ce rapport.



# RECHERCHE

*« En travaillant à l'Institut Périmètre, j'ai la liberté de poursuivre mes propres recherches, tout en élargissant mes intérêts et en m'instruisant auprès d'experts de calibre mondial. »*

*– Cristina Mondino, postdoctorante*



Cristina Mondino



# RECHERCHE – Quelques statistiques

À l'Institut Périmètre, nous aspirons à réaliser des percées dans notre compréhension de l'univers, à établir des liens avec des scientifiques exceptionnels de partout au Canada et d'ailleurs, et à créer la communauté la plus dynamique de chercheurs en physique théorique au monde<sup>1</sup>.

502 articles publiés en 2020-2021

351 264 citations depuis la fondation de l'Institut

6 784 articles publiés dans plus de 250 revues et dans arXiv depuis la fondation de l'Institut

8 prix et distinctions en 2020-2021

## COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

25 professeurs à plein temps, dont 7 titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre

21 professeurs associés, dont 1 titulaire de chaire de recherche de l'Institut Périmètre

44 titulaires de chaire de chercheur invité distingué

79 postdoctorants

4 nouvelles boursières Simons-Emmy-Noether

52 adjoints invités

114 membres affiliés

## CONFÉRENCES, ATELIERS ET SÉMINAIRES

7 conférences et ateliers auxquels ont participé plus de 1 000 scientifiques

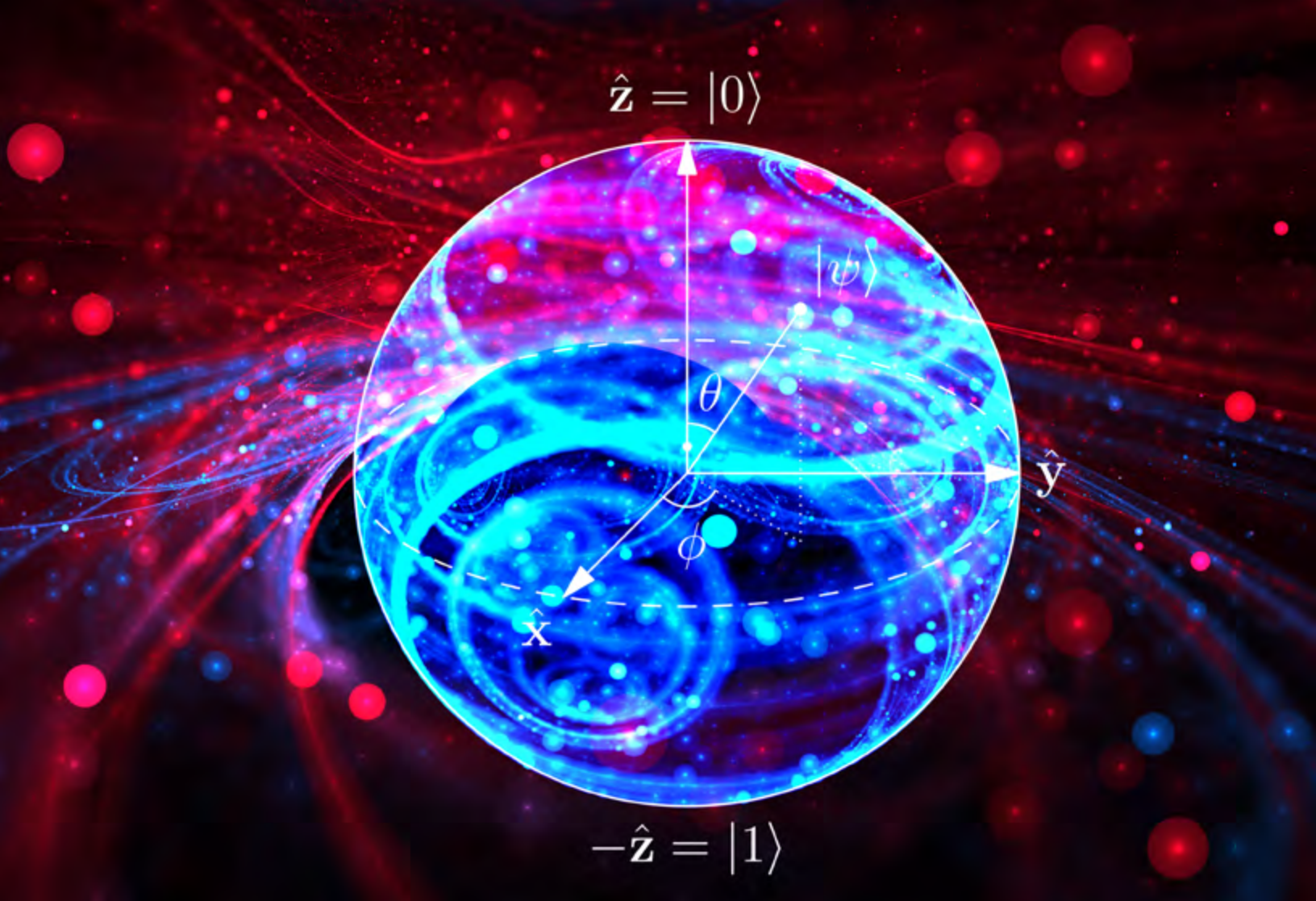
7 conférences et ateliers parrainés à l'extérieur de l'Institut

296 exposés scientifiques, séminaires et colloques auxquels ont assisté plus de 10 000 personnes

13 547 exposés dans PIRSA, le système d'archivage en ligne de l'Institut depuis la fondation de l'Institut Périmètre

464 534 visionnements dans PIRSA en 2020-2021

<sup>1</sup> Sauf indication contraire, les statistiques couvrent la période allant du 1<sup>er</sup> août 2020 au 31 juillet 2021.



## DU QUANTUM . . .

Notre société est à la veille d'une révolution technologique. Nous voyons déjà la première vague de dispositifs fondés sur l'exploitation des caractéristiques subtiles et puissantes de la mécanique quantique, et d'autres technologies suivront. Des chercheurs de l'Institut Périmètre accélèrent cette révolution, entre autres en étudiant la matière quantique – des états exotiques de la matière définis par leurs propriétés quantiques.

En 2020, un investissement visionnaire de 10 millions de dollars de la Fondation de bienfaisance de la famille Riddell a contribué à suralimenter ces recherches avec le lancement du **Centre Clay-Riddell de recherches de l'Institut Périmètre sur la matière quantique**. Les scientifiques de ce centre, et ceux du Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Périmètre, rassemblent des idées inspirées par la physique de la matière quantique, l'information quantique et l'informatique de pointe pour approfondir nos connaissances et améliorer notre contrôle des matériaux quantiques.

Les percées réalisées au cours de la 1<sup>re</sup> année de fonctionnement du Centre Clay-Riddell tracent la voie vers un avenir quantique.

## LES TRANSITIONS D'ÉTAT : UNE NOUVELLE FAÇON D'ÉTUДИER LA MATIÈRE QUANTIQUE

En simulant un ordinateur quantique non encore construit, des chercheurs du Centre Clay-Riddell de recherches de l'Institut Périmètre sur la matière quantique ont entrevu de nouveaux phénomènes physiques.

Roger Melko, professeur associé à l'Institut dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, est le fondateur du Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Périmètre. En faisant des simulations du fonctionnement d'un circuit quantique, M. Melko et ses collaborateurs ont récemment entrevu quelque chose d'inhabituel : un nouveau type de transition d'état.

Ces chercheurs sont des chefs de file mondiaux dans la tâche difficile de simuler des états quantiques de la matière. Dans ce cas-ci, leurs simulations sont des répliques numériques de pointe d'un circuit d'ordinateur quantique. Ce circuit peut avoir des comportements de 2 types : l'un dans lequel une propriété quantique appelée *intrication* se développe rapidement, et l'autre dans lequel l'intrication se développe sensiblement moins vite.

La transition entre les 2 types de comportement n'est pas progressive. C'est une transition d'état qui survient soudainement, comme la fonte de la glace qui devient de l'eau ou la transformation du graphite en diamant.

« La première chose étonnante, dit M. Melko, est que c'est presque identique à une transition d'état dans la matière. Un circuit quantique d'une certaine complexité construit en laboratoire n'a rien à voir avec la matière, des matériaux, etc., mais il subit quand même une transition d'état qui ressemble à une transition d'état de la matière.

« La seconde chose étonnante est que même si cela ressemble à un phénomène que l'on observerait dans la matière, il y a certaines choses que nous ne comprenons pas à son sujet. Il est clair que c'est un nouveau genre de transition d'état qui ne semble pas se produire dans le monde naturel.

« On appelle cela une *transition d'état fondée sur des mesures*, poursuit M. Melko. Je crois que cela ne peut vraiment se produire que dans un ordinateur quantique. »

Cette nouvelle catégorie de transition d'état a capté l'intérêt de physiciens dans le monde entier. L'un d'eux est Tim Hsieh, professeur à l'Institut Périmètre.

M. Hsieh, qui a reçu cette année une prestigieuse bourse de nouveau chercheur du ministère des Collèges et Universités de l'Ontario, s'intéresse aux matériaux quantiques en général – et particulièrement aux matériaux quantiques créés artificiellement, qui offrent aux scientifiques plus de maîtrise des effets quantiques et de meilleurs moyens de coder de l'information quantique.

Dans le nouveau type de transition d'état, il a trouvé une nouvelle façon d'étudier des états de la matière quantique. « J'ai décidé, dit-il, d'étudier l'état où les mesures dominent et donnent lieu à un état final à faible intrication. »

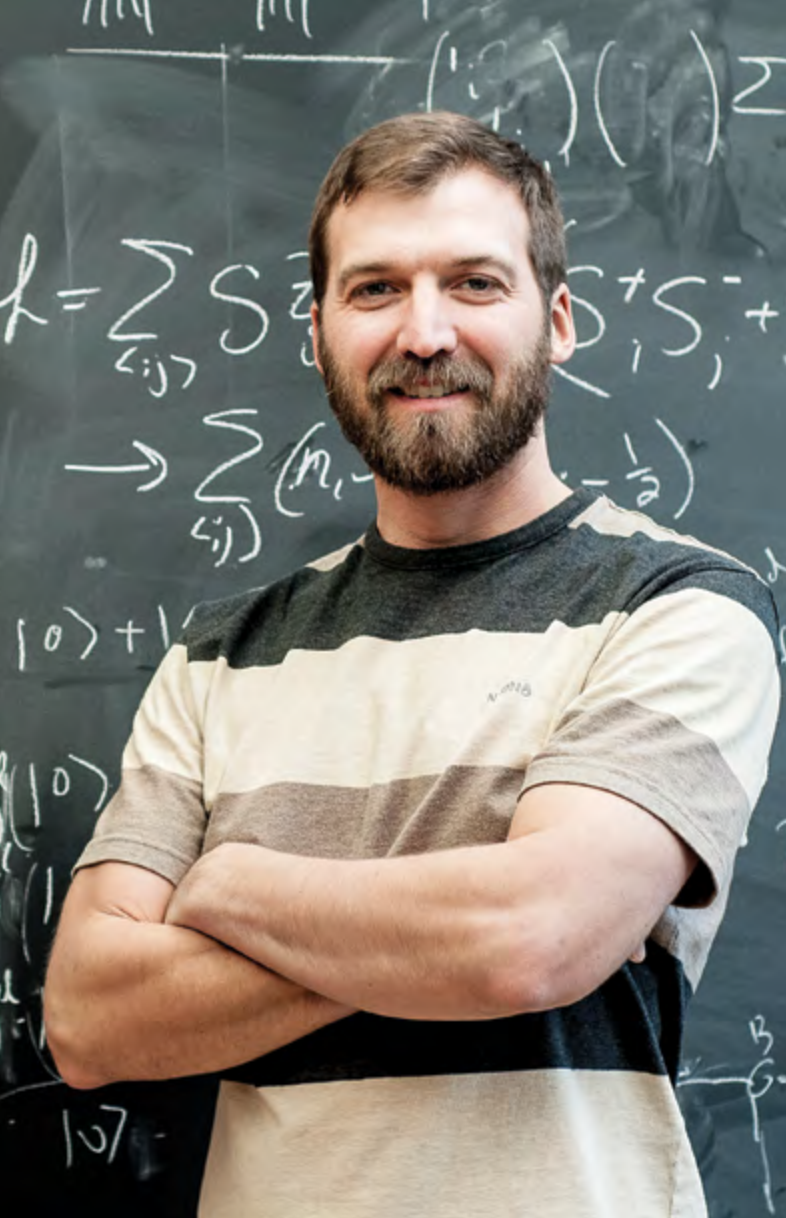
En général, une mesure détruit des effets tels que l'intrication et la superposition : quand on ouvre la boîte, le chat de Schrödinger n'est plus dans une superposition de vivant ou de mort – le chat est soit tout à fait vivant, soit tout à fait mort.

Mais ce n'est pas ce qui se passe dans ce circuit quantique, où même l'état postérieur à la mesure possède des corrélations quantiques à long terme. De fait, selon M. Hsieh, c'est encore plus intéressant que cela. La structure des mesures effectuées pendant la transition d'état aide à conserver et à maîtriser ces corrélations à long terme.

Suite à la page 10

▼ Tim Hsieh





Roger Melko

Suite de la page 9

Il qualifie les états à faible intrication du circuit quantique d'« états quantiques protégés par les mesures ». Ceux-ci appartiennent à une catégorie d'états appelés *états dynamiques* ou *états de non-équilibre*. Alors que la plupart des états décrivent la structure de la matière, les états dynamiques décrivent son comportement. Par exemple, lorsque l'on décrit une horloge, le plus important n'est pas la longueur des aiguilles ou la disposition des chiffres (la *structure*), mais le fait que les aiguilles bougent à une vitesse donnée (le *comportement*).

Les états dynamiques sont importants, mais ils posent des difficultés aux physiciens. « Au cours de la dernière décennie, dit M. Hsieh, nous sommes arrivés à comprendre assez bien les états d'équilibre. Mais les états dynamiques ne sont pas en équilibre – c'est la jungle, un territoire sans loi. »

La structuration des mesures dans la transition d'état donne à Tim Hsieh un nouvel outil pour explorer la jungle des états de non-équilibre. Cette nouvelle avenue suscite l'intérêt de chercheurs du monde entier dans le domaine de la matière quantique.

On peut faire un parallèle historique. L'une des premières choses que fit Galilée lorsqu'il perfectionna le télescope fut d'en faire la démonstration aux dirigeants de Venise, qui s'en servirent comme d'une longue-vue pour procurer à leur État de navigateurs un avantage tactique. Par contre, Galilée lui-même tourna son télescope vers le haut, ce qui transforma complètement notre conception du ciel.

Les ordinateurs quantiques pourraient jouer un rôle semblable. Les avantages tactiques de calculs plus rapides et plus puissants qu'ils pourraient procurer sont énormes et pointent à l'horizon. Mais on perçoit maintenant la nouvelle conception qu'ils nous donnent du monde quantique.

Références :

SANG, S. (Institut Périmètre), et T. HSIEH (Institut Périmètre). « Measurement protected quantum phases », *Physical Review Research*, vol. 3, 2021, article n° 023300, arxiv:2004.09509.

CZISCHEK, S. (U. de Waterloo), G. TORLAI (Centre AWS), S. RAY (1QBit), R. ISLAM (IQC) et R. MELKO (Institut Périmètre et U. de Waterloo). « Simulating a measurement-induced phase transition for trapped-ion circuits », *Physical Review A*, vol. 104, 2021, article n° 062405, arXiv:2106.03769.



Professeur  
**CHONG WANG**

Jusqu'à quel point la matière quantique pourrait-elle être étrange? Pour répondre à cette question, Chong Wang, professeur à l'Institut Périmètre, étudie la matière « ultraquantique », cas spécial de matière condensée où les particules qui composent une substance sont corrélées entre elles par intrication quantique.

M. Wang, qui a fait son doctorat au MIT, puis un postdoctorat à Harvard, élabore actuellement des outils théoriques pour étudier un phénomène appelé *criticité quantique*. Cela se produit lorsque des fluctuations quantiques font en sorte que différents états de la matière sont en concurrence les uns avec les autres. « En quelque sorte, dit M. Wang, le système ne sait pas vers quel état se tourner et a des comportements qui fluctuent entre tous les états en concurrence. »

Comprendre les conditions de *criticité quantique* entre différents états pourrait jouer un rôle-clé dans la découverte d'autres matériaux quantiques de pointe, notamment des supraconducteurs à haute température, qui pourraient s'avérer cruciaux pour des technologies de la prochaine génération telles que le transfert d'énergie sans perte.

« Très souvent, la physique de la matière condensée concerne l'émergence de la beauté, dit M. Wang. Un théoricien vise 2 objectifs : élaborer une théorie dont la structure est la plus belle possible; expliquer l'expérience la plus déconcertante qui soit. Souvent, ces 2 objectifs sont parallèles, mais il arrive parfois qu'ils se rejoignent. C'est alors que se produit quelque chose de fantastique. »



▲ Estelle Inack

## LES RÉSEAUX NEURONAUX ATTEIGNENT DE NOUVEAUX SOMMETS D'OPTIMISATION

« Imaginez que vous roulez en voiture dans l'Himalaya, dit Estelle Inack, et qu'on vous demande de trouver la vallée la plus basse en altitude. Comment feriez-vous? »

La recherche de la vallée la plus basse en altitude parmi de nombreuses vallées – recherche de la meilleure parmi plusieurs solutions – est un problème d'optimisation. Les problèmes d'optimisation sont omniprésents dans des domaines allant des produits pharmaceutiques à la finance.

M<sup>me</sup> Inack est récipiendaire de la bourse postdoctorale Francis-Kofi-Allotey à l'Institut Périmètre. Ses récents travaux portent sur une méthode de résolution des problèmes d'optimisation, appelée *recuit*, qui exprime le problème du parcours de l'Himalaya dans le langage de la physique. Les physiciens ont établi des cadres d'expression et de résolution de ce problème. « Si vous pouvez formuler le problème sous forme d'un hamiltonien, explique M<sup>me</sup> Inack, l'optimisation revient à trouver l'état fondamental. Les physiciens sont très habiles à cela. »

M<sup>me</sup> Inack reprend la comparaison de l'Himalaya : « On essaie de trouver la vallée la plus basse en altitude en conduisant une voiture. » Parfois il y a un hic. « On peut être au fond d'une vallée et que la prochaine montagne soit impossible à franchir », poursuit-elle. On peut donc trouver une basse vallée, mais rater une vallée encore plus basse. C'est une bonne solution, mais elle n'est pas optimale.

« Dans un second temps, on dispose de superpouvoirs. On peut passer à travers les montagnes. » Au cœur de la simulation, ces superpouvoirs prennent la forme de l'effet tunnel quantique. Cette méthode s'appelle le *recuit quantique*.

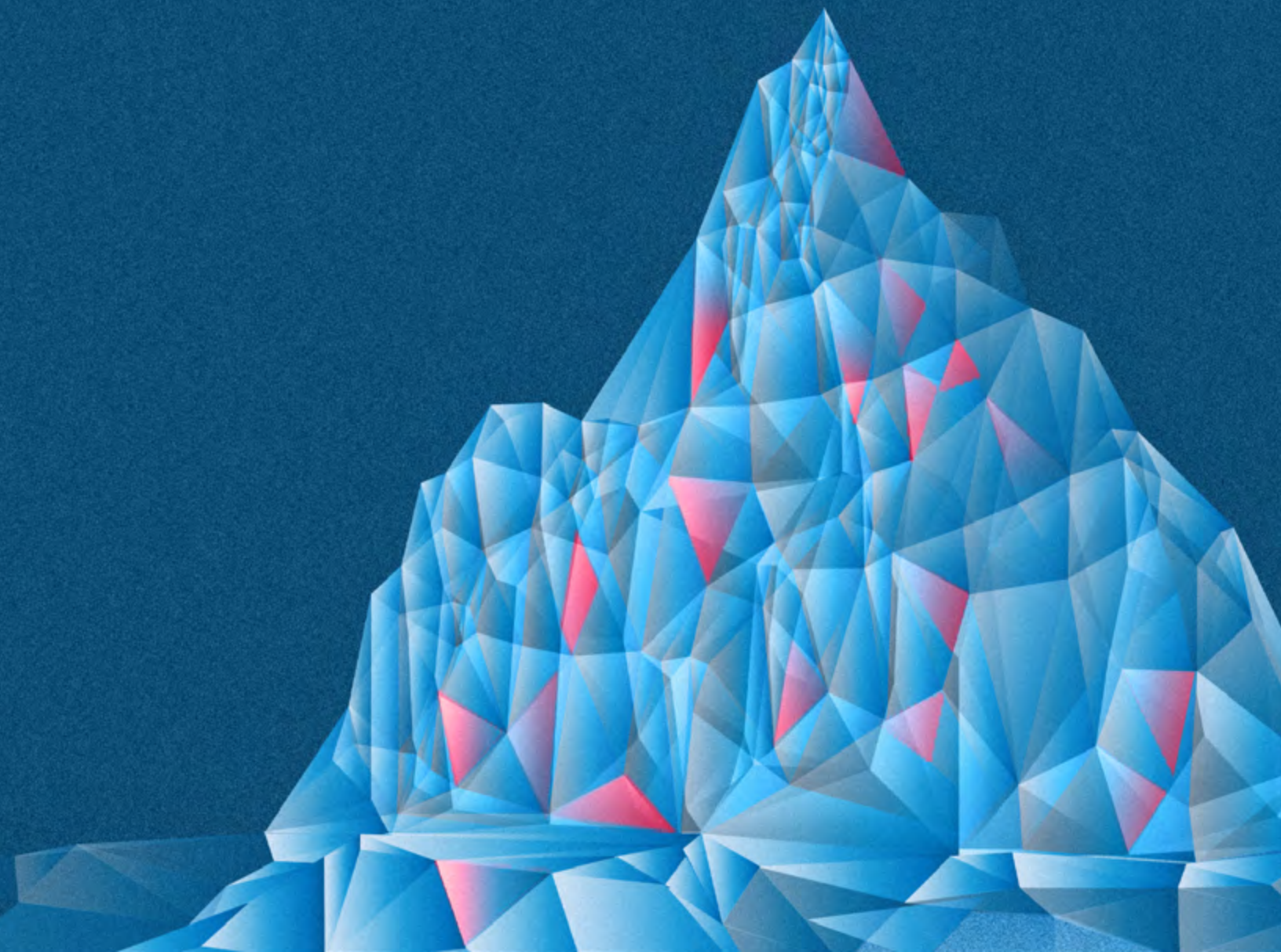
La technique du recuit simulé est bien établie, mais M<sup>me</sup> Inack et d'autres chercheurs du Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Périmètre y ont ajouté une amélioration. Ils ont trouvé un moyen de la mettre en œuvre en utilisant un réseau neuronal artificiel, ce qui la rend plus rapide et plus puissante.

Cette technique est si puissante et si prometteuse qu'Estelle Inack a entrepris de la commercialiser : elle a cofondé une entreprise du nom de yiyaniQ. « Ce nom vient de ma langue locale, le basa'a », explique M<sup>me</sup> Inack, qui est originaire du Cameroun. « *Yi* signifie intelligence, et *yaani* veut dire demain. La lettre Q vient de quantique, bien sûr. »

Le projet initial pour yiyaniQ est d'utiliser cette intelligence quantique pour accélérer l'établissement du prix de produits dérivés – un des problèmes les plus difficiles en finance –, mais les applications pourraient être aussi nombreuses que les montagnes de l'Himalaya.

### Référence :

HIBAT-ALLAH, M. (U. de Waterloo et Institut Vecteur), E.M. INACK (Institut Périmètre), R. WIERSEMA (U. de Waterloo et Institut Vecteur), R.G. MELKO (Institut Périmètre et U. de Waterloo) et J. CARRASQUILLA (U. de Waterloo et Institut Vecteur). « Variational neural annealing », *Nature Machine Intelligence*, vol. 3, 2021, p. 952-961, arXiv:2101.10154.



## . . . À LA SCIENCE DE POINTE . . .

Des promesses de l'informatique quantique aux mystères de la matière sombre, en passant par l'énorme défi de la gravitation quantique, les chercheurs de l'Institut Périmètre s'attaquent à des problèmes difficiles à l'aide de méthodes innovatrices.

## PROGRÈS MESURABLES D'ORDINATEURS HYBRIDES QUANTIQUES-CLASSIQUES

Comme théoricienne qui aime passer du tableau blanc à des expériences concrètes, Christine Muschik, professeure associée à l'Institut Périmètre, profite de toutes les occasions de faire progresser à la fois la science et la technologie. Cette année, elle a fait partie d'une équipe qui a présenté une nouvelle méthode d'hybridation d'ordinateurs classiques et quantiques.

En réunissant un processeur classique et un processeur quantique dans une boucle de rétroaction, il est possible de résoudre de difficiles problèmes d'optimisation avec un formidable potentiel d'applications concrètes.

« Cela nous rapproche de ce dont rêvent les chercheurs, dit M<sup>me</sup> Muschik : créer de nouveaux médicaments, découvrir des matériaux plus légers et plus résistants pour l'aviation, améliorer le captage du carbone atmosphérique. »

M<sup>me</sup> Muschik et ses collaborateurs proposent de perfectionner le traitement de l'information en utilisant d'une manière inédite une propriété exclusivement quantique appelée *intrication*.

L'intrication est essentielle en informatique quantique, mais l'équipe a trouvé une nouvelle méthode de mesure séquentielle d'états intriqués qui rend l'informatique hybride quantique-classique plus puissante et plus robuste, et qui présente des avantages importants par rapport aux méthodes actuelles.

Depuis qu'elle a obtenu son doctorat en 2010, M<sup>me</sup> Muschik a assisté – et contribué – à une transformation accélérée des technologies quantiques. La technologie quantique est encore jeune et à un stade en partie expérimental, mais elle est récemment devenue beaucoup plus accessible, imposant moins

de contraintes à la curiosité et aux idées de physiciens comme M<sup>me</sup> Muschik.

Les systèmes informatiques hybrides que cette scientifique développe permettent de nouvelles méthodes et des progrès dans des domaines comme la cosmologie et la physique des particules. Dans le domaine même de M<sup>me</sup> Muschik, le calcul hybride pourrait aider à relever un défi central qui déconcerte les physiciens théoriciens depuis des décennies : comprendre l'émergence de la physique classique dans un monde quantique.

L'informatique quantique a également fait le saut du milieu universitaire vers le secteur privé, alors que des géants établis de la technologie et de jeunes entreprises investissent d'énormes ressources pour atteindre la « suprématie quantique », c'est-à-dire le point où un ordinateur quantique arrive à résoudre un problème utile ou intéressant qui soit impossible à résoudre avec un ordinateur classique.

Christine Muschik travaille dans les deux univers, faisant progresser les connaissances fondamentales et propulsant ces nouvelles idées pour changer le monde.

« Nous jouons un double rôle, dit-elle. Non seulement nous simulons la physique maintenant, mais nous élaborons des méthodes pour la mise au point d'ordinateurs quantiques à venir. C'est ainsi que l'on ouvre la voie au développement de la physique pour les générations futures. »

### Référence :

FERGUSON, R.R. (U. de Waterloo), L. DELLANTONIO (U. de Waterloo), A. AL BALUSHI (U. de Waterloo), K. JANSEN (NIC, DESY), W. DÜR (ITP) et C.A. MUSCHIK (Institut Périmètre et IQC). « Measurement-based variational quantum eigensolver », *Physical Review Letters*, vol. 126, 2021, article n° 220501, arXiv:2010.13940.

▼ Christine Muschik



## LA VOIE ENNEIGÉE VERS UNE PERCÉE CONCERNANT LES MOUSSES DE SPIN

Au niveau fondamental, l'univers est granulaire, pixélisé, c'est-à-dire formé de petits paquets qu'il est impossible de subdiviser. C'est le message central de la physique quantique. D'autre part, selon la théorie de la gravitation, l'espace-temps est lisse : on le compare souvent à un feuillet de caoutchouc, et il n'est pas pixélisé. Par conséquent, la physique quantique et la théorie de la gravitation ne vont pas bien ensemble.

L'unification de la physique quantique et de la théorie de la gravitation est l'un des plus grands défis de la science moderne, et les physiciens cherchent depuis près d'un siècle un cadre unificateur. La gravitation quantique à boucles (GQB) constitue un cadre parmi plusieurs proposés. Elle construit un espace-temps quantique un quantum à la fois, en tentant de définir à quoi la plus petite unité possible d'espace-temps pourrait ressembler.

De nombreux chercheurs sur la GQB s'intéressent à une structure appelée *mousse de spin*. Dans une mousse de spin, les morceaux d'espace-temps, décrits en partie par un nombre quantique appelé *spin*, s'agglutinent comme des bulles de savon.

Les chercheurs espèrent que s'ils peuvent construire une mousse de spin assez grande, ils arriveront à une description quantique de l'espace-temps – c'est-à-dire quelque chose qui semble moussueux à l'échelle du quantum, mais lisse comme un feuillet de caoutchouc à une échelle assez grande. Pour vérifier s'ils sont sur la bonne voie, les chercheurs aimeraient simuler un gros morceau de mousse de spin.

L'ennui, c'est que les mousses de spin sont difficiles à simuler.

À l'intérieur d'une mousse de spin, chaque morceau d'espace-temps est décrit mathématiquement par ce que l'on appelle une *fonction d'onde*. Mais avant de pouvoir simuler ne serait-ce qu'un seul morceau d'espace-temps, il faut résoudre sa fonction d'onde, ce que les scientifiques appellent « calculer les amplitudes ». Calculer l'amplitude d'un seul morceau d'espace-temps est difficile mais faisable. Par contre, si l'on commence à assembler plusieurs morceaux pour construire un espace-temps, le problème des amplitudes se complexifie rapidement et dépasse les capacités des ordinateurs les plus puissants.

La GQB restait donc bloquée par le problème des amplitudes, jusqu'à ce que Bianca Dittrich, professeure à l'Institut Périmètre, réalise une percée.

Un jour, elle est littéralement passée à travers une couche de glace et s'est trouvée prise dans une crevasse. Elle se promenait sur les rivages du lac Huron, à l'occasion de ce qu'elle appelle « un camp d'hiver pour chercheurs en gravitation quantique ».

Heureusement, elle n'était pas seule et n'est pas restée longtemps prise dans la glace. Qui plus est, elle était à la veille de faire un autre genre de percée.

Il y avait également à ce camp Seth Asante, doctorant à l'Institut Périmètre, qui a depuis obtenu son doctorat et est maintenant

▼ Bianca Dittrich





récipiendaire de la bourse postdoctorale des instituts Fields, AIMS et Périmètre. Les 2 chercheurs se sont rendu compte que l'on pourrait utiliser un langage mathématique appelé *théorie de jauge d'ordre élevé* pour reformuler la description des morceaux d'espace-temps de telle sorte que les idées physiques demeurent les mêmes, mais que leur formulation mathématique soit plus simple. C'est un peu (en beaucoup plus compliqué) comme réécrire la célèbre loi de Newton « force = masse × accélération » sous la forme « force = changement dans la quantité de mouvement ».

Au bout d'un an, les chercheurs ont abouti à un nouveau modèle de mousses de spin qui présentait 2 grands avantages. Premièrement, les amplitudes n'avaient pas besoin d'être calculées – elles émergeaient naturellement de la description. Deuxièmement, la dynamique était formulée de manière beaucoup plus transparente dans le modèle. Dans le cas de la reformulation des lois de Newton en fonction de la quantité de mouvement plutôt que de la masse, la quantité de mouvement n'a pas besoin d'être calculée, et les transferts de quantité de mouvement sont beaucoup plus faciles à étudier.

Sur le plan de la facilité de simulation, le modèle de l'équipe a connu un succès remarquable. « Les simulations précédentes de

mousses de spin exigeaient des ordinateurs de grande puissance, dit M<sup>me</sup> Dittrich. Nous avons réussi à simuler en quelques minutes des morceaux un peu plus gros d'espace-temps avec nos ordinateurs portables. »

Les simulations sont non seulement possibles, mais aussi prometteuses. Par exemple, elles montrent que les mousses de spin peuvent produire des ondes gravitationnelles. On a donc pour la première fois réussi à démontrer que la GQB reproduit la dynamique prédite par la relativité générale.

La simulation, qui bloquait autrefois les mousses de spin, est devenue un jalon en la matière. Avec ce nouveau cadre, des modèles de gravitation quantique pourraient pour la première fois devenir calculables.

#### Références :

ASANTE, S.K. (Institut Périmètre), B. DITTRICH (Institut Périmètre) et J. PADUA ARGÜELLES (Institut Périmètre). « Effective spin foam models for Lorentzian quantum gravity », *Classical and Quantum Gravity*, vol. 38, 2021, article n° 195002, arXiv:2104.00485.

ASANTE, S.K. (Institut Périmètre), B. DITTRICH (Institut Périmètre) et H.M. HAGGARD (Collège Bard). « Effective spin foam models for four-dimensional quantum gravity », *Physical Review Letters*, vol. 125, 2020, article n° 231301, arXiv:2004.07013.



POSTDOCTORANTE  
**CRISTINA MONDINO**

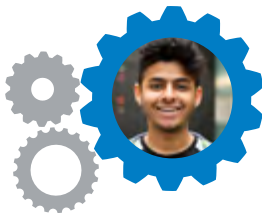
Originaire de l'Italie, titulaire d'un doctorat du Centre de cosmologie et de physique des particules de l'Université de New York, Cristina Mondino est arrivée à l'Institut Périmètre en 2020 et est récipiendaire de la bourse postdoctorale Chien-Shiung-Wu.

Les recherches qu'elle mène avec des collaborateurs sur la sous-structure de la matière sombre s'attaquent à une question ouverte : comment la matière sombre se comporte-t-elle à des échelles inférieures à la taille des plus petites galaxies, où ses effets n'ont pas encore été directement mesurés? Ces travaux viennent d'être publiés dans *Physical Review Letters*.

« Nos analyses n'ont pas permis de trouver des signes de structures de matière sombre dans les données actuelles, dit M<sup>me</sup> Mondino, mais elles ont ouvert la voie à un nouveau type de recherche de matière sombre ayant des perspectives prometteuses de détection dans un proche avenir.

« Mon objectif est maintenant de développer les outils que nous avons utilisés, afin d'extraire plus d'information des données actuelles et futures. En travaillant à l'Institut Périmètre, j'ai la liberté de poursuivre mes propres recherches, tout en élargissant mes intérêts et en m'instruisant auprès d'experts de calibre mondial. »

## VEILLER À CE QUE ÇA FONCTIONNE



*« J'aime vraiment travailler ici. Enfant et adolescent, je ne pensais pas pouvoir aider des scientifiques à faire leurs recherches. Je vois ici tous ces scientifiques de premier plan, et je suis fier de les soutenir. »*

Fraîchement diplômé du Collège Conestoga, Ishan Jani s'est joint à l'Institut Périmètre il y a 2 ans. À titre de spécialiste de la technologie au sein du département des TI, il apporte son soutien aux chercheurs, au personnel administratif et aux étudiants. Pendant toute la pandémie, Ishan Jani et ses collègues des TI ont fait en sorte que toutes les activités de recherche, de formation, de diffusion des connaissances et de développement puissent se poursuivre facilement et en toute sécurité.



## . . . ET AU COSMOS

Production d'images de trous noirs, déchiffrement de sursauts radio rapides (SRR), exploitation d'ondes gravitationnelles, étude du Big Bang, cartographie de la matière sombre et de l'énergie sombre, jamais ce ne fut plus excitant de faire de la recherche en astrophysique et en cosmologie. Les scientifiques de l'Institut Périmètre formulent de nouvelles théories et dépouillent des données d'expériences de pointe, afin de percer les secrets du fonctionnement de notre univers.

Lancé il y a 4 ans, le **Centre de recherches de l'Institut Périmètre sur l'univers** a été rendu possible grâce à un généreux don d'un philanthrope anonyme. Ce centre réunit d'éminents chefs de file à l'échelle internationale et de jeunes étoiles montantes, qui collaborent à l'élaboration de théories, à la conception d'expériences et à l'analyse de nouvelles observations.

## UNE RAMPE DE LANCEMENT VERS LE SUCCÈS

Depuis qu'Einstein avait prédit en 1916 l'existence des trous noirs, des générations d'astronomes voulaient les trouver et les comprendre. Ils étudiaient des lueurs de preuves indirectes, mais ils rêvaient de télescopes suffisamment puissants pour que l'on puisse voir directement des trous noirs. Au bout d'un siècle de progrès constants, le télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – *Télescope Horizon des événements*) a enfin transformé ce rêve en réalité en 2019.

Ce fut l'un des événements les plus extraordinaires de l'histoire de la science : on estime que plus de 4 milliards de personnes ont vu l'image du trou noir situé au cœur de la galaxie M87. Des scientifiques du Centre de recherches sur l'univers, dont le professeur associé Avery Broderick, titulaire de la chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler, ont résolu des problèmes majeurs d'analyse de données, jouant ainsi un rôle crucial dans ce succès; autrement dit, ils ont contribué à écrire l'Histoire.

Maintenant que la réalité des trous noirs est bien établie, et qu'on peut les étudier avec de puissants instruments comme le télescope EHT et le LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* – *Observatoire d'ondes gravitationnelles par interférométrie laser*), les scientifiques du Centre de recherches sur l'univers proposent des manières ingénieuses de tirer parti de ces milieux extrêmes.

La professeure Asimina Arvanitaki, titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque, propose que les trous noirs puissent servir de détecteurs de particules pour trouver des « axions ». Ces particules ultralégères sont les dernières du modèle standard de la physique des particules à ne pas avoir été détectées. Les physiciens les recherchent depuis plus de 50 ans, mais – s'ils existent – les axions pourraient interagir avec nous très faiblement ou seulement par le truchement de la force de gravité, de sorte que les détecteurs terrestres sont insuffisants. Étant donné la gravité extrême des trous noirs, M<sup>me</sup> Arvanitaki a proposé de combiner des observatoires d'ondes gravitationnelles et la « superradiance » des trous noirs pour détecter l'axion.

Des scientifiques du Centre de recherches sur l'univers ont également montré que les trous noirs peuvent servir de laboratoires naturels pour étudier la nature même de la gravité. En acquérant une solide connaissance des signaux d'ondes gravitationnelles émis par les trous noirs qui entrent en collision, des professeurs de l'Institut Périmètre – dont William East et Luis Lehner – élaborent de nouvelles manières de mettre à l'épreuve la relativité générale et d'autres théories de la gravitation.

D'autre part, le télescope canadien CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – *Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène*) a également permis des découvertes révolutionnaires. Des scientifiques du Centre de recherches sur l'univers – dont le professeur Kendrick Smith, actuel directeur du Centre et titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles – ont créé de nouveaux algorithmes pour chercher dans les données de CHIME des sursauts radio rapides (SRR), explosions cosmiques récemment découvertes et dont l'origine est un mystère. Ces algorithmes ont été si efficaces que CHIME a trouvé 20 fois plus de SRR que tous les autres télescopes du monde réunis – ce qui a propulsé le Canada à l'avant-garde mondiale de la radioastronomie. L'abondance de données entraîne un déluge de nouvelles idées sur l'origine des SRR.

En peu de temps, le Centre de recherches sur l'univers est devenu une communauté dynamique de physiciens à tous les stades de leur carrière, des étudiants diplômés aux scientifiques chevronnés. Il est devenu un point focal de collaboration, reliant des universités partenaires de l'Ontario et d'ailleurs. Ses chercheurs collaborent par le truchement de partenariats avec des institutions canadiennes, dont l'Institut canadien d'astrophysique théorique, l'Institut Dunlap de l'Université de Toronto, l'Université de Waterloo, l'Université Queen's, l'Université York et le laboratoire SNOLAB.

De plus, les programmes de formation et de mentorat pour les jeunes chercheurs du Centre ont constitué une rampe de lancement vers le succès : des étudiants formés au Centre ont été recrutés comme chercheurs par des universités d'élite du monde entier, dont Harvard, Cambridge et Princeton.

Mais toutes ces réalisations ne sont que le début de ce que le Centre espère accomplir. En cosmologie, tout grand projet commence par une idée nouvelle et un faible investissement de ressources. D'où les prochaines percées viendront-elles? Quelles idées sont les plus prometteuses? Les scientifiques du Centre de recherches sur l'univers étudient maintenant certaines de ces possibilités, entre autres : la simulation du Big Bang à l'aide d'ordinateurs quantiques; la recherche de nouveaux liens entre les trous noirs et la physique des particules; la conception de nouvelles expériences à partir des succès des télescopes EHT et CHIME.

Les scientifiques du Centre sont au cœur d'une récente explosion de découvertes en astrophysique et en cosmologie.

▼ Kendrick Smith



## DES RAFALES D'IDÉES ISSUES DE CHIME

Le télescope CHIME continue d'accélérer le progrès en vue de connaître l'origine d'un phénomène mystérieux appelé *sursauts radio rapides* (SRR).

Les SRR sont des impulsions d'ondes radio qui ont une énergie immense et ne durent que quelques microsecondes, moins qu'un clin d'œil. Après une première détection en 2007, seulement quelques dizaines de SRR ont été détectés dans la décennie qui a suivi – c'est-à-dire jusqu'à la mise en marche de CHIME en 2018. Situé près de Penticton, en Colombie-Britannique, ce télescope a trouvé 13 SRR pendant le premier mois de sa phase de rodage, alors qu'il ne fonctionnait qu'à une fraction de sa capacité. Ce fut suffisant pour qu'il fasse la couverture de la revue *Nature*, l'une des revues scientifiques les plus prestigieuses.

« Les SRR constituent un problème central non résolu du XXI<sup>e</sup> siècle », dit Kendrick Smith, chercheur au sein de l'équipe de CHIME et professeur à l'Institut Périmètre, où il est titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peeble. « Ils sont au moins mille fois plus puissants que les impulsions radio les plus puissantes que nous ayons jamais observées dans notre galaxie, et nous ne comprenons pas les phénomènes physiques qui les produisent. »

Ces dernières années, CHIME est devenu un as de la détection de SRR, les découvertes se succédant à une vitesse vertigineuse qui ne semble pas vouloir diminuer. En juin 2020, l'équipe a annoncé la détection d'un SRR qui se répète tous les 16,3 jours. Et en novembre 2020, elle a rapporté la détection du premier SRR au sein de notre propre galaxie, la Voie lactée. Ce SRR était 3 000 fois plus puissant que tout autre SRR mesuré auparavant. Il semblait provenir d'un type d'étoile à neutrons appelé *magnétar*.

En juin 2021, l'équipe de CHIME a publié le premier catalogue de SRR, qui contient des données sur 535 SRR détectés par le télescope. En plus d'augmenter considérablement la liste des SRR connus, ce catalogue donne aussi des indices quant à leurs propriétés.

« L'un des aspects remarquables de l'étude CHIME-SRR réside dans l'observation du ciel 24 heures par jour et 7 jours par semaine, de sorte que nous balayons le ciel de manière uniforme », déclare Dustin Lang, informaticien à l'Institut Périmètre et membre de l'équipe de CHIME. « L'observation selon des modalités uniformes d'un grand nombre de SRR peut nous aider à mieux comprendre l'ensemble des SRR à partir de la fraction

représentée par ceux que nous détectons, ce qui est crucial pour en connaître l'origine. »

Les SRR sont répartis uniformément dans l'espace, semblant provenir de toutes les parties du ciel, et se subdivisent en 2 catégories, selon qu'ils se répètent ou non. Les observations laissent entendre que les répéteurs et les SRR uniques découlent de mécanismes et sources astrophysiques distincts.

**« CHIME est de loin le télescope le plus puissant au monde pour la détection de SRR. Il a fait du Canada un chef de file mondial dans ce domaine. »**

– Kendrick Smith

Même sans une détermination concluante de leur origine, les SRR se révèlent être davantage qu'une curiosité. Les chercheurs de CHIME ont aussi élaboré un plan pour utiliser les SRR afin de cartographier la répartition des gaz dans l'espace et mieux comprendre la structure à grande échelle de l'univers.

« Dans le cas des sursauts radio rapides, dit M. Smith, nous avons accompli tout ce que nous avons annoncé, et davantage. CHIME est de loin le télescope le plus puissant au monde pour la détection de SRR. Il a fait du Canada un chef de file mondial dans ce domaine. »

L'équipe travaille actuellement sur un ambitieux projet appelé CHORD (*Canadian Hydrogen Observatory and Radio-transient Detector* – Observatoire canadien de l'hydrogène et détecteur de signaux radio transitoires). Lancée dans la foulée de CHIME, cette initiative pancanadienne comprend des collaborateurs de l'Institut Périmètre, de l'Observatoire fédéral de radioastronomie, de l'Université de Toronto, de l'Université McGill, de l'Université de Calgary, du Centre de recherche Herzberg du CNRC, ainsi que d'autres institutions. Des entreprises privées canadiennes spécialisées en génie, communications sans fil, traitement de signaux numériques et informatique de haute performance collaborent aussi au projet CHORD.

S'appuyant directement sur les succès de CHIME, le télescope CHORD offrira des capacités d'observation sans précédent. Il sera formé d'un réseau central de 512 soucoupes de grande précision, d'un diamètre de 6 mètres, situées près du télescope CHIME en Colombie-Britannique, et de 2 stations auxiliaires, dont une à l'Observatoire Algonquin de radioastronomie, en Ontario. On prévoit que CHORD sera environ 10 fois plus puissant que CHIME.

« Qui sait ce que nous allons trouver? dit Kendrick Smith. Lorsque l'on ouvre cet immense espace de découverte, il y a de la place pour beaucoup de surprises. Il s'agit davantage d'explorer un nouveau monde que de suivre une carte routière tracée à l'avance. »

Références :

ÉQUIPE SRR DU TÉLESCOPE CHIME. « Periodic activity from a fast radio burst source », *Nature*, vol. 582, 2020, p. 351-355, arXiv:2001.10275.

ÉQUIPE SRR DU TÉLESCOPE CHIME. « A bright millisecond-duration radio burst from a Galactic magnetar », *Nature*, vol. 587, 2020, p. 54-58, arXiv:2005.10324.

◀ Kendrick Smith et son équipe devant le télescope CHIME



## NOUVELLES IMAGES ET NOUVEAUX OUTILS DU TÉLESCOPE EHT

Le consortium du télescope EHT a écrit l'Histoire en 2019 lorsqu'il a dévoilé le premier coup d'œil de l'humanité sur un trou noir. Mais plutôt que la fin, cette image emblématique ne constituait que le début du nouvel héritage du télescope EHT.

Pendant qu'il peaufinait le développement du télescope EHT, Avery Broderick – professeur associé à l'Institut Périclète et titulaire de la chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler – a mis au point un nouvel outil pour la radioastronomie. M. Broderick et son collaborateur Dominic Pesce – postdoctorant au Centre d'astrophysique de l'Observatoire de l'Université Harvard et à l'Observatoire d'astrophysique Smithsonian – voulaient s'assurer de tirer le maximum des énormes quantités de données recueillies par le télescope EHT.

« Le télescope EHT est un instrument de pointe, dit M. Broderick. Il produit des données d'une qualité sans précédent, d'une résolution beaucoup plus grande et donnant accès à des phénomènes physiques que l'on n'aurait jamais pu détecter auparavant. Mais nous faisons face à toutes sortes de difficultés que l'on ne trouve pas dans d'autres ensembles de données. »

Une difficulté majeure vient du fait que chaque télescope capte la lumière d'une manière qui lui est propre. L'incertitude sur la mesure globale est affectée par les erreurs et incertitudes liées à chaque installation. Le problème est particulièrement sérieux pour une propriété de la lumière appelée *polarisation*, qui donne l'orientation des ondes électromagnétiques par rapport à leur trajectoire dans l'espace.

Pour résoudre ce problème, M. Broderick et Pesce ont exploité le fait que les erreurs liées à une station produisent des corrélations faciles à décrire dans l'ensemble d'un jeu de données. Grâce à des idées mathématiques astucieuses et élégantes, ils

ont inventé une méthode de combinaison des observations qui permet de contourner complètement les erreurs.

La nouvelle grandeur observable, appelée *clôture de tracé*, n'exige pas plus d'équipement d'observation, mais les gains en puissance d'observation sont énormes. Le résultat est une nouvelle technique performante, la première de ce calibre en plus de 60 ans.

Muni de ces nouveaux outils, le consortium du télescope EHT s'est lancé dans un projet ambitieux : produire une image du trou noir M87\* en lumière polarisée, qui dépend fortement de la présence de champs magnétiques. Cela permet aux chercheurs d'accéder à de l'information auparavant dissimulée.

Le 24 mars 2021, le consortium a révélé le nouveau portrait du trou noir M87\*. Le résultat est une image spectaculaire montrant nettement un tourbillon de lumière autour de l'horizon des événements.

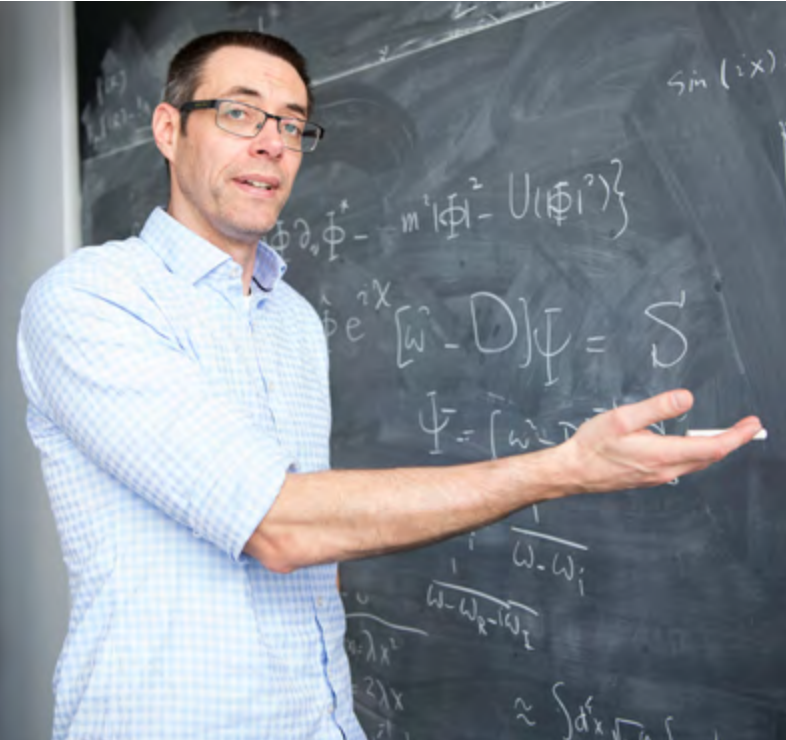
L'étude des champs magnétiques par le truchement de la lumière polarisée a un potentiel énorme pour élucider les mystères des trous noirs. Par exemple, les chercheurs croient que ces champs magnétiques jouent un rôle crucial dans les jets énergétiques qui émergent du cœur de la galaxie M87, émettent chaque seconde plus d'énergie que 2 milliards de soleils et s'étendent sur des milliers d'années-lumière.

### Références :

CONSORTIUM DU TÉLESCOPE EHT. « First M87 Event Horizon Telescope results. VII. Polarization of the ring », *Astrophysical Journal Letters*, vol. 910, 2021, article n° L12, arXiv:2105.01169.

BRODERICK, A.E. (Institut Périclète et U. de Waterloo), et D.W. PESCE (Centre d'astrophysique), « Closure traces: Novel calibration-insensitive quantities for radio astronomy », *Astrophysical Journal Letters*, vol. 904, 2020, article n° 126, arXiv:2010.00612.

## UN PROGRAMME DE 5 ANS POUR CARTOGRAPHIER L'UNIVERS



▲ Will Percival

Il y a un motif imprimé sur le tissu de l'espace-temps.

Des parcelles de masse dense et moins dense se sont figées sur place dans l'univers primitif, au moment où électrons et protons s'unissaient pour former des atomes neutres d'hydrogène et où la lumière commençait à se déplacer librement. Dans les milliards d'années qui ont suivi, ce qui était une ondulation dans le gaz primordial est devenu une subtile différence statistique dans la distribution des galaxies.

En 2020, un nouvel instrument appelé DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument* – Spectroscopie de l'énergie sombre) a commencé un relevé de millions de galaxies afin de cartographier ce motif.

« Tous les éléments de la conception de DESI visent à effectuer rapidement un grand nombre de mesures », dit Dustin Lang, informaticien à l'Institut Péricètre, qui a réalisé une grande partie des intenses travaux de développement de logiciels et de collecte de données nécessaires pour rendre possibles les observations de DESI. « Nous produisons d'énormes quantités de données galactiques. »

« Nous visons l'observation de quelque 30 millions de galaxies », déclare Will Percival, professeur associé à l'Institut Péricètre et l'un des fondateurs du projet DESI.

DESI passera 5 ans à créer une nouvelle carte 3D de l'univers, observant comment le motif imprimé sur le tissu de l'espace-temps s'est étiré avec l'expansion de l'univers. Son but ultime est de nous renseigner sur le mystérieux accélérateur de cette expansion : l'énergie sombre.

## UN NOUVEAU LIEN

Un nouveau lien avec 3 observatoires d'ondes gravitationnelles – et avec un consortium formé de milliers de chercheurs du monde entier – pourrait permettre au professeur Luis Lehner et à d'autres chercheurs de l'Institut Péricètre de découvrir du nouveau à propos de notre univers.

Luis Lehner, le professeur Will East, les postdoctorants Reed Essik et Suvodip Mukherjee, ainsi que 8 étudiants, se joignent au consortium scientifique LIGO-VIRGO-Kagra, et les professeurs associés Daniel Siegel et Huan Yang s'y ajouteront bientôt. Le consortium réunit 3 observatoires d'ondes gravitationnelles – LIGO, qui possède 2 sites aux États-Unis; le détecteur VIRGO, situé près de Pise, en Italie; le détecteur Kagra, situé à Kamioka, au Japon – et plus de 1 500 scientifiques du monde entier. C'est l'exemple le plus récent des partenariats étroits entre théoriciens de l'Institut Péricètre et chercheurs de centres d'observation et d'expérimentation situés au Canada et à l'étranger.

« En participant au consortium LIGO-VIRGO-Kagra, dit M. Lehner, les chercheurs de l'Institut Péricètre pourront accéder aux données et les analyser à mesure qu'elles seront obtenues, et élaborer de nouvelles idées pour étudier des éléments fondamentaux concernant notre univers. Mentionnons entre autres la nature de la gravité dans les trous noirs et à l'échelle cosmologique, la physique des particules et certains des phénomènes astrophysiques qui dégagent le plus d'énergie. »

L'équipe de l'Institut Péricètre et ses collaborateurs entreprennent la première étape d'un programme d'étude des trous noirs non classiques et de leurs conséquences potentielles sur les observations d'ondes gravitationnelles. Les données d'ondes gravitationnelles fourniront aussi un nouveau point de vue pour la mise à l'épreuve de modèles cosmologiques et de la matière sombre.

## VEILLER À CE QUE ÇA FONCTIONNE



*« La physique est l'un de nos meilleurs outils pour comprendre notre univers énigmatique et formidable. C'est un plaisir de pouvoir partager ce sentiment d'émerveillement et de contribuer à rendre la science accessible à tous. »*

Stephanie Keating a obtenu un doctorat en astronomie et astrophysique à l'Université de Toronto. Elle s'est jointe à l'Institut Péricètre il y a 6 ans, à titre de scientifique au sein de l'équipe de diffusion des connaissances. Comme rédactrice-réviseuse scientifique et responsable des subventions et distinctions, M<sup>me</sup> Keating fait connaître des recherches fascinantes et complexes au moyen d'articles et de contenu partagé dans les médias sociaux, tout en assistant les chercheurs et l'Institut dans leurs propositions et rapports de recherche, demandes de subvention et nominations pour des prix.

## RECONNAISSANCE MONDIALE POUR LE CENTRE DE RECHERCHES SUR L'UNIVERS

Pendant les 4 premières années de fonctionnement du Centre de recherches sur l'univers, ses chercheurs et les équipes avec lesquels ils collaborent ont reçu de nombreux prix et distinctions majeurs.

### 2020-2021

- Équipe du télescope CHIME – Prix Lancelot-Berkeley de la Société américaine d'astronomie
- Équipe du télescope CHIME – Finaliste pour le prix de la percée scientifique 2020 du magazine *Science*
- Consortium du télescope EHT – *Group Achievement Award* (Prix pour une réalisation collective) 2021 en astrophysique de la Société royale d'astronomie du Royaume-Uni

### 2019-2020

- Consortium du télescope EHT – Plusieurs distinctions, dont : le *Breakthrough Prize* (prix du progrès scientifique) 2020; la médaille Einstein de la Société Albert-Einstein; le prix d'aérospatiale Nelson-P.-Jackson du Club et de la Fondation nationale de l'espace; le prix Bruno-Rossi 2020 de la Société américaine d'astronomie; le Prix américain d'ingéniosité en sciences physiques de l'Institution Smithsonian
- Équipe du télescope CHIME – Prix du Gouverneur général pour l'Innovation
- Le professeur Kendrick Smith, titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles – Prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique 2020 de la Fondation *Breakthrough Prize* (prix du progrès scientifique)
- Le professeur associé Huan Yang – Prix d'excellence en recherche pour un professeur adjoint au Collège de génie et de sciences physiques de l'Université de Guelph

### 2018-2019

- Neil Turok, directeur émérite de l'Institut Périclète et titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr – Reçu officier (honoraire) de l'Ordre du Canada; doctorat honorifique de l'Université catholique de Louvain
- Consortium du télescope EHT – Prix d'excellence Diamond de la Fondation nationale des sciences des États-Unis
- Kendrick Smith – Colauréat du prix Giuseppe-et-Vanna-Cocconi de la Division de la physique des hautes énergies et des particules de la Société européenne de physique; nommé membre de l'Institut canadien de recherches avancées

### 2017-2018

- La professeure Asimina Arvanitaki, titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque – Prix international de science Giuseppe-Sciaccà 2017
- Kendrick Smith – Colauréat du *Breakthrough Prize* (Prix du progrès scientifique) 2018 en physique fondamentale, à titre de participant à l'expérience WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* – Sonde d'anisotropie de micro-onde de Wilkinson)
- Neil Turok et le postdoctorant Steffen Gielen – Deuxième prix Buchalter de cosmologie en 2017, remis par la Société américaine d'astronomie

## PRIX, DISTINCTIONS ET SUBVENTIONS MAJEURES

- Le professeur associé **Avery Broderick**, titulaire de la chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler, a fait partie des premiers récipiendaires du Prix d'excellence en recherche scientifique de la Faculté des Sciences de l'Université de Waterloo.
- Un texte du professeur **Laurent Freidel** lui a valu en 2021 le 2<sup>e</sup> prix de la Fondation pour la recherche sur la gravité.
- Le professeur **Tim Hsieh** a reçu du ministère des Collèges et Universités de l'Ontario une bourse de nouveau chercheur, d'une valeur de 140 000 \$ sur 5 ans.
- Le professeur associé **Raymond Laflamme** et le postdoctorant **Michael Vasmer**, en partenariat avec le Collège universitaire de Londres, ont obtenu une subvention

de 850 000 \$ du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et d'Innovate UK pour le développement de technologies quantiques. MM. Laflamme et Vasmer occupent des postes conjoints avec l'Institut d'informatique quantique.

- Le professeur **Luis Lehner** a été nommé membre du conseil consultatif scientifique du Centre Oskar-Klein à Stockholm.

En 2020-2021, certains scientifiques de l'Institut Périclète ont obtenu des prolongations de subvention du CRSNG, ainsi que des subventions et bourses d'autres organismes.

# INCLUSION, DIVERSITÉ, ÉQUITÉ ET ACCESSIBILITÉ

Nous reconnaissons l'existence de déséquilibres dans le monde de la physique théorique en général de même qu'à l'Institut Péricimètre. Nous posons des gestes concrets afin d'accroître l'inclusion, la diversité, l'équité et l'accessibilité (IDEA) au sein de notre communauté, et d'assurer que nos programmes de diffusion des connaissances et de formation soient exempts d'obstacles et accueillants pour les membres de groupes historiquement exclus. Les éléments énumérés ci-dessous ne constituent pas une liste complète : l'Institut Péricimètre s'efforce d'inclure l'IDEA dans tous ses programmes de recherche, de formation et de diffusion des connaissances, et d'autres exemples en sont donnés ailleurs dans ce rapport.

## INITIATIVES DE L'INSTITUT PÉRICIMÈTRE EN 2020-2021

Cette année, l'Institut Péricimètre a poursuivi son partenariat avec Shift Health et a franchi d'autres étapes pour former une communauté plus inclusive, diversifiée, équitable et accessible. Shift Health a entrepris des évaluations internes et externes, avec un sondage auprès de tous les membres résidents de l'Institut, des entrevues approfondies et des comparaisons avec d'autres organismes. Les résultats de ces évaluations ont été communiqués à tous les membres résidents, et leurs conclusions donnent lieu à une stratégie et à un plan de mise en œuvre de l'IDEA. Ces initiatives bénéficient d'un soutien important : 93 % des répondants au sondage appuient l'élaboration d'une stratégie d'IDEA à l'Institut Péricimètre.

Un changement de culture commence par de franches discussions et par la prise en considération de multiples points de vue et expériences. Le Tremplin vers l'inclusion à l'IP, mis sur pied en 2018, est une initiative concrète menée par des bénévoles, constituée de groupes de travail qui veillent à ce que toutes les voix soient entendues. Quelque 25 % de toute la communauté de l'Institut Péricimètre y participent activement, avec 55 membres répartis dans 8 groupes de travail.

Les groupes de travail du Tremplin vers l'inclusion à l'IP ont mis sur pied plus de 40 initiatives et activités en 2020-2021. En voici quelques points saillants.

**Groupe de travail sur l'accessibilité** – Mise à jour du plan pluriannuel de l'Institut Péricimètre sur l'accessibilité; appui à la formation d'un membre du personnel sur les espaces accessibles; amorce du développement d'« outils d'accessibilité » pour les exposés, les conférences, les médias sociaux et les visiteurs.

**Groupe de travail contre le racisme** – Lancement d'un ambitieux programme d'autoéducation; organisation d'un colloque sur l'histoire des peuples autochtones.

### **Groupe de travail sur la communauté et les communications**

– Communication des activités du Tremplin vers l'inclusion à l'IP, au moyen de courriels hebdomadaires et du réseau Intranet de l'Institut; création d'une bibliothèque de ressources sur l'IDEA.

**Groupe de travail sur les personnes LGBTQ2A+** – Organisation de rencontres sociales; organisation d'activités hebdomadaires de la fierté en juin; promotion de liens entre l'Institut Péricimètre et des organismes locaux pour personnes LGBTQ2A+.

**Groupe de travail sur la santé mentale** – Promotion de services internes de thérapie, qui ont effectué 176 consultations au cours des 6 derniers mois de l'année; création de balados sur le bien-être mental; lancement d'un programme d'Alliés.

### **Groupe de travail sur les politiques relatives à la parentalité**

– Élaboration de nouvelles politiques de soutien parental; développement de ressources pour les parents.

**Groupe de travail sur le respect en milieu de travail** – Mise à jour et élaboration de politiques; organisation de plusieurs ateliers très fréquentés, animés par le Centre de la région de Waterloo pour le soutien contre les agressions sexuelles.

**Groupe de travail sur les femmes en physique** – Publication d'articles sur des femmes scientifiques dans le site *Web Dans le périmètre*; organisation d'activités, dont la projection du documentaire *Picture a Scientist* (Imaginez une scientifique) sur les femmes en sciences; sondage auprès des chercheuses à l'Institut Péricimètre.

En partenariat avec des bailleurs de fonds privés et publics, l'Institut Péricimètre a continué d'offrir gratuitement ou à faible coût ses programmes aux élèves du secondaire, aux étudiants de 1<sup>er</sup> cycle universitaire, aux étudiants diplômés et aux enseignants, afin que les conditions socio-économiques ne soient pas un obstacle à l'accès à ces ressources.

## INITIATIVES EMMY-NOETHER

Les programmes de l'Institut Péricimètre en vue d'amener et de retenir davantage de femmes en sciences s'appellent collectivement les initiatives Emmy Noether, du nom de la grande mathématicienne allemande dont les travaux sous-tendent une bonne partie de la physique moderne. Les initiatives Emmy-Noether visent à outiller et à soutenir les femmes et les filles pour qu'elles mènent avec succès une carrière en physique. Ces initiatives vont d'activités pour des élèves du secondaire, telles que les conférences *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques), à des programmes d'études supérieures et de perfectionnement professionnel pour chercheuses. Elles sont financées grâce entre autres à la générosité du Conseil Emmy-Noether et de donateurs du Cercle Emmy-Noether (voir la page 45).





## LE CONSEIL EMMY-NOETHER

Les bénévoles du Conseil Emmy-Noether fournissent expertise, dons et autres appuis à toutes les initiatives Emmy-Noether, contribuant ainsi à amener davantage de femmes vers la physique.

**Sherry Shannon-Vanstone**, présidente  
PDG, Profound Impact

**Anne-Marie Canning**  
Entrepreneure culturelle et philanthrope en matière de participation des femmes

**Nancy Coldham**  
Associée fondatrice, CG Group

**Lisa Lyons Johnston**  
Présidente et éditrice en chef,  
Kids Can Press, Corus Entertainment inc.

## LE PROGRAMME DE BOURSES SIMONS EMMY-NOETHER

Financé par la Fondation Simons, ce programme s'adresse à des femmes en début ou en milieu de carrière, venues du monde entier et exceptionnellement prometteuses. Les boursières passent jusqu'à un an dans le milieu dynamique et amical de l'Institut Péricimètre, où elles peuvent se consacrer entièrement à leurs recherches en étant libérées de leurs tâches d'enseignement et d'administration.

Chaque boursière bénéficie d'un soutien individualisé qui peut comprendre les éléments suivants : frais de déplacement, logement, services de garde d'enfants, aide partielle au déplacement du conjoint ou partenaire, aide au déplacement d'étudiants diplômés ou de postdoctorants, soutien administratif et logistique. De nombreuses boursières Simons-Emmy-Noether reviennent à l'Institut au cours des années suivantes, intensifiant des liens avec l'Institut Péricimètre et la communauté scientifique élargie.

Ce programme a des effets durables sur la suite de la carrière de ces femmes. Voici quelques points saillants en 2020-2021 concernant d'anciennes boursières Simons-Emmy-Noether.

- **Sarah Shandera** (2015-2016) a été récemment nommée directrice de l'Institut pluridisciplinaire de l'Université d'État de Pennsylvanie sur la gravitation et le cosmos. Elle avait également été postdoctorante à l'Institut Péricimètre de 2009 à 2011.
- **Ling-Yan Hung** (2018-2019) a été nommée professeure titulaire au Centre Yau de sciences mathématiques de l'Université Tsinghua (à compter de 2022). Elle avait également été postdoctorante à l'Institut Péricimètre de 2009 à 2012.
- **Christine Muschik** (2018-2019) a émergé comme chercheuse de premier plan. Elle est maintenant professeure associée à l'Institut Péricimètre et responsable de l'initiative QFun de l'Institut. Voir une description de ses recherches à la page 13.
- **Sylvia Paycha** (2019-2020) a contribué à un documentaire intitulé *Words of Women in Mathematics in the Time of Corona* (Paroles de mathématiciennes à l'époque du coronavirus) sur l'expérience de 86 femmes de 37 pays pendant la pandémie.

<sup>2</sup> Tous les séjours reportés auront lieu lorsque les lignes directrices de la santé publique et les restrictions de voyage le permettront.

**Michelle Osry**  
Associée, Deloitte Canada (Vancouver)

**Laura Reinholz**  
Directrice, Expérience en milieu de travail, RGT,  
Groupe financier BMO

**Yasemin Sezer**  
Directrice, Technologie et exploitation,  
LTI Canada

**Sandra Wear**  
Entrepreneure, gestionnaire, conseillère en matière de croissance, de stratégie de produits et de débouchés

L'Institut Péricimètre tient à remercier **Jennifer Scully-Lerner** et **Julie Barker-Merz**, dont le mandat s'est terminé en 2020-2021, pour les services qu'elles ont rendus au sein du Conseil Emmy-Noether.

## BOURSIÈRES SIMONS-EMMY-NOETHER EN 2020-2021

Quatre chercheuses ont été nommées boursières en 2020-2021, mais ont reporté leur séjour en raison de la pandémie<sup>2</sup>.

**Laura Bernard**, Centre national de la recherche scientifique de France, au Laboratoire Univers et Théories

**Isabel Cordero-Carrion**, Département de mathématiques de l'Université de Valence, Espagne

**Sarah Croke**, École de physique et d'astronomie de l'Université de Glasgow, Royaume-Uni

**Maria Elena Tejada-Yeomans**, Université de Colima, Mexique

▼ Sarah Shandera  
(boursière Simons-Emmy-Noether en 2015-2016)



# COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

## PROFESSEURS ET PROFESSEURS ASSOCIÉS

En 2020-2021, l'Institut Péricimètre comptait 25 professeurs travaillant dans 9 domaines de recherche. Cette année, l'Institut a recruté les jeunes chercheurs exceptionnels Sabrina Gonzalez Pasterski, de l'Université de Princeton, et Dominic Else, de l'Institut de technologie du Massachusetts. L'Institut a aussi accueilli 2 nouveaux professeurs associés : Anton Burkov, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, et Theo Johnson-Freyd, dans le cadre d'une nomination conjointe

avec l'Université Dalhousie. Il compte maintenant 21 professeurs associés nommés conjointement avec 8 universités canadiennes partenaires.

Les pages 53 à 60 donnent les biographies des professeurs à plein temps et celles des professeurs associés de l'Institut.

## DE BRILLANTES ÉTOILES ARRIVENT À L'INSTITUT PÉRICIMÈTRE

L'Institut Péricimètre a recruté 2 jeunes scientifiques exceptionnels au sein de son corps professoral. Ils arriveront en 2022 après avoir complété leur mandat de recherche à Princeton et à Harvard.

Sabrina Gonzalez Pasterski est une théoricienne des hautes énergies qui a été recrutée en 2021. Elle a obtenu son doctorat à l'Université Harvard, sous la direction d'Andrew Strominger. Elle est actuellement en congé et complète son mandat comme chercheuse associée au Centre de sciences théoriques de l'Université de Princeton. Ses travaux d'études supérieures sur le triangle infrarouge, l'effet mémoire de spin et le dictionnaire holographique du ciel ont contribué à inaugurer un programme interdisciplinaire qu'elle amène avec enthousiasme à l'Institut Péricimètre. Son initiative sur l'holographie du ciel réunit des chercheurs de premier plan dans les domaines de la relativité, des amplitudes et de l'autocohérence, qui s'attaquent à des questions fondamentales sur la gravitation quantique dans des espaces-temps asymptotiquement plats.

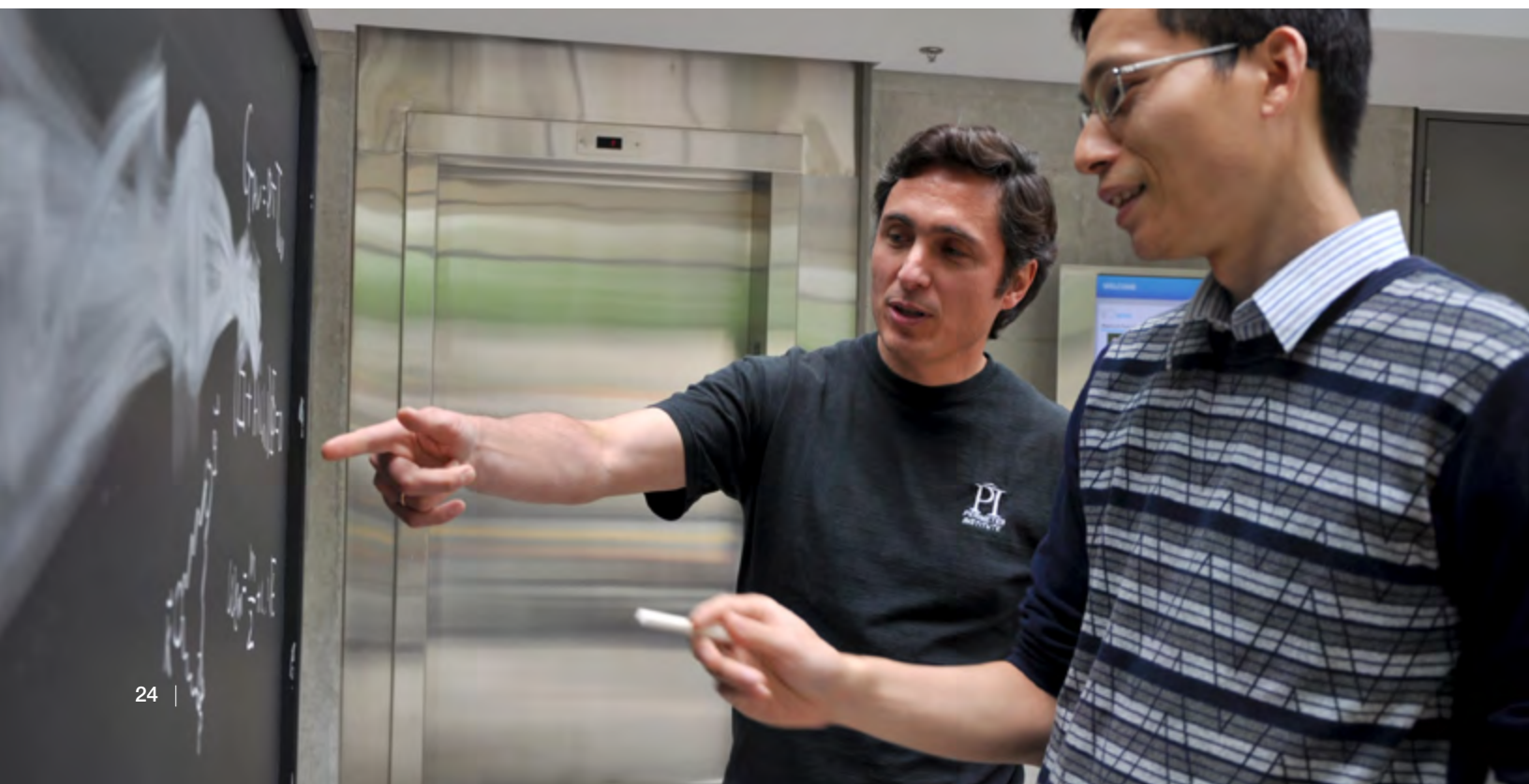
Dominic Else a également été recruté en 2021 et collaborera bientôt avec des scientifiques du Centre Clay-Riddell de

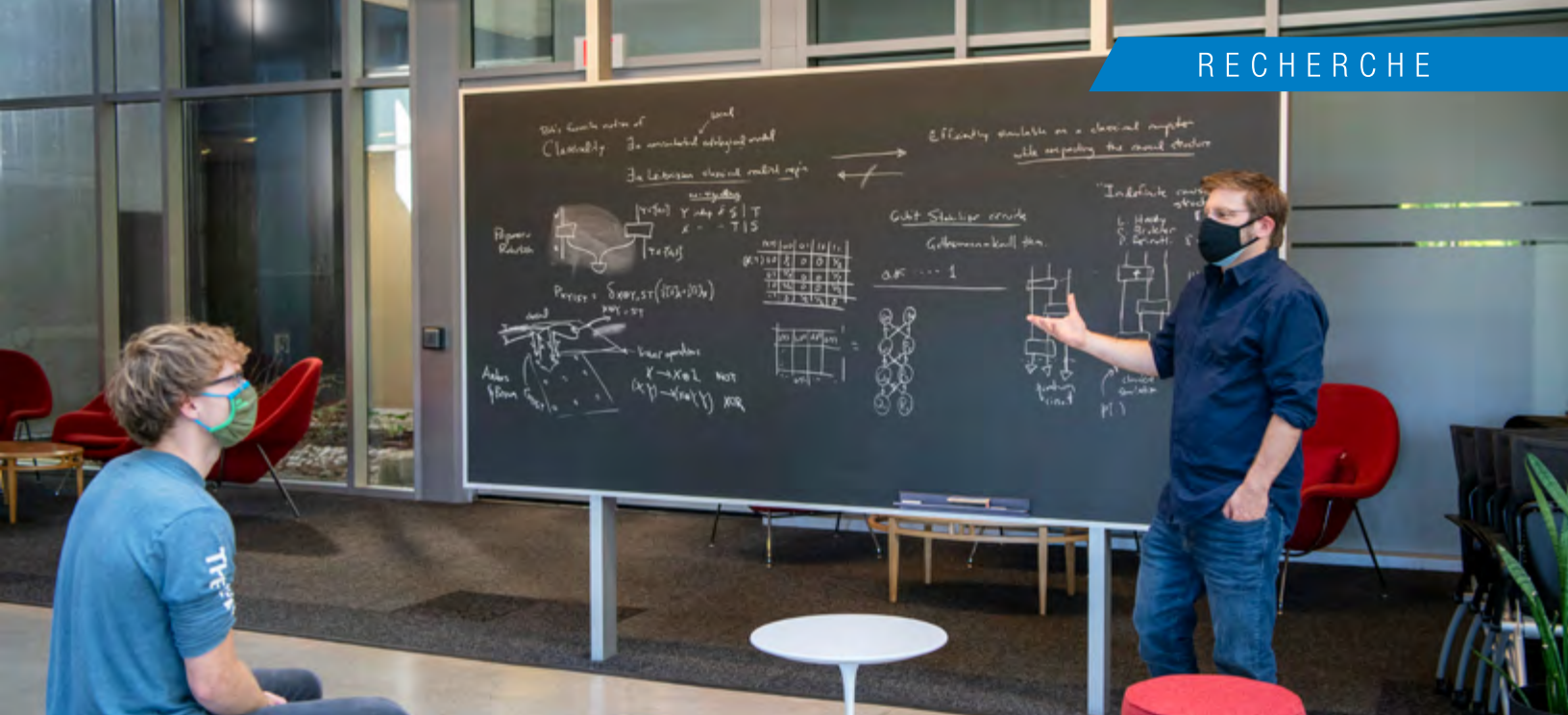
recherches de l'Institut Péricimètre sur la matière quantique, après avoir complété un mandat de chercheur à l'Université Harvard. Il a récemment remporté un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique pour ses « travaux théoriques innovateurs » sur de nouveaux états de non-équilibre de la matière quantique, notamment les cristaux temporels (cristaux qui brisent la symétrie par translation temporelle plutôt que de briser la symétrie par translation spatiale comme le font les cristaux typiques).

Selon Robert Myers, directeur de l'Institut Péricimètre, ces 2 nouvelles recrues illustrent la stratégie de l'Institut, qui consiste à trouver et à recruter des talents exceptionnels au moment où ils commencent leurs années de productivité maximale en recherche.

« Sabrina et Dominic sont de jeunes esprits extraordinaires qui repoussent les limites de la physique fondamentale, dit-il. Ils orienteront la recherche dans de nouvelles directions originales et audacieuses, et nous sommes ravis de les accueillir au sein de la communauté de l'Institut Péricimètre. »

▼ Luis Lehner et Huan Yang





▲ Robert Spekkens et Matthew Fox, étudiant dans le programme PSI

## PERSPECTIVES ORIGINALES ET LIENS NOUVEAUX

Deux nouveaux professeurs associés se sont joints à l'Institut Périmètre, enrichissant les recherches de l'Institut dans les domaines de la matière quantique et de la physique mathématique, tout en renforçant ses liens avec l'Université de Waterloo et en créant un nouveau lien avec l'Université Dalhousie.

Professeur à l'Université de Waterloo, Anton Burkov est un théoricien de la matière quantique. Ses recherches portent sur la physique des systèmes de  $N$  particules fortement corrélées ainsi que sur les liens entre corrélations fortes et topologie de structures électroniques non triviales. Ses récents travaux comprennent des études innovatrices sur les semimétaux topologiques. Ses recherches ont des liens avec d'autres domaines de la physique, dont la physique des particules et l'informatique quantique.

Recruté dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Dalhousie, Theo Johnson-Freyd est un physicien mathématicien qui a récemment terminé un stage postdoctoral à l'Institut Périmètre. Il étudie des applications de la théorie des grandes catégories et de la théorie de l'homotopie à la théorie quantique des champs et à la matière quantique. Cette année, il a été désigné comme un membre fondateur de la nouvelle équipe de la Fondation Simons sur les symétries génériques.

« Anton et Theo travaillent tous deux dans des domaines reliés à beaucoup d'autres », dit Robert Myers, directeur de l'Institut Périmètre. « Ce sont de fantastiques chercheurs qui ont déjà apporté à l'Institut Périmètre des idées passionnantes et de nouvelles collaborations. »

## TITULAIRES DE CHAIRE DE RECHERCHE DE L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

Portant les noms de scientifiques légendaires dont les idées ont contribué à définir la physique, et financées par des donateurs, les chaires de recherche de l'Institut Périmètre sont occupées par des pionniers dans leur domaine.

### Robert Myers

Directeur de l'Institut Périmètre

Chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique

### Asimina Arvanitaki

Chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique

### Avery Broderick (professeur associé)

Chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler de physique théorique

### Freddy Cachazo

Chaire Gluskin-Sheff-Onex-Freeman-Dyson de physique théorique

### Kevin Costello

Chaire Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique

### Savas Dimopoulos

Université Stanford

Chaire Coril-Holdings-Archimède de physique théorique (à titre de chercheur invité)

### Davide Gaiotto

Chaire Krembil-Gallée de physique théorique

### Subir Sachdev

Université Harvard

Chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (à titre de chercheur invité)

### Kendrick Smith

Chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique

### Neil Turok

Directeur émérite

Chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique

## SÉJOURS SCIENTIFIQUES

En 2020-2021, à cause de la pandémie, il n'y a eu aucun séjour scientifique en personne à l'Institut Péricône, mais la communauté nationale et internationale de la physique théorique a continué de maintenir des liens étroits avec l'Institut, grâce à des collaborations, conférences et partenariats en mode virtuel. Nous espérons revenir à des séjours en personne au cours de la prochaine année, si les lignes directrices de la santé publique et les restrictions de voyage le permettent.

## TITULAIRES DE CHAIRE DE CHERCHEUR INVITÉ DISTINGUÉ

L'Institut Péricône est la seconde résidence de recherche de nombreux physiciens parmi les plus grands au monde. Les titulaires de chaire de chercheur invité distingué (CCID) sont nommés pour des mandats renouvelables de 3 ans et font normalement des séjours prolongés à l'Institut Péricône, tout en conservant leur poste dans leur établissement d'origine.

Ils mettent à profit leurs séjours à l'Institut pour se consacrer de manière intensive à leurs recherches tout en dynamisant de diverses façons notre communauté scientifique : nouvelles collaborations avec des chercheurs résidents; organisation conjointe de conférences; exposés sur des idées qui les passionnent. Dans un rapport produit en 2019-2020 sur les répercussions du programme, de nombreux titulaires de CCID ont indiqué que leurs collaborations avaient engendré de nouvelles idées et méthodes, ainsi que des articles publiés.

« Depuis près de 10 ans comme titulaire d'une CCID, j'ai fait chaque année 2 visites de quelques mois à l'Institut Péricône », dit Ganapathy Baskaran, de l'Institut de mathématiques de Chennai, en Inde. « Ma dernière visite s'est terminée au début de septembre 2019. On dirait que ça fait bien plus que 2 ans. L'interaction avec des collègues, postdoctorants, scientifiques invités et étudiants me manque, de même que les colloques hebdomadaires et les séminaires réguliers. »

Sandu Popescu est professeur à l'Université de Bristol et membre du comité consultatif scientifique de l'Institut Péricône. Il est

titulaire d'une CCID depuis 12 ans. « L'Institut Péricône est une oasis de calme, dit-il, où je peux me retirer seul et réfléchir sans être dérangé. Pourtant, quand j'en ressens le besoin, je n'ai qu'à descendre de mon bureau pour avoir des discussions scientifiques fascinantes avec certaines des meilleures personnes au monde.

« Je me sens chez moi à l'Institut Péricône. J'y ai beaucoup d'amis, tant parmi mes collègues scientifiques que dans le fantastique personnel. Je m'y sens inspiré, et l'Institut me manque beaucoup. J'espère pouvoir y retourner bientôt. »

En 2020-2021, 2 nouveaux titulaires de CCID ont été nommés, portant leur nombre à 44. Voici ceux qui ont été nommés cette année :

**Juna Kollmeier**

Institut canadien d'astrophysique théorique


**Guifre Vidal**

X – The Moonshot Factory

Vous trouverez à la page 62 la liste des titulaires de CCID.

*Le programme de chaires de chercheur invité distingué a été financé en partie par Cenovus Energy en 2020-2021.*

▼ Yakir Aharonov et Sandu Popescu (en 2016)



*« Je me sens chez moi à l'Institut Péricône. J'y ai beaucoup d'amis, tant parmi mes collègues scientifiques que dans le fantastique personnel. Je m'y sens inspiré, et l'Institut me manque beaucoup. J'espère pouvoir y retourner bientôt. »*

*– Sandu Popescu, titulaire d'une CCID*



## ADJOINTS INVITÉS, CHERCHEURS INVITÉS ET MEMBRES AFFILIÉS

L'Institut Péricimètre crée des liens avec la communauté scientifique élargie tout en diversifiant la sienne, en amenant des chercheurs accomplis pour des séjours réguliers à l'Institut selon différentes modalités qui s'ajoutent au programme de CCID et de bourses Simons-E Emmy-Noether.

Les **adjoints invités** sont nommés pour des termes renouvelables, conservent leur poste dans leur établissement d'origine et enrichissent la communauté scientifique de l'Institut Péricimètre pendant des séjours de recherche prolongés. En 2020-2021, 7 nouveaux adjoints invités ont été nommés, portant leur nombre à 52.

Les **membres affiliés** sont des scientifiques d'universités canadiennes qui ont une invitation permanente à rendre visite à l'Institut Péricimètre pour y faire de la recherche. Cette année, l'Institut a nommé 9 nouveaux membres affiliés, portant leur nombre à 114, de 31 universités.

L'Institut encourage également des scientifiques à poser leur candidature pour séjourner à titre de **chercheurs invités** pendant qu'ils sont en congé sabbatique de leur institution d'appartenance. Nous avons hâte de poursuivre ce programme dans l'avenir.

*« L'Institut Péricimètre est formé d'esprits exceptionnels, surtout des jeunes, libres de s'attaquer aux problèmes les plus difficiles de la physique. Ils sont trop ambitieux pour comprendre en quoi consiste l'impossible, de sorte qu'ils le défient régulièrement. »*

– Robert Myers, directeur de l'Institut Péricimètre

# CONFÉRENCES ET ATELIERS

La physique connaît des progrès sur de nombreux fronts, et depuis près de 20 ans, le renommé programme de conférences de l'Institut Péricimètre réunit des théoriciens, souvent avec des expérimentateurs, pour des échanges cruciaux. Les conférences mettent l'accent sur des sujets de pointe qui ont un potentiel de résultats significatifs, et l'Institut Péricimètre tient souvent des conférences sur des sujets émergents qui n'ont encore été abordés nulle part ailleurs.

En 2020-2021, il n'y a eu aucune conférence en personne, mais la participation en ligne a été beaucoup plus importante que prévu. Plus de 1 000 scientifiques du monde entier ont assisté à 7 conférences et ateliers organisés par l'Institut Péricimètre, dans des domaines tels que la matière quantique, la physique des

particules, la physique mathématique, la gravitation quantique et la relativité générale. Le professeur associé Roger Melko affirme que les conférences en ligne l'ont aidé à établir plus de liens que jamais avec des chercheurs du monde entier, et qu'il vise à intensifier ces nouvelles interactions lorsque les directives de la santé publique le permettront.

Les conférences et séminaires de l'Institut sont enregistrés et accessibles en ligne sans restriction à la communauté scientifique, par le truchement de PIRSA, le système d'archivage de l'Institut, et de SciTalks (voir plus loin).

Vous trouverez à la page 64 la liste des conférences tenues en 2020-2021.

## VEILLER À CE QUE ÇA FONCTIONNE



« Mon travail est très prenant et varié, et il me donne l'occasion de rencontrer des chercheurs et des étudiants du monde entier, peu importe le stade de leur carrière. »

Stephanie Mohl est responsable du programme de conférences de l'Institut Péricimètre depuis 11 ans. Elle assure la gestion et le soutien de 10 à 20 conférences par année, et chacune d'entre elles est suivie par 10 à 300 personnes. Pour assurer le succès de ces conférences, elle travaille en étroite collaboration avec les responsables scientifiques et coordonne tout, des services de restauration aux enregistrements audio-visuels.

## CONFÉRENCE SUR LES FEMMES EN MATHÉMATIQUES ET EN PHYSIQUE

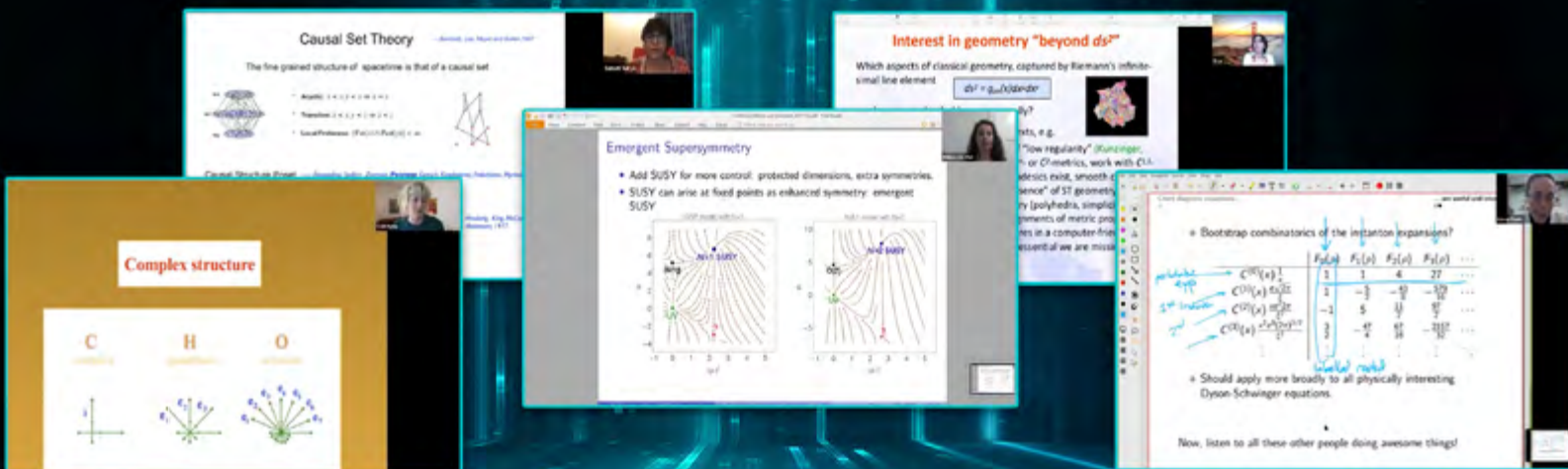
Réunir des mathématiciennes et des physiciennes, identifier de nouvelles tendances de la recherche, et favoriser les interactions entre participants d'expérience et novices, tout cela a été accompli lorsque plus de 100 personnes ont participé à une conférence organisée par l'Institut Péricimètre sur les femmes à l'intersection des mathématiques et de la physique théorique, qui s'est tenue en ligne en février 2021.

Destinée principalement, mais non exclusivement, à des femmes, la conférence a été organisée par une équipe comprenant entre autres la professeure Bianca Dittrich, le professeur associé Theo Johnson-Freyd ainsi que les anciennes boursières Simons-Emmy-Noether Katarzyna Rejzner et Sylvie Paycha. Pour favoriser la participation des scientifiques parents, l'Institut Péricimètre a offert une aide financière couvrant les coûts additionnels encourus pour la garde d'enfants.

M<sup>me</sup> Dittrich estime que ce genre de conférence peut jouer un rôle important pour soutenir les travaux de chercheuses. « Je crois, dit-elle, que l'accent mis sur les femmes vient du fait que les femmes sont généralement en minorité. Personnellement, j'ai trouvé que les rares activités où il y avait surtout des femmes étaient sensiblement plus détendues et ouvertes, avec beaucoup moins de comportements de compétition. »

Elle espère que la conférence aidera les femmes à se créer des réseaux et à acquérir de la confiance dans un domaine où cela peut être difficile. « Cela peut être particulièrement important pour les femmes plus jeunes, poursuit-elle, qui pourraient vouloir obtenir des conseils d'autres femmes à propos de questions qui ont tendance à toucher davantage les femmes. »

▼ Saisies d'écran d'une conférence sur les femmes à la jonction des mathématiques et de la physique théorique



**Kitaev interaction in honeycomb lattice**

Jackeli and Khalullin showed possible in edge sharing octahedra with strong SOC. But other interactions exist (Heisenberg etc.)  
Possible in  $\text{NaIrO}_3$ ,  $-\text{RuCl}_2$  and  $\text{HfLiRuO}_4$  and also proposed for  $\text{Co}^{2+}$  systems.

$$N_i = \sum_{\alpha\beta\gamma} N_i^{\alpha\beta\gamma} S_i^{\alpha\beta\gamma}$$

**Spinless 1D superconductors**

Majorana zero modes!

$$\gamma = \gamma^1 \quad \gamma^2 = 1 \quad \{\gamma_1, \gamma_2\} = 0 \quad [\gamma, H] = 0$$

$f = (\gamma_1 + i\gamma_2)/2$       Locally indistinguishable ground states

**Quantum Matter: Emergence**

Traditional Quantum condensed matter physics: Studies very large collections of electrons/atoms/spins, usually in solids.

Emergence: The whole is greater than the sum of the parts, collective phases of matter.

Crystalline solids      Superconductors      Fractional Quantum Hall effect

**An example of critical phases: Heisenberg quantum spin chain**

Spin-1/2

$$H = \sum_{\langle ij \rangle} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$$

Exactly solvable with Bethe Ansatz (1931)  
 $SU(2)$ , WZW  
1D critical phase  
Material realization: e.g.  $\text{KCuF}_3$

Neutron scattering

Watanabe is a quantum phase transition in 1D  
Barnes, Coombs, Nappin and Shanks (1998)

▲ Saisies d'écran de séminaires sur les frontières de la matière quantique

## SÉMINAIRES ET COLLOQUES

Tout au long de l'année, les scientifiques résidents de l'Institut et ceux d'autres institutions animent des séminaires et des colloques sur leurs recherches les plus récentes, favorisant les échanges scientifiques et suscitant souvent une collaboration interdisciplinaire.

En 2020-2021, l'Institut Périmètre a organisé 266 séminaires et 30 colloques, qui ont totalisé un peu plus de 10 000 participants. De ces exposés, 26 % ont été donnés par des femmes, soit 11 % de plus que l'année précédente. L'augmentation du nombre d'exposés donnés par des femmes occupe une place importante dans les stratégies d'IDEA de l'Institut.

À quelques exceptions près, tous les séminaires et colloques sont enregistrés et accessibles dans PIRSA, le système d'archivage en ligne de l'Institut Périmètre – base de données consultable qui contient maintenant plus de 13 500 vidéos, qui ont fait l'objet de plus de 464 000 visionnements au cours de la seule année 2020-2021. Ces exposés enregistrés sont devenus une ressource précieuse pour les scientifiques du monde entier, notamment ceux qui ne sont pas dans de grands centres de recherche.

Avec l'appui de la Fondation Simons, l'Institut Périmètre a également créé un nouveau pôle international fondé sur les succès de PIRSA. SciTalks.ca est maintenant en phase de test et contient la totalité du catalogue de PIRSA, de même que des exposés de partenaires du CERN, de l'Institut Simons, du Centre international de physique théorique et de l'Institut sud-américain de recherche fondamentale, pour un total de plus de 14 200 vidéos accessibles aux esprits brillants, peu importe où ils se trouvent.

## LES FRONTIÈRES DE LA MATIÈRE QUANTIQUE

Plusieurs professeurs à plein temps et professeurs associés à l'Institut Périmètre ont mis sur pied une série de séminaires qui examine plus en profondeur et pendant une plus longue période de multiples aspects d'un sujet précis.

Les séminaires sur les frontières de la matière quantique ont commencé en septembre 2020. Ils sont organisés conjointement par Tim Hsieh et Chong Wang, professeurs à l'Institut Périmètre, les professeurs associés Anton Burkov (nommé conjointement avec l'Université de Waterloo) et Sung-Sik Lee (nommé conjointement avec l'Université McMaster), ainsi que Yong-Baek Kim, de l'Université de Toronto.

« Nous voulions offrir un service utile à la communauté de la matière quantique, dit M. Burkov, et contribuer à atténuer l'effet des perturbations liées à la COVID, en particulier le manque de séminaires réguliers en personne. » Il estime que ces séminaires bénéficient également à l'Institut Périmètre et aux universités ontariennes participantes, en contribuant à la diffusion de leurs recherches dans la communauté scientifique élargie.

« Nous cherchons à mettre en évidence de nouveaux sujets de recherche et à avoir des conférenciers de grande qualité, dit M. Hsieh. Avec un format original comportant beaucoup de souplesse quant à la durée, les orateurs ont pu développer leur pensée autant qu'ils le voulaient. Je crois que c'est un succès, à en juger par les réactions des participants. »

Des orateurs d'institutions prestigieuses telles que les universités Johns-Hopkins, Harvard, Yale, Stanford et l'Université de New York – et, bien entendu, de l'Institut Périmètre – ont pris la parole lors de ces séminaires hebdomadaires. Il y a eu 21 séminaires de cette série en 2020-2021, et 8 autres orateurs se sont ajoutés à l'automne 2021.

# FORMATION

« L'Institut Péricètre est un endroit merveilleux où j'ai pu approfondir mes connaissances des recherches aux frontières de la matière quantique avec un réseau de physiciens toujours d'une grande curiosité. »

– Lei Gioia Yang, doctorante



◀ Niyesh Afshordi et une étudiante



# FORMATION – Quelques statistiques

L'Institut Péricône cherche à attirer et à développer la prochaine génération d'esprits brillants. Nous savons que les jeunes sont les forces vives de la science, et nous avons des programmes – de notre programme de maîtrise pour étudiants exceptionnels du monde entier à notre programme inégalé de doctorat – qui visent à en faire de véritables scientifiques<sup>3</sup>.

Plus de **1 000** jeunes scientifiques formés depuis 2006

**79** postdoctorants, dont **18** femmes, de **23** pays

**70** doctorants, dont **14** femmes, de **29** pays

**21** étudiants, dont **9** femmes,  
de **13** pays, dans le programme PSI

**357** diplômés du programme PSI en 12 ans,  
dont **119** femmes (33 %)

**50** postdoctorants et doctorants associés

**1** adjoint diplômé invité<sup>4</sup>

<sup>3</sup>Sauf indication contraire, les statistiques couvrent la période allant du 1<sup>er</sup> août 2020 au 31 juillet 2021.

<sup>4</sup>En raison de la pandémie en cours, le programme d'adjoints diplômés invités de l'Institut Péricône n'a pas fonctionné en personne en 2020-2021; un étudiant a toutefois participé à un programme entièrement en ligne.

## POSTDOCTORANTS

L'Institut Périmètre est l'un des centres qui comptent le plus grand nombre de postdoctorants en physique théorique au monde. Ces scientifiques en début de carrière sont complètement immergés dans le milieu pluridisciplinaire de l'Institut, où ils jouissent d'une totale liberté scientifique, sont encouragés à s'attaquer à des problèmes difficiles et bénéficient du mentorat de scientifiques établis. En plus de bourses de 3 ans, l'Institut Périmètre offre des bourses de 4 ans aux noms prestigieux, des bourses sénior de 5 ans et des bourses attribuées conjointement avec des universités partenaires.

Les bourses postdoctorales de l'Institut Périmètre sont très convoitées : les 12 nouveaux postdoctorants qui se sont joints à l'Institut Périmètre en 2020-2021 ont été sélectionnés parmi 772 candidats. Parmi ceux qui ont terminé leur stage postdoctoral cette année, plusieurs ont choisi de rester à l'Institut Périmètre, dont Elie Wolfe à titre de chercheur associé et Theo Johnson-Freyd comme nouveau professeur associé. D'autres ont obtenu des postes menant à la permanence, dont Felix Leditzky comme professeur adjoint à l'Université de l'Illinois et Moritz Munchmeyer comme membre du corps professoral de l'Université du Wisconsin. Beaucoup sont allés poursuivre une carrière dans le secteur privé, dont Martin Ganahl et Adam Lewis chez Google (X – The Moonshot Factory), et Qiao Zhou comme gestionnaire de la mesure des risques des marchés à la Banque Scotia.

En 2020-2021, l'Institut Périmètre comptait 79 postdoctorants de 23 pays; voir la liste de ces chercheurs à la page 61.



Postdoctorante  
**HAN MA**

Han Ma est récipiendaire de la bourse Philip-W.-Anderson à l'Institut Périmètre. Originnaire de la Chine, elle a obtenu son doctorat à l'Université du Colorado   Boulder.

Au début de 2019, lors d'une conférence tenue à Aspen, elle a eu une discussion intéressante avec Sung-Sik Lee, professeur associé à l'Institut Périmètre. Il s'en est suivi une collaboration qui a amené Han Ma   l'Institut à titre de postdoctorante en 2019.

Comme membre de l'équipe fortement interdisciplinaire du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique, Han Ma compte travailler sur la méthode du groupe de renormalisation quantique, afin de comprendre le comportement universel de divers  tats et transitions d'état quantiques. Elle apporte une contribution active à la communauté de chercheurs et a donné de nombreux séminaires, notamment aux universités Cornell et Harvard.

«   l'Institut Périmètre, dit-elle, les interactions entre scientifiques de différents domaines sont faciles. Ces collaborations engendrent généralement des progrès interdisciplinaires. Dans mes recherches, des concepts de physique des hautes énergies m'aident beaucoup à comprendre les systèmes de matière condensée.

« Le milieu de l'Institut, qui favorise une réflexion et un travail libres, m'encourage à persévérer avec passion dans l'étude de problèmes difficiles. »



Postdoctorante  
**FERESHTEH RAJABI**

Après avoir obtenu son doctorat à l'Université Western, et forte de liens étroits avec des expérimentateurs en optique quantique de l'Institut d'informatique quantique ainsi qu'avec des astrophysiciens de l'Institut Périmètre, la postdoctorante Fereshteh Rajabi a entrepris d'étudier les sursauts radio rapides (SRR).

Les SRR sont des signaux radio intenses et ultrabrefs qui viennent souvent de l'extérieur de notre galaxie et dont la cause est inconnue. Récemment, M<sup>me</sup> Rajabi et ses collègues ont étudié un modèle relativiste dynamique simple pour expliquer la structure spectro-temporelle des SRR répéteurs – ceux qui surviennent plus d'une fois. Ces travaux et un article de suivi ont amené des astrophysiciens du monde entier à entreprendre de nouvelles recherches qui pourraient jeter un éclairage sur le mécanisme sous-jacent des SRR répéteurs.

« L'Institut Périmètre est selon moi un milieu excellent pour la recherche interdisciplinaire, dit M<sup>me</sup> Rajabi. Les scientifiques ont le maximum de liberté pour explorer ou combiner diverses avenues de recherche. L'Institut cultive et soutient la créativité, et ouvre la porte à des collaborations avec des chercheurs de tout premier ordre dans le monde entier. C'est extraordinairement important pour des scientifiques en début de carrière comme moi. »

## POSTDOCTORANTS ET DOCTORANTS ASSOCIÉS

L'Institut Périmètre est indépendant, mais il entretient des liens étroits avec des universités ontariennes telles que l'Université de Waterloo, l'Université McMaster, l'Université de Toronto, l'Université York, l'Université Western et l'Université Queen. Ses programmes de chercheurs associés offrent des privil ges spécifiques à des postdoctorants et doctorants choisis de ces universités, de sorte qu'ils bénéficient de ce que l'Institut peut offrir, qu'il s'agisse de cours, de séminaires ou de la possibilité de collaborer avec des chercheurs. En 2020-2021, toutes les collaborations avec des chercheurs associés ont eu lieu en ligne. Cette année, l'Institut Périmètre comptait 11 postdoctorants associés et 39 doctorants associés.

## DOCTORANTS

L'Institut Péricètre, qui offre des occasions d'interagir avec des scientifiques prestigieux de toutes les disciplines, est un endroit extraordinaire pour faire un doctorat. Les doctorants de l'Institut reçoivent leur diplôme de l'université partenaire où leur directeur de thèse est professeur à plein temps ou professeur auxiliaire. Cette année, les universités partenaires ont été l'Université de Waterloo, l'Université McMaster, l'Université de Toronto, l'Université de Guelph et l'Université York.

Beaucoup des étudiants exceptionnels venus du monde entier qui terminent le programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricètre) restent au Canada pour poursuivre leur formation et leurs recherches. En 2020-2021, 66 % des doctorants de l'Institut étaient des diplômés du programme PSI.

Beaucoup des étudiants qui ont terminé leur doctorat en 2020-2021 ont obtenu de prestigieuses bourses postdoctorales, notamment Laura Sberna à l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle et Vasudev Shyam à l'Université Stanford. D'autres ont commencé une carrière dans le secteur privé, dont Florian Hopfmueller chez 1Qbit, société canadienne d'informatique avancée, Qingwen Wang chez Deloitte et Yijian Zou chez Google (X – The Moonshot Factory).

En 2020-2021, l'Institut Péricètre comptait 70 doctorants de 29 pays; voir la liste de ces étudiants à la page 63.

## PRIX ET DISTINCTIONS POUR ÉTUDIANTS

De nombreux étudiants de l'Institut Péricètre sont récipiendaires de prix, subventions et bourses. En voici quelques exemples parmi bien d'autres.

Les doctorants Finian Gray et Lei Yang sont récipiendaires de prestigieuses bourses d'études supérieures du Canada Vanier, attribuées par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada pour l'excellence universitaire, le potentiel de recherche et les compétences en leadership.

Le doctorant Xiu-Zhe (Roger) Luo a été le premier lauréat du prix quantique Wittek pour le logiciel libre, administré par la QOSF (*Quantum Open Source Foundation* – Fondation pour le logiciel libre quantique). M. Luo travaille avec le professeur associé

PI  
LES GENS  
DE L'IP



Doctorante  
**LEI GIOIA YANG**

Lei Yang est arrivée à l'Institut Péricètre en 2017, en provenance de la Nouvelle-Zélande, pour suivre le programme de maîtrise PSI, puis est restée à l'Institut pour faire son doctorat sous la direction d'Anton Burkov et de Chong Wang, en collaboration avec des scientifiques du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique.

Ses travaux portent sur la « sociologie » des particules dans les matériaux topologiques, en particulier les semimétaux et les métaux. Elle dit que ses recherches portent plus précisément sur un nouveau type d'anomalies, dites *anomalies non quantifiées*, que l'on trouve dans des matériaux métalliques. À long terme, elle espère trouver des théorèmes régissant une vaste gamme de comportements, tels que des structures d'intrication et des états qui brisent une symétrie, dans des matériaux quantiques.

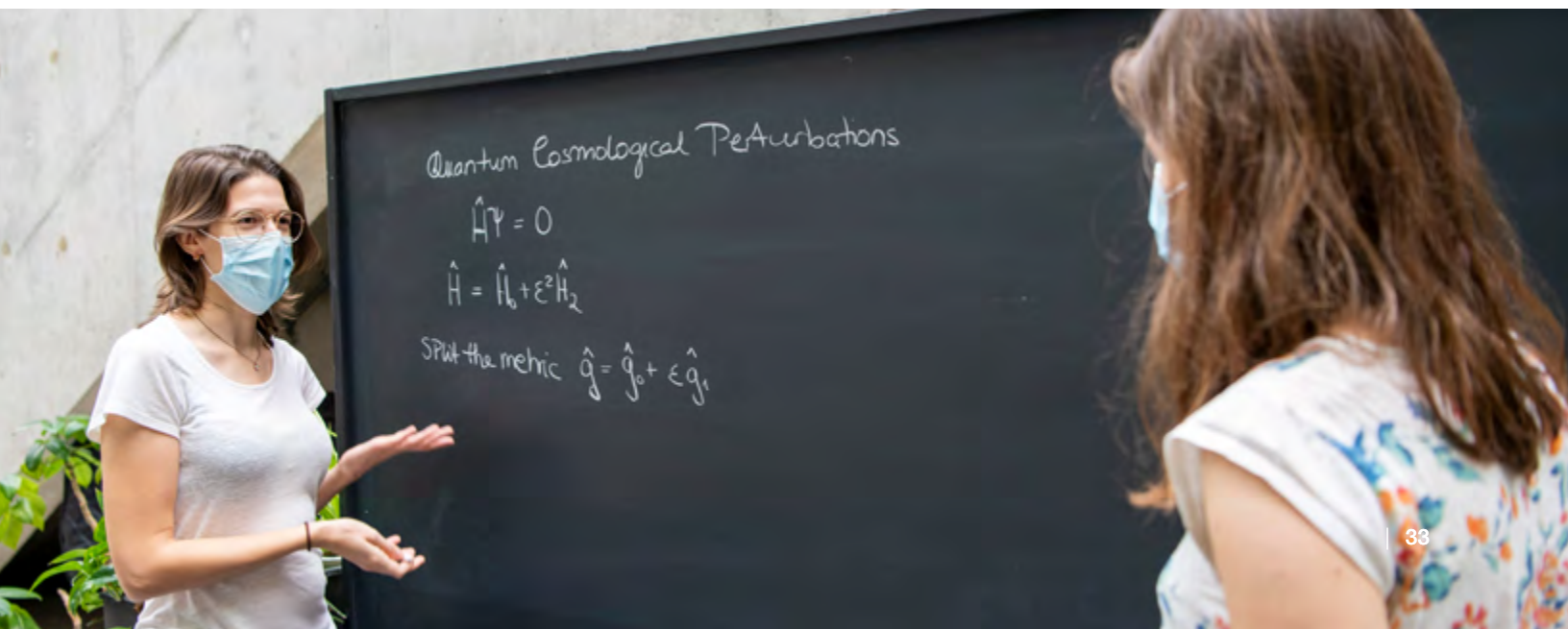
« L'Institut Péricètre, dit-elle, est un endroit merveilleux où j'ai pu approfondir mes connaissances des recherches aux frontières de la matière quantique avec un réseau de physiciens toujours d'une grande curiosité. »

Roger Melko au Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Péricètre.

Lena Funcke a reçu le prix postdoctoral de conférence Leona-Woods, du Laboratoire national Brookhaven du Département américain de l'Énergie, pour ses travaux à la jonction de la physique des particules fondamentales, de la cosmologie et de l'informatique quantique.

Daniel Egana-Ugrinovic, Olga Papadoulaki et Suvodip Mukherjee ont reçu des bourses-relais spéciales de la Fondation Simons, conçues pour appuyer des postdoctorants pendant la pandémie.

▼ Susanne Schander et Ana-Maria Raclariu



# LE PROGRAMME PSI

Pendant que beaucoup de gens apprenaient à interagir avec les autres à 2 mètres de distance, les 21 étudiants inscrits dans le programme de maîtrise de l'Institut Périmètre ont dû trouver comment collaborer à partir de leurs domiciles respectifs situés au Canada et dans 12 autres pays.

Grâce à leur totale détermination et à leur grande capacité d'adaptation, les membres de la promotion 2021 du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre) ont formé une communauté extraordinaire de scientifiques émergents. C'était la première fois qu'une promotion complétait le programme PSI entièrement en ligne.

« Nous avons d'abord été isolés du monde extérieur par la quarantaine, et encore plus isolés en devant consacrer autant de temps à nos études, que personne de notre entourage ne pouvait probablement même comprendre », a déclaré Kelly Wurtz dans son discours en tant que majeure de la promotion, lors de la cérémonie de remise des diplômes. « Par conséquent, dans une large mesure, nous formions notre propre communauté. Mes 20 collègues étudiants ont constitué une grande partie de mon réseau de soutien. »

PSI est un programme de maîtrise en physique théorique d'une durée d'un an qui attire des étudiants exceptionnels venus du monde entier. Les finissants reçoivent un diplôme de maîtrise de l'Université de Waterloo et un certificat du programme PSI de l'Institut Périmètre. Ce programme est hautement compétitif : les 9 femmes et 12 hommes de la promotion 2020-2021 ont été choisis parmi plus de 900 candidats. Huit diplômés du programme PSI poursuivent des études de doctorat à l'Institut Périmètre.

Les professeurs et le personnel de l'Institut Périmètre qui sont impliqués depuis de nombreuses années dans le programme PSI

ont été impressionnés par l'efficacité avec laquelle ce programme est passé en mode virtuel, avec des interactions à distance. Ils ont rendu hommage aux finissants, ainsi qu'aux chargés de cours et assistants, qui ont fait de cette année un succès.

« Ils ont réussi un programme extrêmement difficile, dans un contexte de crise mondiale, et le tout sans même venir à l'Institut Périmètre », dit Rob Myers, directeur de l'Institut. « Nos diplômés empruntent de nombreux parcours différents. Certains continuent en physique théorique. D'autres fondent des entreprises, étudient des traitements contre le cancer, deviennent des innovateurs, etc. Tous ont en eux l'esprit de l'Institut Périmètre. Personne n'incarne mieux cet esprit que les diplômés de cette année. »

En plus du programme conduisant à un diplôme de maîtrise, PSI offre des modules gratuits d'apprentissage en ligne qui permettent à des étudiants motivés et à des passionnés de physique de faire de manière indépendante et à leur propre rythme de la physique théorique au niveau des études supérieures. En 2021, 992 personnes ont suivi en moyenne 1,5 cours chacune, pour un total de 1 515 inscriptions à des cours portant entre autres sur la théorie quantique des champs, la matière quantique et la physique statistique.

Voir la liste du corps professoral et des étudiants du programme PSI aux pages 62 et 63.

*En 2020-2021, le programme PSI a bénéficié du soutien des personnes et organismes suivants : la Fondation du patrimoine hellénique; Brad et Kathy Marsland; Margaret et Larry Marsland; la Fondation familiale Savvas-Chamberlain; des membres du Cercle Emmy-Noether.*

▼ Étudiants de la promotion 2021-2022 du programme PSI



# TRAJECTOIRES DE CARRIÈRE

Un diplôme en physique ne mène pas seulement à une carrière en milieu universitaire. Les initiatives *Trajectoires de carrière* de l'Institut Péricètre sont conçues pour aider les étudiants et les chercheurs en début de carrière, du 1<sup>er</sup> cycle universitaire au postdoctorat, à trouver des postes passionnants et gratifiants. Ces initiatives comprennent des ateliers et des activités de réseautage, des ressources sur la recherche d'emploi et le perfectionnement professionnel, ainsi que de l'aide individuelle à la rédaction d'un curriculum vitae et la préparation d'entrevues.

En 2020-2021, il y a eu 3 activités *Trajectoires de carrière* en ligne pour les étudiants : Will Cunningham, ancien postdoctorant

à l'Institut Péricètre, a parlé de son rôle au sein d'Agnostiq, jeune pousse torontoise dans le domaine du logiciel, lors d'une séance du midi sur les changements de carrière; au cours d'une séance virtuelle de réseautage éclair, les étudiants ont pu avoir des conversations individuelles avec une douzaine de spécialistes des technologies quantiques de Google, Spotify, 1QBit, ISARA Corporation, Xanadu, du Conseil national de recherches du Canada et d'autres organismes; lors d'une activité sur les carrières en milieu universitaire, 5 anciens chercheurs résidents de l'Institut Péricètre ont parlé de leur expérience – de jeunes professeurs adjoints dans de petites universités à un professeur titulaire à l'Université de Cambridge.

## UNE INTRICATION PARFAITE : PHYSICIENS ET JEUNES POUSSÉS QUANTIQUES

En complément de leurs recherches mues par la curiosité, de nombreux scientifiques aiment relever des défis concrets. Et beaucoup d'entreprises de technologie à but lucratif sont ouvertes à l'idée de faire progresser la recherche scientifique tout en mettant de nouveaux produits sur le marché.

Résultat : de plus en plus de physiciens de l'Institut Péricètre collaborent avec de jeunes pousses telles que Xanadu et Agnostiq. Cette tendance est plus prononcée chez les postdoctorants, qui se préparent à une carrière dans un monde où la recherche fondamentale et la création d'entreprises n'ont jamais été aussi proches l'une de l'autre.

William Cunningham a récemment fait des recherches sur la gravitation quantique comme postdoctorant à l'Institut Péricètre. Au cours de cette période, il a commencé à travailler avec Agnostiq, qui a des clients dans des secteurs comme celui de la finance, où le calcul quantique joue un rôle de plus en plus important en matière de sécurité et d'analyse, ainsi que dans d'autres domaines. M. Cunningham a trouvé naturel d'adapter son expertise d'un domaine à l'autre.

« La méthodologie est similaire, dit-il. Dans les deux cas, j'utilise l'apprentissage automatique et des algorithmes quantiques. Comme ce sont des techniques relativement nouvelles, on

cherche à comprendre comment les exploiter dans la recherche théorique aussi bien qu'appliquée. »

Des firmes de capital de risque investissent massivement dans de jeunes pousses du domaine quantique, même si des physiciens théoriciens travaillent encore sur des concepts fondamentaux. Cela donne à des gens tels que le postdoctorant Michael Vasmer l'occasion de mettre un pied dans chacun des deux mondes.

M. Vasmer collabore avec Xanadu, jeune pousse torontoise qui met au point de nouvelles technologies informatiques fondées sur des *qubits photoniques*, moyen prometteur et adaptable de stocker et de traiter de l'information quantique.

« Dans mon domaine, celui de la correction des erreurs quantiques – comme dans celui de l'information quantique en général –, il y a une grande convergence d'intérêts entre la physique théorique et l'entreprise privée, dit-il. De mon point de vue, c'est parce que les deux secteurs ont un même objectif central : réaliser un ordinateur quantique insensible aux défaillances. »

L'informatique quantique est à un stade très passionnant, et ceux qui ont les compétences requises peuvent chevaucher les milieux de la recherche universitaire et de l'entreprise privée, et avoir ainsi un aperçu enthousiasmant de notre avenir quantique.

## VEILLER À CE QUE ÇA FONCTIONNE



« C'est extraordinairement gratifiant de soutenir des étudiants au début de leur formation en physique – en particulier nos jeunes étudiants venus du monde entier pour suivre notre programme PSI –, puis de les voir progresser dans de remarquables carrières. »

Debbie Guenther est à l'Institut Péricètre depuis 18 ans, dont 13 à titre de gestionnaire des programmes d'enseignement. Elle apporte son soutien au personnel enseignant et aux 60 à 70 étudiants du programme PSI et du programme de doctorat, dans des domaines allant du logement au bien-être mental, en passant par les relevés de notes et les aides à l'enseignement.

# DIFFUSION DES CONNAISSANCES

« Les animateurs sont vraiment brillants; leurs plans de cours  
et leurs troussees sont tout à fait éprouvés. »

– Hayley McKay, enseignante de sciences, école secondaire de Sundre, Alberta



# DIFFUSION DES CONNAISSANCES

## – Quelques statistiques

Les merveilles de la science méritent d'être communiquées aux personnes dont elles transforment la vie – c'est-à-dire nous tous. L'Institut Péricimètre est reconnu comme un chef de file mondial de la diffusion des connaissances scientifiques. Il s'efforce d'accroître la culture scientifique en faisant connaître le pouvoir transformateur de la physique aux élèves, aux enseignants et aux gens curieux où qu'ils soient<sup>5</sup>.

### ÉLÈVES

152 000 interactions avec des élèves<sup>6</sup>

640 interactions avec des élèves en 2020-2021

67 millions d'interactions avec des élèves par le truchement de ressources pédagogiques<sup>7</sup>

8 millions d'interactions avec des élèves par le truchement de ressources pédagogiques en 2020-2021

285 participants à la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques) en 2021

39 élèves exceptionnels du secondaire – 20 du Canada et 19 de l'étranger – qui ont participé à l'École internationale d'été 2021 de l'Institut Péricimètre pour jeunes physiciens et physiciennes

### ENSEIGNANTS

41 000 enseignants formés dans des ateliers de l'Institut Péricimètre

4 700 enseignants formés dans 152 ateliers en 2020-2021

46 enseignants de 19 pays au camp de formation en ligne *EinsteinPlus* pour enseignants en 2020-2021

125 pays dans lesquels les ressources pédagogiques de l'Institut Péricimètre sont utilisées

114 trousseaux pédagogiques disponibles pour les enseignants partout au Canada et dans le monde

### GRAND PUBLIC

7 conférences publiques qui ont fait l'objet de 130 000 visionnements en 2020-2021

6 millions de visionnements dans YouTube en 2020-2021, soit une augmentation de 211 %

110 000 abonnés au canal YouTube de l'Institut, soit une augmentation de 36 %

<sup>5</sup> Sauf indication contraire, les statistiques couvrent toute la période depuis la fondation de l'Institut Péricimètre.

<sup>6</sup> Interactions avec des élèves lors d'ateliers et d'activités diverses

<sup>7</sup> Nombre estimatif de fois où des élèves ont interagi avec des ressources pédagogiques de l'Institut Péricimètre

# PHYSIQUE SANS CRAINTE : FORMER DES ENSEIGNANTS

Une chercheuse disparaît mystérieusement, avec les codes secrets de lancement d'un nouveau satellite de communication. Un groupe d'enseignants se bute au journal privé de la scientifique qui manque à l'appel, rempli de notes cryptiques donnant des indices possibles sur l'endroit où elle se trouve. Ils travaillent ensemble le plus vite possible pour résoudre les énigmes dont les secrets semblent liés au domaine de la physique des particules.

Cette activité d'enquête, intitulée *Mettre l'Orbitron en marche*, a été l'une des activités les plus populaires du camp en ligne pour enseignants organisé cette année. Ce camp aide des enseignants de toutes les régions du Canada et du monde entier à parfaire leurs capacités à intéresser les élèves aux idées les plus récentes de la physique théorique.

Ce camp en ligne est issu d'*EinsteinPlus*, camp annuel en personne qui amène généralement chaque année à Waterloo de 40 à 50 enseignants venus apprendre en travaillant ensemble. Une version en ligne des ateliers a été élaborée pendant la pandémie, ce qui s'est traduit par certains avantages, dont celui de faciliter la participation d'enseignants étrangers. Il y a eu 46 participants du Canada et de 18 autres pays.

« Tant de cerveaux de partout dans le monde, c'était extraordinaire, et aussi intimidant au début », dit Hayley McKay, enseignante de sciences à l'école secondaire de Sundre, en Alberta. « Mais la dernière séance est venue trop vite. Je ne voulais pas que ça se termine. »

Les séances portaient sur des sujets difficiles allant des trous noirs à la dualité onde-particule. Des experts faisaient des exposés pour mettre les participants au courant de l'état actuel de la science, et des spécialistes de l'enseignement de la physique animaient l'étude d'activités pratiques, d'outils d'enseignement, de gadgets et de stratégies pédagogiques conçus pour rendre ces idées pertinentes et accessibles aux élèves.

En plus du camp intensif d'une semaine *EinsteinPlus*, l'Institut Péricimètre a organisé en 2020-2021 152 ateliers auxquels ont participé 4 700 enseignants, la plupart en ligne. L'Institut Péricimètre a aussi organisé au Brésil, en partenariat avec le Centre international de physique théorique de l'Institut sud-américain de recherche fondamentale, 79 ateliers auxquels ont participé 2 719 enseignants. Les sujets abordés comprenaient le mystère de la matière sombre, la dualité onde-particule, le système GPS et la relativité, la physique quantique, les trous noirs et l'univers en expansion.

M<sup>me</sup> McKay dit que les formateurs et les ateliers du camp continueront de l'aider à progresser comme enseignante. « Les animateurs sont vraiment brillants; leurs plans de cours et leurs trousseaux sont tout à fait éprouvés. »

*Les programmes de formation de l'Institut Péricimètre destinés aux enseignants bénéficient du soutien de Power Corporation du Canada et du Fonds communautaire Bosch, au nom d'ESCRYPT au Canada.*

## RESSOURCES PÉDAGOGIQUES

Dans des classes de partout au Canada et de 124 autres pays, les trousseaux numériques gratuits de l'Institut Péricimètre donnent aux enseignants la confiance nécessaire pour enseigner la physique, et aux élèves une manière passionnante et interactive d'explorer et d'apprendre. Chaque trousseau aborde un sujet important de physique, ou plus généralement de sciences, et comprend des plans de cours, des activités pratiques, des démonstrations, des fiches de travail modifiables, de l'information complémentaire pour les enseignants et des vidéos originales produites par l'Institut Péricimètre.

Toutes les trousseaux pédagogiques sont disponibles en français et en anglais, et d'autres traductions sont en cours, avec 17 trousseaux disponibles en portugais et 15 en espagnol. Voici les titres des nouvelles trousseaux produites en 2020-2021 : *L'optique, ou l'étude de la lumière*; *Étudier la constante de Planck à l'aide de DEL*; *Au-delà de l'atome*; *Mettre l'Orbitron en marche*.

Les trousseaux pédagogiques de l'Institut Péricimètre sont élaborées avec la participation d'enseignants et répondent aux lignes directrices des programmes d'enseignement de toutes les provinces. En 2021, des membres de l'équipe de diffusion des connaissances ont participé à 3 activités en ligne afin de mieux connaître le milieu de l'éducation autochtone : le rassemblement national pour l'éducation autochtone organisé par Inspire; la table ronde sur les STGM organisée par la Société autochtone canadienne de sciences et de génie; le sommet sur le leadership organisé par la Société autochtone américaine de sciences et de génie.







▲ École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes

## DE JEUNES PHYSICIENS TROUVENT LEUR COMMUNAUTÉ GRÂCE À UNE ÉCOLE D'ÉTÉ INTERNATIONALE

L'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP) est le camp d'été parfait pour des élèves du secondaire passionnés de science. Même si le programme a dû se tenir en ligne à cause de la pandémie, les 39 élèves du secondaire qui y ont participé ont créé des liens qui, selon eux, pourraient durer toute la vie.

Ce camp intensif de 2 semaines a été suivi par 20 élèves du Canada et 19 situés dans 10 autres pays. Depuis plusieurs années, l'ISSYP parvient à un équilibre entre garçons et filles, et cette année n'a pas fait exception.

« Je peux aller dans YouTube et apprendre des choses par moi-même », dit Gina Bilic, de Winnipeg. « Mais de travailler avec des élèves de l'étranger et des enseignants a été une expérience extraordinaire. J'ai rencontré des jeunes d'Espagne et de Dubaï. Nous nous intéressons aux mêmes choses, mais nous avons tous des antécédents différents. »

En plus de leurs différences sur les plans de la géographie, de la culture et de leurs antécédents, les élèves sont arrivés à l'école d'été avec des compétences variées dans divers aspects de la physique. Certains étaient plus forts en mathématiques, et d'autres avaient des intérêts particuliers pour la cosmologie ou

la physique quantique. Les élèves et les enseignants s'entendaient toutefois pour dire que les prédicteurs de succès les plus fiables étaient la passion et l'enthousiasme. Le mentorat en matière de carrière est une composante importante de l'école d'été. Les participants rencontrent des gens et se renseignent sur les possibilités d'emploi en physique.

Mise sur pied en 2004, l'ISSYP a été suivie par plus de 900 élèves de 62 pays. Beaucoup d'entre eux ont poursuivi des études et une carrière en STGM.

« Le programme a permis à beaucoup d'entre nous, qui avons une même passion pour la physique, d'établir des liens », dit Hassan Elshabasy, de Calgary, en Alberta, qui a commencé cet automne un baccalauréat spécialisé en physique à l'Université de Waterloo. « Beaucoup de participants au programme iront aussi à l'Université de Waterloo l'an prochain. Nous allons donc rester en contact entre nous, ainsi qu'avec des membres de l'Institut Périmètre. »

*En 2020-2021, l'ISSYP a été rendue possible grâce au soutien de la Fondation RBC, commanditaire principal, dans le cadre du programme Objectif avenir RBC.*

### VEILLER À CE QUE ÇA FONCTIONNE



*« Chaque jour, j'ai la chance d'intéresser des gens au monde naturel, et même de susciter leur enthousiasme. Je considère que mon rôle est de transmettre ma passion de la physique à des enseignants, et d'aider des jeunes à découvrir et nourrir les scientifiques qui dorment en eux. »*

Damian Pope est le gestionnaire principal de la recherche scientifique au sein du Département de diffusion des connaissances de l'Institut Périmètre, où il travaille depuis 16 ans. Il a dirigé la création des troupes pédagogiques de l'Institut, il forme des enseignants, et il enseigne des programmes à des élèves et au grand public. Titulaire d'un doctorat de l'Université du Queensland sur l'information quantique et les fondements quantiques, il collabore étroitement avec des chercheurs de l'Institut Périmètre en vue de créer des produits et programmes éducatifs.

# INSPIRER LES FUTURES SCIENTIFIQUES

À partir de leur laboratoire, de leur bureau ou de leur domicile, 4 femmes scientifiques ont fait part de leur vécu à l'intention d'élèves et d'étudiantes du monde entier, à l'occasion de la conférence annuelle *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques) de l'Institut Périmètre.

Pour souligner la Journée internationale des femmes et des filles de science, l'Institut Périmètre a organisé une séance de questions et réponses avec 4 femmes dont les recherches vont des profondeurs de l'océan jusqu'aux confins de l'univers.

Les panélistes étaient : Jessica Schaub, étudiante universitaire de première génération qui fait une maîtrise en océanographie; Tiera Fletcher, ingénieure en aérospatiale, auteure et conférencière motivatrice; Roopali Chaudhary, biologiste cellulaire et entrepreneure passionnée de diversité dans les domaines des STGMM (sciences, technologie, génie, mathématiques et médecine); Asimina Arvanitaki, physicienne des particules primée et professeure à l'Institut Périmètre.

Ces femmes ont parlé de leur expérience et répondu à des questions sur les difficultés et les satisfactions de faire un doctorat, la valeur d'aptitudes telles que la créativité et la communication, ainsi que la répartition des sexes dans leurs domaines respectifs. La discussion a amené une participante à réfléchir non seulement à sa propre carrière, mais aussi à la manière dont elle pourrait devenir un modèle pour d'autres.

« Comme M<sup>me</sup> Chaudhary, je suis aussi une immigrante », a déclaré Adithi Iyer, participante de Whitby, en Ontario. J'ai trouvé

très inspirant que M<sup>me</sup> Chaudhary dise qu'il ne faut pas laisser nos antécédents ou notre sexe nous empêcher d'entrer dans un domaine qui nous intéresse. Pourquoi le fait que je n'aie pas beaucoup de modèles auxquels je ressemble devrait-il m'empêcher de suivre ma passion pour les STGM et peut-être devenir un modèle pour quelqu'un d'autre? »

Pour la première fois, cette activité a eu lieu entièrement en ligne, ce qui lui a donné une audience internationale. Des enseignants de 25 pays et de 39 conseils scolaires de toutes les régions du Canada ont inscrit leurs classes à cette activité.

L'activité était commanditée par Linamar, entreprise canadienne de fabrication avancée. Dans son allocution, Linda Hasenfratz, PDG de Linamar, a souligné la variété des carrières possibles en STGM et la grande demande de personnel dans ces domaines, qui offrent souvent des conditions de travail très intéressantes.

« Les sciences et la technologie sont d'excellents choix pour toute personne qui est naturellement curieuse à propos du monde qui l'entoure », a-t-elle déclaré. Elle a aussi exhorté les jeunes femmes à

feuilleter ces domaines et à garder leurs options ouvertes : « Vous n'avez pas à fixer votre plan de carrière à 16 ou 17 ans. »

*La conférence Inspiring Future Women in Science (Inspirer les futures scientifiques) de 2020-2021 a été rendue possible grâce au soutien de Linamar Corporation, commanditaire principal.*



# COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ET MÉDIAS

La pandémie de COVID-19 a révélé le besoin d'une culture scientifique partout dans la société. Fournir au public une information scientifique exacte et accessible fait partie de la mission de l'Institut Périmètre depuis ses tout débuts, et au cours de la dernière année, l'Institut a continué d'atteindre des centaines de milliers de personnes partout dans le monde. Par ses sites Web, ses comptes de médias sociaux et ses partenariats avec des médias, l'Institut demeure une source de choix, intéressante et instructive de contenu en physique.

## UNE PRÉSENCE DANS LE WEB RENOUVELÉE

Au moment où des organismes du monde entier se démenaient pour améliorer leur présence en ligne au début de la pandémie, une refonte majeure du site Web de l'Institut Périmètre était déjà bien lancée. Inauguré en février 2021, le spectaculaire nouveau [perimeterinstitute.ca](http://perimeterinstitute.ca) offre au public de l'Institut un site adapté, accessible et compatible avec les appareils mobiles, et qui s'intègre harmonieusement aux autres environnements numériques de l'Institut. La fréquentation à partir d'appareils mobiles a doublé depuis le lancement du nouveau site, et celui-ci a été consulté en

2020-2021 par plus de 320 000 visiteurs qui ont visionné 1 million de pages.

En complément du site institutionnel, [insidetheperimeter.ca](http://insidetheperimeter.ca) – site Web de contenu scientifique accessible et partageable – a continué de fournir un contenu varié allant d'articles de fond sur les travaux les plus récents de scientifiques à des jeux-questionnaires amusants pour amateurs de science de tous âges. Au cours de la dernière année, [insidetheperimeter.ca](http://insidetheperimeter.ca) a enregistré plus de 225 000 visiteurs distincts et près de 350 000 pages consultées.

Si l'on veut saisir l'appétit du public pour un contenu scientifique de grande qualité, il suffit de constater la croissance rapide du suivi des médias sociaux de l'Institut Périmètre. Le canal YouTube de l'Institut a fait l'objet de plus de 6 millions de visionnements en 2020-2021, une augmentation de 211 % par rapport à l'année précédente, et le nombre d'abonnés a bondi de 36 % pour dépasser les 110 000.

Les abonnements ont augmenté dans tous les comptes de médias sociaux de l'Institut Périmètre. Le nombre combiné d'abonnés aux comptes Twitter et Facebook de l'Institut a atteint les 60 000, et ses comptes LinkedIn et Instagram ont connu des augmentations importantes (de 10 % et 11 % respectivement).

## L'INSTITUT PÉRIMÈTRE DANS LES MANCHETTES

- « New quantum centre in Ontario to probe nature's deepest and weirdest secrets » (En Ontario, un nouveau centre quantique sondera les secrets les plus profonds et étranges de la nature), *La Presse canadienne*, le 16 octobre 2020.
- « Astronomers glimpse black hole's magnetic personality » (Des astronomes entrevoient la personnalité magnétique d'un trou noir), *The Globe and Mail*, le 24 mars 2021.
- « Celebrating Emmy Noether, Sameera Moussa, Caroline Bleeker, Toshiko Yuasa and other inspiring women in science » (Hommage à Emmy Noether, Sameera Moussa, Caroline Bleeker, Toshiko Yuasa et à d'autres scientifiques inspirantes), *Physics World*, le 16 octobre 2020.
- « 'Hot-spotting': Give COVID-19 vaccine to potential super-spreaders first to make limited supplies more effective: researchers » (COVID-19 – Des chercheurs conseillent de vacciner d'abord les superpropagateurs, afin de mieux utiliser les ressources limitées), *National Post*, le 23 décembre 2020.
- « Clay Riddell Centre for Quantum Matter launching after \$10-million donation for Perimeter Institute hub » (Lancement du Centre de recherches Clay-Riddell sur la matière quantique, par suite d'un don de 10 millions de dollars à l'Institut Périmètre), *Calgary Herald*, le 15 octobre 2020.
- « The mystery at the heart of physics that only math can solve » (Le mystère au cœur de la physique que seules les mathématiques peuvent résoudre), *Quanta Magazine*, le 10 juin 2021.
- « Hamilton-raised Kobo founder is new Perimeter chair » (Enfant de Hamilton, le fondateur de Kobo est le nouveau président du conseil d'administration de l'Institut Périmètre), *Hamilton Spectator*, le 31 mai 2021.
- « Les scientifiques publient la première image des champs magnétiques autour du trou noir (sic) », *La Presse canadienne*, le 24 mars 2021.
- « Pilot project pairing tech mentors with Indigenous youth » (Un projet pilote associe des mentors technos et de jeunes Autochtones), *CTV News*, le 9 novembre 2020.
- « The importance of funding quantum physics, even in a pandemic » (L'importance de financer la physique quantique, même en temps de pandémie), *Inside Philanthropy*, le 21 octobre 2020.

## CONFÉRENCES PUBLIQUES

2020-2021 a été une année particulière dans la longue existence des conférences publiques de l'Institut Périmètre. Même si l'Institut n'a pu accueillir le public dans ses locaux, la série s'est poursuivie sous forme de webdiffusions, en direct et à la demande, pour un public planétaire.

Cette année, 7 conférences intéressantes ont couvert des sujets allant du « monde fascinant et étrange de la matière quantique », par Karen Hallberg, à « l'univers invisible », par Priyamvada Natarajan, en passant par « une solution au problème du mariage stable », par Emily Riehl, et « les aventures d'une physicienne en virologie », par Catherine Beauchemin. En tout, ces conférences ont totalisé plus de 130 000 visionnements – nombre qui continuera d'augmenter au cours des prochains mois. Pendant les 5 dernières années, les conférences de l'Institut Périmètre ont fait l'objet de plus de 2 millions de visionnements.



# DÉVELOPPEMENT DE L'INSTITUT

## ACCOMPLIR SA MISSION

« *Maintenant plus que jamais, nous devons tirer parti de tous les esprits les plus brillants en sciences. Les initiatives Emmy-Noether de l'Institut Péricimètre corrigent la sous-représentation des femmes en physique théorique. Je suis fière d'avoir contribué à mettre sur pied le Fonds Emmy-Noether pour talents émergents, afin de faire progresser la place des femmes en sciences à l'Institut Péricimètre, et de bâtir un avenir meilleur pour le Canada et pour le monde.* »

– Anne-Marie Canning, entrepreneure culturelle et membre du Conseil Emmy-Noether de l'Institut Péricimètre

L'Institut Péricimètre bénéficie de l'appui des gouvernements du Canada et de l'Ontario, ainsi que d'un grand nombre d'entreprises, de fondations et de philanthropes du secteur privé. Ensemble, nous visons à former le meilleur institut de physique théorique au monde.

Nos partenaires gouvernementaux et philanthropiques comprennent qu'un investissement dans la physique théorique est un investissement dans le domaine de la science le moins coûteux et à l'impact le plus important. L'Institut Péricimètre, chef de file indépendant et ambitieux dans le domaine, repose sur l'idée que la physique théorique d'aujourd'hui est la technologie de demain. Les technologies à venir, notamment en informatique quantique et en apprentissage automatique, découleront de la prochaine vague d'avancées en physique. Les partenaires gouvernementaux et philanthropiques de l'Institut appuient ce qui est un atout majeur pour le Canada, et contribuent à la compétitivité et à la prospérité à court comme à long terme de l'Ontario.

L'exercice 2020-2021 a été pour l'Institut Péricimètre la 4<sup>e</sup> année d'ententes de financement, chacune de 50 millions de dollars sur 5 ans, avec les gouvernements de l'Ontario et du Canada. Ces investissements continuent d'appuyer un partenariat essentiel

pour le succès constant de l'Institut, et contribuent à faire de l'Ontario et du Canada un pôle mondial de premier plan en physique théorique.

Plus d'un tiers du budget annuel de fonctionnement de l'Institut Péricimètre est financé par une communauté encore croissante de philanthropes visionnaires. Le Cercle Emmy-Noether, formé d'un groupe de bailleurs de fonds, a contribué au lancement du Fonds Emmy-Noether pour talents émergents, qui vise à appuyer des femmes à des stades cruciaux de leur formation et de leur carrière, au sein de l'Institut Péricimètre et au-delà.

Cette collectivité inspirante de donateurs et de bénévoles sait que quand tous peuvent apporter leur contribution, des percées sont assurées. En 2021, leurs engagements envers le fonds ont atteint près de 1 million de dollars, dépassant largement l'objectif initial de 250 000 \$ et nous rapprochant de la cible de 2,5 millions de dollars.

L'Institut Péricimètre s'est engagé à bâtir une communauté de physiciens où tous peuvent s'épanouir et avoir un sentiment d'appartenance. Le Conseil Emmy-Noether et les donateurs du Cercle Emmy-Noether ajoutent beaucoup d'énergie et de ressources à notre vision collective.

## APPUIS À LA VISION DE L'INSTITUT

L'Institut Péricimètre exprime sa reconnaissance envers les personnes et organismes ci-dessous, qui ont donné au moins 100 000 \$ depuis 2014. Ils s'ajoutent à Mike Lazaridis, le principal donateur fondateur de l'Institut Péricimètre. Ces généreux dons ont permis à notre campagne de financement privé d'atteindre 54 millions de dollars d'engagements à ce jour.

Donateurs anonymes (2)

Fondation Airlie

Groupe financier BMO

Gary Brown

Anne-Marie Canning

Cenovus Energy

Coril Holdings

Fondation Cowan

Joanne Cuthbertson et Charlie Fischer

Fondation de la famille Daniel

Famille Delaney

Fondation de bienfaisance

Ira-Gluskin-et-Maxine-Granovsky-Gluskin

Gluskin Sheff + Associates inc.

Fondation familiale

de Peter et Shelagh Godsoe

Fondation Scott-Griffin

Fondation Krembil

Linamar Corporation

Maplesoft

Famille Marsland

Pattison Outdoor Advertising

Power Corporation du Canada

Fondation de bienfaisance Ptarmigan

Fondation RBC

Fondation de bienfaisance

de la famille Riddell

Banque Scotia

Michael Serbinis et Laura Adams

Shaw Communications

Fondation Simons

Corinne Squire et Neil Turok

Fondation Stavros-Niarchos

Brian Sullivan

Financière Sun Life

Fondation John-Templeton

Famille de Scott A. et Sherry Vanstone

Mac Van Wielingen, Fondation Viewpoint

## DOMPTER L'INFINI

Stephen Hawking et d'autres ont été perplexes devant une propriété remarquable de la gravitation, encore difficile à saisir aujourd'hui : la gravitation fonctionne comme un hologramme. Un univers quadridimensionnel comme le nôtre (3 dimensions spatiales, 1 dimension temporelle) devrait être décrit par une membrane bidimensionnelle, un genre d'hologramme, existant à l'infini, aux « extrémités de l'univers ».

Ana-Maria Raclariu, nouvelle boursière Fondation Ptarmigan-Stephen-W.-Hawking de l'Institut Péricimètre, poursuit ces recherches dans de nouvelles directions audacieuses. Elle dompte l'infini et ses symétries, avec pour objectif d'extraire une nouvelle description holographique de la gravitation qui pourrait révolutionner notre représentation de l'univers.

M<sup>me</sup> Raclariu est une scientifique extraordinaire qui s'aventure dans des contrées qu'aucun chercheur n'a explorées avant elle. Elle continuera de faire sa marque dans le monde de la physique par ses travaux au sein de la nouvelle initiative *Holographie céleste* en cours de lancement à l'Institut Péricimètre.

La bourse de 4 ans de M<sup>me</sup> Raclariu est entièrement financée par un généreux don de la Fondation Ptarmigan. La Fondation Ptarmigan soutient entièrement les efforts de l'Institut Péricimètre visant à promouvoir plus d'égalité et d'inclusion en science. L'Institut lui est reconnaissant de cet appui visionnaire, qui permet à l'Institut Péricimètre d'attirer et de retenir des experts doués tels que M<sup>me</sup> Raclariu, qui approfondissent notre compréhension du cosmos.

« Notre famille est ravie que l'Institut Péricimètre ait pu recruter Ana-Maria pour en faire notre première boursière Stephen-W.-Hawking », affirme Richard Bird, président de la Fondation Ptarmigan. « C'est une jeune femme extraordinairement



▲ Ana-Maria Raclariu

talentueuse, dont les recherches feraient plaisir à Stephen Hawking.

« Ana-Maria est exactement le type de jeune scientifique qui profitera de la stature de l'Institut Péricimètre et du Canada comme centre d'excellence en matière de recherche en physique théorique, et qui y contribuera à son tour. »

## CONSEIL D'ORIENTATION DE L'INSTITUT PÉRICIMÈTRE

Le conseil d'orientation de l'Institut Péricimètre est un groupe de personnes influentes bénévoles qui offrent des conseils et agissent comme ambassadeurs de l'Institut auprès des milieux d'affaires et des organismes philanthropiques.

### Joanne Cuthbertson, coprésidente

Membre du conseil d'administration, Institut Péricimètre  
Chancelière émérite, Université de Calgary

### Patrice Merrin, coprésidente

Ancienne membre du conseil d'administration, Institut Péricimètre  
Administratrice, Glencore Plc et Samuel, Son & Co.

### Susan Baxter

Membre du conseil d'administration, Institut Péricimètre  
Vice-présidente, RBC Gestion de patrimoine,  
Groupe financier RBC

### Donald W. Campbell

Conseiller stratégique principal, DLA Piper

### Harbir Chhina

Vice-président directeur et directeur de la technologie,  
Genovus Energy

### Catherine Delaney

Présidente, C.A. Delaney Capital Management Itée

### Edward Goldenberg

Associé, cabinet d'avocats Bennett Jones

### Brad Marsland

Vice-président, Marsland Centre Itée

### Jennifer Scully-Lerner

Vice-présidente, Goldman Sachs  
Coprésidente, Conseil Emmy-Noether, Institut Péricimètre

### Trevin Stratton

Économiste en chef, Chambre de commerce du Canada

### Alfredo Tan

Vice-président principal, Rogers Sports et médias

# MERCI À CEUX QUI NOUS SOUTIENNENT

*Des donateurs publics et privés toujours plus nombreux ont contribué à faire de l'Institut Péricimètre ce qu'il est aujourd'hui : un chef de file mondial de la recherche fondamentale, de la formation scientifique et de la diffusion des connaissances. Nous exprimons notre profonde reconnaissance à tous ceux qui nous soutiennent.*

## FONDS DE DOTATION

### FONDATEUR (150 millions de dollars et plus)

Mike Lazaridis

### 25 millions de dollars et plus

Doug Fregin

### 10 millions de dollars et plus

Jim Balsillie

## PARTENAIRES GOUVERNEMENTAUX

Gouvernement du Canada

Gouvernement de l'Ontario

## DOTATIONS PARTICULIÈRES

Chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique (4 millions de dollars)

Chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique (4 millions de dollars)

Bourse de la Fondation familiale de Peter et Shelagh Godsoe pour jeune talent exceptionnel (1 million de dollars)

## DONS MAJEURS POUR LA RECHERCHE À L'INSTITUT PÉRICIMÈTRE

Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique (10 millions de dollars)

Centre de recherches de l'Institut Péricimètre sur l'univers (5 millions de dollars)\*

Chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique (4 millions de dollars)

Chaire Krembil-Gallée de physique théorique (4 millions de dollars)

Chaire Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique (4 millions de dollars)

Chaire Gluskin-Sheff-Onex-Freeman-Dyson de physique théorique (2 millions de dollars)

Chaire Coril-Holdings-Archimède de physique théorique (à titre de chercheur invité) (1 million de dollars)

Chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique (1 million de dollars)

Chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique (1 million de dollars)

Chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler de physique théorique (500 000 \$)

Bourse Fondation-Ptarmigan-Stephen-W.-Hawking (400 000 \$)

Chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell (à titre de chercheur invité)

Donateur anonyme (1)

\* Donateur anonyme

## PARTENAIRES COMMANDITAIRES (100 000 \$ et plus)

Cenovus Energy, en appui au programme de chaires de chercheur invité distingué

Maplesoft, promoteur de la diffusion des connaissances par l'Institut Péricimètre

Power Corporation du Canada, fier supporteur d'*EinsteinPlus* et du réseau des enseignants de l'Institut Péricimètre

Fondation RBC, partenaire principal, École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes et Vive la physique!, dans le cadre du programme *Objectif avenir RBC*

Mike Serbinis et Laura Adams, en appui au programme d'été de physique théorique pour étudiants de 1<sup>er</sup> cycle

## CERCLE DES ACCÉLÉRATEURS

(50 000 \$ et plus)

Fondation Cowan

Brian Sullivan

Mac Van Wielingen, Fondation Viewpoint

## BOURSES (35 000 \$ et plus)

Bourse Anaximandre de la Fondation familiale Savvas-Chamberlain

Bourse d'études supérieures Joanne-Cuthbertson-et-Charlie-Fischer

Bourse Anaximandre de la Fondation du patrimoine hellénique

Bourse PSI honorifique de Brad et Kathy Marsland

Bourse PSI honorifique de Margaret et Larry Marsland



## CERCLE DES DIRECTEURS (DE 10 000 \$ À 49 999 \$)

### 25 000 \$ et plus

Fondation Airline  
Fonds communautaire Bosch, au nom d'ESCRYPT au Canada  
Groupe financier Connor, Clark et Lunn  
Fondation Scott-Griffin  
Toyota Motor Manufacturing Canada (TMMC)

### 10 000 \$ et plus

Société The Boardwalk  
Cenovus Energy  
Harbir et Monica Chhina

Ed Kernaghan  
Fondation communautaire de Kitchener-Waterloo :  
– Fonds de la famille McMurtry  
– Fonds Musagetes  
– Fonds de la famille de John A. Pollock  
Fondation Oriole  
Fondation familiale de Donald et Eleanor Seaman  
John et Karen Sechrist  
Alex White

## AMIS (jusqu'à 9 999 \$)

### 5 000 \$ et plus

Denise et Terry  
Avchen, Environmental Research Advocates\*\*  
Mary et Ted Brough  
Jon et Lyne Dellandrea  
Michael Duschenes  
Renée Schingh et Robert Myers

### 2 500 \$ et plus

Don Campbell  
J. DesBrisay et M. Cannell  
Robert Korhals et Janet Charlton  
Jennifer Scully-Lerner\*\*  
Kelly Sinclair

### 1 000 \$ et plus

Jeremy Anderson

John Attwell  
Jeff Bakker  
Famille Breunsbach\*\*  
Fondation de la famille Carson  
Ben et Mona Davies  
Greg Dick  
Michael Gagnier  
Michael Horgan  
John Matlock  
Gordon McKay  
Carl Wurtz  
**De 250 \$ à 999 \$**  
Debbie et Ian Adare  
Mike Birch  
Kostadinka Bizheva  
John Brennen  
David Cook

Matt Douglas  
Giresh Ghooray  
Adam Gravitis  
Denis Havey  
Mike Horsley  
Blair Kent  
Vladimir Kremerman\*\*  
Gilbert Kuipers  
Luis Lehner et Maria Beltramo  
Maneesh Mehta  
George Meierhofer  
Suzanne Morris  
Bill et Jan Mustard  
Nem Radenovic  
Adele Robertson  
Catalin Sandu  
LeAnne Thorfinnson

Stephanie Tse  
Jacqueline Watty  
Nancy Wong  
Donateurs anonymes (5)  
De plus, il y a eu 92 dons allant jusqu'à 250 \$.

## CERCLE EMMY-NOETHER

*Emmy Noether a été une brillante scientifique dont les travaux sous-tendent une grande partie de la physique moderne. Financées par les donateurs du Cercle Emmy-Noether, les initiatives Emmy-Noether de l'Institut Périmètre appuient et encouragent les femmes en sciences. Voir plus de détails aux pages 22 et 23.*

### DONATEUR FONDATEUR

The Bluma Appel Community Trust

### DONS MAJEURS

Programme de bourses Simons-Emmy-Noether de l'Institut Périmètre (600 000 \$)

### 100 000 \$ et plus

Anne-Marie Canning  
Linamar Corporation  
Brian Sullivan  
Scott Vanstone, Ph.D.,  
Sherry Vanstone et leur famille

### 25 000 \$ et plus

Andrew et Lillian Bass  
Dorian Hausman  
Patrice E. Merrin

### 10 000 \$ et plus

Jane Kinney et Christian Bode  
Rigel Kent Security

### 5 000 \$ et plus

Jerome Bolce  
John et Karen Sechrist  
Kim Tremblay

### 1 000 \$ et plus

Andrea Grimm  
Lisa Lyons Johnston  
Mary et Lee Sauer  
Michelle Savoy  
Patricia M. Woroch  
Donateur anonyme (1)

### De 250 \$ à 999 \$

Bryon Bellows  
Tania Framst  
Tom et Cheryl Hintermayer  
Beth Horowitz et Pat Munson  
Sheri et David Keffer  
Sebastian Mizera\*\*  
Douglas Mortley-Wood  
Neil Steven Rieck  
Leslie Rogers  
Donateur anonyme (1)  
De plus, il y a eu 24 dons allant jusqu'à 250 \$ (1\*\*)

## DONS COMMÉMORATIFS

Carolyn Crowe Ibele, en mémoire de Richard A. Crowe, Ph.D.  
Margaret Tovell, en mémoire de David Tovell

\*\* Supporteur de Friends of Perimeter Institute (Amis de l'Institut Périmètre), organisme de bienfaisance établi aux États-Unis en vertu de l'article 501(c)(3), qui se consacre à la promotion et au soutien de l'éducation, de la recherche et de programmes qui augmentent les connaissances et la compréhension du public en physique théorique.

La liste ci-dessus correspond aux dons reçus entre le 1<sup>er</sup> août 2020 et le 31 juillet 2021, ainsi qu'aux engagements sur plusieurs années de 50 000 \$ et plus. Numéro d'enregistrement d'organisme de bienfaisance : 88981 4323 RR001

# GOUVERNANCE ET FINANCES

## GOUVERNANCE

L'Institut Périmètre est une société de bienfaisance à but non lucratif indépendante, régie par un conseil d'administration bénévole composé de membres issus du secteur privé et du milieu universitaire. Ce conseil est l'autorité suprême pour toutes les questions liées à la structure générale et au développement de l'Institut.

La planification financière, la comptabilité et la stratégie de placement relèvent du comité de gestion des placements ainsi que du comité des finances et de l'audit. Le conseil d'administration forme également d'autres comités, selon les besoins, pour l'aider à exercer ses fonctions.

Relevant du conseil d'administration, le directeur général de l'Institut est un scientifique éminent chargé d'établir et de mettre en œuvre l'orientation stratégique globale de l'Institut. Le directeur administratif et chef de l'exploitation relève du directeur général et

est responsable du fonctionnement quotidien de l'établissement. Il est soutenu dans sa tâche par une équipe de cadres administratifs.

Les chercheurs résidants de l'Institut Périmètre jouent un rôle actif dans la gestion opérationnelle des activités scientifiques de l'Institut, en participant à différents comités chargés des programmes scientifiques. Les présidents de ces comités relèvent du président du corps professoral, qui assiste le directeur général de l'Institut en ce qui concerne la révision des programmes, le recrutement et l'octroi de la permanence.

Composé de scientifiques de renommée internationale, le comité consultatif scientifique est un corps d'examen et un organe consultatif indépendant. Il fournit un appui crucial en vue de l'atteinte des objectifs stratégiques de l'Institut.

## MEMBRES DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

### Michael Serbinis

Président du conseil d'administration  
Membre du comité des finances et de l'audit  
Fondateur et PDG, League inc.

### Jane Kinney

Vice-présidente du conseil d'administration  
Présidente du comité des finances et de l'audit  
Membre du comité de gestion des placements  
Vice-présidente à la retraite, Deloitte

### Susan Baxter

Présidente du comité de gestion des placements  
Membre du comité des finances et de l'audit  
Membre du conseil d'orientation de l'Institut Périmètre  
Vice-présidente, Groupe des clients stratégiques,  
Banque Royale du Canada

### Joanne Cuthbertson, C.M.

Coprésidente du conseil d'orientation de l'Institut Périmètre  
Chancelière émérite, Université de Calgary

### Gabriela González

Titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué  
Professeure, Université d'État de Louisiane  
Département de physique et d'astronomie

### Michael Horgan

Membre du comité des finances et de l'audit  
Conseiller principal, cabinet d'avocats Bennett Jones

### Donna Strickland

Professeure, Université de Waterloo  
Département de physique et d'astronomie  
Prix Nobel de physique 2018

*Les biographies des membres du conseil d'administration sont accessibles (en anglais) à l'adresse [www.perimeterinstitute.ca/people](http://www.perimeterinstitute.ca/people)*

## CHANGEMENTS AU CONSEIL D'ADMINISTRATION

En 1999, un jeune ingénieur visionnaire du nom de Mike Lazaridis a lancé le BlackBerry – ce qui allait catalyser toute la révolution du téléphone multifonctionnel.

C'était une innovation extraordinaire, mais M. Lazaridis savait très bien qu'elle découlait de découvertes scientifiques réalisées des décennies et même un siècle auparavant. Il a fondé l'Institut Périmètre pour rechercher la prochaine grande percée, celle qui transformera la vie des petits-enfants de nos petits-enfants. Depuis ce moment, il a présidé le conseil d'administration de l'Institut, faisant de celui-ci l'un des plus grands centres de physique théorique au monde.

Cette année, il a passé le flambeau à Mike Serbinis, nouveau président du conseil d'administration. Tout comme son

prédécesseur, M. Serbinis est un entrepreneur en technologie, cofondateur de plusieurs entreprises, dont Kobo, Critical Path, DocSpace et League.

« Mike Serbinis représente ce que le Canada a de mieux comme jeunes à l'avant-garde de la technologie », déclare Robert Myers, directeur de l'Institut Périmètre. « C'est un bâtisseur trempé dans la science, et il apporte l'énergie et l'audace dont l'Institut Périmètre a besoin pour construire un avenir meilleur. »

« Le parcours de l'Institut Périmètre en seulement 20 ans a été jusqu'à maintenant extraordinaire, dit M. Serbinis. Mais, d'une certaine manière, ce n'est qu'un début. »

L'Institut – à la manière d'une mission spatiale – largue le 1<sup>er</sup> étage de sa fusée et met en route les propulseurs



du 2<sup>e</sup> étage. Un conseil d'administration renouvelé, formé de bénévoles, prend la relève.

Voici les membres sortants du conseil d'administration : Cosimo Fiorenza, vice-président et avocat-conseil de Quantum Valley Investments, qui a été pendant 22 ans membre du conseil d'administration de l'Institut Péricètre et en était le vice-président; Patrice Merrin, qui a été membre du conseil d'administration pendant 3 ans et qui poursuit son mandat comme coprésidente du conseil d'orientation de l'Institut; Jeff Moody, qui a été membre du conseil d'administration pendant 6 ans et qui continue de siéger à son comité de gestion des placements. Nous les remercions pour les services exceptionnels qu'ils ont rendus et pour les liens qu'ils maintiennent avec l'Institut Péricètre.

Formé de 7 personnes – 5 femmes et 2 hommes –, le conseil d'administration renouvelé comprend des chefs de file de la science, de la technologie, du secteur privé et du milieu universitaire.

Jane Kinney est la nouvelle vice-présidente du conseil d'administration. Avec plus de 30 ans d'expérience dans le secteur des services financiers, M<sup>me</sup> Kinney a récemment pris sa retraite comme vice-présidente de Deloitte Canada et membre de son conseil de direction.

« Je compte aider à orienter l'action de l'Institut Péricètre dans le contexte de la pandémie et des autres défis qui se présenteront – et il y en aura toujours –, dit M<sup>me</sup> Kinney. Je me passionne pour la bonne gouvernance, la planification financière, la gestion des risques et tous les autres éléments qui concourent à l'épanouissement d'une organisation complexe. »

Nouvellement nommée au sein du conseil d'administration, Gabriela González est professeure de physique et d'astronomie à l'Université d'État de Louisiane. Elle a notamment été porte-parole du projet scientifique international LIGO de 2011 à 2017, période au cours de laquelle le LIGO a trouvé la première preuve directe de l'existence d'ondes gravitationnelles.

« Mike Serbinis considère qu'il devrait y avoir davantage d'expertise scientifique au sein du conseil d'administration, dit M<sup>me</sup> González, et des liens plus étroits entre le conseil et les scientifiques. » Elle est particulièrement bien placée pour remplir cette mission, car elle a souvent rendu visite à l'Institut à titre de présidente de son comité consultatif scientifique de 2017 à 2021.

Elle aussi nouvellement nommée au sein du conseil d'administration, Donna Strickland est professeure au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo et colauréate du prix Nobel de physique 2018.

« Mon activité scientifique est un peu différente de celle de l'Institut Péricètre, dit-elle. Mais à un certain niveau, toute la science s'exprime dans le même langage. Nous repoussons tous les limites de ce qui est possible. »

Le nouveau conseil souhaite vivement voir l'Institut Péricètre grandir et s'épanouir. « L'Institut Péricètre constitue un investissement à long terme dont les rendements vont croître de manière exponentielle, dit M. Serbinis. Les travaux effectués ici donneront de profonds résultats – non seulement pour l'avenir de la technologie, mais aussi pour celui du Canada et de toute l'humanité. »

## MEMBRES DU COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE

### Marcela Carena

Présidente du comité  
Laboratoire national d'accélérateurs Fermi

### Marica Branchesi

Institut des sciences de Gran Sasso

### Fernando Brandao

Institut de technologie de la Californie

### Fay Dowker

Collège impérial de Londres

### Daniel Freed

Université du Texas à Austin

### Charles Gammie

Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

### Gian Francesco Giudice

Organisation européenne pour la  
recherche nucléaire (CERN)

### Gilbert Holder

Université de l'Illinois

### Juan Maldacena

Institut d'études avancées de Princeton

### Natalia Perkins

Université du Minnesota

### Sandu Popescu

Université de Bristol

L'Institut Péricètre tient à remercier les personnes suivantes, qui ont servi au sein du comité consultatif scientifique de 2017 à 2021 : **Steven Carlip**, de l'Université de la Californie à Davis; **Gabriela González**, de l'Université d'État de Louisiane; **David B. Kaplan**, de l'Université de l'État de Washington; **Ramesh Narayan**, de l'Université Harvard.

## HAUTS DIRIGEANTS

### Robert C. Myers

Directeur

### Paul Smith

Directeur administratif  
et chef de l'exploitation

### Laurent Freidel

Président du corps professoral

## AU REVOIR À MICHAEL DUSCHENES

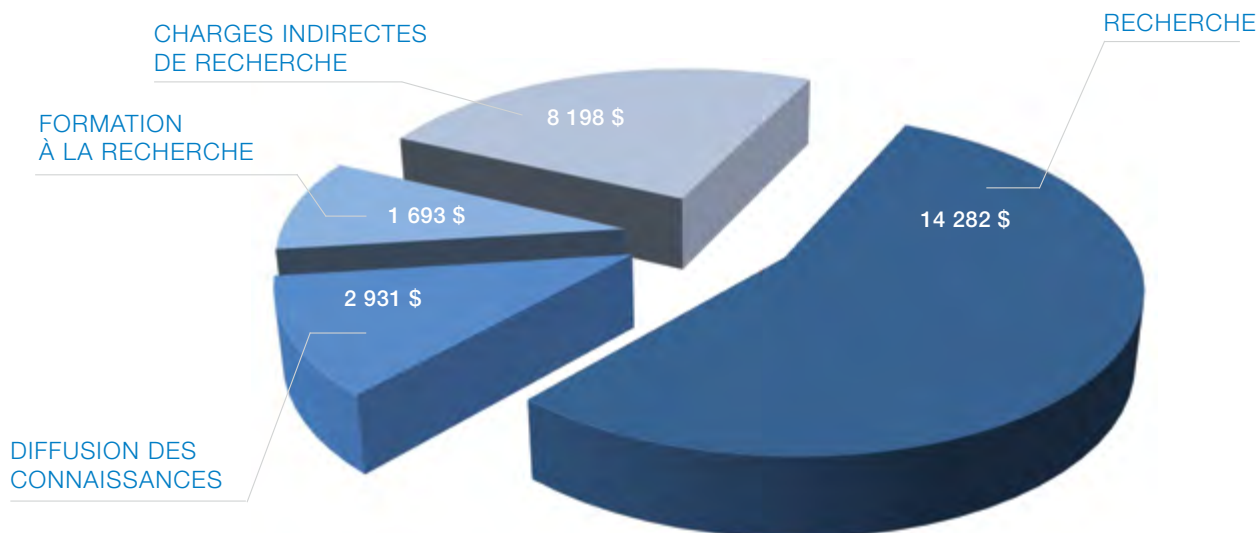
Cette année, l'Institut Péricètre a dit un chaleureux au revoir à son ancien directeur administratif et chef de l'exploitation, Michael Duschenes, qui a accompagné pendant 17 ans l'Institut dans sa croissance. Il a notamment mis sur pied l'équipe des cadres administratifs et supervisé de nombreuses initiatives couronnées de succès, dont la construction du Centre Stephen-Hawking et le lancement du programme *PSI (Perimeter Scholars International)* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricètre.

Paul Smith est devenu en 2021 le nouveau directeur administratif et chef de l'exploitation de l'Institut Péricètre. Scientifique de formation, fort d'une longue expérience en recherche, dans l'industrie et en gestion, plus récemment à titre de vice-président de Xerox et directeur de son Centre mondial de recherche sur les matériaux, situé en Ontario, Paul Smith est titulaire de 78 brevets d'invention. Il a obtenu un doctorat en chimie à l'Université de Bath et un MBA à l'École Rotman de gestion de l'Université de Toronto.

# FINANCES

## SOMMAIRE DES CHARGES DE FONCTIONNEMENT (voir la page 52)

Pour l'exercice terminé le 31 juillet 2021(en milliers de dollars)



En raison de la pandémie de COVID-19, et des mesures adoptées par les gouvernements du monde entier pour combattre la propagation du virus, l'Institut Péricône a dû s'adapter pendant tout l'exercice aux transitions entre confinement et déconfinement. Toute la communauté de l'Institut a su relever avec résilience et souplesse ce défi sans précédent, et l'Institut Péricône est demeuré un pôle mondial de recherche, de formation et de diffusion des connaissances en physique théorique.

Les activités de recherche se sont poursuivies avec des collaborations, conférences, ateliers et séminaires en mode virtuel. La promotion 2021 du programme PSI a complété le programme entièrement en ligne. L'équipe de diffusion des connaissances a offert en mode virtuel des programmes exceptionnels aux enseignants, aux étudiants et au grand public, et a aussi créé de nouvelles ressources pédagogiques pour des classes numériques.

Toutes les fois que c'était possible et conforme aux mesures sanitaires, l'Institut a réintroduit des interactions en personne, ramenant dans ses locaux le personnel essentiel, des chercheurs et des étudiants pour poursuivre ses activités de recherche et de formation en petits groupes.

L'Institut a hâte de revenir à son fonctionnement normal, notamment pour assurer en personne des collaborations scientifiques, le soutien aux jeunes chercheurs, ainsi que ses activités de formation et de diffusion des connaissances.

### Recherche

Faire progresser notre compréhension de l'univers au niveau le plus fondamental demeure la principale raison d'être de l'Institut Péricône. Pour accomplir sa mission, l'Institut a continué

d'investir dans ses activités de recherche, en mettant l'accent sur le maintien d'un environnement virtuel solide. Ses recherches se sont poursuivies dans 9 domaines, sous l'impulsion d'un corps professoral renommé et de l'un des plus grands groupes de postdoctorants en physique théorique au monde. La chute de 15 % des dépenses par rapport à l'année précédente est venue en grande partie des restrictions de voyage liées à la COVID-19, qui se sont traduites par l'absence d'ateliers, conférences et séminaires en personne, de même que peu de collaborations et interactions en personne. Il n'y a eu au cours de l'année aucun séjour de scientifiques canadiens ou étrangers, et les boursières Simons-E Emmy-Noether ont reporté leur séjour à l'Institut.

### Formation à la recherche

L'Institut Péricône a continué d'investir dans des programmes innovateurs de formation à la recherche tels que le programme de maîtrise PSI et le programme de doctorat. Chaque programme attire et forme des talents scientifiques de premier plan. Il augmente leurs compétences, fait progresser la recherche et produit des chefs de file prêts à travailler dans de nombreux domaines qui alimentent la croissance économique du Canada. Les dépenses à ce chapitre ont baissé de plus de 35 % par rapport à l'année précédente, en partie parce que les étudiants dans le programme PSI et les doctorants ont fait toute leur année en mode virtuel, de sorte qu'il n'y a eu aucun frais de logement, de repas ou de déplacement. Pendant la pandémie, l'Institut Péricône a alloué des ressources de manière stratégique, dans des efforts concertés pour comprendre les besoins de chaque étudiant dans chaque pays, en tenant compte des fuseaux horaires et des situations individuelles.

## Diffusion des connaissances et communications scientifiques

Le programme de classe mondiale de diffusion des connaissances de l'Institut Péricimètre s'est appuyé sur le succès du passage rapide à des ressources numériques au cours de l'année précédente. L'équipe a continué d'offrir aux enseignants du matériel prêt à utiliser en classe et conforme aux programmes d'enseignement. Il a aussi créé de nouveaux moyens d'intéresser les enseignants, notamment en offrant un camp en ligne, version numérique du programme d'été *EinsteinPlus* pour enseignants. Les programmes de diffusion des connaissances ont continué de toucher des enseignants et des élèves de partout au Canada et dans le monde entier, des plus grandes villes aux régions isolées et sous-desservies, contribuant à préparer des jeunes à des carrières fondées sur les STGM. Le caractère numérique d'une grande partie des contenus existants de l'Institut Péricimètre, ainsi que son expertise en la matière, ont permis de poursuivre la transition à un environnement virtuel avec un minimum d'interruption, en plus de susciter une réévaluation de certains programmes et modèles de diffusion. La baisse de 13 % des dépenses à ce chapitre en 2020-2021 est due principalement à l'annulation des programmes et activités organisés sur place pour des enseignants et des élèves, et donc à l'élimination des frais de voyage.

## PRODUITS

L'Institut Péricimètre continue de bénéficier d'un appui important des secteurs public et privé, ainsi que de subventions de recherche.

Les gouvernements fédéral et provincial ont continué de fournir des fonds conformément aux termes des accords de subvention. Les investissements majeurs et constants des gouvernements du Canada et de l'Ontario montrent que l'Institut Péricimètre en vaut la peine et qu'il rapporte beaucoup à ses partenaires publics.

Pour compléter les investissements publics, l'Institut Péricimètre est parvenu à obtenir un appui généreux du secteur privé, qu'il s'agisse d'entreprises, de fondations ou de donateurs individuels. Même avec la pandémie en cours, la campagne de collecte de fonds de l'Institut Péricimètre auprès du secteur privé et les subventions de fondations privées ont apporté près de 4,8 millions de dollars à l'appui du fonctionnement de l'Institut.

## SITUATION FINANCIÈRE

La situation financière de l'Institut Péricimètre demeure solide. Sous la direction du comité de gestion des placements, les fonds restent investis conformément aux politiques et procédures de placement approuvées par le conseil d'administration.

Même si la reprise économique a connu des variations à l'échelle mondiale cette année, le rendement des placements de l'Institut a dépassé les 13 % au cours de cette période. Cette solide performance permet à l'Institut de se prémunir contre des fluctuations importantes ou des baisses des marchés dans l'avenir. Elle donne aussi à l'Institut Péricimètre la souplesse et les moyens de profiter des occasions scientifiques qui pourraient se présenter, ce qui constitue un atout important pour le Canada et l'Ontario en tant que centre mondial de développement scientifique et technologique.

## Charges indirectes de recherche et de fonctionnement

Les charges indirectes de recherche et de fonctionnement comprennent les coûts des activités centrales de soutien, notamment l'administration, le développement de l'Institut, la technologie de l'information et les installations. Il y a eu une légère augmentation des dépenses en technologie, afin que chacun ait les outils nécessaires pour demeurer productif et en contact avec ses collègues. Tout en maintenant le bâtiment prêt à accueillir à nouveau tous ses occupants, l'Institut a consacré certaines sommes au soutien optimal de tous ses membres, notamment par des aides à la santé et au bien-être, et par des programmes internes de conseils individuels. L'Institut Péricimètre a investi dans une communauté saine, afin de maintenir le niveau de productivité, et de conserver son personnel et ses chercheurs en ces temps difficiles. Dans l'ensemble, les charges indirectes de recherche et de fonctionnement sont restées dans la moyenne des années précédentes.

## PLAN À LONG TERME

L'Institut Péricimètre doit son existence à des partenariats publics et privés coopératifs et très fructueux qui pourvoient aux activités courantes tout en préservant les possibilités futures.

Au 31 juillet 2021, l'Institut Péricimètre a terminé la 4<sup>e</sup> année d'ententes de financement, chacune de 50 millions de dollars sur 5 ans, avec les gouvernements fédéral et provincial, soit un financement total de 100 millions de dollars pour la période de 5 ans. Les engagements des gouvernements sur plusieurs années dont l'Institut Péricimètre bénéficie depuis sa fondation témoignent d'une étroite collaboration de l'Institut avec ses partenaires publics et montrent que l'Institut Péricimètre constitue un excellent investissement stratégique pour les gouvernements.

De plus, les gouvernements de l'Ontario et du Canada ont manifesté leur confiance envers l'Institut Péricimètre avec la prolongation de leurs subventions de 2022 à 2024.

En plus de l'appui du secteur public, le financement privé joue un rôle important dans le succès à long terme de l'Institut Péricimètre. L'Institut a fixé des objectifs de financement ambitieux et met en œuvre des moyens innovateurs afin d'accroître ses sources de fonds privés. Selon les désirs des donateurs, les sommes provenant du secteur privé peuvent servir à assumer des charges d'exploitation ou être placées dans un fonds de dotation conçu pour réduire le plus possible les risques et maximiser la croissance.

Enfin, le fonds de dotation continue d'être géré de manière à améliorer la meilleure stabilité financière à long terme de l'Institut Péricimètre, en préservant le capital tout en fournissant un apport stable de fonds à l'appui de l'exécution et de l'accélération du mandat de l'Institut.

## RAPPORT DES AUDITEURS INDÉPENDANTS SUR LES ÉTATS FINANCIERS RÉSUMÉS

À l'attention du conseil d'administration de l'Institut Périmètre

Les états financiers résumés ci-joints, qui comprennent l'état résumé de la situation financière au 31 juillet 2021, l'état résumé des résultats et l'évolution du solde des fonds pour l'exercice terminé à cette même date, ont été établis à partir des états financiers audités de l'Institut Périmètre (« l'Institut ») pour l'exercice terminé le 31 juillet 2021.

À notre avis, les états financiers résumés ci-joints constituent un résumé fidèle des états financiers audités, établi conformément aux méthodes élaborées par la direction, qui consistent à supprimer l'état des flux de trésorerie, à conserver les principaux sous-totaux et totaux ainsi que les données comparatives.

### États financiers résumés

Les états financiers résumés ne contiennent pas toutes les informations requises selon les normes comptables canadiennes pour les organismes à but non lucratif. Par conséquent, la lecture des états financiers résumés ne peut remplacer la lecture des états financiers audités de l'Institut. Les états financiers résumés et les états financiers audités ne tiennent pas compte d'événements survenus après la date de notre rapport sur les états financiers audités.

### États financiers audités et notre opinion à leur sujet

Dans notre rapport daté du 16 décembre 2021, nous avons exprimé une opinion sans réserve sur les états financiers audités. Ces états financiers, de même que les états financiers résumés, ne tiennent pas compte d'événements survenus après la date de notre rapport sur les états financiers audités.

### Responsabilité de la direction à l'égard des états financiers résumés

La direction est responsable de la préparation d'un résumé des états financiers audités conformément aux méthodes élaborées par la direction, qui consistent à supprimer l'état des flux de trésorerie, à conserver les principaux sous-totaux et totaux ainsi que les données comparatives, et à conserver les renseignements contenus dans les états financiers audités à propos de questions ayant un effet généralisé ou important sur les états financiers résumés.

### Responsabilité de l'auditeur

Notre responsabilité consiste à exprimer une opinion sur le fait que les états financiers résumés constituent ou non un résumé fidèle des états financiers audités, d'après nos procédures, qui sont conformes à la Norme canadienne d'audit 810, *Missions visant la délivrance d'un rapport sur des états financiers résumés*.

### Divers

Les états financiers audités de l'Institut sont disponibles sur demande adressée à l'Institut.

Toronto (Ontario)  
Le 16 décembre 2021

*Zeifmans LLP*

Comptables agréés  
Experts-comptables autorisés

## INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé de la situation financière  
(en milliers de dollars)  
au 31 juillet 2021

	2021	2020
<b>ACTIF</b>		
Actif à court terme :		
Trésorerie et équivalents	7 470 \$	12 878 \$
Placements	391 593	346 895
Subventions à recevoir	17	--
Autre actif à court terme	962	586
	<u>400 042</u>	<u>360 359</u>
Immobilisations	37 825	39 342
<b>TOTAL DE L'ACTIF</b>	<u>437 867 \$</u>	<u>399 701 \$</u>
<b>PASSIF ET SOLDE DES FONDS</b>		
Passif à court terme :		
Comptes créditeurs et autre passif à court terme	2 290 \$	1 690 \$
<b>TOTAL DU PASSIF</b>	<u>2 290</u>	<u>1 690</u>
Solde des fonds :		
Investis dans les immobilisations	37 639	39 327
Grevés d'affectations d'origine externe	8 810	11 740
Grevés d'affectations d'origine interne	388 506	346 006
Non grevés	622	938
	<u>435 577</u>	<u>398 011</u>
<b>SOLDE TOTAL DES FONDS</b>	<u>437 867 \$</u>	<u>399 701 \$</u>

## INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé des résultats et du solde des fonds  
(en milliers de dollars)  
pour l'exercice terminé le 31 juillet 2021

	<b>2021</b>	<b>2020</b>
<b>Produits</b>		
Subventions gouvernementales	15 085 \$	15 000 \$
Dons	3 923	3 842
Autres produits	848	767
	<u>19 856</u>	<u>19 609</u>
<b>Charges</b>		
Recherche	14 282	16 896
Formation à la recherche	1 693	2 691
Diffusion des connaissances et communications scientifiques	2 931	3 386
Charges indirectes de recherche et de fonctionnement	8 198	8 376
	<u>27 104</u>	<u>31 349</u>
Excédent des produits par rapport aux charges de fonctionnement	(7 248)	(11 740)
Produits de placement	47 130	10 261
Amortissement	(2 316)	(2 304)
Excédent des produits par rapport aux charges (des charges par rapport aux produits)	37 566	(3 783)
Solde des fonds au début de l'exercice	398 011	401 794
Solde des fonds à la fin de l'exercice	<u>435 577 \$</u>	<u>398 011 \$</u>

# ANNEXES

## PROFESSEURS À PLEIN TEMPS

**Robert Myers** (Ph.D., Université de Princeton, 1986) est directeur de l'Institut Péricètre et titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique. Né à Deep River, en Ontario, il a été l'un des membres fondateurs du corps professoral de l'Institut en 2001, directeur scientifique en 2007 et 2008, président du corps professoral de 2011 à 2018, puis est devenu directeur en 2019. Avant de se joindre à l'Institut Péricètre, il a été professeur de physique à l'Université McGill. Les recherches de M. Myers portent sur des questions fondamentales concernant la physique quantique et la gravitation. Ses contributions scientifiques couvrent une grande variété de domaines, allant de la théorie quantique des champs à la cosmologie, en passant par la physique de la gravitation et les trous noirs. Plusieurs de ses découvertes, notamment l'« effet Myers » et la « cosmologie de la dilatation linéaire », ont joué un rôle important dans l'ouverture de nouvelles avenues de recherche. Ses travaux actuels mettent l'accent sur l'interaction entre l'intrication quantique et la géométrie de l'espace-temps, de même que sur l'application de nouveaux outils d'informatique quantique à l'étude de la gravitation quantique. Parmi les distinctions qu'il a reçues, mentionnons la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (1999), le prix ACP-CRM de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques (2005), la médaille Vogt remise par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes ainsi que TRIUMF (2012), la Médaille du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II (2013) et le Prix d'ancien étudiant éminent de l'Université de Waterloo (2018). Il a été élu en 2006 membre de la Société royale du Canada. Robert Myers est reconnu comme l'un des scientifiques les plus influents au monde, ayant figuré plusieurs fois sur la liste de Thomson Reuters et Clarivate Analytics des chercheurs abondamment cités. Il a été membre du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées (1998-2017) et membre associé du programme *Extrême univers et gravité* (depuis 2017). Il a été membre de nombreux conseils consultatifs scientifiques, dont ceux de la Station internationale de recherche de Banff (2001-2005), de l'Institut Kavli de physique théorique (2012-2016), de l'Institut de physique théorique William-I.-Fine (2015-2019) et de l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (depuis 2018). Il a en outre été membre du comité de rédaction des revues *Annals of Physics* (2002-2012) et *Journal of High Energy Physics* (depuis 2007). M. Myers demeure actif comme professeur et directeur de recherche d'étudiants diplômés dans le cadre de son poste de professeur auxiliaire au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Au cours de sa carrière, il a dirigé ou codirigé plus de 150 postdoctorants, doctorants et étudiants à la maîtrise, dont environ 50 sont professeurs dans diverses universités du monde, y compris celles de Princeton, de Cambridge et d'Oxford.



**Laurent Freidel** (Ph.D., École normale supérieure de Lyon, 1994) s'est joint à l'Institut Péricètre en 2002 à titre de chercheur invité, puis est devenu professeur à l'Institut en 2006. Il a été nommé président du corps professoral de l'Institut en 2021. C'est un physicien mathématicien qui a fait de nombreuses contributions dignes de mention en gravitation quantique, dont l'élaboration de modèles de mousses de spin. Il a de plus introduit dans ce domaine plusieurs nouveaux concepts, comme ceux de théorie des groupes en théorie quantique des champs, de localité relative, ainsi que de théorie des métacordes et d'espace-temps modulaire. M. Freidel possède des connaissances très étendues dans bien des domaines, notamment la physique gravitationnelle, les systèmes intégrables, les théories des champs topologiques, les théories conformes bidimensionnelles, la théorie des cordes et la chromodynamique quantique. Il a occupé des postes à l'Université d'État de Pennsylvanie et à l'École normale supérieure de Lyon. Laurent Freidel est membre du Centre national de la recherche scientifique de France depuis 1995 et a reçu plusieurs distinctions.



**Asimina Arvanitaki** (Ph.D., Université Stanford, 2008) est titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique de l'Institut Péricètre, où elle est professeure depuis 2014. Elle a été auparavant chercheuse au Laboratoire national Lawrence-Berkeley de l'Université de la Californie à Berkeley (2008-2011) et à l'Institut de physique théorique de l'Université Stanford (2011-2014). M<sup>me</sup> Arvanitaki est physicienne des particules et se spécialise dans la conception de nouvelles expériences pour mettre à l'épreuve des théories fondamentales au-delà du modèle standard. Ces expériences font appel aux développements les plus récents en métrologie, dont les horloges atomiques, ainsi qu'au piégeage et au refroidissement optiques d'objets macroscopiques. Elle a récemment inventé une expérience qui permet de rechercher dans la nature de nouvelles forces dépendant du spin, avec une précision sans précédent. Asimina Arvanitaki a également montré comment des trous noirs astrophysiques peuvent diagnostiquer la présence de nouvelles particules grâce au processus de superradiance, donnant des signatures détectables par le LIGO ou tout appareil futur de détection d'ondes gravitationnelles. En 2017, elle a été lauréate d'un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique de la Fondation *Breakthrough Prize* (Prix du progrès scientifique).



**Latham Boyle** (Ph.D., Université de Princeton, 2006) s'est joint au corps professoral de l'Institut Péricètre en 2010. De 2006 à 2009, il a été boursier postdoctoral à l'Institut canadien d'astrophysique théorique et boursier junior de l'Institut canadien de recherches avancées. Depuis quelques années, ses recherches portent sur divers sujets de cosmologie, de physique fondamentale et de physique mathématique. En cosmologie, il a récemment proposé (avec Neil Turok et Kieran Finn) un nouveau modèle cosmologique, celui de l'« univers à symétrie CPT » : l'univers avant le Big Bang est l'image miroir de l'univers après le Big Bang selon la symétrie CPT (charge, parité, temps). Ce modèle explique clairement certaines



caractéristiques observées de notre univers et fait quelques prédictions qui pourraient être testées dans des expériences à venir. En physique fondamentale, il a récemment souligné un nouveau lien intéressant entre certains schémas du modèle standard de la physique des particules et la structure d'un objet mathématique remarquable appelé *algèbre de Jordan exceptionnelle*. En physique mathématique, il a introduit (avec Kendrick Smith) la notion de « cristaux chorégraphiques », dont les éléments constitutifs exécutent une chorégraphie pouvant avoir une symétrie beaucoup plus riche que ce que révèle tout instantané de ces cristaux, et il a étudié (avec Paul Steinhardt, Madeline Dickens et Felix Flicker) des pavages et quasi-cristaux semblables à ceux de Penrose, y compris leur relation avec l'invariance conforme discrète et l'holographie.



**Freddy Cachazo** (Ph.D., Université Harvard, 2002) est titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Onex-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Péricimètre, où il est professeur depuis 2005. M. Cachazo est l'un des plus grands experts mondiaux de l'étude et du calcul des amplitudes de diffusion dans les théories de jauge telles que la chromodynamique quantique et les théories de Yang-Mills supersymétriques  $N=4$ , ainsi que de la théorie de la gravitation d'Einstein. Il a reçu de nombreuses distinctions, dont la médaille Gribov de la Société européenne de physique (2009), la médaille commémorative Rutherford de physique de la Société royale du Canada (2011), la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (2012), un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique de la Fondation des Prix de physique fondamentale (2014), ainsi que le prix ACP-CRM de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques (2016). En 2018, Freddy Cachazo a été choisi pour inaugurer la série de conférences de physique mathématique mise sur pied par le Centre de sciences et d'applications mathématiques de l'Université Harvard en l'honneur de Raoul Bott.



**Kevin Costello** (Ph.D., Université de Cambridge, 2003) est titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique. Il s'est joint à l'Institut Péricimètre en 2014, en provenance de l'Université Northwestern, où il était professeur depuis 2006. M. Costello travaille sur les aspects mathématiques de la théorie quantique des champs et de la théorie des cordes. Il est l'auteur de *Renormalization and Effective Field Theory* (Renormalisation et théorie effective des champs), monographie innovatrice qui introduit de nouveaux et puissants outils mathématiques dans la théorie quantique des champs. Il est également co-auteur de l'ouvrage *Factorization Algebras in Quantum Field Theory* (Algèbres de factorisation en théorie quantique des champs). Entre autres distinctions, Kevin Costello a reçu une bourse de recherche Sloan, le prix Berwick de la Société mathématique de Londres et plusieurs subventions prestigieuses de la Fondation nationale des sciences des États-Unis. En 2018, il a été élu membre de la Société royale de Londres. En 2020, il a remporté le prix Leonard-Eisenbud 2020 de la Société américaine de mathématiques et a été élu membre honoraire de l'Académie royale d'Irlande.



**Neal Dalal** (Ph.D., Université de la Californie à San Diego, 2002) s'est joint à l'Institut Péricimètre en octobre 2017, en provenance de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, où il était professeur adjoint depuis 2011. Auparavant, il avait été postdoctorant à l'Institut d'études avancées de Princeton et associé principal de recherche à l'Institut canadien d'astrophysique théorique. Ses recherches portent sur la physique fondamentale de la cosmologie, la structure de l'univers et la formation des galaxies. Neal Dalal a créé à partir de données cosmologiques plusieurs tests portant sur la nature de la matière sombre.



**Bianca Dittrich** (Ph.D., Institut Max-Planck de physique gravitationnelle, 2005) est devenue professeure à l'Institut Péricimètre en 2012. Auparavant, elle dirigeait le groupe de recherche Max-Planck sur la dynamique canonique et covariante de la gravitation quantique à l'Institut Albert-Einstein de Potsdam, en Allemagne. Ses recherches mettent l'accent sur l'élaboration et l'examen de modèles de gravitation quantique, de même que sur des sujets connexes de physique mathématique. Entre autres importantes découvertes, elle a mis au point un cadre de calcul d'observables invariants de jauge en relativité générale, réalisé de nouvelles constructions de géométrie quantique, identifié des propriétés holographiques de la gravité quantique indépendante du fond et contribué de manière cruciale à l'établissement des limites de continuité dans les mousses de spin. Bianca Dittrich a reçu la médaille Otto-Hahn, remise par la Société Max-Planck à de jeunes scientifiques d'exception, une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario, ainsi qu'un supplément d'accélération à la découverte du CRSNG.



**William East** (Ph.D., Université de Princeton, 2013) s'est joint à l'Institut Péricimètre en 2016 à titre de boursier du directeur et est devenu membre du corps professoral en janvier 2018. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Institut Kavli d'astrophysique des particules et de cosmologie de l'Université Stanford (2013-2016). M. East fait appel à des méthodes numériques et à l'informatique de haute performance pour étudier des phénomènes astrophysiques violents – tels que les fusions de trous noirs et les collisions d'étoiles denses – pour sonder la gravité extrême et de nouveaux volets de la physique fondamentale. Sa thèse de doctorat lui a valu le prix Nicholas-Metropolis de la Société américaine de physique (2015) et le prix Jürgen-Ehlers de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation (2016).



**Davide Gaiotto** (Ph.D., Université de Princeton, 2004) est titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique de l'Institut Péricimètre, où il est professeur depuis 2012. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université Harvard (2004-2007), puis membre à long terme de l'Institut d'études avancées de Princeton (2007-2012). M. Gaiotto travaille dans le domaine des champs quantiques à couplage fort et a réalisé plusieurs percées conceptuelles importantes. Il a obtenu la médaille Gribov de la Société européenne de physique (2011) et un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique de la Fondation des Prix de physique fondamentale (2013).



**Jaume Gomis** (Ph.D., Université Rutgers, 1999) est devenu professeur à l'Institut Péricètre en 2004, renonçant du même coup à une bourse de jeune chercheur européen qui lui avait été attribuée par la Fondation européenne de la science. Auparavant, il a travaillé à l'Institut de technologie de la Californie à titre de postdoctorant et de boursier principal Sherman-Fairchild. Ses domaines privilégiés de recherche sont la théorie des cordes, la théorie quantique des champs et la physique mathématique. M. Gomis a obtenu une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario, pour un projet visant à mettre au point de nouvelles techniques de description des phénomènes quantiques en physique nucléaire et corpusculaire. En 2019, il a remporté le prix ACP-CRM de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques, pour ses apports à la théorie des cordes et aux théories de jauge en régime de couplage fort.



**Daniel Gottesman** (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 1997) est professeur à l'Institut Péricètre depuis 2002. De 1997 à 2002, il a été postdoctorant au Laboratoire national de Los Alamos, à la Division de la recherche de Microsoft et à l'Université de la Californie à Berkeley (à titre de boursier CMI à long terme de l'Institut de mathématiques Clay). M. Gottesman est l'auteur de contributions majeures qui continuent de façonner le domaine de l'informatique quantique, grâce à son travail sur la correction d'erreurs quantiques et la cryptographie quantique. Il a publié plus de 75 articles qui ont fait l'objet de plus de 15 000 citations à ce jour. Il a également été élu membre de la Société américaine de physique et est scientifique principal chez Keysight Technologies. En juillet 2021, Daniel Gottesman a pris un congé de l'Institut Péricètre pour se joindre à l'Université du Maryland.



**Lucien Hardy** (Ph.D., Université de Durham, 1992) est devenu professeur à l'Institut Péricètre en 2002, après avoir occupé des postes de chercheur et d'enseignant dans diverses universités européennes, dont l'Université d'Oxford, l'Université *La Sapienza* de Rome, l'Université de Durham, l'Université d'Innsbruck et l'Université nationale d'Irlande. En 1992, il a trouvé une preuve très simple de la non-localité en physique quantique, aujourd'hui appelée *paradoxe de Hardy*. Il s'est intéressé à la caractérisation de la physique quantique sous forme de postulats opérationnels et a fourni des reformulations opérationnelles de la physique quantique et de la relativité générale, qui pourraient constituer un pas vers une théorie de la gravitation quantique. M. Hardy a proposé le principe d'équivalence quantique, considéré comme un lien possible entre la théorie quantique des champs et la gravitation quantique. Il a travaillé tout récemment sur une formulation opérationnelle symétrique par rapport au temps de la physique quantique.



**Yin-Chen He** (Ph.D., Université Fudan, 2014) s'est joint à l'Institut Péricètre en juillet 2018, en provenance de l'Université Harvard, où il était boursier postdoctoral Moore depuis 2016. Auparavant, il a passé 2 ans comme postdoctorant à l'Institut Max-Planck de physique des systèmes complexes. C'est un chercheur dans le domaine de la matière condensée qui s'intéresse aux systèmes fortement corrélés, en particulier les liquides de spin quantiques, de même qu'aux systèmes critiques quantiques, à la théorie conforme des champs, aux états topologiques de la matière, à la théorie quantique des champs et aux simulations numériques.



**Timothy Hsieh** (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2015) s'est joint à l'Institut Péricètre en mars 2018, en provenance de l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara, où il était boursier postdoctoral Moore depuis 2015. M. Hsieh travaille dans le domaine de la matière quantique et se spécialise dans les états exotiques de la matière dont les comportements physiques sont dictés par les structures mathématiques de la topologie. Il s'intéresse également aux matériaux quantiques, à l'intrication, de même qu'aux applications de systèmes quantiques synthétiques à la simulation quantique.



**Luis Lehner** (Ph.D., Université de Pittsburgh, 1998) a d'abord été professeur associé à l'Institut Péricètre en 2009, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph, puis est devenu professeur à plein temps à l'Institut Péricètre en 2012. Il a été vice-président du corps professoral de l'Institut de 2014 à 2017, puis président du corps professoral de mars 2018 à 2021. Il avait été auparavant professeur à l'Université d'État de Louisiane (2002-2009). M. Lehner a reçu de nombreuses distinctions, dont le Prix d'honneur de l'Université nationale de Córdoba, en Argentine, une bourse de doctorat de la Fondation Mellon, le prix CGS/UMI pour une thèse exceptionnelle, de même que le prix Nicholas-Metropolis de l'APS. Il a été boursier de l'Institut du Pacifique pour les sciences mathématiques (PIMS), boursier national de l'Institut canadien d'astrophysique théorique, ainsi que récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan. Luis Lehner est actuellement membre élu de l'Institut de physique du Royaume-Uni et de la Société américaine de physique. Il est également membre de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation, ainsi que boursier principal du programme *Extrême univers et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées. Il est membre des conseils scientifiques du Centre international de physique théorique de l'Institut sud américain de recherche fondamentale, ainsi que du Centre Oskar-Klein de l'Université de Stockholm. Il est également le théoricien en résidence du Comité international des ondes gravitationnelles. En 2019, Luis Lehner a fait partie de la liste TD des 10 Canadiens hispaniques les plus influents.



**Kendrick Smith** (Ph.D., Université de Chicago, 2007) est titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique de l'Institut Péricètre, où il est professeur depuis 2012. Il dirige également le Centre de recherches de l'Institut Péricètre sur l'univers. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université de Princeton (2009-2012) et à l'Université de Cambridge (2007-2009). M. Smith est un cosmologiste actif dans les milieux de la théorie et de l'observation. Il est membre de plusieurs équipes d'expérimentateurs, notamment celle de l'expérience WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* – Sonde d'anisotropie de micro-onde de Wilkinson) – qui a reçu le prix Gruber 2012 de cosmologie et le *Breakthrough Prize* (Prix du progrès scientifique) 2018 de physique fondamentale –, ainsi que des projets CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity*



*Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie de l'intensité de l'hydrogène) et Planck. Avec 2 collègues, il a reçu un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique 2020. Il a obtenu plusieurs résultats importants, dont la première détection de l'effet lenticulaire gravitationnel dans le rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique). Kendrick Smith détient aussi un doctorat en mathématiques de l'Université du Michigan.



**Lee Smolin** (Ph.D., Université Harvard, 1979) est l'un des professeurs fondateurs de l'Institut Péricimètre. Auparavant, il a été professeur à l'Université Yale, à l'Université de Syracuse et à l'Université d'État de Pennsylvanie. Ses recherches portent surtout sur le problème de la gravitation quantique – où il a contribué à l'élaboration de la gravitation quantique à boucles. Ses contributions s'étendent toutefois sur de nombreux domaines, dont les fondements quantiques, la cosmologie, la physique des particules, la philosophie de la physique et l'économie. Il a publié 210 articles qui ont fait l'objet de plus de 11 000 citations à ce jour. Il a écrit 5 ouvrages non techniques et est co-auteur d'un livre sur la philosophie du temps. Entre autres distinctions, Lee Smolin a reçu le prix Majorana (2007), le prix commémoratif Klopsteg (2009) et le prix Buchalter de cosmologie (2014). Il a aussi été élu membre de la Société américaine de physique et de la Société royale du Canada.



**Robert Spekkens** (Ph.D., Université de Toronto, 2001) est devenu professeur à l'Institut Péricimètre en 2008, après avoir été récipiendaire d'une bourse internationale de la Société royale de Londres à l'Université de Cambridge. Il travaille dans le domaine des fondements de la physique quantique, où il est connu pour ses recherches sur la vision épistémique d'états quantiques, le principe de non-contextualité, la nature de la causalité dans un monde quantique, de même que sur la quantification de diverses propriétés d'états quantiques en tant que ressources. Robert Spekkens est corédacteur de l'ouvrage *Quantum Theory: Informational Foundations and Foils* (Physique quantique : fondements informationnels et théories de remplacement) et il dirige l'initiative *Inférence causale et fondements quantiques* de l'Institut Péricimètre. Il a reçu le prix Birkhoff-von-Neumann de l'Association internationale pour les structures quantiques en 2008, et a remporté en 2012 le 1<sup>er</sup> prix au concours d'essais de l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*) pour son article intitulé *Questioning the Foundations: Which of Our Assumptions are Wrong?* (Remise en question des fondements : Lesquelles de nos hypothèses sont fausses?).



**Neil Turok** (Ph.D., Collège impérial de Londres, 1983) est directeur émérite et titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de l'Institut Péricimètre. Il a dirigé de 2017 à 2020 le Centre de recherches de l'Institut Péricimètre sur l'univers. Auparavant, il a été professeur de physique à l'Université de Princeton et titulaire de la chaire de physique mathématique de l'Université de Cambridge. M. Turok est un chef de file reconnu de l'élaboration et de la mise à l'épreuve de théories de l'univers. Les prédictions de son équipe concernant les corrélations entre la polarisation et la température du rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique) et celles du rayonnement de fond produit par l'énergie sombre ont été confirmées avec une grande précision. Il a lancé l'étude de nombreuses propositions théoriques, notamment les cordes cosmiques, les univers inflationnaires semblables à une bulle – fondements du système de multivers – et des modèles cycliques de l'univers. Récemment, Neil Turok et ses collaborateurs ont élaboré une nouvelle démarche fondamentale de l'étude des intégrales de chemin en mécanique quantique, avec des applications allant de la cosmologie à la physique des particules, en passant par la radioastronomie. Ils ont aussi proposé un nouveau modèle du cosmos – l'univers à symétrie CPT – qui donne l'explication la plus simple à ce jour de l'existence de la matière sombre cosmique. M. Turok a fondé l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS), réseau de centres d'excellence à la grandeur du continent africain pour la formation, la recherche et la vulgarisation en mathématiques et en sciences. En 2016, il a été élu membre honoraire de l'Institut de physique du Royaume-Uni et a reçu de l'Institut américain de physique la médaille John-Torrence-Tate pour son action déterminante en physique à l'échelle internationale. En 2019, il a été nommé officier honoraire de l'Ordre du Canada. Il est l'auteur de *The Universe Within*, traduit en français sous le titre *L'univers vu de l'intérieur*, livre scientifique à succès. En 2020, il a été nommé titulaire de la chaire Higgs de physique théorique de l'Université d'Édimbourg. Il est en congé de l'Institut Péricimètre depuis juillet 2020.



**Pedro Vieira** (Ph.D., École normale supérieure de Paris et Centre de physique théorique de l'Université de Porto, 2008) est professeur à l'Institut Péricimètre depuis 2009. Auparavant, il a été chercheur associé à l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) en 2008 et 2009. Ses recherches portent sur la mise au point de nouveaux outils mathématiques pour les théories de jauge et des cordes dans leurs régimes non perturbatifs. Il s'intéresse surtout à une théorie particulière, dite  $N=4$  SYM, qui permet de développer de tels outils, ainsi qu'à la théorie autocohérente des matrices  $S$ , qui restreint l'espace possible de toute théorie physique, en particulier les théories de jauge et théories des cordes en régime de couplage fort. M. Vieira est chercheur principal au sein de l'équipe de la Fondation Simons sur l'autocohérence non perturbative. Parmi ses nombreuses distinctions, mentionnons une bourse de recherche Sloan, la médaille Gribov de la Société européenne de physique, le prix international Raymond-et-Beverly-Sackler de physique remis par l'Université de Tel Aviv et un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) en physique.



**Chong Wang** (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2015) s'est joint à l'Institut Péricimètre en 2018, en provenance de l'Université Harvard, où il était boursier junior à la Société des boursiers de Harvard depuis 2015. M. Wang travaille sur la théorie de la physique de la matière condensée quantique, notamment les états topologiques de la matière, les systèmes critiques quantiques, les effets Hall quantiques et les liquides de spin, ainsi que leurs relations avec des aspects modernes de la théorie quantique des champs.

**Beni Yoshida** (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2012) est devenu professeur à l'Institut Péricètre en juillet 2017, où il était d'abord arrivé comme postdoctorant principal en 2015. Auparavant, il a été boursier Burke à l'Institut de physique théorique de l'Institut de technologie de la Californie (2012-2015), où il a travaillé au sein de l'équipe de John Preskill. Les recherches de M. Yoshida portent principalement sur les applications de la théorie de l'information quantique à des problèmes de physique des systèmes quantiques à N corps et de gravitation quantique. En particulier, il s'est servi des techniques de théorie du codage quantique pour construire des modèles réduits de la correspondance AdS/CFT et a découvert des processus d'extraction d'information de trous noirs à l'aide des phénomènes de brouillage de l'information quantique.



**Dominic Else** et **Sabrina Pasterski** ont été recrutés en 2021 au sein du corps professoral de l'Institut Péricètre, où leur arrivée est prévue en 2022. Voir plus de détails à ce sujet à la page 24.

## PROFESSEURS ASSOCIÉS

**Niyesh Afshordi** (Ph.D., Université de Princeton, 2004), nommé conjointement avec l'Université de Waterloo, a été boursier de l'Institut de théorie et de calcul du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique (2004-2007), puis boursier de recherche distingué à l'Institut Péricètre (2008-2009). Il est professeur associé à l'Institut depuis 2009. M. Afshordi se spécialise dans les problèmes interdisciplinaires de la physique fondamentale, de l'astrophysique et de la cosmologie. Au cours des 2 dernières années, il a adapté ces compétences à la modélisation de la dynamique de l'épidémie de COVID-19, ce qui pourrait contribuer à éclairer des politiques publiques. Entre autres distinctions, il a reçu un supplément d'accélération à la découverte accordé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario, et la médaille d'or Vainu-Bappu de la Société d'astronomie de l'Inde. Il a aussi remporté le 1<sup>er</sup> prix Buchalter de cosmologie de la Société américaine d'astronomie en 2019, ainsi que le 3<sup>e</sup> prix en 2015.



**Alexander Braverman** (Ph.D., Université de Tel Aviv, 1998) s'est joint à l'Institut Péricètre en 2015, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Toronto. Il a été auparavant membre du corps professoral de l'Université Brown (2004-2015), de même que chargé de cours à l'Université Harvard (2000-2004) et à l'Institut de technologie du Massachusetts (1997-1999). M. Braverman se spécialise dans plusieurs domaines ayant des applications en physique mathématique, dont la géométrie algébrique, la théorie des représentations, la théorie des nombres et le programme de Langlands géométrique. Il a été boursier de l'Institut de mathématiques Clay et boursier Simons en mathématiques.



**Avery Broderick** (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 2004) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en septembre 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, et a été nommé en janvier 2017 titulaire de la chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler de physique théorique de l'Institut Péricètre. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Institut de théorie et de calcul du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique (2004-2007) et à l'Institut canadien d'astrophysique théorique (2007-2011). M. Broderick est un astrophysicien aux intérêts de recherche variés, depuis la formation des étoiles jusqu'à la physique des extrêmes au voisinage des naines blanches, des étoiles à neutrons et des trous noirs. C'est un membre-clé du consortium international du télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements), qui a dévoilé en avril 2019 la première image de l'horizon des événements d'un trou noir. Il étudie comment les trous noirs accumulent de la matière et projettent les rayonnements ultrarelativistes observés, sondant la nature de la gravité au voisinage de ces objets célestes. Avery Broderick est lauréat (conjointement avec le consortium du télescope EHT) d'un prix diamant de la Fondation nationale des sciences des États-Unis, du *Breakthrough Prize* (Prix du progrès scientifique) 2020 de physique fondamentale, ainsi que de plusieurs autres prix.



**Alex Buchel** (Ph.D., Université Cornell, 1999) est professeur associé à l'Institut Péricètre depuis 2003, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Western. Auparavant, il a été chercheur à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara (1999-2002), puis au Centre de physique théorique de l'Université du Michigan (2002-2003). Ses recherches portent sur la compréhension des propriétés quantiques des trous noirs et sur l'origine de l'univers dans le cadre de la théorie des cordes, de même que sur la mise au point d'outils analytiques qui pourraient apporter un éclairage nouveau sur les interactions fortes des particules subatomiques. En 2007, M. Buchel a reçu une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario.



**Cliff Burgess** (Ph.D., Université du Texas à Austin, 1985) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2004, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster entrée en vigueur en 2005. Auparavant, il a été membre de l'École de sciences naturelles de l'Institut d'études avancées de Princeton, puis professeur à l'Université McGill. Pendant 2 décennies, M. Burgess a appliqué les techniques de la théorie effective des champs à la physique des hautes énergies, à la physique nucléaire, à la théorie des cordes, à la cosmologie de l'univers primitif et à la physique de la matière condensée. Avec ses collaborateurs, il a mis au point des modèles importants d'expansion de l'univers fondés sur la théorie des cordes, qui constituent le cadre le plus prometteur pour une vérification expérimentale. Entre autres distinctions récentes, Cliff Burgess a été récipiendaire d'une bourse Killam et a été élu membre de la Société royale du Canada. Il a aussi remporté le prix ACP-CRM de physique théorique et mathématique. Il a reçu un prix Buchalter de cosmologie en 2016 et un autre en 2017.





**Anton Burkov** (Ph.D., Université de l'Indiana, 2002) s'est joint à l'Institut Périmètre en 2020, dans le cadre d'une nomination conjointe avec le Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo, où il est professeur depuis 2007. M. Burkov est un physicien théoricien de la matière condensée quantique, qui s'intéresse particulièrement aux phénomènes topologiques et de corrélation forte dans la matière quantique. Il est bien connu pour ses travaux révolutionnaires sur les états topologiques sans trous de la matière, tels que les semimétaux de Weyl et de Dirac, et plusieurs de ses publications sur le sujet figurent dans la liste des articles les plus cités de la base de données *ISI Web of Knowledge*. Anton Burkov est l'un des chercheurs principaux (et le seul du Canada) au Centre de recherche *Energy Frontier* sur les semimétaux topologiques du Département américain de l'Énergie.



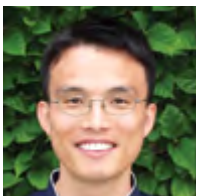
**Matthew Johnson** (Ph.D., Université de la Californie à Santa Cruz, 2007) est devenu professeur associé à l'Institut Périmètre en 2012, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université York. Auparavant, il a été boursier postdoctoral Moore à l'Institut de technologie de la Californie, puis postdoctorant à l'Institut Périmètre. M. Johnson est un cosmologiste théoricien dont les recherches interdisciplinaires visent à comprendre comment l'univers a commencé, comment il a évolué et vers quoi il s'en va. Il est l'auteur de contributions dans des domaines allant de la théorie de l'inflation cosmique à la théorie des cordes, en passant par la relativité numérique et l'analyse de données sur le rayonnement fossile. Matthew Johnson a obtenu par voie de concours des subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, de l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*), ainsi que du programme *New Frontiers in Astronomy and Cosmology* (Nouvelles frontières en astronomie et cosmologie) administré par l'Université de Chicago.



**Theo Johnson-Freyd** (Ph.D., Université de la Californie à Berkeley, 2013) est professeur associé dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Dalhousie, où il est professeur adjoint au Département de mathématiques et de statistiques. C'est un physicien mathématicien dont les recherches portent sur les aspects algébriques supérieurs des champs quantiques et de la matière condensée. Avant sa nomination à son poste actuel, M. Johnson-Freyd était postdoctorant principal à l'Institut Périmètre. De 2013 à 2016, il a été boursier postdoctoral de la Fondation nationale des sciences des États-Unis et professeur adjoint Ralph-Boas à l'Université Northwestern. Il est coauteur de *Berkeley Lectures on Lie Groups and Quantum Groups* (Conférences Berkeley sur les groupes de Lie et les groupes quantiques), à paraître chez World Scientific. Theo Johnson-Freyd est chercheur principal au sein de l'équipe de la Fondation Simons sur les symétries génériques et récipiendaire d'un supplément d'accélération à la découverte du CRSNG.



**Raymond Laflamme** (Ph.D., Université de Cambridge, 1988) est professeur associé dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, dont il a été le directeur général de 2002 à 2017. Il est également titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-John-von-Neumann d'informatique quantique à l'Université de Waterloo et titulaire de la chaire de recherche du Canada sur l'information quantique. Il a été chercheur à l'Université de la Colombie-Britannique et au Collège Peterhouse de l'Université de Cambridge, avant de passer au Laboratoire national de Los Alamos en 1992, où il a réorienté ses travaux de la cosmologie à l'informatique quantique. Depuis le milieu des années 1990, M. Laflamme a élaboré des méthodes théoriques de correction d'erreurs quantiques et en a mis certaines en œuvre dans des expériences. Il a été directeur du programme *Information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) de 2003 à 2016. Il est conseiller auprès du programme *Information quantique* de l'ICRA, ainsi que membre élu de la Société américaine de physique, de la Société royale du Canada et de l'Association américaine pour l'avancement de la science. Raymond Laflamme a été nommé officier de l'Ordre du Canada en 2017. Il a remporté le prix ACP-CRM 2017 de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques. Avec des collègues, il a fondé l'entreprise Universal Quantum Devices, qui commercialise certaines retombées des recherches en physique quantique. Il dirige aussi QuantumLaf inc., une jeune pousse de services-conseils.



**Sung-Sik Lee** (Ph.D., Université scientifique et technologique de Pohang, 2000) est devenu professeur associé à l'Institut Périmètre en 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster, où il est professeur titulaire. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université scientifique et technologique de Pohang, à l'Institut de technologie du Massachusetts, ainsi qu'à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara. Les recherches de M. Lee portent principalement sur l'étude des systèmes quantiques à N corps en interaction forte, la théorie quantique des champs et la correspondance AdS/CFT. Ses travaux récents concernent les théories effectives des champs à faible énergie pour les non-liquides de Fermi, de même que la construction de théories holographiques duales de théories quantiques des champs à partir du groupe de renormalisation quantique.



**Debbie Leung** (Ph.D., Université Stanford, 2000) s'est jointe à l'Institut Périmètre en 2019. Elle est professeure à l'Institut d'informatique quantique ainsi qu'au Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo depuis 2005. Elle est actuellement titulaire d'une chaire de recherche de l'Université et a été titulaire d'une chaire de recherche du Canada de niveau 2 (2005-2015). Auparavant, elle a été boursière postdoctorale Tolman à l'Institut d'information quantique de l'Institut de technologie de la Californie (Caltech), après avoir passé 4 mois à l'Atelier de calcul quantique de l'Institut de recherche en mathématiques de Berkeley (septembre-décembre 2002), au terme d'une bourse postdoctorale de 2 ans au sein du groupe d'information physique du Centre de recherche T.J. Watson d'IBM (2000-2002). Après avoir obtenu un B.Sc. en physique et mathématique à Caltech en 1995, elle a fait un doctorat en physique à l'Université Stanford sous la direction des professeurs Yoshihisa Yamamoto et Isaac Chuang.

**Roger Melko** (Ph.D., Université de la Californie à Santa Barbara, 2005) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2012, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est professeur depuis 2007. Auparavant, il a été boursier postdoctoral Wigner au Laboratoire national d'Oak Ridge (2005-2007). Il est responsable scientifique au Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Péricètre et chez Creative Destruction Lab, de même que professeur affilié à l'Institut Vecteur d'intelligence artificielle. M. Melko est un théoricien de la matière condensée qui étudie les systèmes fortement corrélés à N corps. Il se concentre sur les phénomènes émergents exotiques, les systèmes critiques quantiques et l'intrication. Dans ses recherches, il met l'accent sur les méthodes numériques en tant que technique théorique, en particulier la mise au point de nouveaux algorithmes et de méthodes d'apprentissage automatique. Entre autres distinctions, Roger Melko a reçu la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes, le Prix du jeune scientifique en physique informatique de l'Union internationale de physique pure et appliquée, de même qu'une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario. Il a également été nommé titulaire de la chaire de recherche du Canada en physique informatique quantique à N corps.



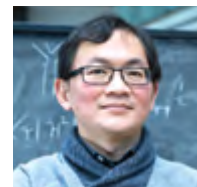
**Michele Mosca** (D.Phil., Université d'Oxford, 1999), nommé conjointement avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC), est membre fondateur de l'Institut Péricètre, ainsi que cofondateur de l'IQC. Il est aussi professeur au Département de combinatoire et optimisation de la Faculté de mathématiques de l'Université de Waterloo. Il est l'un des fondateurs de CryptoWorks21, programme de formation en cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques, de l'organisme à but non lucratif Quantum-Safe Canada, ainsi que des ateliers ETSI-IQC sur la cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques. Ces ateliers réunissent une grande variété d'intervenants qui œuvrent à la mise sur pied d'un système mondial normalisé de cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques. Il est également l'un des fondateurs d'évolutionQ inc., qui aide les organismes à adopter des systèmes et des pratiques à l'épreuve des attaques quantiques, et de softwareQ inc., qui offre des services et outils logiciels quantiques. Ses recherches portent sur le calcul quantique et les outils de cryptographie à l'épreuve des attaques quantiques. M. Mosca est mondialement reconnu pour son désir d'aider le milieu universitaire, les entreprises et les gouvernements à préparer leurs systèmes pour qu'ils soient sûrs à l'ère des ordinateurs quantiques. Il est l'un des auteurs du réputé manuel intitulé *An Introduction to Quantum Computing* (Introduction à l'informatique quantique). Michele Mosca a reçu de nombreux prix et distinctions. Il a reçu le prix du Premier ministre de l'Ontario pour l'excellence en recherche (2000-2005) et a été titulaire de la chaire de recherche du Canada en informatique quantique (2002-2012) ainsi que titulaire d'une chaire de recherche de l'Université de Waterloo (2012-2019). Il a aussi reçu la Médaille du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II (2013), le prix Fr.-Norm-Choate pour l'ensemble de ses travaux remis par le Collège St. Jerome de l'Université de Waterloo (2017), et a été fait chevalier (*Cavaliere*) de l'Ordre du mérite de la République italienne (2018).



**Christine Muschik** (Ph.D., Institut Max-Planck d'optique quantique, 2011) s'est jointe à l'Institut Péricètre en 2019, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, où elle est professeure depuis 2017. Elle travaille sur de nouvelles méthodes de traitement de l'information quantique et sur des simulations quantiques de problèmes de physique des hautes énergies. M<sup>me</sup> Muschik a conçu des protocoles innovateurs pour maîtriser la dissipation (et établi en 2011 un record de durée d'une intrication), pour réussir la première téléportation déterministe entre des systèmes de matière sur une distance macroscopique (*Nature Physics*, 2013) et pour réaliser de nouveaux types de simulations quantiques (*Nature*, 2016 et 2019). Ses travaux sur les simulations quantiques de problèmes de physique des hautes énergies ont été choisis par *Physics World* parmi les 10 principales percées en physique de l'année 2016. Christine Muschik a reçu une bourse Simons-E Emmy-Noether de l'Institut Péricètre (2018), une bourse de recherche Sloan pour chercheurs exceptionnels en début de carrière (2019), ainsi qu'une subvention *Nouvelles frontières* pour des recherches transformatrices et à haut risque (2019). En 2020, elle a été choisie comme boursière du programme des chercheurs mondiaux Azrieli de l'Institut canadien de recherches avancées.



**Ue-Li Pen** (Ph.D., Université de Princeton, 1995) s'est joint à l'Institut Péricètre en 2014, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto, où il est professeur depuis 1998. Il est également directeur de l'Institut d'astronomie et d'astrophysique de l'Académie Sinica de Taïwan. M. Pen est un astrophysicien théoricien qui étudie des systèmes où les effets physiques fondamentaux peuvent être isolés des complexités astronomiques. Ses projets de recherche comprennent la dynamique non linéaire du rayonnement fossile de neutrinos, la cartographie d'intensité de la raie à 21 cm, la scintillométrie de la VLBI des pulsars et l'expérience CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène). Ue-Li Pen est connu pour avoir mis au point des outils innovateurs afin de créer de nouveaux domaines de recherche. Ses travaux de pionnier de la cartographie d'intensité de la raie à 21 cm ouvrent une nouvelle avenue pour étudier avec précision l'énergie sombre et les neutrinos. Son utilisation du plasma naturel présent dans notre galaxie comme un télescope géant a donné naissance au domaine de la scintillométrie, apportant un regard neuf sur les énigmatiques pulsars et sursauts radio rapides. Entre autres distinctions, Ue-Li Pen est boursier principal du programme *Extrême univers et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées. En 2018, il est devenu le 2<sup>e</sup> chercheur membre d'une institution canadienne à recevoir une bourse de chercheur Simons de la Fondation Simons depuis la mise sur pied du programme en 2012. Il a fait partie de l'équipe du télescope CHIME qui a reçu un prix du Gouverneur général pour l'Innovation en 2020 et le prix Lancelot-Berkeley de la Société américaine d'astronomie en 2021. Il était aussi l'un des 347 membres du consortium du télescope EHT qui a reçu le *Breakthrough Prize* (Prix du progrès scientifique) 2020 de physique fondamentale.





**Will Percival** (Ph.D., Université d'Oxford, 1999) est professeur associé dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis de recherche en astrophysique et directeur du Centre d'astrophysique. M. Percival est un cosmologiste qui travaille principalement sur les relevés de galaxies, utilisant leur position pour mesurer le rythme d'expansion de l'univers et la croissance de la structure du cosmos. Il occupe actuellement des postes de haute direction scientifique au sein de l'expérience Euclid, ainsi que des postes de gestion au sein d'autres expériences de relevés galactiques : DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument* – Spectroscopie de l'énergie sombre); eBOSS (*Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey* – Suivi spectroscopique étendu des oscillations baryoniques). Au cours de la prochaine décennie, les connaissances relatives aux galaxies qui résulteront de ces expériences transformeront notre compréhension de l'énergie sombre, mécanisme physique qui accélère l'expansion du cosmos. Entre autres distinctions, Will Percival a reçu le prix Fowler de la Société royale d'astronomie de Londres en 2008 et une bourse de scientifique éminent de l'Académie chinoise des sciences en 2016.



**Sergeï Sibiryakov** (Ph.D., Institut de recherches nucléaires de l'Académie des sciences de Russie, 2004) s'est joint en 2020 à l'Institut Périclète, dans le cadre d'une nomination conjointe avec le Département de physique et d'astronomie de l'Université McMaster. Auparavant, il était depuis 2013 professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne et au CERN. Ses domaines de recherche comprennent la phénoménologie de la physique des particules, la cosmologie et la théorie de la gravitation. M. Sibiryakov est co-auteur d'un ensemble de travaux révolutionnaires qui établissent la cohérence d'une approche de la gravitation quantique dite de « gravité à anisotropie d'échelle ». Entre autres distinctions, Sergeï Sibiryakov a obtenu la Médaille du Prix de l'Académie des sciences de Russie pour jeunes scientifiques, de même que plusieurs subventions et bourses de fondations russes et suisses.



**Daniel Siegel** (Ph.D., Institut Max-Planck de physique gravitationnelle et Université de Potsdam, 2015) s'est joint à l'Institut Périclète en 2019, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph. Auparavant, il était postdoctorant et boursier Einstein de la NASA à l'Université Columbia depuis novembre 2015. Ses recherches tissent des liens entre la physique fondamentale et le cosmos. Elles englobent divers sujets – physique gravitationnelle, astrophysique nucléaire et des hautes énergies, phénomènes astronomiques passagers – afin de décortiquer la physique fondamentale des fusions d'objets compacts binaires et d'autres systèmes astrophysiques relativistes, de même que leurs répercussions en physique nucléaire et en cosmologie.



**Ben Webster** (Ph.D., Université de la Californie à Berkeley, 2007) est devenu professeur associé à l'Institut Périclète en juillet 2017, dans le cadre d'une nomination conjointe avec le Département de mathématiques pures de l'Université de Waterloo. Il a été auparavant membre du corps professoral de l'Université de la Virginie, de l'Université Northeastern et de l'Université de l'Oregon. Ses recherches portent sur les liens entre la théorie des représentations, la physique mathématique, la géométrie et la topologie, notamment l'homologie de nœuds, la géométrie de singularités symplectiques et la catégorification. Entre autres distinctions, M. Webster a obtenu une bourse de recherche Sloan et un prix CAREER de la Fondation nationale des sciences des États-Unis. En 2019, il a reçu un prix d'excellence en recherche du Jubilé d'or de la Faculté de mathématiques de l'Université de Waterloo.



**Huan Yang** (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 2013) s'est joint à l'Institut Périclète en septembre 2017 dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université de Princeton pendant un an. M. Yang est un astrophysicien théoricien expert des trous noirs, des étoiles à neutrons et des ondes gravitationnelles, et très impliqué dans des observations récentes. En particulier, il étudie l'astrophysique et la physique fondamentale des champs gravitationnels intenses. Ses travaux récents visent à comprendre les phénomènes physiques cachés dans des données existantes et à proposer de nouvelles idées qui orienteront des observations à venir.



**Jon Yard** (Ph.D., Université Stanford, 2005) est devenu professeur associé à l'Institut Périclète en 2016, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique ainsi que le Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo. Il a été auparavant chercheur à l'Université McGill (2005), à l'Institut de technologie de la Californie (2005-2007), au Laboratoire national de Los Alamos (2007-2012) et à la Division de la recherche de Microsoft (2012-2016). Jon Yard s'intéresse à l'information quantique, à la physique mathématique, aux champs quantiques et à la matière condensée. Avec Graeme Smith, il a reçu en 2009 le prix commémoratif Pat-Goldberg du meilleur article, remis par IBM Research, pour avoir prouvé que la capacité quantique ne caractérise pas complètement l'utilité d'un canal de transmission d'information quantique.

## CADRES ADMINISTRATIFS

### Paul Smith

Directeur administratif et chef de l'exploitation

### Stefan Pregelj

Directeur principal des finances  
et de l'exploitation

### Greg Dick

Directeur général du développement  
et directeur principal de la participation du public

### Ben Davies

Directeur de la technologie de l'information

### James Forrest

Directeur des programmes d'enseignement

### Colin Hunter

Directeur des communications  
et des relations avec les médias

### John Matlock

Directeur des relations extérieures  
et des affaires publiques

### Sue Scanlan

Directrice financière

### Natasha Waxman

Directrice des publications, des  
subventions et des distinctions

## POSTDOCTORANTS EN 2020-2021 (institution d'obtention du doctorat)

Aida Ahmadzadegan (Université de Waterloo)

Ben Albert (Université de Pennsylvanie)

Alvaro Martin Alhambra (Collège universitaire de Londres)

Masooma Ali (Université du Nouveau-Brunswick)

Philippe Allard Guerin (Université de Vienne)

Anurag Anshu, conjointement avec l'Institut d'informatique quantique  
(Université nationale de Singapour)

Yoni BenTov (Université de la Californie à Santa Barbara)

Jacob Bridgeman (Université de Sydney)

Rodolfo Capdevilla, conjointement avec l'Université de Toronto  
(Université Notre-Dame)

Sylvain Carrozza (Université Paris-Sud)

William Cunningham (Université Northeastern)

Meiling Deng, conjointement avec le Conseil national de recherches  
du Canada (Université de la Colombie-Britannique)

Richard Derryberry (Université du Texas à Austin)

Galyna Dobrovol'ska (Université de Chicago)

William Donnelly (Université du Maryland à College Park)

Daniel Ignacio Egana-Ugrinovic (Université Rutgers)

Reed Essick (Institut de technologie du Massachusetts)

Job Feldbrugge, conjointement avec l'Université Carnegie-Mellon  
(Université de Waterloo)

Angelika Fertig (Institut Max-Planck de physique gravitationnelle)

Simon Foreman, conjointement avec le Conseil national de recherches  
du Canada (Université Stanford)

Tobias Fritz (Institut Max-Planck de physique gravitationnelle)

Lena Funcke (Université Ludwig-Maximilian de Munich)

Thomas Galley (Collège universitaire de Londres)

Martin Ganahl (Université technique de Graz)

Flaminia Giacomini, boursière Yvonne-Choquet-Bruhat  
(Université de Vienne)

Meng Guo (Université Harvard)

Justin Hilburn, conjointement avec l'Institut d'informatique quantique  
(Université de l'Oregon)

Qi Hu (Université de Waterloo)

Junwu Huang (Université Stanford)

Emilie Huffman (Université Duke)

Nick Hunter-Jones (Institut de technologie de la Californie)

Estelle Inack, boursière Francis-Kofi-Allotey (Centre international  
de physique théorique)

Raghav Govind Jha (Université de Syracuse)

Theo Johnson-Freyd (Université de la Californie à Berkeley)

Benjamin Knorr (Université Friedrich-Schiller d'Iéna)

Alex Krolewski, conjointement avec l'Université de Waterloo  
(Université de la Californie à Berkeley)

Aleksander Kubica (Institut de technologie de la Californie)

Meenu Kumari (Université de Waterloo)

Seth Kurankyi Asante, boursier des instituts Fields, AIMS et Périmètre  
(Université de Waterloo)

Felix Leditzky (Université de Cambridge)

Adam Lewis (Université de Toronto)

Xinyu Li, conjointement avec l'Institut canadien d'astrophysique  
théorique (Université Columbia)

Zhi Li (Université de Pittsburgh)

Jacob Lin (Institut de technologie de la Californie)

Zi-Wen Liu (Institut de technologie du Massachusetts)

Tsung-Cheng Lu (Université de la Californie à San Diego)

Han Ma, boursière Philip-W.-Anderson  
(Université du Colorado à Boulder)

Mathew Madhavacheril, boursier P.J.E.-Peebles  
(Université d'État de New York à Stony Brook)

Cristina Mondino, boursière Chien-Shiung-Wu  
(Université de New York)

Moritz Munchmeyer (LPNHE, Université Pierre-et-Marie-Curie)

Dominik Neuenfeld (Université de la Colombie-Britannique)

Enrico Olivucci (Université de Hambourg)

Naritaka Oshita (Université de Tokyo)

Zhen Pan, boursier Yakov-B.-Zel'dovich  
(Université de la Californie à Davis)

Hakop Pashayan, conjointement avec l'Institut d'informatique  
quantique (Université de Sydney)

Mark Penney, conjointement avec l'Université de Waterloo  
(Université d'Oxford)

Alessia Platania (Université Radboud de Nimègue)

Daniele Pranzetti  
(Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille)

Davide Racco (Université de Genève)

Ana-Maria Raclariu, boursière Stephen-W.-Hawking  
(Université Harvard)

Fereshteh Rajabi (Université Western)

Denis Rosset (Université de Genève, GAP Optique)

Giulio Salvatori (Université de Milan)

Susanne Schander (Université d'Erlangen-Nuremberg)

Modjtaba Shokrian Zini (Université de la Californie à Santa Barbara)

Ashish Shukla (Institut Tata de recherche fondamentale)

Jamie Sikora (Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo)

Antony Speranza (Université du Maryland)

Alexandre Streicher, conjointement avec l'Institut d'études avancées  
de Princeton (Université de la Californie à Santa Barbara)

Aaron Szasz (Université de la Californie à Berkeley)

Kostiantyn Tolmachev (Institut de technologie du Massachusetts)

Michael Vasmer, conjointement avec l'Institut d'informatique quantique  
(Collège universitaire de Londres)

Sebastian Wetzel, conjointement avec le Conseil national de  
recherches du Canada  
(Institut de physique théorique, Université de Heidelberg)

Wolfgang Wieland

(Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille)

Elie Wolfe (Université du Connecticut)

Junya Yagi (Université Rutgers)

Ziqi Yan (Université de la Californie à Berkeley)

Qiao Zhou (Université de la Californie à Berkeley)

Liujuan Zou, boursier John-Bardeen (Université Harvard)

## TITULAIRES DE CHAIRE DE CHERCHEUR INVITÉ DISTINGUÉ

Scott Aaronson, Université du Texas à Austin  
Mina Aganagic, Université de la Californie à Berkeley  
Yakir Aharonov, Université Chapman  
Abhay Ashtekar, Université d'État de Pennsylvanie  
Leon Balents, Institut Kavli de physique théorique  
James Bardeen, Université de l'État de Washington  
Ganapathy Baskaran, Institut de mathématiques de Chennai  
Edo Berger, Université Harvard  
Patrick Brady, Université du Wisconsin à Milwaukee  
Alessandra Buonanno, Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein)  
John Cardy, Université de la Californie à Berkeley  
Lance Dixon, Laboratoire national de l'accélérateur SLAC  
Matthew Fisher, Institut Kavli de physique théorique  
Katherine Freese, Université du Texas à Austin  
Gian Francesco Giudice, Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN)  
Gabriela González, Université d'État de Louisiane  
Ted Jacobson, Université du Maryland  
Shamit Kachru, Université Stanford  
David B. Kaplan, Université de l'État de Washington  
Adrian Kent, Université de Cambridge  
Juna Kollmeier, Institut canadien d'astrophysique théorique  
Renate Loll, Université Radboud de Nimègue

John March-Russell, Université d'Oxford  
Sandu Popescu, Université de Bristol  
Maxim Pospelov, Université du Minnesota  
Frans Pretorius, Université de Princeton  
Fernando Quevedo, Université de Cambridge  
Carlo Rovelli, Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille  
Subir Sachdev, Université Harvard  
Nathan Seiberg, Institut d'études avancées de Princeton  
Yan Soibelman, Université d'État du Kansas  
Paul Steinhardt, Université de Princeton  
Andrew Strominger, Université Harvard  
Raman Sundrum, Université du Maryland  
Gerard 't Hooft, Université d'Utrecht  
Barbara Terhal, Université de technologie de Delft – QuTech  
Dam Thanh Son, Université de Chicago  
Senthil Todadri, Institut de technologie du Massachusetts  
Bill Unruh, Université de la Colombie-Britannique  
Frank Verstraete, Université de Gand  
Guifre Vidal, X – The Moonshot Factory  
Ashvin Vishwanath, Université Harvard  
Mark Wise, Institut de technologie de la Californie  
Alexander Zamolodchikov, Université d'État de New York à Stony Brook

## PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT



**James Forrest**  
Directeur des programmes d'enseignement  
Institut Périmètre et Université de Waterloo



**Maïté Dupuis**  
Directrice adjointe des programmes d'enseignement  
et chargée de cours dans le programme PSI

## CORPS ENSEIGNANT DU PROGRAMME PSI EN 2020-2021

Sauf indication contraire, les membres du corps enseignant sont des scientifiques résidents de l'Institut Périmètre.

Tibra Ali  
Latham Boyle  
Agata Branczyk  
Kevin Costello  
François David, Institut de physique théorique  
Maïté Dupuis  
Davide Gaiotto  
Ghazal Geshnizjani  
Jaume Gomis  
Daniel Gottesman  
Ruth Gregory, Collège royal de Londres  
Lauren Hayward  
Emilie Huffman

David Kubiznak  
Eduardo Martin-Martinez, Université de Waterloo  
Roger Melko  
Giuseppe Sellaroli  
Kendrick Smith  
Rob Spekkens  
Chong Wang  
Dan Wohns  
Gang Xu



## DOCTORANTS EN 2020-2021 (université partenaire)

Jacob Abajian (Université de Waterloo)	Anna Golubeva (Université de Waterloo)	Tales Rick Perche (Université de Waterloo)
Eugene Adjei (Université de Waterloo)	Tomáš Gonda (Université de Waterloo)	Matthew Robbins (Université de Waterloo)
Aman Agarwal (Université de Guelph)	Finnian Gray (Université de Waterloo)	Alexander Roman (Université de Waterloo)
Alvaro Ballon Bordo (Université de Waterloo)	Alfredo Guevara (Université de Waterloo)	Shan-Ming Ruan (Université de Waterloo)
Jacob Barnett (Université de Waterloo)	Juan Hernandez (Université de Waterloo)	Nitica Sakharwade (Université de Waterloo)
Yilber Bautista Chivata (Université York)	Alexandre Homrich (Université de Waterloo)	Shengqi Sang (Université de Waterloo)
Matthew Beach (Université de Waterloo)	Florian Hopfmüller (Université de Waterloo)	Krishan Saraswat (Université de Waterloo)
Sara Bogojevic (Université McMaster)	Qi Hu (Université de Waterloo)	Laura Sberna (Université de Waterloo)
Francisco Borges (Université McMaster)	Puttarak Jai-akson (Université de Waterloo)	David Schmid (Université de Waterloo)
Pablo Bosch Gomez (Université de Waterloo)	Ding Jia (Université de Waterloo)	Vasudev Shyam (Université de Waterloo)
Kasia Budzik (Université de Waterloo)	Justin Kulp (Université de Waterloo)	Nils Peter Siemonsen (Université de Waterloo)
Dylan Butson (Université de Toronto)	Seth Kurankyi Asante (Université de Waterloo)	Barbara Soda (Université de Waterloo)
Juan Cayuso (Université de Waterloo)	Ji Hoon Lee (Université de Waterloo)	Aiden Suter (Université de Waterloo)
Ramiro Cayuso (Université de Waterloo)	Shuwei Liu (Université de Waterloo)	Paul Tiede (Université de Waterloo)
Hong Zhe Chen (Université de Waterloo)	Raez Lorgat (Université de Toronto)	Bruno de Souza Leao Torres (Université de Waterloo)
Yushao Chen (Université de Waterloo)	Ruochen Ma (Université de Waterloo)	Qingwen Wang (Université de Waterloo)
Wan Cong (Université de Waterloo)	Amalia Madden (Université de Waterloo)	Jingxiang Wu (Université de Waterloo)
Maxence Corman (Université de Waterloo)	Fiona McCarthy (Université de Waterloo)	Yigit Yargic (Université de Waterloo)
Conner Dailey (Université de Waterloo)	Soham Mukherjee (Université de Waterloo)	Weicheng Ye (Université de Waterloo)
Diego Delmastro (Université de Waterloo)	Qiaoyin Pan (Université de Waterloo)	Matthew Yu (Université de Waterloo)
Guillaume Dideron (Université de Waterloo)	Dailia Pirvu (Université de Waterloo)	Keyou Zeng (Université de Toronto)
Thomas Fraser (Université de Waterloo)	Masoud Rafiei-Ravandi (Université de Waterloo)	Yehao Zhou (Université de Waterloo)
Lei Gioia Yang (Université de Waterloo)	Surya Raghavendran (Université de Toronto)	Yijian Zou (Université de Waterloo)
Utkarsh Giri (Université de Waterloo)		

## ÉTUDIANTS DANS LE PROGRAMME PSI EN 2020-2021 (pays d'origine)

Aizhan Akhmetzhanova (Kazakhstan)	Marina Maciel Ansanelli (Brésil)	Nika Sokolova (Russie)
Leonardo Almeida Lessa (Brésil)	Tailte May (Irlande)	Wai Ting Tai (Hong Kong)
Fabian Ballar Trigueros (Costa Rica)	Neel Modi (États-Unis)	Sydney Timmerman (États-Unis)
Giuglielmo Grimaldi (Italie)	Siddhartha Morales Guzman (Mexique)	Nicolas Valdes (États-Unis, Chili)
Jacob Hauser (Canada, États-Unis)	Fionnuala Ni Chuireain (Irlande)	Kelly Wurtz (États-Unis)
Eric Huang (Australie)	José de Jesús Padua Argüelles (Mexique)	Jinmin Yi (Chine)
Hikari Iwasaki (Japon)	Jeremy Peters (Canada)	Yilè Ying (Chine)

## CONFÉRENCES ET ATELIERS EN 2020-2021

### École en ligne sur la matière ultraquantique

Du 10 au 14 août 2020

### *Postdoctoral Researcher Welcome* (Bienvenue aux postdoctorants)

Les 14 et 16 octobre 2020

### *Tensor Networks: From Simulation to Holography III*

(Réseaux de tenseurs : de la simulation à l'holographie III)

Du 16 au 20 novembre 2020

### Série hebdomadaire sur les octonions et le modèle standard

Du 8 février au 17 mai 2021

### *Women at the Intersection of Mathematics and Theoretical Physics*

(Les femmes à la jonction des mathématiques et de la physique théorique)

Du 22 au 25 février 2021

### 24<sup>e</sup> réunion Capra sur la réaction de rayonnement en relativité générale

Du 7 au 11 juin 2021

### *Quantizing Time* (Quantifier le temps)

Du 14 au 18 juin 2021

## PARRAINAGES EN 2020-2021

L'Institut Périmètre a parrainé les conférences et ateliers suivants organisés ailleurs au Canada, qui ont tous eu lieu en ligne. L'Institut honorera tous les parrainages de conférences et ateliers qui ont été reportés en raison des directives de la santé publique et des restrictions de voyage.

### Conférence canadienne des étudiants de 1<sup>er</sup> cycle en physique

Du 5 au 8 novembre 2020

### 58<sup>e</sup> conférence d'hiver de physique nucléaire et corpusculaire

Du 11 au 14 février 2021

### *Cosmological Frontiers in Fundamental Physics* (Frontières cosmologiques en physique fondamentale)

Du 24 au 27 mai 2021

### Rencontre de l'Atlantique sur la relativité générale

Du 25 au 29 mai 2021

### 49<sup>e</sup> symposium annuel canadien sur les opérateurs

Du 31 mai au 4 juin 2021

### École d'été tripartite sur les particules élémentaires (TRISEP)

Du 14 au 25 juin 2021

### Congrès 2021 de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes

Du 6 au 9 juillet 2021

## Photos

Adobe Stock : p. 16, 21 | Consortium du télescope EHT : p. 19 | Jessica Li : p. 10 | Mathew McCarthy : p. 3 | Manfred Mohl : p. 28  
Scott Norsworthy : 3<sup>e</sup> de couverture | Jan Robbe : p. 8 | Gabriela Secara : p. 4-6, 9, 11-15, 17, 20, 22-27, 30, 32-35, 39, 43



# MERCI AUX VISIONNAIRES

NOUS TENONS À REMERCIER TOUS CEUX  
QUI NOUS SOUTIENNENT, NOTAMMENT :

**MIKE LAZARIDIS, FONDATEUR**

## **NOS PARTENAIRES PUBLICS**

GOUVERNEMENT DU CANADA

GOUVERNEMENT DE L'ONTARIO

RÉGION DE WATERLOO

VILLE DE WATERLOO

ET

## **UN RÉSEAU CROISSANT DE PARTENAIRES ET DONATEURS PRIVÉS DANS LE MONDE ENTIER**

La liste des donateurs de l'Institut Péricône  
est accessible à l'adresse

<https://perimeterinstitute.ca/fr/funding>.

Voir aussi les pages 44 et 45 du présent document.

$$\hat{z} = |0\rangle$$

 $\hat{y}$  $\hat{x}$  $\int_t \lim_{\omega \rightarrow 0} <$ 

Faites partie (de) l'Equation<sup>2</sup>

Canada

INSTITUT **PI** PÉRIMÈTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE

Ontario

31, rue Caroline Nord | Waterloo | Ontario  
Canada | N2L 2Y5 | 1 519 569-7600

[perimeterinstitute.ca](http://perimeterinstitute.ca)

Numéro d'enregistrement d'organisme de bienfaisance : 88981 4323 RR0001