



# RAPPORT ANNUEL 2022

INSTITUT **PI** 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
Recherche .....	4
Formation .....	26
Diffusion des connaissances.....	32
Développement de l'Institut .....	38
Gouvernance et finances .....	42
Annexes.....	49

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 2021 au 31 juillet 2022.

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.

INSTITUT  PÉRICÈTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE

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



# MESSAGE DU PRÉSIDENT DU CONSEIL

Les révolutions scientifiques se font progressivement, puis soudainement – la physique quantique en est le parfait exemple. Les découvertes et théories du monde quantique, qui ont été tranquillement élaborées pendant des décennies, perturbent tout à coup les organismes de recherche et de technologie, créant un tsunami de nouvelles connaissances et attirant de nouveaux investissements commerciaux. Ce n'est pas un hasard si le prix Nobel de physique a récompensé des travaux fondamentaux sur l'intrication quantique.

Je suis chanceux de voir de près cette révolution, puisqu'elle se déroule en grande partie ici même. Elle se produit partout dans l'Institut Péricètre.

Elle se produit au Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Péricètre, pôle de recherche et de formation où des résidents issus des milieux universitaire, gouvernemental et industriel collaborent à la jonction de l'intelligence artificielle et des systèmes quantiques.

Elle se produit au Centre Clay-Riddell de recherches de l'Institut Péricètre sur la matière quantique, qui s'intéresse à de nouveaux états quantiques de la matière. La matière quantique est sur le point de révolutionner les transports, le stockage d'énergie, la distribution d'électricité et les diagnostics médicaux, tout en révélant un nouveau savoir sur la nature fondamentale de la matière et de l'énergie.

Elle se produit grâce à l'Initiative de l'Institut Péricètre sur l'inférence causale quantique, qui crée un centre canadien de recherche à cheval sur les statistiques et la physique quantique.

Elle se produit dans les travaux auxquels participent plus de 120 chercheurs résidents de l'Institut Péricètre et des centaines de scientifiques invités, dans les 9 domaines interreliés de recherche de l'Institut, notamment la gravitation quantique, le calcul et la simulation quantiques, la cosmologie et la physique des particules.

Cet institut et ces scientifiques ne se limitent pas à la révolution quantique. Mais pour le moment, la physique quantique a le vent dans les voiles. Et grâce à ses alliances avec l'Institut d'informatique quantique, avec les gouvernements provincial et fédéral, ainsi qu'avec de nombreux partenaires dans les secteurs des technologies, des banques, des assurances et de l'énergie, l'Institut Péricètre est devenu un chef de file de la révolution quantique.

Depuis 10 ans que je fais partie de l'Institut, la recherche en physique quantique, qui était à peine au centre des préoccupations d'institutions majeures, est devenue une priorité stratégique pour tous les pays du G20. Alors que les changements climatiques, les conflits mondiaux et les risques en matière de sécurité nationale semblent tous évoluer progressivement puis soudainement, les investissements dans ces technologies en progression rapide ne cessent de gagner

en importance. Je redeviens optimiste quand je vois comment les scientifiques et le personnel talentueux de l'Institut Péricètre se surpassent constamment pour tirer le meilleur parti de ces progrès.

Les gouvernements, les entreprises et les collectivités qui profiteront le plus de ces progrès seront ceux qui sauront attirer, encourager et outiller des experts en physique quantique. À de nombreux endroits dans le monde, on se démène pour développer de tels écosystèmes, alors que le nôtre au Canada est déjà bien établi. Au sein du G7, l'Institut Péricètre amène le Canada au premier rang en matière de recherche en physique et en sciences de l'espace, selon des mesures de qualité et d'impact. C'est non seulement une source de grande fierté, mais aussi un avantage stratégique important pour le Canada.

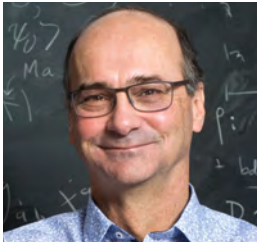
Il est maintenant temps d'accroître cet avantage, en doublant les investissements dans la recherche fondamentale et la technologie appliquée canadiennes. Si nous fournissons aux chercheurs de l'Institut Péricètre ce qu'il leur faut pour continuer de repousser les limites du possible, ces personnes brillantes construiront un avenir plus durable, plus prospère et plus fascinant, pour le Canada et le monde entier, au cours de l'année prochaine et du siècle à venir.

Je suis reconnaissant à ceux qui appuient cette vision. Nous sommes ravis que, cette année, le gouvernement de l'Ontario ait augmenté son investissement à 12 millions de dollars par année et que le gouvernement du Canada ait renouvelé son financement de l'Institut Péricètre jusqu'en 2024 inclusivement. Ce fut également une année faste quant au soutien du secteur privé, avec plusieurs dons majeurs, y compris un financement renouvelé de 10 millions de dollars pour des chaires de recherche de l'Institut, gracieuseté de la Fondation de la famille Daniel et de la Fondation de bienfaisance de la famille Riddell, et un nouveau financement de 1,5 million de dollars de la part d'Intact Corporation financière.

Pour terminer, je tiens à remercier mes collègues du conseil d'administration pour leur générosité, leur vision et leur leadership. Un merci tout particulier à Joanne Cuthbertson, qui quitte le conseil après y avoir siégé pendant près d'une décennie. Je souhaite la bienvenue au sein du conseil d'administration à Karen Collins, cheffe de la gestion des talents au Groupe financier BMO, ainsi qu'à Hratch Panossian, chef des services financiers de CIBC. L'Institut Péricètre bénéficiera grandement de votre expérience et de vos idées. Nous sommes enthousiasmés que vous vous joigniez à nous pour la suite de notre parcours.

– **Michael Serbinis**  
Président du conseil d'administration





# MESSAGE DU DIRECTEUR DE L'INSTITUT

Cette année, la vie est revenue – avec précaution et graduellement – dans notre magnifique bâtiment. Les étudiants sont revenus : après 2 années de perturbations, le programme PSI a repris en personne en 2021-2022. Les scientifiques invités sont revenus : nous avons tenu notre première conférence en personne en 2 ans. Les boursières Simons-Emmy-Noether qui avaient reporté leur séjour ont commencé à le planifier. Des enseignants de partout au Canada et du monde entier sont revenus à notre atelier estival de formation, *EinsteinPlus*, et enseigneront la physique moderne à des milliers d'élèves. Six jeunes scientifiques dont les recherches ou la formation ont été interrompues par la guerre en Ukraine ont accepté des postes spéciaux ici. Et, bien entendu, nos chercheurs résidents et notre personnel sont aussi de retour.

Nous avons beaucoup appris pendant la pandémie, et certaines des adaptations que nous avons réalisées apportent des bénéfices inattendus. Par exemple, les conférences en mode hybride sont plus accessibles aux scientifiques qui ont des enfants ou qui s'occupent d'autres personnes, de même qu'aux chercheurs qui ont des handicaps, ou qui proviennent de régions éloignées ou défavorisées. Nous nous engageons à perpétuer ces conférences hybrides et d'autres changements qui se sont avérés utiles.

Mais l'Institut Périmètre a toujours été et est d'abord et avant tout un lieu de rencontres fortuites et d'interactions profondes entre des personnes, un lieu de pétilllement et d'éveil scientifique, où l'on imagine l'inimaginable. Et tout cela se fait plus facilement en personne.

C'est particulièrement vrai au moment où ce qui était inimaginable mais que notre fondateur, Mike Lazaridis, avait pressenti, est en train de se produire : la physique quantique a le vent dans les voiles. Cette année, les prix Nobel et *Breakthrough* ont tous deux été attribués à des pionniers de la physique quantique. D'énormes investissements de gouvernements et de grandes entreprises continuent d'alimenter une croissance phénoménale et des progrès de la recherche dans le domaine quantique partout dans le monde. De nouvelles entreprises quantiques voient le jour – dont certaines mises sur pied par des scientifiques de l'Institut Périmètre. Nous voyons des techniques quantiques de calcul appliquées dans les secteurs de la finance et de la fabrication. Des matériaux quantiques sont à la veille de former de meilleurs supraconducteurs et des capteurs ultrasensibles.

Il semble peu risqué aujourd'hui d'investir dans le domaine quantique, mais Mike a fondé l'Institut Périmètre il y a 20 ans, alors que bien des gens avaient des doutes à ce sujet. L'Institut a amorcé les efforts du Canada et contribué de manière cruciale à faire de notre pays un acteur-clé de la révolution quantique.

Cette année, nous avons recruté au sein de notre corps professoral 2 chercheurs exceptionnels en information quantique, qui se joindront à nous à l'automne 2023. Sisi Zhu, qui vient de Caltech, est une théoricienne formée en physique atomique et optique, et qui collabore étroitement avec des expérimentateurs.

Elle mène des travaux révolutionnaires sur le bruit quantique, et nos collègues de l'Institut d'informatique quantique attendent avec impatience son arrivée dans la région. Alex May, qui vient de Stanford, est un théoricien de l'information qui s'intéresse à l'holographie et à la gravitation quantique, ainsi qu'à leurs liens surprenants avec le traitement de l'information quantique et la correction d'erreurs quantiques.

Ces recrues rejoignent ici de nombreux autres chercheurs qui montrent que la vogue de la physique quantique ne se limite pas aux ordinateurs quantiques : des scientifiques font des choses qui semblent étranges, comme essayer de comprendre l'espace-temps à travers la lentille de l'information quantique, ou utiliser des ordinateurs quantiques expérimentaux pour comprendre la gravité.

Mener des recherches ambitieuses et variées, qui abordent sous plusieurs angles des questions fondamentales, est un élément central de la philosophie de l'Institut Périmètre. Nous ne nous limitons pas à des travaux aux résultats évidents et immédiats. Nos tableaux noirs témoignent de recherches qui couvrent la totalité de la physique théorique, ainsi que d'une intense collaboration, d'un travail transdisciplinaire et de démarches variées. Les progrès actuels de la physique quantique – et les nombreuses percées qui les ont précédés en physique – montrent que des idées en apparence étranges au départ peuvent au bout du compte changer le monde.

Nous sommes reconnaissants à nos bailleurs de fonds qui partagent cette vision, tant le gouvernement du Canada et la Province de l'Ontario, qui nous ont accordé un financement jusqu'en 2024 inclusivement, que les donateurs privés, qui se sont engagés cette année à donner plus de 12,5 millions de dollars.

À l'Institut Périmètre, nous croyons que nous avons un rôle à jouer pour créer un avenir extraordinaire, y compris pour la physique elle-même. Notre mission est de réaliser des percées dans notre compréhension de l'univers. Nous ne pouvons pas nous permettre de laisser de grands penseurs de côté. Cette année, nous avons mis la dernière main à notre plan stratégique pour l'équité, la diversité et l'inclusion (EDI). L'Institut Périmètre fait déjà beaucoup pour l'EDI sur de nombreux fronts – de nos programmes de diffusion des connaissances à notre Tremplin vers l'inclusion mené par des bénévoles, en passant par nos initiatives Emmy-Noether –, mais nous pouvons faire mieux encore. Notre plan stratégique nous fournit un cadre en ce sens.

Le monde est confronté à de nombreux défis, et la science doit les relever directement et courageusement. Mais notre imagination ne peut pas se limiter à l'horizon de nos problèmes, dans un univers encore plus vaste que notre imagination.

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

# RECHERCHE

*« L'Institut Péricimètre est l'un des endroits les plus passionnants que je connaisse en tant que physicienne.*

*« Il constitue une communauté extrêmement stimulante de chercheurs, de même qu'un lieu privilégié de communication scientifique et d'engagement auprès du public. J'ai l'impression que c'est là où je pourrai vraiment développer toutes mes passions. »*

*— Katie Mack, titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique*





# RECHERCHE – Quelques statistiques

À l'Institut Péricimètre, 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>.

568	articles publiés en 2021-2022	403 916	citations depuis la fondation de l'Institut
7 199	articles publiés dans plus de 250 revues et dans arXiv depuis la fondation de l'Institut	11	prix et distinctions en 2021-2022

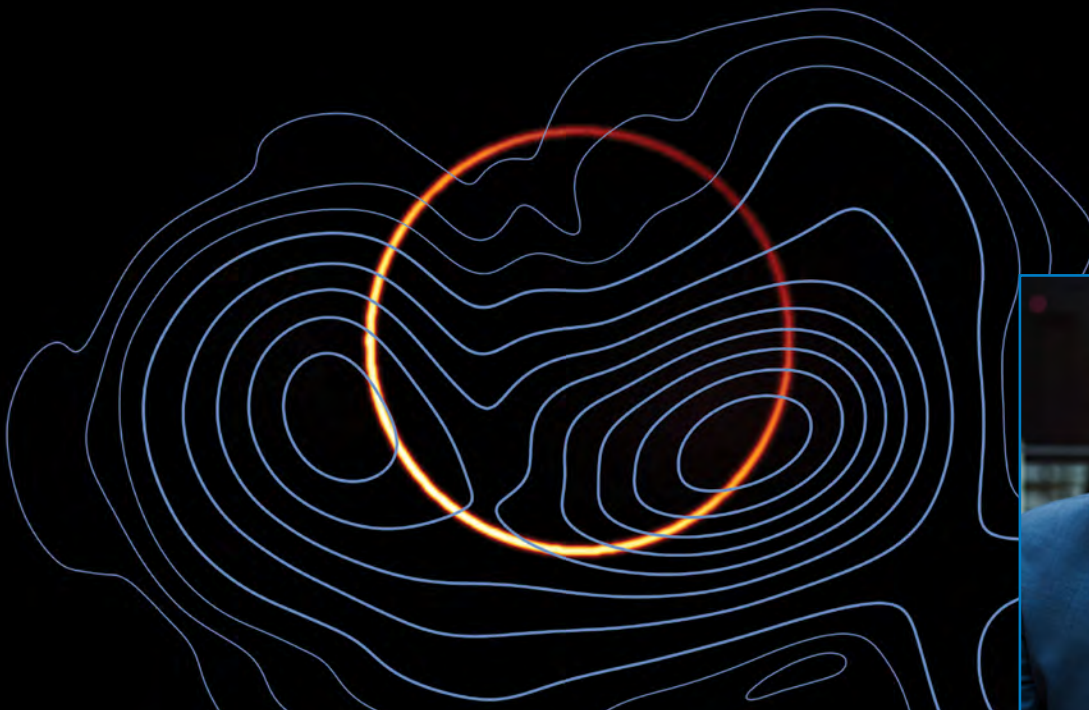
## COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

26	professeurs-chercheurs à plein temps, dont 8 titulaires de chaire de recherche de l'Institut Péricimètre	41	titulaires de chaire de chercheur invité distingué
22	professeurs-chercheurs associés, dont 1 titulaire de chaire de recherche de l'Institut Péricimètre	72	postdoctorants
1	professeure chargée de la vulgarisation scientifique	4	nouvelles boursières Simons-Emmy-Noether
3	chargés d'enseignement	61	adjoints invités
3	chargés de recherche	100	membres affiliés
2	titulaires de chaire de recherche à titre de chercheurs invités		

## CONFÉRENCES, ATELIERS ET SÉMINAIRES

6	conférences et ateliers auxquels ont participé 852 scientifiques	14 215	exposés dans PIRSA, le système d'archivage en ligne de l'Institut, depuis la fondation de l'Institut Péricimètre
7	conférences et ateliers parrainés à l'extérieur de l'Institut	194 000	visionnements dans PIRSA en 2021-2022, par des gens de 177 pays
305	exposés scientifiques, séminaires et colloques auxquels ont assisté plus de 8 000 personnes		

<sup>1</sup> Sauf indication contraire, les statistiques couvrent la période allant du 1<sup>er</sup> août 2021 au 31 juillet 2022.



Avery Broderick ►

## L'ANNEAU PHOTONIQUE : UN TROU NOIR PRÊT POUR UN GROS PLAN

Lorsque les scientifiques ont dévoilé en 2019 le premier coup d'œil de l'humanité sur un trou noir, ils savaient que ce n'était qu'un début et que les données allaient révéler des images et des connaissances encore plus complètes. Cette promesse s'est réalisée cette année, lorsqu'une équipe de chercheurs dirigée par Avery Broderick, professeur-chercheur associé à l'Institut Péricentre, a regénéré l'image et vu plus loin dans l'ombre que jamais auparavant.

Les trous noirs étaient considérés comme invisibles jusqu'à ce que des scientifiques les mettent au jour avec le télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope Horizon des événements), formé d'un réseau planétaire de télescopes. À l'aide de 8 observatoires répartis sur 4 continents, tous dirigés vers le même point du ciel et synchronisés à la nanoseconde près, le consortium EHT a observé 2 trous noirs en 2017. Au bout de 2 ans de travail acharné, les chercheurs ont dévoilé la première image jamais produite d'un trou noir.

L'image emblématique du trou noir situé au centre de la galaxie M87, qui a fait la une des journaux du monde entier en 2019, avait l'aspect d'un anneau de lumière brillant mais flou. Pour les chercheurs, cette image comporte 2 parties. La première est due à des processus astrophysiques : de la matière tombe à grande vitesse dans le trou noir, émettant dans sa chute une lumière brillante. La seconde est due à des processus gravitationnels : la lumière est déviée par la déformation de l'espace près de l'horizon des événements du trou noir. La première partie est plus brillante, mais la seconde est beaucoup plus intéressante sur le plan scientifique.

L'équipe qui a regénéré l'image a fait appel à ses solides connaissances des processus astrophysiques pour modéliser la lumière produite par la chute de matière, puis soustraire cette lumière des données du télescope EHT. « C'est comme de porter des lunettes de soleil polarisées pour éliminer les reflets », dit M. Broderick, titulaire de la chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler à l'Institut Péricentre.

Ce filtrage après coup a été possible parce que le télescope EHT « est à la base un instrument de calcul, dit M. Broderick. Il dépend autant d'algorithmes que de l'acier. Des développements algorithmiques de pointe nous ont permis de sonder des caractéristiques-clés de l'image. »

Une fois filtrée la lumière floue de la matière qui tombe dans le trou noir, il reste une lumière particulière : celle des photons qui tournent autour du trou noir sous l'action de son intense gravité, décrivant une partie d'une orbite avant de s'échapper. « D'une certaine manière, ils nous révèlent ce qu'il y a derrière le trou noir, et non seulement ce qu'il y a autour », dit M. Broderick. Ensemble, ces photons produisent ce que l'on appelle un *anneau photonique*, formé d'une série de sous-anneaux progressivement plus minces assemblés par l'équipe pour produire l'image complète.

L'anneau photonique révèle beaucoup d'information. Certains de ses photons sont passés très près de l'horizon des événements et donnent de l'information sur sa structure et ses processus. Une étude de l'anneau photonique a déjà permis à l'équipe de mesurer la masse du trou noir M87\* avec une précision sans précédent et a permis d'apercevoir la partie la plus interne des jets du trou noir – les faisceaux brillants et denses de matière ionisée qui émergent des pôles de rotation du trou noir.

« Nous avons éteint le projecteur pour voir les lucioles, explique M. Broderick. Nous avons réussi quelque chose d'important : obtenir une signature fondamentale de la gravité autour d'un trou noir. »

### Référence :

Broderick, A.E. (Institut Péricentre et U. de Waterloo), D.W. Pesce (Centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian), R. Gold (U. du Danemark du Sud), P. Tiede (Institut Péricentre et U. de Waterloo) et al. « The photon ring in M87\* », *The Astrophysical Journal*. Vol. 935, 2022, p. 61, arXiv:2208.09004.

Avery Broderick est titulaire de la chaire Famille-Delaney-John-Archibald-Wheeler de physique théorique.



## DES RESTRICTIONS SUR LA MATIÈRE SOMBRE GRÂCE AU LSST

Une équipe de chercheurs menée par Daniel Egaña-Ugrinovic, postdoctorant à l'Institut Péricimètre, a montré que le futur projet LSST (*Legacy Survey of Space and Time* – Relevé patrimonial de l'espace et du temps) de l'Observatoire Vera-Rubin pourrait donner des indices sur la nature de la matière sombre.

La matière sombre, qui constitue l'un des grands mystères de la physique moderne, est une forme hypothétique de matière qui constituerait environ 85 % de toute la matière de l'univers. Les scientifiques admettent généralement l'existence de la matière sombre, dont la force de gravité façonne la structure à grande échelle de l'univers, mais ils en savent très peu à son sujet. De l'avis général, elle serait formée d'une ou plusieurs sortes de particules restant à découvrir.

Dans ses récents travaux, M. Egaña-Ugrinovic recherche des particules de matière sombre dans de surprenants et lointains éclairs de lumière.

Le point de départ, c'est que la plupart des galaxies sont centrées chacune sur un trou noir supermassif et que lorsque des étoiles passent à proximité de ce trou noir, elles sont perturbées par sa gravité extrême. Les poussées de rayonnement qui en résultent produisent de brillants éclairs que l'on peut observer grâce à des projets comme le LSST.

La fréquence de ces événements, appelés *perturbations tidales stellaires*, dépend de la masse et de la rotation du trou noir. La rotation d'un trou noir pourrait quant à elle être affectée par des particules potentielles de matière sombre appelées *bosons ultralégers*. S'ils existent, ces bosons interagissent très faiblement avec la matière ordinaire, ce qui les rend extrêmement difficiles à détecter directement.

L'équipe, qui comprenait des chercheurs de l'Institut Péricimètre, de l'Université d'État de New York à Stony Brook et de l'Université Northwestern, a montré qu'en utilisant le projet LSST pour observer la fréquence des perturbations tidales stellaires, on pourrait définir des contraintes sur les propriétés de ces particules. Les résultats de ces travaux ont été publiés dans la revue *Nature Communications*.

« Nous avons de fortes preuves venant d'observations cosmologiques et des arguments théoriques fascinants en faveur de l'existence de particules qui restent à découvrir, dit M. Egaña-Ugrinovic. Nous avons aussi des installations d'expérimentation allant de collisionneurs à haute énergie à des observatoires astrophysiques pour les trouver.

« En tombant dans des trous noirs à d'énormes distances de la Terre, des milliers et des milliers d'étoiles produisent des éclairs de lumière que l'Observatoire Vera-Rubin nous permettra de voir. Peut-être que, sans que nous ne nous y attendions, nous pourrions trouver ces nouvelles particules en regardant de belles lueurs dans le ciel! »

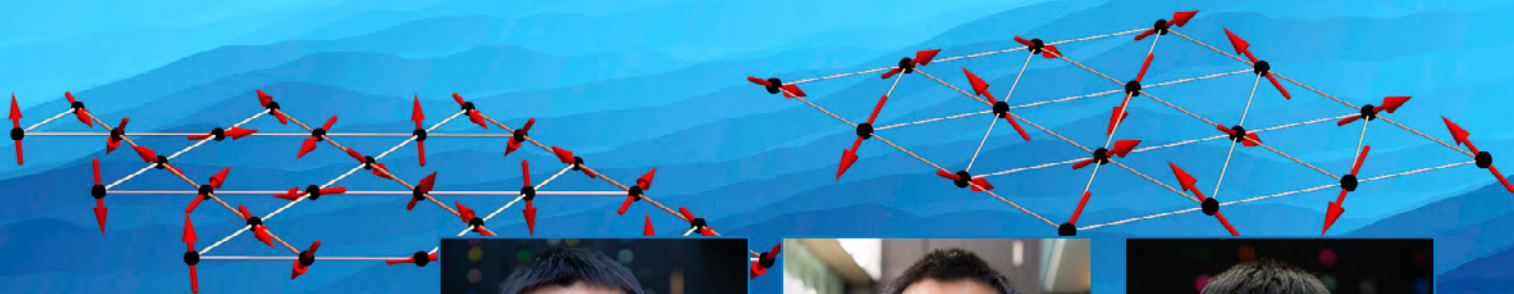
### Référence :

Du, P. (U. d'État de New York à Stony Brook), D. Egaña-Ugrinovic (Institut Péricimètre), R. Essig (U. d'État de New York à Stony Brook), G. Fragione (U. Northwestern), et R. Perna (U. d'État de New York à Stony Brook). « Searching for ultra-light bosons and constraining black hole spin distributions with stellar tidal disruption events », *Nature Communications*, vol. 13, 2022, p. 4626, arXiv:2202.01215.

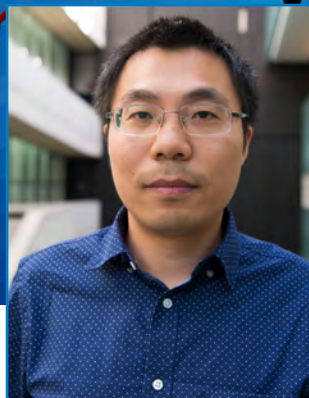
Daniel Egaña-Ugrinovic ►







Chong Wang, Yin-Chen He  
et Liujun Zou



## PLONGER DANS LES LIQUIDES DE SPIN QUANTIQUES

Pour Chong Wang, professeur-chercheur à l'Institut Périclète, et ses collègues de l'Institut – le professeur-chercheur Yin-Chen He et le postdoctorant Liujun Zou –, l'étude des liquides de spin quantiques ressemble à une plongée dans des milieux océaniques inconnus.

Tout comme les éblouissants récifs coralliens, les matériaux hypothétiques appelés *liquides de spin quantiques* constituent des milieux exotiques. Ils contiennent des particules qui naagent, scintillent et interagissent de manière complexe et fortement intriquée sur des réseaux cristallins.

Comme les plongeurs, les chercheurs qui étudient ces milieux théoriques disent souvent qu'ils explorent un autre monde. Mais au lieu d'utiliser du matériel de plongée, ils se servent des mathématiques.

« *Chaque dimension constitue un défi différent et possède sa propre histoire complexe.* »

– Chong Wang, professeur-chercheur

« Nous représentons les formes de manière théorique dans un autre univers, dit M. Zou. Même si l'on ne connaît aucun matériau quantique existant qui manifeste un certain phénomène, nous pouvons indiquer que ce phénomène est théoriquement possible. »

MM. Wang, He et Zou font partie des physiciens théoriciens rattachés au Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique de l'Institut Périclète, pôle de recherche où les scientifiques visent à explorer les propriétés intrinsèques de la mécanique quantique pour comprendre et découvrir de nouveaux états de la matière.

Ils se servent des mathématiques pour prédire les configurations et mouvements possibles des électrons dans ces matériaux. Ils modélisent les propriétés de ces matériaux dans différentes dimensions, par exemple dans 1 ou 2 dimensions spatiales au lieu des 3 dimensions auxquelles nous sommes habitués. Une dimension peut être constituée d'une chaîne d'atomes en interaction. Deux dimensions seraient un feuillet, ou un matériau dont les effets intéressants ne se produisent qu'à la surface.

« Chaque dimension constitue un défi différent et possède sa propre histoire complexe », dit M. Wang.

Et tout comme les milieux océaniques, ces autres mondes théoriques renferment des choses fantastiques qui n'attendent que d'être découvertes.

Une récente plongée théorique effectuée par MM. Wang, He et Zou a révélé une nouvelle catégorie possible de liquides de spin quantiques qu'ils appellent *liquides de Stiefel*, du nom du mathématicien Eduard Stiefel, auteur d'importantes contributions à l'étude des états topologiques de la matière.

Les liquides de spin quantiques et leur sous-catégorie des liquides de Stiefel ne sont pas des liquides au sens conventionnel. Dans un liquide de spin quantique, les spins des électrons sont liés entre eux comme les atomes d'un liquide ordinaire : suffisamment tassés pour qu'il y ait des interactions entre voisins, mais sans conserver une disposition régulière.

Le spin des électrons est responsable des propriétés magnétiques d'un matériau. Dans un aimant, les électrons ont leur spin aligné, ou s'orientent de manière ordonnée, leur pôle nord pointant dans la même direction. À des températures ultrabasses, de nombreux matériaux deviennent magnétiques, car leurs spins électroniques se « figent » dans une disposition régulière.

Par contre, dans un liquide de spin quantique, la configuration des électrons est telle qu'il leur est difficile de s'aligner de manière ordonnée. Si les électrons interagissent dans un réseau formé de structures triangulaires adjacentes, il peut s'ensuivre un tiraillement entre électrons voisins. Le matériau devient un « aimant frustré », dont les électrons fluctuent constamment, même aux températures les plus basses, comme dans un état liquide, d'où le nom de *liquide de spin quantique*.

Les particules fluctuantes interagissant fortement manifesteraient constamment ce que l'on appelle la *criticalité quantique*, stade transitoire pendant lequel la matière passe d'un état à un autre. Grâce à leurs propriétés exclusives, les liquides de spin quantiques sont extrêmement utiles dans des applications telles que la supraconductivité à haute température – qui permet à des matériaux de transporter de l'électricité avec une résistance nulle même aux températures ambiantes habituelles – ou le calcul quantique.



Dans leur récent article, MM. Wang, He et Zou ont décrit comment, du moins en théorie, des liquides de Stiefel pourraient émerger et avoir ces propriétés utiles pour de futures technologies. Mais M. Zou ajoute que les liquides de Stiefel pourraient amener un enrichissement de la « boîte à outils théoriques » permettant de comprendre la matière quantique en général. La raison en est que les techniques standard qui permettent de comprendre la matière quantique ne fonctionnent pas dans le cas des liquides de Stiefel.

« Cela signifie qu'il nous faudra de nouveaux outils théoriques pour pouvoir étudier correctement ces systèmes qui sont intrinsèquement en interaction forte », dit M. Wang. La proposition de liquides de Stiefel ouvre cette avenue de recherche.

## UN NOUVEAU PROJET VISE UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DE L'INTERACTION FORTE

Davide Gaiotto, titulaire de la chaire Krembil-Galilée à l'Institut Périmètre, participe à un ambitieux nouveau projet de la fondation Simons, qui vise une meilleure compréhension de la chromodynamique quantique (CDQ).

Depuis sa première définition théorique il y a plus de 50 ans, la CDQ s'est avérée une description très fructueuse de l'interaction nucléaire forte. Elle explique comment les protons et les neutrons sont liés à l'intérieur des noyaux atomiques, et comment les quarks et les gluons sont confinés à l'intérieur des protons et des neutrons.

Cependant, de nombreuses questions demeurent encore sans réponse quant au fonctionnement exact du confinement. Le nouveau projet cherchera à y répondre, puisqu'il décrit la théorie du confinement en CDQ comme « un problème non résolu d'importance fondamentale en physique ».

Le processus de confinement entraîne certaines bizarreries mathématiques, notamment ce que l'on appelle l'*écart de masse* : des particules quantiques dépourvues de masse et pouvant voyager à la vitesse de la lumière s'agglutinent de manière irréversible pour former des particules massives. Ce processus ne peut pas être analysé à l'aide des outils théoriques actuels, mais il semble avoir été démontré par l'expérience et

« Cela nous force à élargir les horizons de notre compréhension, dit M. Zou. Cela nous force à mettre au point de nouveaux outils, qui permettront ensuite de résoudre d'autres problèmes et qui pourront mener à des applications technologiques. » Autrement dit, cela pourrait aider à fabriquer non pas un meilleur équipement de plongée, mais des sous-marins de pointe, capables de plonger plus profondément dans des mondes quantiques.

### Référence :

Zou, L., Y.-C. He, C. Wang (Institut Périmètre). « Stiefel liquids: Possible non-Lagrangian quantum criticality from intertwined orders », *Physical Review X*, vol. 11, 2021, article n° 031043, arXiv:2101.07805.

dans des simulations informatiques de CDQ, ce qui constitue un mystère en physique quantique. Le nouveau projet de la Fondation Simons cherchera à résoudre le problème de l'écart de masse.

Les chercheurs étudieront également la dynamique des chaînes de CDQ. Parfois appelées *tubes de flux chromoélectrique*, ces chaînes relient des quarks et des antiquarks. L'équipe compte tirer parti de progrès récents en modélisation informatique pour mieux comprendre ces chaînes.

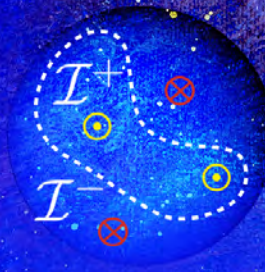
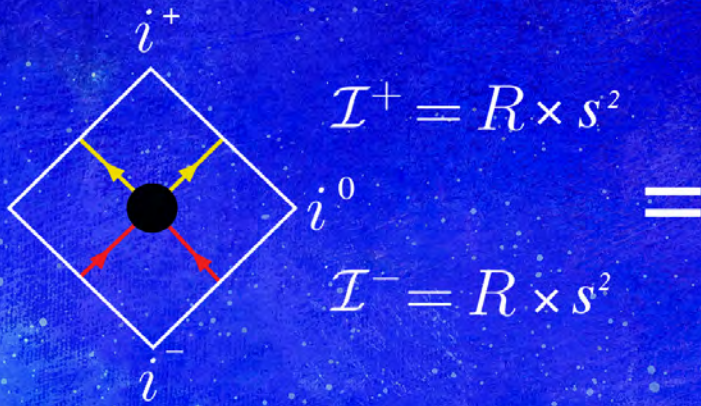
Ce projet est dirigé par Igor Klebanov, de l'Université de Princeton. Il comprend des chercheurs de 13 institutions dans 6 pays et est financé pour une période de 4 ans par la Fondation Simons.

« Ce projet constitue un forum pour comparer différents points de vue sur le problème et formuler de nouvelles questions », dit M. Gaiotto.

*Davide Gaiotto est titulaire de la chaire Krembil-Galilée de physique théorique.*

Davide Gaiotto ►





Ana-Maria Raclariu ▶

## UNE NOUVELLE PERSPECTIVE SUR L'HOLOGRAPHIE

En physique théorique, l'holographie permet essentiellement de dire quel est le contenu d'un cadeau en examinant le papier d'emballage, ou autrement dit de décrire l'univers en décrivant la surface qui l'enveloppe.

En termes plus techniques, le principe holographique signifie que l'on devrait pouvoir décrire n'importe quelle sorte d'espace-temps par une théorie des champs (c'est-à-dire une théorie des particules et de leurs interactions) sur le « papier d'emballage » qui enveloppe cet espace-temps. L'holographie a fourni à 2 générations de théoriciens un puissant ensemble d'outils leur permettant de résoudre des problèmes difficiles et d'explorer de grandes idées.

Mais alors que selon le principe holographique cette technique devrait fonctionner pour tout espace-temps, les théoriciens n'ont en fait qu'un seul bon exemple de cadeau avec son papier d'emballage. Des chercheurs tels qu'Ana-Maria Raclariu, de l'Institut Péricimètre, espèrent maintenant trouver un 2<sup>e</sup> exemple de correspondance entre espace-temps et théorie des champs.

Récipiendaire de la bourse postdoctorale Stephen-W.-Hawking financée par la Fondation Ptarmigan, M<sup>me</sup> Raclariu travaille dans ce que l'on appelle l'*holographie céleste*. Ce sous-domaine en croissance rapide fait l'objet de l'une des plus récentes initiatives de recherche de l'Institut Péricimètre, qui souhaite accélérer les progrès dans ce domaine.

La paire existante d'un cadeau et de son papier d'emballage – la réalisation du principe holographique la première et la plus étudiée – s'appelle la *correspondance AdS/CFT*. L'espace-temps à l'étude est un espace anti-de Sitter. C'est une sorte d'espace-temps à courbure négative qui joue un rôle important en théorie des cordes.

Il y a toutefois une réserve de taille : nous ne vivons pas dans un espace anti-de Sitter. « Nous savons que l'univers réel n'est pas un espace-temps à courbure négative », dit M<sup>me</sup> Raclariu.

Les chercheurs en holographie céleste souhaitent travailler avec un espace-temps qui soit asymptotiquement plat – c'est-à-dire qui paraît plat lorsqu'on le regarde de loin. « Cela correspond beaucoup mieux à notre univers », dit M<sup>me</sup> Raclariu.

En vertu du principe holographique, il devrait y avoir un moyen de décrire notre univers en décrivant la théorie des champs sur un

horizon infiniment lointain. Pour aider les gens à se représenter ce que cela signifie, M<sup>me</sup> Raclariu évoque l'ancienne image de la Terre entourée d'un dôme d'étoiles fixes : « En astronomie, on a la notion de sphère céleste, qui est essentiellement ce que l'on voit quand on regarde le ciel la nuit, dit-elle. Dans ce cas, on propose que la théorie duale de la gravitation porte sur cette surface bidimensionnelle qu'est la sphère céleste. C'est pour cette raison que l'on parle d'holographie céleste. »

M<sup>me</sup> Raclariu a récemment collaboré avec Monica Pate, postdoctorante à l'Université Harvard, Nima Arkani-Hamed, de l'Institut d'études avancées de Princeton, et Andrew Strominger, de l'Université Harvard, à des travaux innovateurs en holographie céleste. Leurs recherches ont été publiées dans le *Journal of High Energy Physics*. Même si l'article décrit l'une des interactions les plus simples possibles entre particules sur la sphère céleste, il constitue un premier jalon dans ce domaine et une preuve importante que l'holographie céleste est applicable.

Ultimement, les chercheurs en holographie céleste aimeraient pouvoir faire ce que l'on réussit déjà dans le domaine de la correspondance AdS/CFT : transformer les idées venues de la théorie des champs en idées sur la gravitation. Ce serait un grand pas en avant, car la gravitation ainsi étudiée serait beaucoup plus semblable à celle de notre univers.

On pourrait s'attaquer à de nombreux mystères gravitationnels. Les physiciens pourraient peut-être décrire les trous noirs ou le Big Bang. Ils pourraient résoudre le paradoxe de l'information perdue des trous noirs, où la théorie de l'information, la physique quantique et la théorie de la gravitation entrent en collision. Ils pourraient même résoudre entièrement le casse-tête de la gravitation quantique.

« Bien entendu, nous sommes très loin d'y parvenir pour le moment, dit M<sup>me</sup> Raclariu. C'est le grand objectif qui nous anime. Entre-temps, nous franchissons de petites étapes dans cette direction. »

### Référence :

Arkani-Hamed, N. (U. de Princeton), M. Pate (U. Harvard), A.-M. Raclariu (Institut Péricimètre) et A. Strominger (U. Harvard). « Celestial amplitudes from UV to IR », *Journal of High Energy Physics*, 2021, article n° 62, arXiv:2012.04208.

Ana-Maria Raclariu est récipiendaire de la bourse postdoctorale Stephen-W.-Hawking de la Fondation Ptarmigan à l'Institut Péricimètre.



## LE TÉLESCOPE CHIME RÉVÈLE DES LIENS POSSIBLES ENTRE SURSAUTS RADIO RAPIDES ET ÉTOILES À NEUTRONS

Un nouveau résultat de l'équipe SRR du télescope CHIME vient enrichir un faisceau de preuves qui donnent à penser que de nombreux sursauts radio rapides (SRR) proviennent d'étoiles à neutrons. Dans un article publié par la revue *Nature*, l'équipe rapporte la détection d'un SRR qui émet des impulsions périodiques, le premier du genre à avoir été observé.

Les SRR sont d'immenses explosions d'ondes radio. Ils ne durent que quelques microsecondes, soit moins qu'un clin d'œil. Le premier SRR a été détecté en 2007, et seulement quelques dizaines d'autres ont été détectés dans la décennie qui a suivi. Depuis 2017, le télescope CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène) a détecté des milliers de SRR, ce qui aide les astronomes à percer le mystère de leur origine.

Le nouveau signal, FRB 20191221A, a persisté jusqu'à 3 secondes, soit environ 1 000 fois plus longtemps que le SRR moyen. À l'intérieur de cette fenêtre, il y avait des sursauts d'ondes radio qui se répétaient de manière nettement périodique toutes les 0,2 secondes. Ce genre de sous-périodicité est un phénomène entièrement nouveau.

L'équipe soupçonne que ce signal pourrait émaner de certains types d'étoiles à neutrons – cœurs extrêmement denses et en rotation rapide résultant de l'effondrement d'étoiles géantes. Les premiers suspects sont les radiopulsars et les magnétars. Les

champs magnétiques intenses de ces étoiles peuvent produire des sursauts de rayons X et de rayons gamma – ainsi que, probablement, des SRR.

« C'est la première fois qu'un SRR non répéteur est lié à une étoile à neutrons », déclare Kendrick Smith, membre de l'équipe SRR du télescope CHIME, professeur à l'Institut Périmètre et titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles.

« Les SRR répéteurs et non répéteurs sont-ils un même type d'objet, se demande M. Smith, ou si ce sont des phénomènes sans lien entre eux qui produisent tous deux des impulsions radio? Cela reste une question ouverte. Nous ne savons pas encore si tous les SRR proviennent de magnétars. C'est assurément le cas pour certains d'entre eux. »

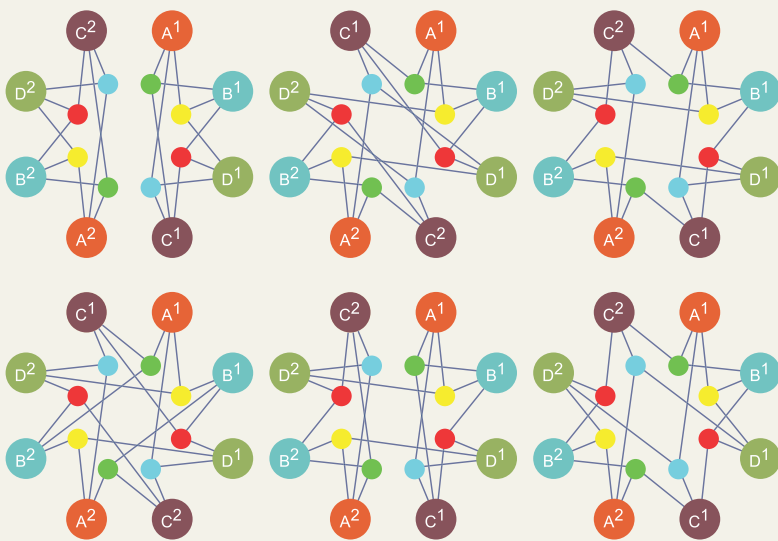
#### Référence :

Équipe SRR du télescope CHIME. « Sub-second periodicity in a fast radio burst », *Nature*, vol. 607, 2022, p. 256-59, arXiv:2107.08463.

*Kendrick Smith est titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique.*

Kendrick Smith ►





Elie Wolfe ▶

## SUR LES ÉPAULES DE BELL

Dans la vie de tous les jours, si quelqu'un lance une boule sur une allée de quilles, celles-ci tombent seulement après avoir été frappées par la boule. De plus, les quilles ne peuvent pas être affectées par une boule lancée sur une autre allée. La cause précède l'effet (causalité), et un objet comme une boule de jeu de quilles ne peut être directement influencé que par son environnement immédiat (localité). Ces notions définissent la réalité du sens commun.

Malheureusement pour le sens commun, selon la physique quantique, l'univers ne peut pas être à la fois local et causal. Par exemple, nous savons que si 2 particules sont intriquées à l'échelle quantique, elles demeurent en corrélation peu importe la distance qui les sépare. C'est comme si de voir une quille tomber dans une allée nous donnait de l'information sur ce qui se passe dans une autre allée – même si celle-ci est à l'autre bout de l'univers.

Au début, Einstein et d'autres physiciens croyaient qu'il pouvait y avoir entre les quilles des 2 allées un lien caché – une « variable cachée » – les reliant comme une corde.

Dans les années 1960, le théoricien John Bell a prouvé qu'aucun modèle de variable cachée ne peut être compatible avec certaines prédictions de la physique quantique. Plus tard, des expérimentateurs ont conçu des tests empiriques toujours plus probants du théorème de Bell.

Tout récemment, le prix Nobel de physique a été attribué à 3 scientifiques – Alain Aspect, John F. Clauser et Anton Zeilinger – qui ont comblé toutes les lacunes possibles des tests de Bell. En annonçant l'attribution du prix Nobel, Eva Olsson, membre du comité Nobel de physique, a déclaré que les travaux des lauréats « ont ouvert des portes sur un autre monde et ont ébranlé les fondements mêmes de notre manière d'interpréter des mesures. »

« Le théorème de Bell a causé un choc », déclare Elie Wolfe, chargé de recherche à l'Institut Périmètre. Il a mis fin aux modèles simples de variable cachée. Ce qui se passe dans la première allée de quilles est vraiment lié à ce qui se passe dans la seconde, et il n'y a aucune corde.

M. Wolfe fait partie d'une équipe de scientifiques qui a récemment poussé le théorème de Bell un cran plus loin, en prouvant qu'il est en fait impossible de comprendre l'univers 2 quilles à la fois.

En termes plus techniques, ces chercheurs ont montré que la non-localité est intrinsèquement « multipartite » – c'est-à-dire qu'elle porte non seulement sur des paires de systèmes, mais sur de multiples parties. Une analogie faible consiste à imaginer une forêt tropicale où 3 peuples parlent des langues différentes, mais où la langue de chaque peuple a certains mots en commun avec les langues des 2 autres. On ne peut pas faire une histoire complète de l'origine de ces langues en les étudiant seulement deux par deux. Il faut étudier les 3 langues ensemble. Autrement dit, peu importe jusqu'à quel point on comprend la physique de toute paire possible de particules intriquées, cela ne suffit pas. Il n'est pas possible de décrire des systèmes composés en partant uniquement de leurs parties.

Ce caractère multipartite n'est pas une bizarrerie issue de la manière particulière dont nous avons formulé notre compréhension de la mécanique quantique. Selon M. Wolfe, ce sera un aspect fondamental de toute théorie à venir qui soit compatible avec la physique quantique.

Les travaux récents de M. Wolfe et de ses collègues rejettent une classe de théories plus vaste que celle de toutes les théories des variables cachées, en menant à la conclusion que « la non-localité de la nature doit être multipartite sans aucune limite », comme M. Wolfe l'a écrit dans un article récent. (Un article complémentaire aborde plus précisément l'échec des liens qui ne sont que bipartites.)

M. Wolfe et son équipe ont étudié une vaste classe de théories appelées *théories probabilistes généralisées*. Cette classe de théories « tente de situer la physique quantique comme une théorie parmi un spectre infini de théories possibles », dit M. Wolfe.

Un autre aspect intéressant de ces travaux est qu'ils rejoignent les intérêts de 2 groupes de scientifiques – ceux qui travaillent en apprentissage automatique et ceux qui font de la physique quantique.



« L'intrication est une ressource disponible dans la nature, au même titre que l'eau, le pétrole et l'électricité, dit M. Wolfe, et nous pouvons l'utiliser pour toutes sortes de choses. Et il se trouve que l'intrication tripartite constitue une ressource unique en soi. »

Pour le moment, on peut dire sans réserve – pour employer un terme du jeu de quilles – qu'il s'agit d'un résultat remarquable.

## DES CHERCHEURS RÉUSSISSENT LA PREMIÈRE SIMULATION QUANTIQUE DE BARYONS

Richard Feynman a un jour résumé de manière mémorable la difficulté de simuler des événements quantiques à l'aide d'ordinateurs : « La nature n'est pas classique, nom d'un chien. Si vous voulez simuler la nature, vous devriez le faire de manière quantique. »

Une équipe de chercheurs dirigée par Christine Muschik, professeure-chercheuse associée à l'Institut Périmètre et professeure adjointe à l'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo, a suivi à la lettre ce conseil et simulé des objets quantiques à l'aide d'un ordinateur quantique. Plus précisément, elle a effectué la toute première simulation de baryons (catégorie de particules qui comprend les protons et les neutrons) dans un ordinateur quantique.

M<sup>me</sup> Muschik dirige le groupe d'étude des interactions quantiques à l'IQC, de même que l'initiative conjointe *Quantum Simulations of Fundamental Interactions* (Simulations quantiques d'interactions fondamentales) de l'IQC et de l'Institut Périmètre.

Travaillant avec Randy Lewis, de l'Université York, l'équipe de M<sup>me</sup> Muschik a élaboré un algorithme quantique économe en ressources qui a permis de calculer les masses d'un baryon et d'un méson non abéliens, en utilisant l'ordinateur quantique d'IBM accessible par infonuagique, couplé à un ordinateur classique.

Dans leur montage hybride, un ordinateur classique et un ordinateur quantique étaient reliés en une boucle fermée de rétroaction. L'ordinateur classique exécutait les parties qu'il pouvait traiter facilement, et l'ordinateur quantique se chargeait de celles qui étaient trop « quantiques » pour l'ordinateur classique.

### Références :

Coiteux-Roy, X. (USI), E. Wolfe (Institut Périmètre) et M.-O. Renou (ICFO BIST). « Any physical theory of nature must be boundlessly multipartite nonlocal », *Physical Review A*, vol. 104, 2021, article n° 052207, arXiv:2105.09380.

Coiteux-Roy, X. (USI), E. Wolfe (Institut Périmètre) et M.-O. Renou (ICFO BIST). « No bipartite-nonlocal causal theory can explain nature's correlations », *Physical Review Letters*, vol. 127, 2021, article n° 200401, arXiv:2105.09381.

Le problème à résoudre faisait des allers-retours entre les 2 ordinateurs.

Avec cette étape emblématique de simulation de baryons dans un ordinateur quantique, les chercheurs ouvrent la voie vers des simulations quantiques qui vont bien au-delà des capacités et des ressources des superordinateurs même les plus puissants au monde.

Cette percée constitue une étape importante vers une nouvelle ère où le potentiel révolutionnaire des ordinateurs quantiques peut être exploité pour créer des simulations quantiques qui pourraient aider les scientifiques à étudier des objets tels que les étoiles à neutrons ou à mieux connaître les premiers moments de l'univers.

« Au lieu de provoquer des collisions de particules dans un accélérateur, nous pourrions peut-être simuler dans un ordinateur quantique ces interactions, afin d'étudier les origines de l'univers et bien d'autres phénomènes. »

– Christine Muschik, professeure-chercheuse associée

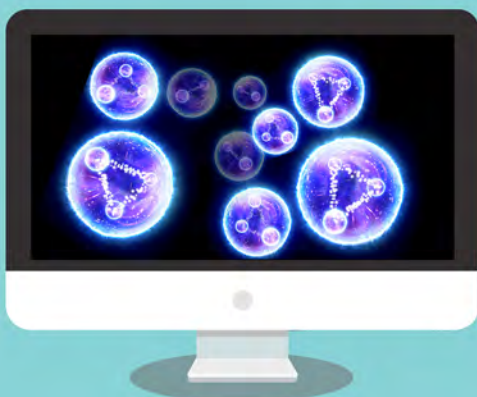
« Au lieu de provoquer des collisions de particules dans un accélérateur, dit

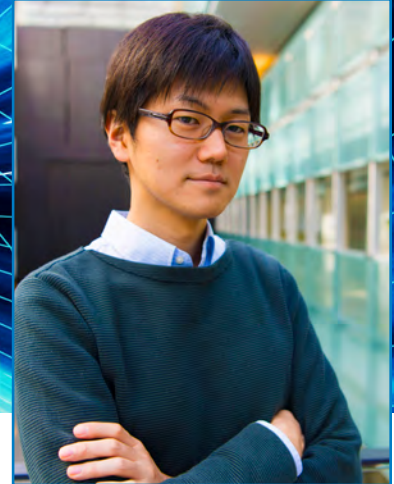
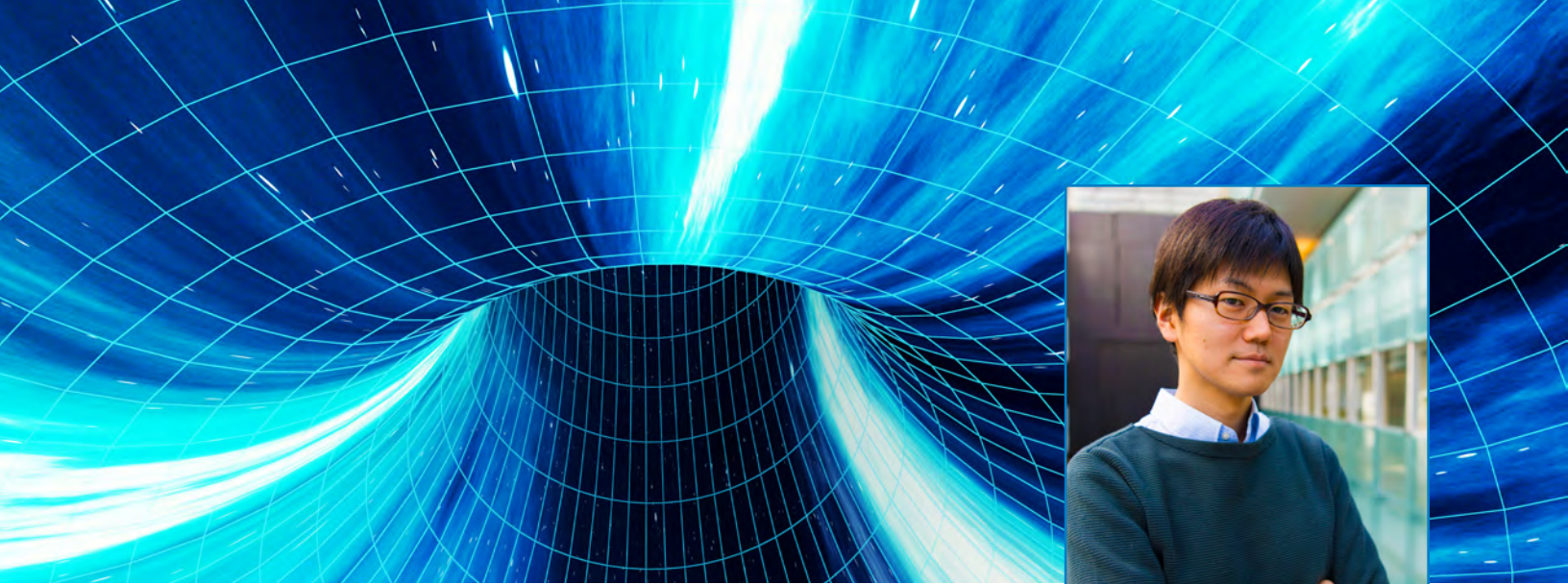
M<sup>me</sup> Muschik, nous pourrions peut-être simuler dans un ordinateur quantique ces interactions, afin d'étudier les origines de l'univers et bien d'autres phénomènes. »

### Référence :

Atas, Y.Y., J. Zhang (IQC et U. de Waterloo), R. Lewis (U. York), A. Jahanpour, J.F. Haase (IQC et U. de Waterloo) et C.A. Muschik (Institut Périmètre, IQC et U. de Waterloo). « SU(2) hadrons on a quantum computer via a variational approach », *Nature Communications*, vol. 12, 2021, p. 6499, arXiv:2102.08920.

Christine Muschik ▶





Beni Yoshida ▶

## JETER UN QUBIT DANS UN TROU NOIR ET LE RÉCUPÉRER PAR UN TROU DE VER

Supposons que vous ayez un journal rempli d'information quantique – un journal si secret que vous vouliez absolument le détruire. Vous le jetez dans un trou noir. Serait-il possible de le récupérer?

Beni Yoshida, professeur-chercheur à l'Institut Périclète, dit que oui. Et le protocole qu'il a mis au point pour ce faire est devenu un puissant outil expérimental pour étudier la dynamique quantique des systèmes à N corps, et constitue peut-être un progrès important vers la réalisation de technologies quantiques pratiques.

La question de savoir si de l'information, comme celle du journal quantique, est vraiment perdue pour toujours si elle tombe dans un trou noir s'appelle la *paradoxe de l'information perdue des trous noirs*. Sur le plan gravitationnel, on sait que dès qu'un objet comme le journal quantique traverse l'horizon des événements d'un trou noir, il ne peut plus revenir. Mais en vertu de la théorie de l'information quantique, aucune information quantique ne peut être perdue. Les 2 énoncés ne peuvent visiblement pas être vrais. Cette énigme préoccupe les physiciens depuis près d'un demi-siècle. Comme de nombreuses failles de la physique, celle-ci permet de réaliser des percées : le paradoxe de l'information perdue des trous noirs a été la source de progrès dans tous les sous-domaines qu'il concerne.

M. Yoshida, qui a récemment obtenu le prix commémoratif Nishinomiya-Yukawa, travaille depuis des années sur sa propre réponse à la question du journal quantique. Ces travaux ont constitué pour lui – et pour le domaine – un long et surprenant parcours. La première étape importante a été franchie en 2015, lorsque M. Yoshida et ses collaborateurs ont élaboré une preuve, fondée sur la théorie de l'information, selon laquelle l'information quantique s'échappe effectivement d'un trou noir sous forme de rayonnement de Hawking, faible leur produite par les particules qui se forment à l'horizon des événements.

Mais il y a bien sûr un énorme fossé entre prouver que l'information quantique s'échappe d'un trou noir et savoir comment reconstituer le journal quantique à partir de cette information dénichetée. Les spécialistes du domaine étaient généralement pessimistes quant aux chances de reconstitution. Cependant, en 2017, Beni Yoshida et Alexei Kitaev, ce dernier

de l'Institut de technologie de la Californie, ont mis au point un protocole, fondé lui aussi sur la théorie de l'information quantique, pour récupérer de l'information à partir d'un trou noir.

La preuve de 2015 et le protocole de 2017 font tous deux intervenir un phénomène appelé *brouillage de l'information quantique*, réputé se produire à l'intérieur des trous noirs.

Une image intuitive d'un « brouillage » pourrait être celle d'un boulier contenant des boules numérotées et utilisé dans une partie de bingo. Mais le brouillage quantique est différent : chaque « boule » est un qubit qui ne fait pas que rebondir, mais qui interagit aussi avec d'autres qubits. L'information qu'il contient devient moins localisée et ne peut plus être décrite par le tirage et la lecture d'une boule en particulier. À mesure que le nombre de qubits en interaction dans un système augmente, l'information devient de moins en moins localisée.

Si les trous noirs agissent comme des brouilleurs quantiques, l'information contenue dans le journal quantique jeté peut sembler perdue, mais elle est en fait codée dans les corrélations entre les particules à l'intérieur du trou noir, ainsi que dans le rayonnement de Hawking qui s'échappe de ce trou noir. Le protocole de M. Yoshida consiste en un ensemble d'instructions mathématiques montrant comment faire le décodage.

Ce ne sont pas seulement les auteurs de journaux secrets et les spécialistes des trous noirs qui s'intéressent à la manière dont l'information quantique est répartie dans un système de qubits. Cette question est cruciale pour tous ceux qui étudient les systèmes quantiques à N corps, y compris ceux qui souhaitent caractériser ou contrôler des matériaux quantiques, ou encore construire des ordinateurs quantiques.

Sachant cela, M. Yoshida et d'autres collaborateurs ont commencé à réfléchir à la possibilité de tester ces protocoles de récupération d'information dans d'autres systèmes quantiques – plus accessibles que des trous noirs. Avec Chris Monroe, du Centre conjoint d'informatique et d'information quantique de l'Université du Maryland, ils ont fait un test avec quelques ions ultrafroids, soigneusement contrôlés à l'aide d'impulsions laser. Les résultats ont été publiés dans un article marquant, paru en



2019 dans la revue *Nature*. « C'était, dit M. Yoshida, le premier article faisant état d'une manière convaincante de simuler la physique des trous noirs et d'observer le brouillage d'information quantique. »

Mais ce n'est pas encore la fin de l'histoire. Le protocole continue d'être amélioré – il comprend maintenant un type particulier de brouillage d'information appelé *brouillage cohérent* –, les expérimentateurs augmentent la portée de leurs tests, et le domaine continue de progresser. M. Yoshida décrit ses plus récents travaux comme une collaboration entre l'Université de la Californie à Berkeley, l'Université Harvard, l'Institut Périclète et l'Université du Maryland, y compris avec des expérimentateurs de pointe.

La compréhension du brouillage quantique sera cruciale alors que nous approchons de l'ère des technologies quantiques concrètes. Et une question qui a commencé par une expérience de la pensée à propos d'un journal dans un trou noir pourrait fournir des réponses qui façonneront notre avenir.

**Références :**

Yoshida, B. (Institut Périclète), A. Kitaev (Caltech). « Efficient decoding for the Hayden-Preskill protocol », arXiv:1710.03363.

Landsman, K.A., C. Figgatt (U. du Maryland), T. Schuster (U. de la Californie à Berkeley), N.M. Linke (U. du Maryland), B. Yoshida (Institut Périclète), N.Y. Yao (U. de la Californie à Berkeley) et C. Monroe (U. du Maryland). « Verified quantum information scrambling », *Nature*, vol. 567, 2019, p. 61-65, arXiv:1806.02807.

Schuster, T., B. Kibrin (U. de la Californie à Berkeley), P. Gao (MIT), I. Cong, E.T. Khabibouline (U. Harvard), N.M. Linke (U. du Maryland), M.D. Lukin (U. Harvard), C. Monroe (U. du Maryland), B. Yoshida (Institut Périclète) et N.Y. Yao (U. de la Californie à Berkeley). « Many-body quantum teleportation via operator spreading in the traversable wormhole protocol », *Physical Review X*, vol. 12, 2022, article n° 031013, arXiv:2102.00010.

## PRIX, DISTINCTIONS ET SUBVENTIONS MAJEURES

- **Cliff Burgess**, professeur-chercheur associé, a obtenu le prix du meilleur ouvrage de physique et chimie remis par l'Association des éditeurs américains, pour son livre intitulé *Introduction to Effective Field Theory* (Introduction à la théorie effective des champs).
- **Kevin Costello**, professeur-chercheur et titulaire de la chaire Krembil-William-Rowan-Hamilton, a remporté le prix John-L.-Synge de la Société royale du Canada pour ses travaux qui « font intervenir des techniques mathématiques modernes dans un paradigme théorique largement utilisé en physique ».
- **Katherine (Katie) Mack**, professeure chargée de la vulgarisation scientifique et titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique, a été nommée boursière 2022-2024 du programme des chercheurs mondiaux Azrieli de l'ICRA.
- **Roger Melko**, professeur-chercheur associé, a obtenu la médaille Brockhouse remise par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et la Division de la physique de la matière condensée et des matériaux.
- **Christine Muschik**, professeure-chercheuse associée, a obtenu un prix d'excellence du recteur de l'Université de Waterloo et a été nommée titulaire d'une chaire de recherche de cette université.
- **Robert Myers**, directeur de l'Institut Périclète et titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton, et **Will Percival**, professeur-chercheur associé, ont tous deux figuré en 2021 pour la 5<sup>e</sup> fois sur la liste dressée par Clarivate Analytics des chercheurs abondamment cités.
- **Kendrick Smith**, professeur-chercheur et titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles, ainsi qu'une équipe de chercheurs du télescope CHIME, ont obtenu le prix Lancelot-M.-Berkeley de la Société américaine d'astronomie, remis annuellement pour des « travaux hautement méritoires qui font progresser la science de l'astronomie ».
- **Lee Smolin**, professeur-chercheur, a été classé au 3<sup>e</sup> rang des physiciens les plus influents par l'organisme Academic Influence.
- **Beni Yoshida**, professeur-chercheur, a obtenu le prix commémoratif Nishinomiya-Yukawa de physique théorique, remis annuellement à un physicien théoricien exceptionnel de moins de 40 ans.
- En 2021-2022, les scientifiques de l'Institut Périclète ont obtenu 2,24 millions de dollars en nouvelles subventions de recherche des organismes suivants : le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada; Calcul Canada; l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA); la Fondation nationale des sciences des États-Unis; la Fondation Simons; la Fondation Templeton.

## DES SCIENTIFIQUES DE L'INSTITUT PÉRIMÈTRE PARMIL LES CHERCHEURS LES PLUS INFLUENTS AU MONDE

L'édition 2021 de la liste des chercheurs les plus cités, publiée par Clarivate Analytics, comprend Robert Myers, directeur de l'Institut Péricètre, et le professeur associé Will Percival, également professeur à l'Université de Waterloo et directeur du Centre d'astrophysique de Waterloo.

Cette liste énumère les auteurs de nombreux articles qui font partie du 1 % des articles les plus cités dans leur domaine au cours de la dernière décennie, selon *Web of Science*, grande banque de données de revues spécialisées de renom.

Dans les articles scientifiques, les citations donnent crédit aux résultats et aux idées d'autres chercheurs. Les citations constituent donc une mesure importante de l'impact scientifique, en montrant comment les travaux d'un chercheur influencent les idées et les recherches d'autres scientifiques.

Clarivate écrit dans son site : « Parmi les chercheurs en sciences de la nature et en sciences humaines, seulement 1 sur 1 000 font partie de notre liste des chercheurs les plus cités. » C'est la 5<sup>e</sup> fois depuis 2014 que Robert Myers fait partie de cette liste.

Will Percival a également figuré dans cette liste au cours de 4 années précédentes.

Robert Myers, l'un des professeurs fondateurs de l'Institut Péricètre et directeur de l'Institut depuis 2019, est l'auteur de contributions majeures dans un grand nombre de domaines allant de la physique gravitationnelle aux trous noirs, en passant par les fondements de la théorie quantique des champs et de la théorie des cordes. Il a écrit plus de 230 articles, qui ont fait l'objet de plus de 30 000 citations, selon la base de données INSPIRE.

L'astrophysicien Will Percival est un des directeurs scientifiques du SDSS (*Sloan Digital Sky Survey* – Relevé numérique du ciel de la Fondation Sloan), consortium international qui a publié l'an dernier une analyse exhaustive de la plus grande carte 3D de l'univers jamais produite. Selon la base de données INSPIRE, ses 262 articles ont été cités plus de 40 000 fois.



## ROGER MELKO REMPORTE LA MÉDAILLE BROCKHOUSE

Roger Melko, professeur-chercheur associé à l'Institut Péricètre et professeur à l'Université de Waterloo, a obtenu cette année la médaille Brockhouse de l'ACP-DPMCM.

Remise par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP) et la Division de la physique de la matière condensée et des matériaux (DPMCM), la médaille Brockhouse récompense des contributions expérimentales ou théoriques importantes à la physique de la matière condensée et des matériaux.

« Roger est un innovateur audacieux et créatif », a déclaré Robert Myers, directeur de l'Institut Péricètre. « Les implications de ses recherches sont étendues et profondes, et leur impact ne fera que croître encore. La médaille Brockhouse est un honneur formidable et bien mérité. »

La carrière de M. Melko est caractérisée par une fascination tant pour les ordinateurs que pour les états exotiques de la matière où les effets quantiques dominent, ce que l'on appelle la *matière quantique*. Il dirige le Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Péricètre, centre de recherche et pôle de formation pour les futurs chefs de file travaillant à la jonction de l'intelligence artificielle et des systèmes quantiques. Mentor dévoué de la prochaine génération, M. Melko a un impact qui s'étend bien au-delà de son domaine. Des scientifiques formés dans son laboratoire émergent en tant que jeunes chefs de file dans leurs domaines respectifs et sont très recherchés tant en milieu universitaire que dans le secteur privé.

◀ Roger Melko



# EQUITÉ, DIVERSITÉ ET INCLUSION



Les Noirs, les Autochtones et autres personnes racisées, les femmes et les personnes handicapées sont sous-représentées en physique théorique, à l'Institut Péricône comme dans la communauté scientifique en général. Au cours de la dernière décennie, il y a eu à l'Institut Péricône de nombreux efforts visant l'équité, la diversité et l'inclusion (EDI). Ces efforts ont incontestablement amélioré la culture de l'Institut, menant à des succès en matière de parité des sexes dans de nombreux programmes de formation et de diffusion des connaissances. Certains de ces efforts ont mis en lumière les domaines où nous pouvons faire mieux, en particulier aux niveaux hiérarchiques les plus élevés.

Les initiatives d'EDI présentées ci-après ne constituent pas une liste complète. L'Institut Péricône intègre volontairement des pratiques et politiques exemplaires en matière d'EDI dans tous ses programmes de recherche, de formation et de diffusion des connaissances, et d'autres exemples en sont donnés ailleurs dans ce rapport. En plus de ses efforts visant les groupes historiquement sous-représentés, l'Institut Péricône continue d'offrir gratuitement ou à faible coût la plupart de ses programmes et ressources, afin que les conditions socio-économiques ne soient pas un obstacle à l'accès à ceux-ci.

## LE TREMPLIN VERS L'INCLUSION À L'IP

Mis sur pied en 2018, le Tremplin vers l'inclusion à l'IP est une initiative menée par des bénévoles et dont les principes de fonctionnement sont la collaboration et le souci que toutes les voix soient entendues. Quelque 25 % de toute la communauté de l'Institut Péricône – professeurs, postdoctorants, étudiants, personnel administratif – y participent activement. Ils sont membres de groupes de travail en fonction de leurs intérêts, et ils forment ou dissolvent des groupes selon les circonstances.

Cette année, 62 membres répartis dans 8 groupes de travail ont initié des changements dans les domaines suivants : 2SLGBTQA+, accessibilité, antiracisme, changements climatiques, santé mentale, politiques relatives à la parentalité, séminaires, femmes en physique. Le Tremplin comprend aussi un programme de formation à l'alliance inclusive et un programme de milieu respectueux qui examine et met à jour chaque année les politiques de l'Institut Péricône.

Le Tremplin vers l'inclusion à l'IP fait partie intégrante de la culture de l'Institut Péricône. Ses groupes de travail ont mis sur pied et soutenu quelque 40 initiatives et activités en 2021-2022, dont plusieurs émanaient d'expériences vécues par les membres du Tremplin et ont été réalisées en collaboration avec la direction de l'Institut.

En voici quelques exemples.

- Les membres du groupe de travail sur les politiques relatives à la parentalité ont travaillé avec l'équipe des Ressources humaines et de la culture afin d'améliorer les avantages sociaux offerts aux personnes en congé parental.
- Le groupe de travail sur les personnes 2SLGBTQA+ a organisé des activités sociales conçues pour favoriser un milieu accueillant et inclusif, et il a contribué aux améliorations apportées aux toilettes neutres de l'Institut Péricône.
- Le groupe de travail sur les femmes en physique a travaillé avec les équipes des Communications et de la Diffusion des connaissances à l'organisation de tables rondes ainsi qu'à la diffusion dans le site Web de l'Institut et dans les médias sociaux de parcours de physiciennes.
- Le groupe de travail sur les séminaires a œuvré à rendre les discussions scientifiques plus inclusives, tant par les invitations lancées à prendre la parole que par l'élaboration de lignes directrices claires afin que tous les participants soient respectés et se sentent à l'aise de participer.

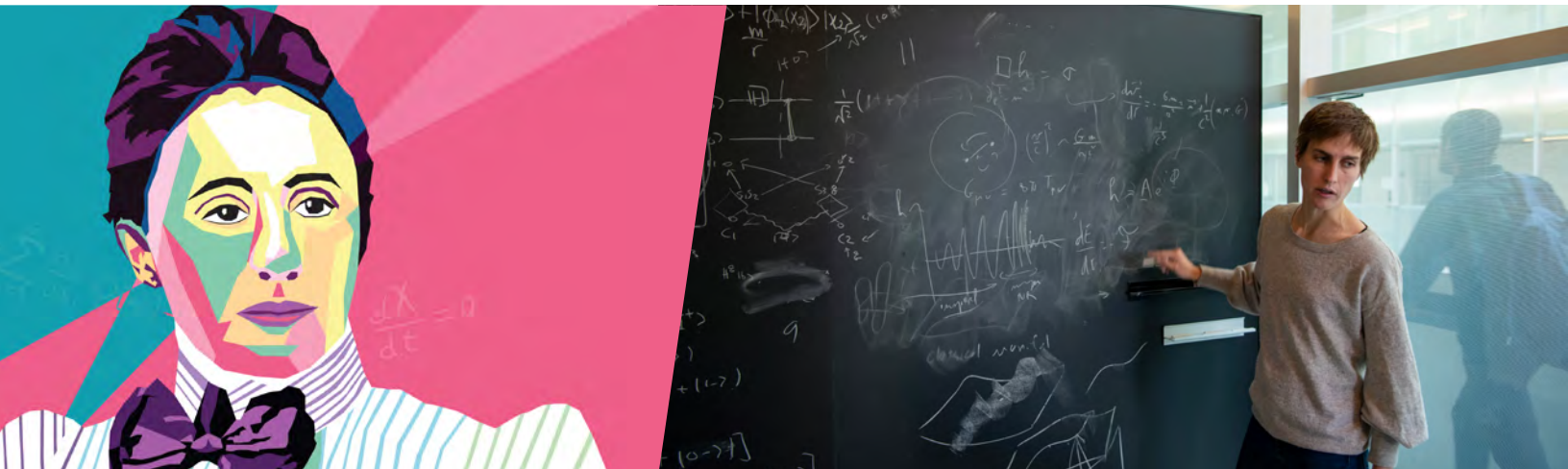
## PLAN STRATÉGIQUE POUR L'EDI

En 2021-2022, l'Institut Péricône a élaboré et approuvé un plan stratégique complet pour l'EDI et embauché une responsable expérimentée pour en faciliter la mise en œuvre. Le plan énonce les objectifs de l'Institut, les principales activités et les méthodes de mesure des progrès au cours des prochaines années. Les buts principaux du plan sont les suivants :

- établir une culture dans le cadre de laquelle tous peuvent contribuer pleinement à la mission de l'Institut;
- promouvoir une responsabilité partagée en matière d'EDI dans toute la communauté de l'Institut;
- appuyer le développement d'un pipeline diversifié de formation de physiciens;
- constituer un exemple qui stimule le changement dans la communauté élargie de la physique.

Les éléments cruciaux du plan comprennent le mentorat, ainsi que le recrutement et la rétention de personnes appartenant aux groupes sous-représentés dans des postes scientifiques et administratifs de haut niveau et dans la gouvernance de l'Institut. Il est également crucial que tous les membres de l'Institut Péricône s'investissent dans le processus, et l'on s'attend à ce que 95 % de tous les chercheurs, membres du personnel et étudiants participent à au moins une activité de formation ou d'EDI chaque année. Et, tout comme en science, nos efforts s'appuieront sur des données – par la définition de balises et l'évaluation des progrès en faisant régulièrement des sondages et la collecte de données.

## INITIATIVES EMMY-NOETHER



Laura Bernard ▲

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 comprennent le rayonnement auprès d'élèves du secondaire grâce à la conférence *Inspiring Future Women*

### 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.

#### 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.

#### Michelle Osry

Associée, Deloitte Canada (Vancouver)

#### Laura Reinholz

Directrice, Expérience client en ligne, Groupe financier BMO

#### Yasemin Sezer

Directrice générale, Capco

#### Sandra Wear

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

L'Institut Péricimètre tient à remercier **Sherry Shannon-Vanstone** pour tout ce qu'elle a apporté au Conseil Emmy-Noether de 2015 à 2022, y compris 5 années à titre de présidente.

*in Science* (Inspirer les futures scientifiques – voir à la page 36), l'appui à des étudiantes diplômées au moyen du Fonds Emmy-Noether pour talents émergents (voir le profil de Kasia Budzik, à la page 29), ainsi que des occasions de perfectionnement professionnel pour les chercheuses. Ces initiatives sont financées grâce entre autres à la générosité du Conseil Emmy-Noether et de donateurs du Cercle Emmy-Noether (voir à la page 41).

### LE PROGRAMME DE BOURSES SIMONS-EMMY-NOETHER

Les bourses Simons-Emmy-Noether offrent à des physiciennes exceptionnelles en début ou en milieu de carrière une occasion de faire leur marque dans leur domaine à un moment stratégique de leur carrière. En congé de leur institution d'appartenance, les boursières passent jusqu'à un an à l'Institut Péricimètre en se concentrant uniquement sur leurs recherches. Elles peuvent profiter pleinement des nombreuses occasions qu'offre l'Institut de faire du réseautage et de mettre sur pied de nouvelles collaborations.

Chaque boursière bénéficie d'un soutien individualisé conçu pour aplanir les obstacles auxquels de nombreuses femmes font face. Ce soutien peut comprendre les éléments suivants : frais de déplacement, logement, services de garde d'enfants, aide partielle au déplacement des conjoints ou partenaires, aide au déplacement d'étudiants diplômés ou de postdoctorants, soutien administratif et logistique. Ce programme a fait une différence mesurable dans la carrière de nombreuses boursières. Les boursières antérieures ont obtenu des postes menant à la permanence ou de haut niveau, ont publié dans des revues de premier plan et ont progressé dans de passionnants programmes de recherche. Deux anciennes boursières Simons-Emmy-Noether font maintenant partie du corps professoral de l'Institut Péricimètre : Christine Muschik, professeure-chercheuse associée, et Katie Mack, titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique.

En 2021-2022, 7 boursières Simons-Emmy-Noether ont passé 221 jours à l'Institut Péricimètre, y compris des boursières nommées au cours d'années précédentes, mais qui avaient reporté leur séjour en raison de la pandémie.




**Boursière Simons-Emmy-Noether**  
**URBASI SINHA**

Pour Urbasi Sinha, la puissance de la physique se trouve à la rencontre de la théorie et de l'expérimentation.

M<sup>me</sup> Sinha a débuté dans le monde pratique de l'expérimentation, en travaillant sur des dispositifs supraconducteurs quand elle était étudiante diplômée à l'Université de Cambridge.

Elle attribue à Raymond Laflamme, professeur associé à l'Institut Périmètre et directeur fondateur de l'IQC à l'Université de Waterloo, le mérite de l'avoir orientée vers les possibilités d'avant-garde de l'informatique, des communications et de l'optique quantiques quand elle était postdoctorante à l'IQC.

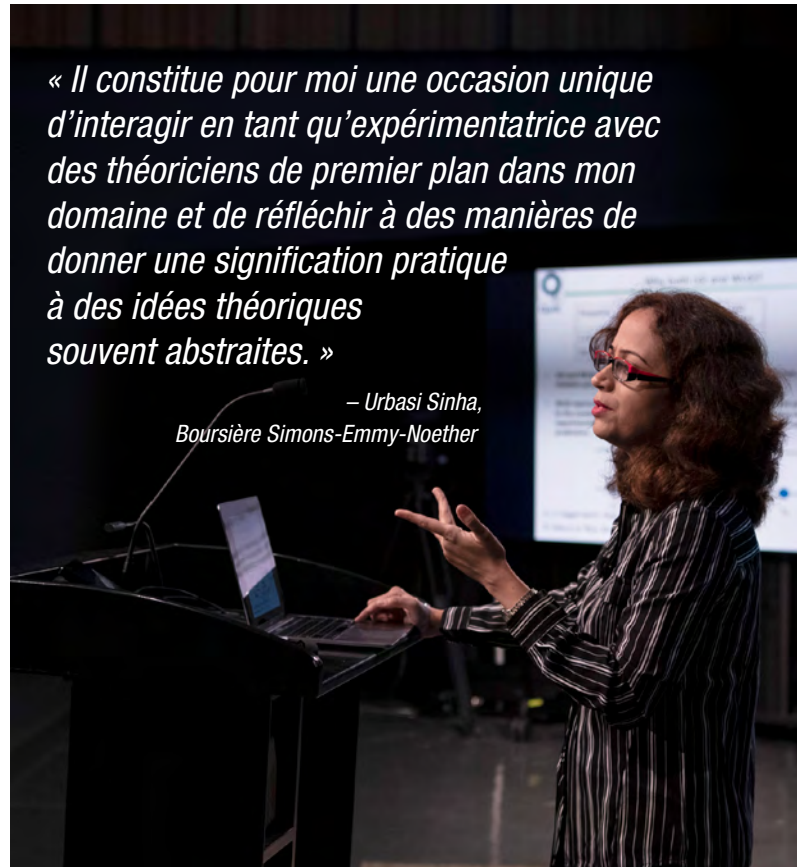
Pendant son stage postdoctoral à l'IQC, elle a dirigé une variante à triples fentes de la célèbre expérience des doubles fentes, afin de mettre à l'épreuve la règle de Born, l'un des axiomes fondamentaux de la mécanique quantique. Le résultat de ses travaux, qui a été souligné, constitue la validation empirique de cette règle la plus rigoureuse à ce jour.

M<sup>me</sup> Sinha est retournée à Bangalore, en Inde. Elle y est devenue professeure à l'Institut de recherche Raman, où elle dirige maintenant le laboratoire d'information et de calcul quantiques. Nommée boursière Simons-Emmy-Noether en 2020, elle a retardé son séjour à l'Institut Périmètre en raison de la pandémie. Elle a pu enfin venir en 2022 faire un séjour de recherche au cours duquel elle a parlé dans un colloque de ses travaux en science et technologie de la photonique quantique ainsi que de la réalisation d'un réseau Internet quantique mondial.

« Ce programme de bourses est formidable, dit-elle. Il constitue pour moi une occasion unique d'interagir en tant qu'expérimentatrice avec des théoriciens de premier plan dans mon domaine et de réfléchir à des manières de donner une signification pratique à des idées théoriques souvent abstraites. »

*« Il constitue pour moi une occasion unique d'interagir en tant qu'expérimentatrice avec des théoriciens de premier plan dans mon domaine et de réfléchir à des manières de donner une signification pratique à des idées théoriques souvent abstraites. »*

– Urbasi Sinha,  
Boursière Simons-Emmy-Noether



Urbasi Sinha ▲

M<sup>me</sup> Sinha dit que chaque collaboration à la jonction de la physique théorique et de la physique expérimentale est un cercle vertueux dans lequel les deux se renforcent mutuellement. Elle ajoute : « Cette bourse est un moyen de donner une nouvelle impulsion en vue de la réalisation de telles applications pratiques révolutionnaires. »



## BOURSIÈRES SIMONS-EMMY-NOETHER EN 2021-2022

Quatre chercheuses ont été nommées boursières en 2021-2022 :

**Alice Bernamonti,**  
Université de Florence

**Anna Ijjas,**  
Université de New York

**Marilena Loverde,**  
Université d'État de New York  
à Stony Brook

**Karen Yeats,**  
Université Simon-Fraser

◀ Karen Yeats



Alessia Platania et Benjamin Knorr ▲

# COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

## PROFESSEURS ET PROFESSEURS ASSOCIÉS

En 2021-2022, l'Institut Péricimètre comptait 26 professeurs-chercheurs – dont une nouvelle recrue – travaillant dans 9 domaines de recherche, ainsi que 3 chargés d'enseignement et une nouvelle professeure chargée de la vulgarisation scientifique. L'Institut compte maintenant 22 professeurs-chercheurs associés, dont une nouvelle recrue, nommés conjointement avec 7 universités canadiennes partenaires.

Les pages 49 à 57 donnent les biographies des membres à plein temps et associés du corps professoral de l'Institut.

## CHERCHEURS NOUVELLEMENT RECRUTÉS

Les scientifiques exceptionnels présentés ci-après se sont joints à l'Institut Péricimètre en 2021-2022. Ces nouvelles recrues illustrent la stratégie de l'Institut, qui consiste à trouver et à recruter des talents remarquables au moment où ils commencent leurs années de productivité maximale en recherche.



**Junwu Huang** est d'abord venu à l'Institut Péricimètre comme postdoctorant en 2017 et est devenu professeur-chercheur en 2022. Il conçoit des expériences à petite échelle innovatrices pour rechercher, dans l'univers, des particules légères à couplage faible en tant que matière sombre. Il fait aussi des recherches,

fondées sur des observations astrophysiques et cosmologiques, de nouveaux phénomènes physiques liés à la théorie des cordes, y compris des axions, des cordes cosmiques et des vides dans l'univers.

**Katherine (Katie) Mack** s'est jointe à l'Institut Péricimètre en 2022 à titre de première professeure chargée de la vulgarisation scientifique et première titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique. La page 21 donne plus de détails sur sa carrière et son rôle à l'Institut Péricimètre.



**David Gosset** est devenu professeur-chercheur associé à l'Institut Péricimètre en 2021, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'IQC, et collabore avec les scientifiques du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique. Il est professeur

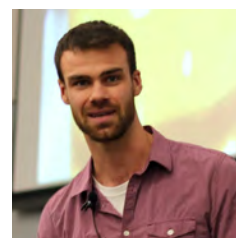


agréé à l'Université de Waterloo depuis 2018, et boursier du programme *Informatique quantique* de l'ICRA.

M. Gosset travaille sur des questions théoriques qui concernent les petits ordinateurs quantiques. Il cherche notamment à comprendre la puissance de calcul de circuits quantiques de profondeur constante et les limites des algorithmes classiques de simulation. Il a également étudié la puissance de calcul et la complexité algorithmique de systèmes quantiques à N corps, de même que l'application à l'informatique quantique d'outils inspirés par la physique dans ces domaines.

D'autre part, l'Institut Péricimètre a recruté en 2021-2022, 2 jeunes scientifiques exceptionnels qui arriveront à l'Institut en 2023 à titre de professeurs-chercheurs.

**Sisi Zhou** travaille sur l'information quantique et la matière condensée, en particulier sur la correction d'erreurs quantiques et l'optimisation de la détection quantique. Elle se joindra à l'Institut Péricimètre après avoir complété un stage postdoctoral à l'Institut d'information et de matière quantiques de l'Institut de technologie de la Californie.



**Alex May** est un théoricien de l'information et de la gravité quantiques, qui s'intéresse à la manière dont ces 2 domaines peuvent s'alimenter mutuellement. Il se joindra à l'Institut Péricimètre en provenance de l'Université Stanford, où il est récipiendaire d'une bourse conjointe d'IT from Qubit et de Q-Farm.





Professeure chargée  
de la vulgarisation scientifique  
**KATIE MACK**

En 2022, la cosmologiste théoricienne Katherine (Katie) Mack s'est jointe à l'Institut Périmètre à titre de première titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique. Ses recherches portent sur la physique de l'univers de son début jusqu'à sa fin, notamment sur la matière sombre, les trous noirs, la physique de l'univers primitif et la formation des premières galaxies.

M<sup>me</sup> Mack a obtenu son doctorat à l'Université de Princeton, puis a été postdoctorante à l'Université de Cambridge et à l'Université de Melbourne. Elle est devenue en 2018 professeure adjointe à l'Université d'État de Caroline du Nord, où elle a été membre du groupe d'orientation en matière scientifique dans la sphère publique. Elle a également été boursière Simons-Emmy-Noether à l'Institut Périmètre en 2020, puis adjointe invitée en 2021, et a été nommée boursière du programme des chercheurs mondiaux Azrieli de l'ICRA en 2022.

« L'Institut Périmètre est l'un des endroits les plus passionnants que je connaisse en tant que physicienne, dit-elle. Il constitue une communauté extrêmement stimulante de chercheurs, de même qu'un lieu privilégié de communication scientifique et d'engagement auprès du public. J'ai l'impression que c'est là où je pourrai vraiment développer toutes mes passions. »

Tout au long de sa carrière, M<sup>me</sup> Mack a aussi accordé une grande place à la vulgarisation scientifique. Elle a plus de 400 000 abonnés dans Twitter et est beaucoup lue dans des

magazines importants, dont *Scientific American*, *Slate*, *Sky & Telescope* et *BBC Science Focus*.

En 2020, elle a fait paraître son premier livre, intitulé *The End of Everything (Astrophysically Speaking)* et traduit en français sous le titre *Comment tout finira (astrophysiquement parlant)*. Elle y aborde 5 manières dont l'univers pourrait connaître une fin, de même que les leçons hallucinantes que chaque scénario nous enseigne sur des notions importantes de cosmologie. Entre autres distinctions, ce livre a été désigné par le *New York Times* comme l'un des ouvrages remarquables de 2020.

À l'Institut Périmètre, elle va poursuivre son programme de recherche en cosmologie, tout en faisant connaître la physique à l'extérieur de la communauté scientifique au moyen d'activités publiques ainsi que de programmes de formation et de vulgarisation. Elle constituera une ressource précieuse pour ses collègues chercheurs, avec ses champs d'intérêt scientifique variés de même que son expérience et son expertise en communication scientifique.

« Grâce à ses talents exceptionnels, a déclaré Robert Myers, directeur de l'Institut, elle apportera une importante contribution à tous les aspects de l'Institut Périmètre : elle est non seulement une chercheuse remarquable, mais aussi une communicatrice scientifique douée qui jette des ponts entre les scientifiques et le reste du monde. »

## 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-chercheur 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 (chercheur invité)

Université Stanford  
Chaire Coril-Holdings-Archimède de physique théorique

### Davide Gaiotto

Chaire Krembil-Galilée de physique théorique

### Subir Sachdev (chercheur invité)

Université Harvard  
Chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell  
de physique théorique

### Kendrick Smith

Chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique

### Neil Turok

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

### Pedro Vieira

Chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique



Freddy Cachazo et Andrew Strominger ▲

## SÉJOURS SCIENTIFIQUES

Les programmes de séjours scientifiques permettent à l'Institut Péricètre de maintenir des liens avec la communauté scientifique élargie de partout au Canada et du monde entier, tout en enrichissant sa propre communauté. Dans la seconde moitié de 2021-2022, des chercheurs invités ont recommencé à venir à l'Institut pour maintenir des liens scientifiques de longue date ou en créer de nouveaux. Sur l'ensemble de l'année, 163 scientifiques invités – titulaires de chaire de chercheur invité distingué (CCID), adjoints invités, membres affiliés, orateurs dans des séminaires, autres collaborateurs et invités – ont passé en tout 2 818 jours à l'Institut Péricètre.

## TITULAIRES DE CHAIRE DE CHERCHEUR INVITÉ DISTINGUÉ

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

Les titulaires de CCID mettent à profit leurs séjours à l'Institut pour se consacrer de manière intensive à leurs recherches, souvent en collaboration avec des scientifiques de l'Institut, ainsi que pour collaborer à l'organisation de conférences et animer des séminaires.

En 2021-2022, 4 nouveaux titulaires de CCID ont été nommés, portant leur nombre à 41. Voici ceux qui ont été nommés cette année :

**Caslav Brukner**

Centre de science et technologie quantiques de Vienne

**Glennys Farrar**

Université de New York

**Dan Freed**

Université du Texas à Austin

**Hiranya Peiris**

Collège universitaire de Londres

Vous trouverez à la page 60 la liste des titulaires de CCID.



## ADJOINTS INVITÉS, MEMBRES AFFILIÉS ET CHERCHEURS INVITÉS

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 Péricètre pendant des séjours de recherche prolongés. En 2021-2022, 9 nouveaux adjoints invités ont été nommés, portant leur nombre à 61.

Les **membres affiliés** sont des professeurs d'universités canadiennes qui ont une invitation permanente à rendre visite à l'Institut Péricètre pour y faire de la recherche. Cette année,

l'Institut a nommé 5 nouveaux membres affiliés, portant leur nombre à 100, 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. En 2021-2022, un chercheur invité a passé 30 jours à l'Institut Péricètre, et au cours de la prochaine année, nous espérons reprendre ce programme au niveau antérieur à la pandémie.

## LE MEILLEUR DE DEUX MONDES : HARMONISER LA THÉORIE ET L'EXPÉRIMENTATION

Les chercheurs Robert Spekkens et Kevin Resch travaillent sur la nature de la causalité en mécanique quantique, et la fusion de la théorie et de l'expérimentation aide à résoudre des énigmes tenaces à la fine pointe de la physique connue.

Ils se connaissent depuis la période de leurs études supérieures il y a 25 ans, alors que M. Spekkens étudiait la physique théorique et que M. Resch devenait physicien expérimentateur. Mais leurs domaines d'expertise distincts ne les ont pas empêchés de travailler en collaboration. Cette combinaison en fait même une équipe extrêmement productive. Robert Spekkens, professeur-chercheur à l'Institut Péricètre, travaille dans le domaine des fondements quantiques. Kevin Resch, professeur à l'IQC et au Département de physique de l'Université de Waterloo, ainsi que membre affilié de l'Institut Péricètre, est un expert de l'expérimentation en optique quantique.

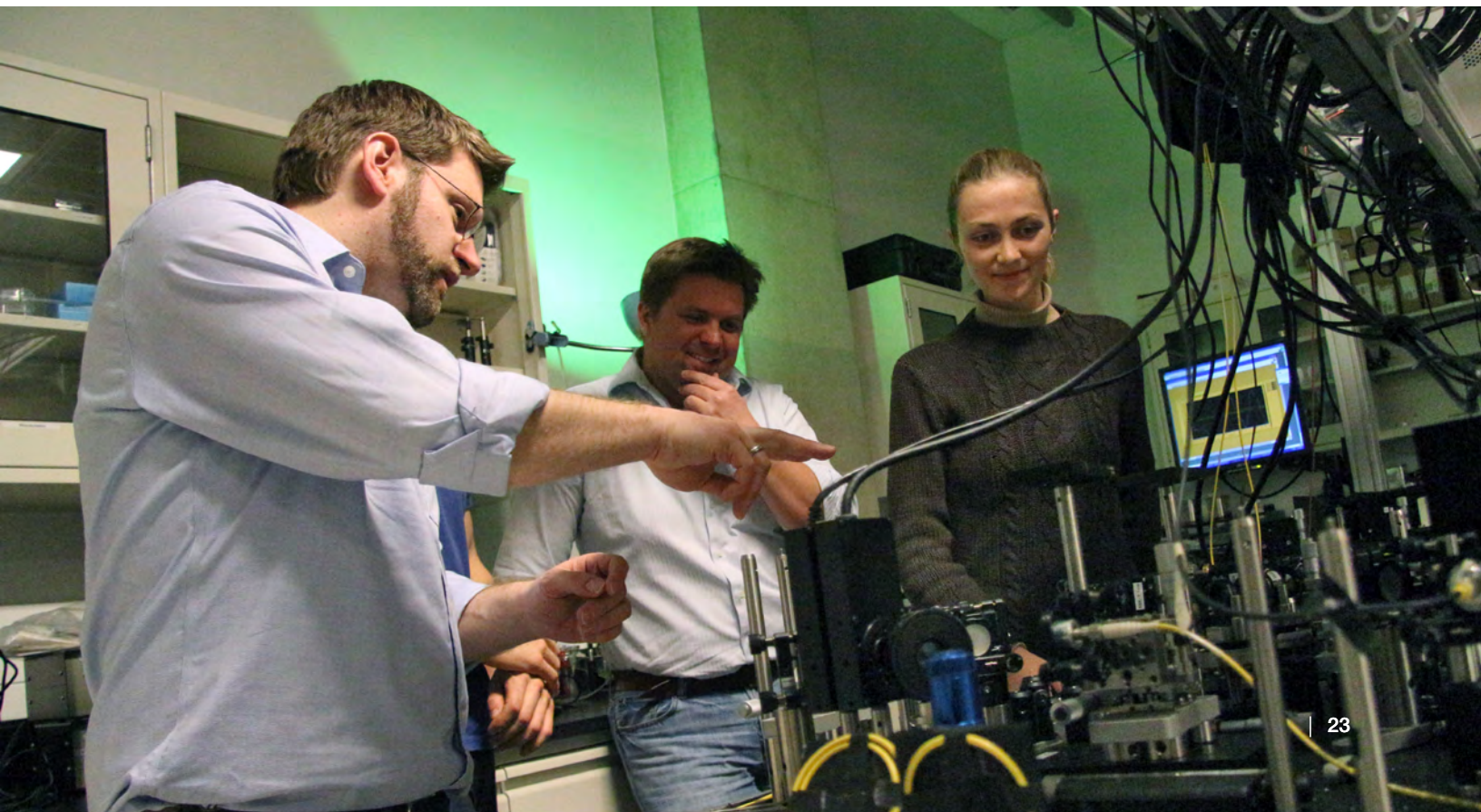
Ensemble, avec un groupe d'étudiants diplômés et postdoctorants talentueux, ils posent de nouvelles questions

fondamentales pour trouver des innovations conceptuelles en physique quantique et examiner comment elles diffèrent des théories classiques qui les ont précédées.

Lorsqu'ils se sont rendu compte de la complémentarité de leurs objectifs de recherche, les 2 scientifiques se sont rapidement mis à collaborer. Depuis 2015, ils ont écrit ensemble 7 articles et rédigé les actes de 2 conférences. « Notre collaboration, dit M. Spekkens, se distingue par le fait que nos articles ont tendance à avoir à la fois un volet théorique et un volet expérimental. »

« Dans certains cas, ajoute M. Resch, cela a été essentiel, car il y a beaucoup d'allers-retours entre les deux. Une théorie pourrait reposer sur des hypothèses impossibles à réaliser dans une expérience [...] Il est donc important de pouvoir penser à une mise en œuvre concrète et de s'assurer que la théorie puisse en tenir compte. »

Robert Spekkens, Kevin Resch et Katja Ried ▼



# CONFÉRENCES ET ATELIERS

Chaque année, l'Institut Péricône réunit des centaines de scientifiques de premier plan – théoriciens aussi bien que chercheurs travaillant dans des centres d'expérimentation et d'observation – pour suivre les nouvelles avancées et aborder des questions difficiles. Ces conversations cruciales contribuent à façonner l'avenir de la recherche en physique au Canada et dans le monde entier. L'Institut Péricône tient souvent des conférences sur des sujets émergents qui n'ont encore été abordés nulle part ailleurs, en mettant l'accent sur ceux qui ont un potentiel de résultats significatifs.

En avril 2022, l'Institut Péricône a accueilli pour la première fois en 2 ans des participants à une conférence en personne. Au cours de l'année, l'Institut a organisé 6 conférences (5 en mode hybride et 1 uniquement en ligne), auxquelles ont participé en tout 852 scientifiques. Les sujets abordés comprenaient les ondes gravitationnelles, la criticité quantique, les symétries génériques et la théorie quantique des champs pour mathématiciens. L'Institut parraine également des conférences tenues ailleurs, soutenant ainsi des partenaires de recherche canadiens et contribuant à renforcer les capacités de recherche d'un bout à l'autre du pays.

Malgré un retour aux conférences et ateliers en personne, l'Institut Péricône compte maintenir un accès hybride à la plupart de ses activités, afin de les rendre plus accessibles et de réduire l'empreinte carbone due aux déplacements. 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.

Vous trouverez à la page 62 la liste des conférences tenues à l'Institut Péricône et des autres conférences parrainées par l'Institut.

## DU NOUVEAU À PROPOS DES ONDES GRAVITATIONNELLES

Au milieu des conversations sur les ondes gravitationnelles, Maya Fishbach a ressenti une énergie difficile à détecter depuis le début de la pandémie il y a 2 ans.

« Depuis 2 ans, nous prétendions pouvoir tout faire à distance, comme si la science n'était pas une activité sociale, mais nous avons tort », dit M<sup>me</sup> Fishbach, chercheuse de l'Université Northwestern, en Illinois, qui a fait un exposé lors du premier atelier scientifique organisé en personne à l'Institut Péricône depuis le début de la pandémie de COVID-19.

Pour les chercheurs qui travaillent sur les ondes gravitationnelles, domaine nouveau et en rapide évolution, il est de plus en plus important qu'ils se rencontrent pour discuter des méthodes et des résultats dans leur domaine.

D'une durée de 5 jours, l'atelier intitulé *Gravitational Waves Beyond the Boxes II* (Du nouveau à propos des ondes gravitationnelles II) s'est déroulé en mode hybride, à la fois en

personne et en ligne. Mais les 40 chercheurs et étudiants qui ont participé en personne à cet atelier ont à nouveau rempli un espace physique conçu pour favoriser la collaboration.

À l'Institut Péricône, les espaces de réflexion tapissés de tableaux noirs, les zones d'interaction informelle, l'auditorium intimiste et le bistro accueillant bourdonnaient de conversations qui avaient cruellement manqué aux chercheurs et à leurs étudiants depuis que les confinements dus à la pandémie avaient commencé au Canada en mars 2020.

« De nos jours, la plupart des grandes idées ne naissent pas dans l'isolement », dit Patricia Schmidt, chercheuse à l'Université de Birmingham, qui a fait un exposé dans le cadre de la conférence. Elles résultent d'interactions, de conversations, du choc des idées, d'exposés qui peuvent avoir un lien avec vos recherches, mais qui ne portent pas nécessairement sur vos travaux actuels. C'est cela qui inspire et déclenche de nouvelles idées. »

M<sup>me</sup> Fishbach dit que, lors de la conférence, beaucoup des discussions ont porté sur les défis que pose une forte augmentation du nombre de détections d'ondes gravitationnelles. Ces masses de données recèlent des trésors de découverte qui donneront dans les prochaines années beaucoup de travail aux jeunes chercheurs.

« Une grande partie de ces défis, dit-elle, consiste à définir les questions intéressantes auxquelles nous voulons obtenir des réponses à partir de toutes ces données. » Elle ajoute que nous devons aussi nous assurer d'avoir les bons outils pour analyser ces masses de données et éliminer les incertitudes quant à leur interprétation.

« Cet atelier arrive au bon moment, parce que beaucoup des sujets abordés concernent des possibilités et des défis : comment réaliser cette transition et comment nous devrions nous préparer aux détections à venir », dit Huan Yang, professeur-chercheur associé à l'Institut Péricône et l'un des organisateurs de la conférence.

◀ Du nouveau à propos des ondes gravitationnelles II







Lucy Liuxuan Zhang et Daniel Gottesman animant un colloque spécial ▲ sur la topologie de la tolérance aux défaillances, duo pour craie et violon

## 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 pour faire connaître leurs recherches les plus récentes, favoriser les échanges scientifiques et susciter une collaboration interdisciplinaire.

En 2021-2022, l'Institut Péricimètre a organisé 280 séminaires et 25 colloques, qui ont totalisé 8 128 participants. L'augmentation du nombre d'exposés donnés par des femmes occupe une place importante dans les stratégies d'EDI de l'Institut; cette année, 23 % des exposés ont été donnés par des femmes.

À quelques exceptions près, tous les séminaires et colloques sont enregistrés et accessibles dans PIRSA – le système d'archivage en ligne de l'Institut Péricimètre –, base de données consultable sans frais contenant à l'heure actuelle plus de 14 200 vidéos, qui ont fait l'objet de plus de 194 000 visionnements par des personnes de 177 pays en 2021-2022. Ces exposés enregistrés constituent une ressource précieuse pour les scientifiques du Canada et du monde entier, en particulier les étudiants, les chercheurs en début de carrière et ceux qui ne sont pas dans de grands centres de recherche.

Avec l'appui de la Fondation Simons, l'Institut Péricimètre a également créé un 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.





# FORMATION

*« Il y a beaucoup à apprendre en peu de temps pour faire de la recherche en physique théorique. Le programme PSI nous offre l'occasion idéale de solidifier nos bases tout en étant exposés à la recherche de pointe. »*

– Manu Srivastava, étudiant dans le programme PSI  
(Perimeter Scholars International – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre)



◀ Robert Spekkens avec des étudiants du programme PSI



# 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 formation qui en font de véritables scientifiques : école d'été de 1<sup>er</sup> cycle universitaire; programme de maîtrise pour étudiants exceptionnels du monde entier; programmes de doctorat et de postdoctorat de classe mondiale incluant une étroite collaboration avec des chercheurs de premier plan<sup>2</sup>.

Plus de **1 100** étudiants et postdoctorants formés depuis 2006

**72** postdoctorants, dont **18** femmes, de **21** pays

**74** doctorants, dont **17** femmes, de **29** pays

**21** étudiants, dont **10** femmes ou personnes non binaires, de **12** pays, dans le programme PSI

**378** diplômés du programme PSI en **13** ans, dont **125** femmes et **1** personne non binaire

**62** étudiants et **11** stagiaires de **8** pays dans le programme PSI Start

**13** postdoctorants associés

**38** doctorants associés

<sup>2</sup> Sauf indication contraire, les statistiques couvrent la période allant du 1<sup>er</sup> août 2021 au 31 juillet 2022.

## POSTDOCTORANTS : DES RECHERCHES AMBITIEUSES

L'Institut Périmètre est l'un des centres qui comptent le plus grand nombre de postdoctorants en physique théorique au monde. Complètement immergés dans le milieu pluridisciplinaire de l'Institut, ces scientifiques en début de carrière poursuivent leurs propres programmes de recherche, s'attaquant à des problèmes difficiles en bénéficiant du mentorat de scientifiques établis.

Cette autonomie et cette expérience rapportent des dividendes. La postdoctorante Estelle Inack, fondatrice de yiyaniQ, jeune pousse technologique dans le domaine financier, a été recrutée comme chargée de recherche à l'Institut. D'autres sont allés faire carrière dans le secteur privé. En voici quelques exemples : Modjtaba Shokrian Zini, chercheur en algorithmique quantique chez Xanadu; William Donnelly, chercheur principal en interprétation chez Electronic Arts; Mark Penney, qui travaille en mesure des risques des marchés à la Banque Scotia; Richard

Derryberry, chercheur en matière quantitative chez Jump Trading. D'autres ont obtenu des postes menant à la permanence : Mathew Madhavacheril, professeur adjoint à l'Université de la Pennsylvanie; Meng Guo professeure adjointe à l'Université de l'Illinois; Suvodip Mukherjee, équivalent d'un professeur adjoint à l'Institut Tata de recherche fondamentale à Mumbai, en Inde.

En plus de stages postdoctoraux de 3 ans, l'Institut Périmètre offre des bourses prestigieuses de 4 ans, des bourses principales de 5 ans et des bourses conjointes avec des universités partenaires. Ces postes sont hautement convoités : sur 960 candidats, 20 nouveaux postdoctorants se sont joints à l'Institut Périmètre en 2021-2022.

En 2021-2022, l'Institut Périmètre comptait 72 postdoctorants de 21 pays; voir la liste de ces chercheurs aux pages 58 et 59.



Postdoctorant  
**ALI ASSEM MAHMOUD**

Lorsqu'Ali Assem Mahmoud est arrivé à Waterloo en provenance du Caire, en Égypte, il est devenu l'un des rares diplômés africains étudiant les mathématiques et la physique au Canada. Après avoir obtenu un doctorat en combinatoire et optimisation à l'Université de Waterloo, puis fait un stage postdoctoral à l'Université d'Ottawa, il est venu à l'Institut Périmètre à titre de boursier postdoctoral des instituts Fields, AIMS et Périmètre.

La bourse postdoctorale des instituts Fields, AIMS et Périmètre résulte d'un partenariat tripartite unique en son genre entre l'Institut Périmètre, l'Institut africain des sciences mathématiques (en abrégé AIMS pour *African Institute for Mathematical Sciences*) et l'Institut Fields de recherche mathématique de Toronto.

Cette bourse finance des Africains pendant leurs études supérieures, leur donnant la possibilité de travailler en étroite collaboration avec des chercheurs en mathématiques et en physique au Canada. Le but ultime du programme est de faire progresser la science en Afrique et dans le monde.

Selon M. Mahmoud, cela n'a pas été facile sur les plans scientifique et culturel. Mais il ajoute que l'expérience en a valu la peine, car elle lui a permis d'élargir sa vision du monde. Cela lui sera utile puisqu'il enseigne à son tour à des groupes d'étudiants de plus en plus diversifiés. « J'ai beaucoup appris sur d'autres cultures, dit-il, et cela se répercute sur tout ce que je fais. »



Postdoctorante  
**AIDA AHMADZADEGAN**

En 2021, Aida Ahmadzadegan, postdoctorante à l'Institut Périmètre, a mis sur pied ForeQast, une entreprise de technologie quantique qui aide ses clients à optimiser leur planification logistique, en utilisant la puissance d'algorithmes hybrides quantiques et de l'apprentissage automatique.

Combinant excellence en recherche et technologie ayant un potentiel économique, la jeune pousse de M<sup>me</sup> Ahmadzadegan, a été l'une des 9 entreprises qui ont complété le programme de mentorat de Creative Destruction Lab dans le domaine quantique. Ce programme est conçu pour donner une impulsion à de jeunes entreprises prometteuses dans le domaine des technologies quantiques.

ForeQast met à profit l'intelligence artificielle et l'informatique quantique pour optimiser les pratiques du dernier segment (« dernier kilomètre ») des livraisons. Cela comprend l'identification des trajets inefficaces et un fonctionnement soutenable sur le plan environnemental, en appliquant à des problèmes concrets la recherche sur les technologies quantiques.

« J'espère faire de ForeQast l'environnement de l'avenir, dit M<sup>me</sup> Ahmadzadegan, où la puissance de l'informatique quantique deviendra un outil standard pour résoudre des problèmes de logistique et de chaîne d'approvisionnement. »

*« J'espère faire de ForeQast l'environnement de l'avenir, où la puissance de l'informatique quantique deviendra un outil standard pour résoudre des problèmes de logistique et de chaîne d'approvisionnement. »*

– Aida Ahmadzadegan  
Postdoctorante et fondatrice de ForeQast



## DOCTORANTS : DES POSSIBILITÉS EXTRAORDINAIRES

Offrant des occasions d'interagir avec certains des théoriciens les plus accomplis au monde, et d'établir des liens avec des invités et des collaborateurs du monde entier, l'Institut Péricètre est un endroit extraordinaire pour faire un doctorat. Les étudiants reçoivent leur diplôme de l'université partenaire où leur directeur de thèse est professeur à plein temps ou professeur auxiliaire. Mentionnons l'Université de Waterloo, l'Université McMaster, l'Université de Toronto, l'Université de Guelph et l'Université York.

Beaucoup des étudiants exceptionnels 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 2021-2022, 57 % des doctorants de l'Institut étaient des diplômés du programme PSI.

**PI**  
LES GENS  
DE L'IP



Doctorante  
**KASIA BUDZIK**

Kasia Budzik est d'abord venue de Pologne à l'Institut Péricètre en 2014, pour participer à l'ISSYP (*International Summer School for Young Physicists* – École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes), puis elle y est revenue pour faire une maîtrise dans le cadre du programme PSI. Elle est maintenant en 3<sup>e</sup> année de doctorat, sous la direction du physicien mathématicien Davide Gaiotto, et ses recherches portent sur l'holographie avec déformations.

L'holographie est un puissant outil, un pont qui relie 2 théories dans des domaines qui semblent n'avoir aucun lien entre eux (pour en savoir plus sur l'holographie, voir à la page 10). Cette correspondance, appelée *dualité*, permet de traduire des problèmes complexes ou insolubles dans un domaine de la physique en des problèmes que l'on peut résoudre dans un autre domaine. Dans le contexte de l'holographie, la « déformation » consiste à se limiter à un sous-ensemble de la dualité – comme avec une loupe au-dessus d'une petite partie d'une page. Cette méthode permet aux physiciens de définir les choses d'une manière plus mathématique, sous-ensemble par sous-ensemble, en tentant au bout du compte de prouver plus rigoureusement la dualité.

« J'ai toujours aimé être à l'Institut Péricètre, depuis ma participation à l'ISSYP, dit M<sup>me</sup> Budzik. J'aime mon travail, et chaque jour je profite au maximum de ma présence ici. Je suis très heureuse d'être de retour et plongée dans tout ce que l'Institut a à offrir – séminaires et collaboration avec des collègues. C'est la meilleure manière de faire de la physique. »

*Kasia Budzik est soutenue en partie par le fonds de bourses Emmy-Noether pour talents émergents.*

## POSTDOCTORANTS ET DOCTORANTS ASSOCIÉS

Institution indépendante, l'Institut Péricètre entretient de solides partenariats avec des universités de l'Ontario et d'ailleurs au Canada. Les programmes de postdoctorants et doctorants associés contribuent à créer ces liens. Ces programmes offrent à de jeunes chercheurs d'universités partenaires la chance de participer à toutes les activités de l'Institut Péricètre, qu'il s'agisse

Bon nombre des étudiants qui ont terminé leur doctorat en 2021-2022 ont obtenu de prestigieuses bourses postdoctorales, notamment : Anna Golubeva à l'Institut d'intelligence artificielle et d'interactions fondamentales de la Fondation nationale des sciences des États-Unis; Masoud Rafiei-Ravandi à l'Université McGill; Paul Tiede au Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique. Le diplômé Alvaro Ballon Bordo travaille maintenant dans le secteur privé comme formateur en informatique quantique chez Xanadu Quantum Technologies.

En 2021-2022, l'Institut Péricètre comptait 74 doctorants de 29 pays; voir la liste de ces étudiants à la page 61.

**PI**  
LES GENS  
DE L'IP



Doctorant  
**XIU-ZHE (ROGER) LUO**

Même s'il travaille encore à sa thèse de doctorat, Xiu-Zhe (Roger) Luo a déjà été récompensé pour ses recherches sur la compréhension de la physique qui sous-tend les algorithmes d'informatique quantique. L'an dernier, il a remporté le premier prix quantique Wittek pour le logiciel libre, parmi plus de 50 candidats.

M. Luo fait partie du Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Péricètre, centre de recherche et pôle de formation dirigé par Roger Melko, professeur-chercheur associé à l'Institut Péricètre. Les liens de M. Luo avec Roger Melko et l'Institut Péricètre lui ont été utiles pour en apprendre davantage sur l'informatique quantique et l'ont amené à faire un stage chez QuEra Computing. Il a alors fait partie d'une équipe de scientifiques de QuEra, de Harvard, du MIT, de l'Université d'Innsbruck et d'autres institutions, qui a réussi à l'aide du calcul quantique à résoudre plus rapidement un problème.

« Mon objectif personnel était d'en apprendre davantage sur QuEra et sur le fonctionnement de son matériel, dit M. Luo. J'ai beaucoup appris. Dorénavant, je vais travailler sur d'autres théories. »



de cours, de séminaires, de colloques ou de la possibilité de collaborer avec les professeurs de classe mondiale de l'Institut. En 2021-2022, l'Institut Péricètre a accueilli 13 postdoctorants associés et 38 doctorants associés, en provenance de l'Université de Waterloo, l'Université McMaster, l'Université de Toronto, l'Université York, l'Université Western et l'Université Queen's.

# LE PROGRAMME PSI : UNE VISION GLOBALE

Si vous questionnez les membres de la promotion 2022 du programme PSI, ils vous diront qu'ils ont forgé au cours de l'année des liens qui dureront longtemps. Et ils l'ont fait en parcourant le terrain exigeant de la physique théorique.

Le programme de maîtrise PSI est intense. Il attire des étudiants de premier ordre venus du monde entier et les initie à tous les aspects de la physique théorique moderne, par des cours obligatoires suivis de cours au choix, puis d'une période de travail de 2 mois avec des professeurs de l'Institut Péricimètre. Le programme culmine avec un mémoire de recherche, que les étudiants soutiennent devant leurs pairs et leurs mentors.

C'est un milieu exigeant mais stimulant. Sofia Gonzalez Garcia, étudiante du programme PSI cette année, a décrit comment la possibilité de travailler directement avec des professeurs, postdoctorants et doctorants de l'Institut Péricimètre confère une valeur unique au programme. « Ce sont eux qui révolutionnent la science, dit-elle. Et cela a réellement changé ma façon de voir le milieu de la recherche scientifique. »

Manu Srivastava a apprécié les liens que les étudiants ont établis entre eux. « Je savais que, sur le plan de la recherche universitaire, PSI serait une expérience inoubliable, a-t-il déclaré. Je savais que j'apprendrais beaucoup et que je mûrirais peut-être un peu en tant que scientifique. Et tout cela s'est assurément produit. Mais je ne m'attendais pas à trouver ici une famille. »

Il a vanté l'Institut Péricimètre, qui permet aux scientifiques de voir grand dans leurs recherches sans les pousser à trouver des possibilités d'application immédiate dans le commerce ou la technologie, persuadé que de nouvelles idées seront précieuses à long terme. « Ce genre de recherche sans limite qui se fait à l'Institut Péricimètre, a-t-il dit, est à mon avis extrêmement important à long terme. »

Les finissants du programme PSI reçoivent un diplôme de maîtrise de l'Université de Waterloo et un certificat de l'Institut Péricimètre. Ce programme est hautement compétitif : les 21 étudiants de la promotion 2021-2022 ont été choisis parmi plus de 400 candidats. Six de ces diplômés poursuivent des études de doctorat à l'Institut Péricimètre.

En 2021-2022, l'Institut Péricimètre a inauguré un nouveau programme qui permet à certains étudiants de faire leur maîtrise en deux ans au lieu d'un, en incluant dans leurs études des stages dans des entreprises partenaires. Deux étudiants ont participé à la première mouture de ce nouveau programme, avec des stages chez QuEra et Google, et obtiendront leur diplôme en 2023.

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 2021-2022, près de 1 350 personnes ont suivi en moyenne 1,5 cours chacune, pour un total de 2 012 inscriptions à des cours portant entre autres sur la théorie quantique des champs, la matière quantique et la physique statistique.

Voir aux pages 60 et 61 la liste du personnel enseignant et des étudiants du programme PSI.

En 2021-2022, le programme PSI a bénéficié du soutien des personnes et organismes suivants : la Fondation familiale Savvas-Chamberlain; la Fondation du patrimoine hellénique; la famille Marsland; des membres du Cercle Emmy-Noether.

*« Je savais que, sur le plan de la recherche universitaire, PSI serait une expérience inoubliable. Je savais que j'apprendrais beaucoup et que je mûrirais peut-être un peu en tant que scientifique. Et tout cela s'est assurément produit. Mais je ne m'attendais pas à trouver ici une famille. »*

– Manu Srivastava, ancien du programme PSI en 2022

Collation des grades 2022 du programme PSI ▼





## PSI START : OUVRIR LA VOIE À DE FUTURS PHYSICIENS

La curiosité a souvent amené Rahul Balaji, pendant ses études secondaires en Inde, à chercher des ressources au-delà de ce que son école pouvait offrir. Un jour, il a découvert un ensemble de cours en ligne de l'Institut Péricètre, qui l'ont initié à des concepts de la physique théorique, ont retenu son attention et l'ont amené au bout du compte à Waterloo.

Au cours de l'été 2022, M. Balaji et un groupe d'étudiants ayant les mêmes intérêts que lui ont participé à PSI Start, le nouveau programme de 1<sup>er</sup> cycle universitaire de l'Institut Péricètre. Ce programme offre aux étudiants en dernière année de 1<sup>er</sup> cycle une impulsion supplémentaire pour les préparer aux études supérieures. Il les met en contact avec des physiciens qui les guident dans certains des aspects les plus difficiles – et les plus prometteurs – de la recherche en physique fondamentale.

Ce programme comporte 2 parties : une école en ligne et un stage de recherche. L'école en ligne dure 10 semaines. Elle combine des cours à suivre en direct et des périodes d'étude personnelle sur divers sujets.

Hyo Jung (Catherine) Park, l'une des collègues de Rahul Balaji dans le programme, a estimé que l'école en ligne constitue une occasion précieuse pour un participant d'accroître ses connaissances : « J'ai vraiment apprécié de pouvoir assimiler des concepts de physique théorique que nous n'abordons pas dans nos programmes de 1<sup>er</sup> cycle. »

Pendant les 2 dernières semaines de l'école en ligne, les étudiants travaillent en équipe sur des projets, sous la direction de chercheurs de l'Institut Péricètre. Pour des étudiants comme M. Balaji et M<sup>me</sup> Park, qui veulent appliquer dans la pratique les nouvelles connaissances acquises, le stage de 16 semaines du programme PSI Start offre l'occasion de travailler avec des chercheurs, sur place à l'Institut Péricètre.

Cette année, 62 étudiants du Canada et d'ailleurs dans le monde ont participé à l'école en ligne du programme PSI Start, et il y a eu 11 stagiaires de 8 pays : Canada, Inde, Géorgie, Chine, Équateur, Brésil, Corée du Sud, États-Unis.



Stagiaires du programme PSI Start 2022 ▲

« Je recommande sans réserve ce programme, a déclaré M. Balaji. Si vous savez déjà que vous voulez travailler en physique théorique, ou si vous en avez la passion depuis longtemps, c'est ici qu'il vaut venir, car c'est ici que vous réaliserez votre plein potentiel. »

*Le programme PSI Start bénéficie du soutien financier de Michael Serbinis et de Laura Adams.*

**« Si vous savez déjà que vous voulez travailler en physique théorique, ou si vous en avez la passion depuis longtemps, c'est ici qu'il vaut venir, car c'est ici que vous réaliserez votre plein potentiel. »**

*– Rahul Balaji, participant au programme PSI Start*

## TRAJECTOIRES DE CARRIÈRE

Une carrière en milieu universitaire n'est pas le seul débouché pour les diplômés en physique. Les anciens de l'Institut Péricètre ont poursuivi de fructueuses carrières dans une multitude de domaines : technologie quantique, soins de santé, finance, science des données, etc. Certains ont fondé leur propre entreprise. 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 carrières à la mesure de leurs aptitudes et de leurs connaissances. 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 à la préparation d'entrevues.

En 2021-2022, l'Institut Péricètre a organisé 7 activités *Trajectoires de carrière* qui ont attiré en tout quelque 200 participants. Il y a eu des activités de réseautage avec le milieu universitaire et le secteur privé, une séance du midi sur le passage de la recherche à l'industrie, de même qu'un atelier sur la préparation d'une solide candidature à un postdoctorat. Les étudiants ont aussi eu l'occasion d'apprendre comment transformer un CV d'universitaire afin qu'il soit pertinent pour le secteur privé.

## APPUI À DES ÉTUDIANTS EN UKRAINE

Au printemps 2022, l'Institut Péricètre a commencé à offrir des postes en physique théorique à des postdoctorants et à des étudiants diplômés dont les recherches ou les études ont été interrompues par la guerre en Ukraine. Deux étudiants diplômés et quatre postdoctorants ont accepté de tels postes. Au cours de la prochaine année, l'Institut s'attend à offrir au moins 7 autres postes semblables. Les élèves et les enseignants du secondaire d'Ukraine ont en outre utilisé le riche catalogue de ressources pédagogiques de l'Institut Péricètre.



# DIFFUSION DES CONNAISSANCES

*« La physique constitue un moyen d'acquérir ces compétences, qui seront utiles en physique, en droit ou dans tout autre domaine. Ces compétences sont transférables. C'est la beauté de la physique. »*

*– Saara Naudts, enseignante de physique à l'école secondaire Mayfield, à Caledon (Ontario)*





# 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 Périmètre 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.

### ÉLÈVES

**942** participants à l'École internationale d'été pour jeunes physiciens et physiciennes depuis les débuts

**38** participants à l'École internationale d'été pour jeunes physiciens et physiciennes en 2022

**489** participants à la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques) en 2022

### ENSEIGNANTS

**45 000** enseignants formés dans des ateliers de l'Institut Périmètre depuis sa fondation

**3 337** enseignants formés dans **146** ateliers en 2021-2022

**36** enseignants de **10** pays au camp de formation *EinsteinPlus* pour enseignants en 2021-2022

**132** pays dans lesquels les ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre sont utilisées

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

### GRAND PUBLIC

**20 millions** de visionnements dans YouTube depuis les débuts

**4 millions** de visionnements dans YouTube en 2021-2022

**16 000** téléchargements de balados en 2021-2022

**1,3 million** de pages Web consultées<sup>3</sup> en 2021-2022

<sup>3</sup> Cela comprend le site Web de l'Institut et le site Web *Dans le périmètre*.



EinsteinPlus 2022 ▲

## EINSTEINPLUS : UNE PIQÛRE D'ADRÉNALINE POUR LA PHYSIQUE AU SECONDAIRE

Un objet volant en papier aux ailes en forme de « O » traverse la salle de classe. Un téléphone cellulaire tourne rapidement au bout d'une corde. La lumière d'un pointeur laser, séparée en deux par un cheveu, produit des figures de diffraction sur un mur.

Ces scènes sont celles d'un atelier conçu pour enseigner des notions fondamentales de physique en n'utilisant que des matériaux courants et peu coûteux. Les concepteurs de ces démonstrations scientifiques maison sont des enseignants au secondaire venus du Canada et du monde entier. Voilà ce qu'est *EinsteinPlus*, fleuron des programmes de perfectionnement professionnel de l'Institut Péricimètre à l'intention des enseignants, qui s'est tenu en personne à l'été 2022, pour la première fois en 3 ans.

Cet atelier intensif d'une semaine constitue une poussée d'adrénaline pour l'enseignement de la physique au secondaire. Cette année, 22 enseignants canadiens et 14 de 9 autres pays sont venus apprendre des stratégies innovatrices d'enseignement de sujets complexes en physique et essayer les ressources interactives qu'ils utiliseront en classe pour stimuler leurs élèves. La cosmologiste Katie Mack et la physicienne des particules Asimina Arvanitaki, professeures à l'Institut Péricimètre, ont de leur côté parlé aux participants de leurs recherches les plus récentes.

« L'occasion de créer des liens, pendant et après *EinsteinPlus*, avec des collègues du monde entier n'a pas de prix. Si je le pouvais, je reviendrais tous les ans », déclare Kieran Faw, enseignante à l'école secondaire Brookfield d'Ottawa. « L'Institut Péricimètre met en place un milieu d'apprentissage sécuritaire, où nous pouvons nous permettre d'être brouillons et d'expérimenter

de nouvelles techniques pédagogiques avec lesquelles nous pouvons ne pas être à l'aise au départ. »

Et c'est le but de l'atelier. Faire sortir les enseignants de leur zone de confort leur permet d'aborder des sujets difficiles avec des méthodes nouvelles et amusantes.

Dave Fish, enseignant en résidence à l'Institut Péricimètre et l'un des animateurs d'*EinsteinPlus*, dit que le programme donne aux enseignants l'occasion d'approfondir leur compréhension de concepts de la physique et d'enrichir leurs méthodes pédagogiques.

« Cette année, nous avons eu un groupe fantastique d'enseignants qui retourneront en classe après avoir été stimulés en passant du temps de qualité avec des collègues ayant les mêmes intérêts, dit M. Fish. Mais ce n'est pas tout d'être stimulés. À la fin de l'atelier, ces enseignants ont des trousseaux pédagogiques prêts à utiliser, des documents et un réseau d'enseignants de qui ils peuvent continuer d'apprendre. »

En plus d'*EinsteinPlus*, l'Institut Péricimètre a tenu en 2021-2022 146 ateliers de formation auxquels ont participé plus de 3 300 enseignants. Les sujets abordés allaient des atomes aux télescopes, en passant par ce qu'il faut pour remporter un prix Nobel.

*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.*

**« L'occasion de créer des liens, pendant et après EinsteinPlus, avec des collègues du monde entier n'a pas de prix. Si je le pouvais, je reviendrais tous les ans. »**

— Kieran Faw, enseignante de physique à l'école secondaire Brookfield d'Ottawa (Ontario)



## RESSOURCES PÉDAGOGIQUES

De nos jours, les découvertes scientifiques se succèdent à la vitesse de l'éclair. L'équipe de diffusion des connaissances de l'Institut Périmètre travaille toute l'année pour mettre à niveau du matériel pédagogique et y introduire les nouvelles découvertes scientifiques, en ajoutant du contenu inspiré de percées récentes telles que la découverte du boson de Higgs ou l'image historique du trou noir M87\*. Alors que les programmes scolaires continuent d'évoluer au Canada, l'Institut Périmètre reste à l'avant-garde de ces changements. Lorsque l'Institut Périmètre a publié sa première trousse pédagogique en 2008, la physique moderne était peu enseignée en classe. Maintenant, les élèves peuvent faire une activité pour calculer la valeur d'une masse inconnue, tout en établissant des liens avec la manière dont les astronomes mesurent la vitesse des étoiles dans les galaxies, qui constitue une preuve de l'existence de la matière sombre. La plupart des équipes chargées de l'élaboration de programmes scolaires au Canada comprennent des membres du réseau des enseignants de l'Institut Périmètre, qui veillent à ce que les élèves soient outillés pour suivre la science d'aujourd'hui.

## UNE ÉCOLE D'ÉTÉ PLONGE LES ÉLÈVES DANS UN UNIVERS D'IDÉES

Pouvez-vous faire avancer un bateau sans pièces mobiles? La réponse est oui, grâce à la physique des champs électromagnétiques. Lors d'un après-midi bien rempli de juillet, 38 élèves du secondaire – la moitié provenant de partout au Canada et la moitié de 14 autres pays –, autant de filles que de garçons, testent les lois de la physique en construisant leur propre système de propulsion à l'aide d'une batterie capable de produire une poussée avec les ions de sodium et de chlore dissous dans de l'eau du robinet. Ce n'est là qu'un exemple des nombreuses leçons pratiques abordées dans une session de 2 semaines et toutes conçues pour présenter des concepts de physique à de jeunes apprenants passionnés.

L'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (en abrégé ISSYP pour *International Summer School for Young Physicists*) vise à simuler le milieu réel de collaboration entre scientifiques. En plus de suivre des cours plus traditionnels, les participants s'instruisent grâce à des expériences pratiques et à la résolution de problèmes en équipe. Ils ont aussi une rare occasion de travailler sur des problèmes de recherche sous le mentorat de scientifiques de l'Institut Périmètre, avec beaucoup de temps pour des questions.

« L'ISSYP a fourni un contexte très intéressant pour me faire passer de mes cours habituels à un programme beaucoup plus avancé et rigoureux », a déclaré Stryder Hamilton, élève venu de l'Alberta. « Je n'avais jamais eu l'occasion d'appliquer les mathématiques d'une manière aussi approfondie. Peu importe vos points forts ou ce que sont d'après vous vos lacunes, il y a ici des scientifiques extraordinaires prêts à discuter et à vous amener encore plus loin. »

Mise sur pied en 2004, l'ISSYP a été suivie par 942 élèves, la moitié venant du Canada et la moitié de 64 autres pays.

Parfois, des enseignants suggèrent eux-mêmes un sujet ou une nouvelle activité pour une trousse pédagogique, mais leur implication ne s'arrête pas là. Les réactions d'enseignants qui testent les trousse orientent continuellement l'élaboration de nouvelles ressources.

Ces trousse pédagogiques sont utilisées en classe partout au Canada et dans 131 autres pays. Chaque trousse 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 Périmètre. Toutes les trousse pédagogiques sont disponibles en français et en anglais, et d'autres traductions sont en cours, avec 19 trousse disponibles en portugais et 18 en espagnol, ce qui permet d'atteindre davantage de personnes en Europe ainsi qu'en Amérique latine.

Les anciens de l'ISSYP comprennent Tim Hsieh, venu des États-Unis, maintenant professeur-chercheur à l'Institut Périmètre et directeur du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique. En 2021-2022, la boucle a été bouclée puisque M. Hsieh a initié les participants à l'ISSYP de cette année au monde de la physique quantique.

« J'ai participé à l'ISSYP il y a des années, a-t-il déclaré. C'était la première fois que j'entendais parler de mécanique quantique, et cela m'a tout simplement époustoufflé. Depuis lors, j'ai l'esprit constamment occupé par la mécanique quantique. J'espère donc parvenir à vous communiquer certaines des étranges caractéristiques de la mécanique quantique et ses conséquences... Idéalement, l'un ou l'une d'entre vous sera de retour ici dans plus ou moins une décennie pour faire une bien meilleure version de cet exposé. »

*En 2021-2022, l'ISSYP a été rendue possible grâce au soutien de la Fondation RBC, commanditaire principal, dans le cadre du programme Objectif avenir RBC.*



## INSPIRER LES FUTURES SCIENTIFIQUES

De son Brésil natal, Julia Fernanda de Lucas Rocha a participé à un webinaire en direct organisé par l'Institut Péricimètre. Elle y a vu ce qu'elle n'a pas habituellement l'occasion de voir : 4 femmes de groupes sous-représentés, qui ont connu le succès, parlant avec passion de leur travail dans des professions traditionnellement dominées par des hommes en STGM et racontant comment elles ont surmonté des obstacles pour arriver là où elles en sont aujourd'hui.

« Dans le monde entier, il y a encore actuellement plus d'hommes que de femmes dans ces domaines, a-t-elle déclaré. Mais pourquoi, au XXI<sup>e</sup> siècle, n'y aurait-il pas davantage de femmes en génie, en mathématiques, en physique et en chimie? [...] Je me suis sentie motivée à poursuivre mes études en physique. »

Le webinaire sous forme de séance de questions et réponses en direct a eu lieu le 10 février, en marge de la Journée internationale des femmes et des filles de science proclamée par les Nations Unies. Mise sur pied en 2015, cette activité annuelle s'inscrit dans le cadre des efforts de l'Institut Péricimètre en faveur de l'équité, de la diversité et de l'inclusion, en visant à encourager les jeunes femmes intéressées par les sciences et la technologie. Cette année, 489 élèves y ont participé. L'activité a aussi été enregistrée et est accessible dans le canal YouTube de l'Institut Péricimètre, où elle a fait l'objet de plus de 1 400 visionnements.

L'activité de cette année a mis en vedette : Emily Ackerman, postdoctorante en biologie des systèmes et activiste au sein de groupes de handicapés; Ella Chan, étudiante en médecine et



spécialiste du rayonnement des médias numériques; Yumna Nasir, directrice dans le domaine de la construction et de la gestion d'installations; Laurie Rousseau-Nepton, astronome à Hawaï et femme innue de la communauté de Mashteuiatsh (Première Nation des Pekuakamiulnuatsh) au Québec.

M<sup>me</sup> Rousseau-Nepton, qui travaille au Télescope Canada-France-Hawaï, à Hawaï, a déclaré qu'il est important pour une personne de ne jamais être limitée par les idées des autres sur ses capacités ou sur ce qu'elle devrait faire. « Si vous aimez ce que vous faites, dit-elle, vous allez vous améliorer avec les années. Vous avez beaucoup d'années devant vous et beaucoup à apprendre. »

*La conférence Inspiring Future Women in Science (Inspirer les futures scientifiques) de 2021-2022 a été rendue possible grâce au soutien de Linamar Corporation, commanditaire principal.*

## COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ET MÉDIAS

L'Institut Péricimètre est considéré comme digne de confiance en sciences, et ce rôle est plus important que jamais. L'Institut est un ardent promoteur de la valeur de l'éducation et de la culture scientifiques, ainsi que de la démarche scientifique comme le meilleur outil dont l'humanité dispose pour relever des défis mondiaux. Il est essentiel de faire connaître la recherche scientifique, la manière dont on en tire des conclusions, et comment interpréter l'information et en évaluer la véracité.

L'Institut Péricimètre rejoint le grand public là où il se trouve par une variété de moyens : médias sociaux, vidéos, balados, médias traditionnels, etc. L'Institut partage régulièrement un contenu scientifique de qualité avec un public de plus en plus nombreux par le truchement de Facebook, Twitter, Instagram, LinkedIn et YouTube; les comptes de l'Institut totalisent 222 000 abonnés. En 2021-2022, le nombre d'abonnés des comptes de l'Institut Péricimètre a augmenté de 33 % dans LinkedIn et de 15 % dans Twitter.

Le canal YouTube de l'Institut Péricimètre – qui diffuse des conversations fascinantes, des exposés de fond sur les recherches les plus récentes et des démonstrations passionnantes de notions de physique – continue d'être extrêmement populaire, avec plus de 140 000 abonnés, dont plus de 27 000 nouveaux au cours de cette seule année. Les vidéos de l'Institut Péricimètre ont fait l'objet de plus de 20 millions de visionnements, dont plus de 4 millions en 2021-2022.

Par ailleurs, environ 190 000 visiteurs distincts ont consulté plus de 300 000 pages du site *Dans le périmètre*, principal site de l'Institut pour la diffusion de contenu scientifique intéressant, instructif et divertissant pour des publics de tous âges. Le site Web de l'Institut Péricimètre a été consulté plus de 1 million de fois par plus de 277 000 visiteurs distincts.



## CONVERSATIONS DANS LE PÉRIMÈTRE

Pendant la pandémie, l'Institut a suspendu ses conférences publiques en personne, mais cela a donné l'occasion de réinventer cette série de conférences afin de mieux rejoindre le grand public dans un paysage numérique en évolution. En 2021-2022, l'Institut a conçu et enregistré des balados *Conversations at the Perimeter* (Conversations à l'Institut Périmètre), nouvelle série de longues entrevues avec des scientifiques. Lancée au printemps 2022, la 1<sup>re</sup> saison comprend 11 épisodes, accessibles dans YouTube et les principaux portails de balados, ce qui permet à de tout nouveaux publics de découvrir l'Institut Périmètre.

La 1<sup>re</sup> saison a notamment mis en vedette les chercheurs de l'Institut Périmètre Avery Broderick sur les percées à propos des trous noirs, Katie Mack sur la fin possible de l'univers, Raymond Laflamme sur le pouvoir transformateur de la curiosité, Timothy Hsieh sur la magie du monde quantique et Meenu Kumari sur la rencontre des mondes quantique et classique. Carlo Rovelli, titulaire d'une chaire de CCID de l'Institut Périmètre et auteur scientifique populaire, a parlé de physique et philosophie. La 1<sup>re</sup> saison a connu beaucoup de succès, avec plus de 16 000 téléchargements et plus de 105 000 visionnements dans YouTube.

# CONVERSATIONS À L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

Dans les portails de balados et YouTube

Invités  
de la 1<sup>re</sup> saison





## L'INSTITUT PÉRIMÈTRE DANS LES MANCHETTES

- « Astronomers peer into Milky Way's core for first-ever image of 'supermassive black hole next door' » (Des astronomes scrutent le cœur de la Voie Lactée et produisent la première image d'un trou noir supermassif à nos portes), *The Globe and Mail*, le 22 mai 2022.
- « Physics seeks the future » (La physique vise l'avenir), *The Economist*, le 25 août 2021.
- « A new place for consciousness in our understanding of the universe » (Une nouvelle place pour la conscience dans notre connaissance de l'univers), *New Scientist*, le 30 mars 2022.
- « First James Webb images show us "creation as it happens," says Hawking Chair in Cosmology » (Les premières images de James Webb nous montrent « la création en marche », selon la titulaire de la chaire Hawking de cosmologie), *BBC Science Focus*, le 14 juillet 2022.
- « Opinion: It's time to double down on Canadian science and tech investment » (Opinion : Il est temps de doubler les investissements canadiens en science et technologie), *Calgary Herald*, le 28 octobre 2021.
- « Physics equations compete for your approval; exoplanets that never were » (Des équations de physique en attente d'approbation; des exoplanètes qui n'ont jamais existé), *Physics World*, le 18 mars 2022.
- « Image of black hole unveiled » (Une image d'un trou noir dévoilée), *CTV National News*, le 12 mai 2022.
- « Astronomers are gearing up for never-before-seen merger between two black holes » (Les astronomes se préparent à la première observation de la fusion de 2 trous noirs), *Inverse*, le 3 février 2022.
- « It's impossible to tell if this story exists, according to quantum physics » (Impossible de dire si cet article existe, selon la physique quantique), *Popular Mechanics*, le 23 août 2021.
- « How the new science of biocosmology redefines our understanding of life » (Comment la nouvelle science de la biocosmologie redéfinit nos connaissances sur la vie), *Discover*, le 29 avril 2022.

# DÉVELOPPEMENT DE L'INSTITUT

## ACCOMPLIR SA MISSION

« Notre père, Clay Riddell, géologue de profession, véritable explorateur et entrepreneur de cœur, était enthousiasmé par les possibilités de l'Institut Péricètre. Il croyait fermement, et notre famille aussi, qu'un investissement dans des personnes exceptionnelles, passionnées par leurs idées audacieuses, ayant l'humilité d'apprendre et de persévérer, donnera des résultats extraordinaires. Cela résume pourquoi nous sommes confiants que nos investissements dans l'Institut Péricètre contribueront à des percées en physique théorique qui auront une influence profonde sur l'ordre social. »

– Sue Riddell-Rose, administratrice, Fondation de bienfaisance de la famille Riddell

Dans un monde où la recherche vise des applications à court terme, l'Institut Péricètre se distingue. Nos scientifiques s'attaquent à certaines des questions scientifiques les plus profondes et les plus difficiles.

Pourquoi? Parce que c'est la voie à suivre pour réaliser des percées.

Des percées dans notre compréhension des forces et particules fondamentales de l'univers nous donnent de nouvelles possibilités de les exploiter. Les percées en physique du passé ont eu des répercussions scientifiques énormes et ont mené à des révolutions technologiques – ordinateurs, électronique, communications sans fil, énergie atomique, imagerie médicale, GPS – et à de captivantes technologies naissantes comme celle de l'informatique quantique.

La physique théorique d'aujourd'hui est vraiment la technologie de demain.

L'Institut Péricètre bénéficie de l'appui des gouvernements du Canada et de l'Ontario, ainsi que du soutien philanthropique d'entreprises privées, de fondations et d'individus.

Nos partenaires 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, et que l'Institut Péricètre constitue un actif scientifique stratégique pour l'avenir du Canada. Ensemble, nous visons à créer le meilleur institut de physique théorique au monde.

Les gouvernements du Canada et de l'Ontario fournissent un appui majeur au fonctionnement de l'Institut Péricètre depuis sa fondation. Cette année, ils ont conclu des accords pour continuer de financer l'Institut jusqu'en 2024 inclusivement, avec des renouvellements possibles par la suite. Ces investissements continuent d'appuyer 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.

L'Institut Péricètre jouit d'une communauté toujours croissante de philanthropes visionnaires qui financent plus du tiers du budget annuel de fonctionnement de l'Institut. Au cours de la dernière année, l'Institut Péricètre a obtenu plus de 12,5 millions de dollars de nouveaux engagements, y compris des dons majeurs de la Fondation de la famille Daniel, de la Fondation de bienfaisance de la famille Riddell ainsi que d'Intact Corporation financière.

## APPUIS À LA VISION DE L'INSTITUT

L'Institut Péricètre 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 Péricètre. Ces généreux dons ont permis à notre campagne de financement privé d'atteindre 66 millions de dollars d'engagements à ce jour.

Fondation Airlie

Groupe financier BMO

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

Intact Corporation financière

Fondation Krembil

Linamar Corporation

Maplesoft

Famille Marsland

James Mossman

Fondation Stavros-Niarchos

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

Famille de Scott A. et Sherry Shannon-Vanstone

Fondation Simons

Corinne Squire et Neil Turok

Brian Sullivan

Financière Sun Life

Fondation John-Templeton

Mac Van Wielingen, Fondation Viewpoint

Merci également à 2 généreux donateurs anonymes.



## DES FEMMES QUI ONT ÉLARGI NOS HORIZONS

Pendant plus d'une décennie, Sherry Shannon-Vanstone et Joanne Cuthbertson ont été d'ardentes promotrices de l'Institut Périmètre, de généreuses donatrices et des composantes vitales des équipes de direction bénévoles de l'Institut. Toutes deux croient profondément en l'importance de l'excellence et de l'élargissement des horizons, en particulier pour les jeunes en STGM.

Joanne Cuthbertson est chancelière émérite de l'Université de l'Alberta. Ses projets professionnels et philanthropiques visent à faire en sorte que tous aient accès à une éducation de qualité, peu importe leurs antécédents. Elle est l'une des philanthropes les plus influentes en éducation au Canada, ouvrant de nouvelles voies pour des milliers de jeunes.

Sherry Shannon-Vanstone est bien placée pour connaître l'importance d'encourager de jeunes femmes en sciences : ce n'est que lorsque le recteur de son université l'a convaincue que ce serait dommage qu'elle n'étudie pas les mathématiques qu'elle a décidé d'aller dans ce domaine. Elle a obtenu une maîtrise en mathématiques et a fait une brillante carrière en cryptographie, entre autres en fondant 3 entreprises de technologie.

Réunissez ces 2 femmes, et vous obtenez le noyau de quelque chose d'extraordinaire.

À titre de présidentes des 2 conseils de direction de l'Institut, elles ont fait la promotion de l'Institut Périmètre par le truchement de leurs réseaux étendus, intéressant de nombreux nouveaux amis et recrutant des supporteurs de l'Institut, dont plusieurs ont fait individuellement et collectivement des dons marquants.

Au bout de 10 extraordinaires années de service, nous leur rendons hommage et soulignons leurs principales réalisations.

En plus d'avoir siégé au conseil d'administration de l'Institut de 2013 à 2022, Joanne Cuthbertson a créé la bourse d'études supérieures Joanne-Cuthbertson-et-Charlie-Fischer pour des doctorants à l'Institut Périmètre. À titre de présidente du conseil d'orientation, elle a beaucoup fait connaître sa passion et entendre sa voix, amenant des penseurs et des agents de changement de partout au Canada à participer au progrès de l'humanité par la physique. Elle a aussi aidé l'Institut Périmètre à bénéficier d'une hausse spectaculaire des contributions du secteur privé. Mentionnons les contributions à l'appui du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique ainsi que de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles, dont le titulaire est Kendrick Smith, directeur du Centre de recherches sur l'univers.

Sherry Shannon-Vanstone a présidé le Conseil Emmy-Noether, qui vise à favoriser la participation de plus de femmes et davantage de diversité en sciences, ainsi qu'à créer des possibilités enthousiasmantes en physique. Elle a récemment dirigé le Fonds Emmy-Noether pour talents émergents, dont le but est de créer 10 bourses permanentes de doctorat afin d'inciter plus de femmes remarquables à poursuivre leur formation scientifique à l'Institut Périmètre. Le Fonds Emmy-Noether pour talents émergents a rapidement dépassé son objectif initial de 250 000 \$. En 2021-2022, il a atteint 1 million de dollars et désigné ses 3 premières boursières.

Robert Myers, directeur de l'Institut Périmètre, déclare : « Joanne et Sherry sont des forces de la nature. Par leur énergie et leur dévouement, elles ont amené un groupe dynamique de bénévoles et de bailleurs de fonds du secteur privé à participer à une grande aventure philanthropique. Leur générosité et leurs actions de promotion ont aidé l'Institut à devenir un joyau national et un chef de file mondial. Nous leur sommes reconnaissants de faire partie de la famille de l'Institut Périmètre. »

## CONSEIL D'ORIENTATION DE L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

Le conseil d'orientation de l'Institut Périmètre 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**, présidente

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

### **Susan Baxter**

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

### **Donald W. Campbell**

Conseiller principal, Norton Rose Fulbright

### **Harbir Chhina**

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

### **Catherine (Kiki) Delaney**

Présidente, C.A. Delaney Capital Management inc.

### **Edward Goldenberg**

Associé, cabinet d'avocats Bennett Jones

### **Linda Hasenfratz**

Cheffe de la direction, Société Linamar

### **Brad Marsland**

Vice-président, Marsland Centre Itée

### **Jennifer Scully-Lerner**

Vice-présidente, Goldman Sachs

### **Trevin Stratton**

Associé et leader national, Services-conseils en économie,  
Deloitte

### **Alfredo Tan**

Vice-président principal et directeur général, Loblaw Media

L'Institut Périmètre remercie Patrice Merrin, ancienne coprésidente, pour ses 6 années de service au sein du conseil d'orientation.

# MERCI À CEUX QUI NOUS SOUTIENNENT

*Des donateurs publics et privés toujours plus nombreux ont contribué à faire de l'Institut PÉRIMÈTRE 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 PÉRIMÈTRE

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

Chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique (6 millions de dollars)

Chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique (6 millions de dollars)

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

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

Chaire Krembil-Galilée 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)

Intact Corporation financière (1,5 million de dollars)

Chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell (à titre de chercheur invité) (1 million de dollars)

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

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

Michael Serbinis et Laura Adams, à l'appui des programmes PSI Start et PSI Bridge (500 000 \$)

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

\* Donateur anonyme

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

Groupe financier BMO, à l'appui de la bourse postdoctorale BMO d'inclusion, diversité, équité et accessibilité

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

Fondation RBC, fière supportrice de l'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes

## CERCLE DES ACCÉLÉRATEURS

(50 000 \$ et plus)

Fondation Cowan

Fondation familiale de John et Deborah Harris

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 PSI honorifique de Margaret et Larry Marsland



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

**25 000 \$ et plus**

Fondation Airlie  
Denise et Terry Avchen, Environmental Research Advocates\*\*  
Fonds communautaire Bosch, au nom d'ESCRYPT au Canada  
Cenovus Energy  
Harbir et Monica Chhina  
Groupe financier Connor, Clark et Lunn  
Fondation Scott-Griffin  
Ed Kernaghan  
Toyota Motor Manufacturing Canada (TMMC)

Woodbridge Foam Corporation

**10 000 \$ ET PLUS**

Société The Boardwalk  
Fondation communautaire de Kitchener-Waterloo :  
– Fonds de la famille McMurtry  
– Fonds Musagetes  
– Fonds de la famille de John A. Pollock  
Fondation familiale de Donald et Eleanor Seaman  
Alex White

## AMIS (jusqu'à 9 999 \$)

**5 000 \$ et plus**

Mary et Ted Brough  
Jon et Lyne Dellandrea  
Fondation Oriole  
Renée Schingh et Robert Myers  
John et Karen Sechrist  
LeAnne Thorfinnson et Tony Lee

Michael Horgan  
Daniel Lauzon  
Yicen Lu  
Allison Maher  
John Matlock  
Gordon McKay  
Fondation de la famille Schnurr  
Carl Wurtz

Blair Kent  
Vladimir Kremerman\*\*  
Gilbert Kuipers  
Luis Lehner et Maria Beltramo  
D'Arcy et Catherine Little  
Ian MacRobbie  
Richard Marker  
Maneesh Mehta  
George Meierhofer\*\*

**2 500 \$ et plus**

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

**De 250 \$ à 999 \$**

Mike Birch  
Kostadinka Bizheva  
John Brennen  
Sai L Chan  
David Chapman\*\*  
David Cook  
Fred Cornish

Marc Milgrom et Gayle Wagman  
Suzanne Morris  
Bill et Jan Mustard  
Gordon Nicholls  
Nem Radenovic  
Adele Robertson  
Catalin Sandu  
Stephanie Tse  
Jacqueline Watty  
Nancy Wong

**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

René et Janet Couture  
Matt Douglas  
Rosalie Foyle  
Giresh Ghooray  
Adam Gravitis  
Denis Havey  
Mike Horsley  
Nagaraja D Srinivas  
Jonnnavittula

Merci à nos 4 généreux donateurs anonymes.  
De plus, il y a eu 87 dons allant jusqu'à 250 \$ (11\*\*).

## DONS COMMÉMORATIFS

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

\*\* 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.

Cette liste correspond aux dons reçus entre le 1<sup>er</sup> août 2021 et le 31 juillet 2022, ainsi qu'aux engagements sur plusieurs années de 50 000 \$ et plus.

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

## 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 18 et 19.

**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\*\*

**CERCLE DES DIRECTEURS (DE 10 000 \$ À 49 999 \$)****25 000 \$ et plus**

Andrew et Lillian Bass  
Dorian Hausman  
Patrice E. Merrin

**10 000 \$ et plus**

Jane Kinney et Christian Bode  
Wendy Reed  
TENUMBRA

**AMIS (JUSQU'À 9 999 \$)****5 000 \$ et plus**

Jerome Bolce  
John et Karen Sechrist  
Kim Tremblay

**1 000 \$ et plus**

Shelley Fisher  
Andrea Grimm  
Lisa Lyons Johnston  
Susan Monteith  
Mary et Lee Sauer  
Michelle Savoy  
Patricia M. Woroch

**De 250 \$ à 999 \$**

Byron Bellows  
Tania Framst  
Tom et Cheryl Hintermayer  
Beth Horowitz et Pat Munson  
Sheri et David Keffer  
Jessica Knox  
Sebastian Mizera\*\*  
Douglas Mortley-Wood  
Neil Steven Rieck  
Leslie Rogers  
Yasemin Sezer

Merci à un généreux donateur anonyme.

De plus, il y a eu 15 dons allant jusqu'à 250 \$.

**DONS COMMÉMORATIFS**

Margaret Tovell, en mémoire de David Tovell

# GOVERNANCE ET FINANCES

## GOVERNANCE

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

### Jane Kinney

Vice-présidente du conseil d'administration  
Membre du comité de gestion des placements  
Membre du comité des finances et de l'audit  
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, RBC Gestion du patrimoine

### Karen Collins

Cheffe de la gestion des talents, Groupe financier BMO

### Gabriela González

Titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué  
Professeure titulaire, 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 titulaire, 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).*

L'Institut PÉRIMÈTRE tient à remercier Joanne Cuthbertson, qui a donné généreusement de son temps au conseil d'administration de 2013 à 2022.





## 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 l'information et de la matière  
quantiques

### 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 à Urbana-Champaign

### Juan Maldacena

Institut d'études avancées de Princeton

### Natalia Perkins

Université du Minnesota

### Sandu Popescu

Université de Bristol

## HAUTS DIRIGEANTS

### Robert C. Myers

Directeur

### Paul Smith

Directeur administratif  
et chef de l'exploitation

### Laurent Freidel

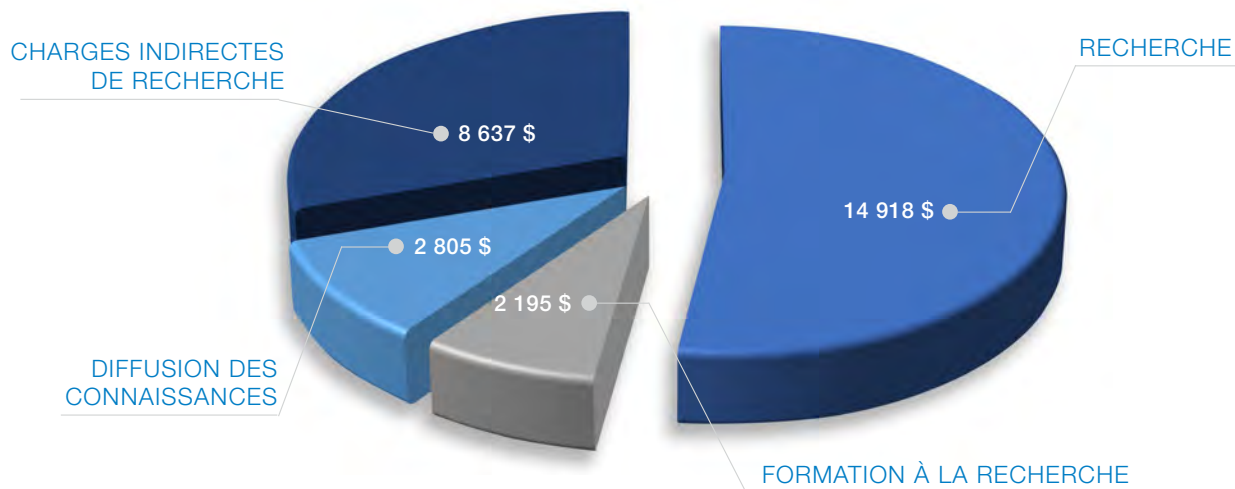
Président du corps professoral



# FINANCES

## SOMMAIRE DES CHARGES DE FONCTIONNEMENT (voir à la page 48)

Pour l'exercice terminé le 31 juillet 2022  
(en milliers de dollars)



Toute la communauté de l'Institut Périmètre a su relever le défi sans précédent de la pandémie, s'adaptant pour continuer de fournir des expériences et des résultats de classe mondiale en matière de recherche, de formation et de diffusion des connaissances en physique théorique. À mesure que les restrictions et les directives de la santé publique liées à la COVID-19 étaient assouplies au cours de l'exercice 2021-2022, l'Institut a commencé à reprendre ses activités et ses programmes à des niveaux semblables ou voisins de ce qu'ils étaient avant la pandémie.

Les activités de recherche se sont poursuivies pendant les 2 premiers trimestres avec des collaborations, ateliers et séminaires en mode virtuel et en personne. Les conférences et séjours de recherche en personne ont repris au 3<sup>e</sup> trimestre. Les étudiants du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre) sont revenus en personne à Waterloo pour la totalité des 10 mois de formation. L'équipe de diffusion des connaissances a offert en ligne, mais aussi avec des conférences et ateliers en personne, des programmes de haute qualité aux enseignants, aux étudiants et au grand public. Le camp de formation *EinsteinPlus* pour enseignants s'est tenu en personne à l'Institut pour la première fois depuis 2019.

Dans la mesure du possible, la communauté de l'Institut Périmètre s'est adaptée en fonction des leçons apprises pendant cette période, continuant d'investir dans un environnement virtuel et hybride de classe mondiale. Cela a permis à l'Institut de réduire les coûts des déplacements, les émissions de carbone et les obstacles à l'accessibilité, tout en retrouvant de précieuses collaborations de recherche, sessions de formation et activités publiques stimulantes en personne, en fonction des règles sanitaires.

### RECHERCHE

Faire progresser notre compréhension de l'univers au niveau le plus fondamental demeure la principale raison d'être de l'Institut

Périmètre. Pour accomplir sa mission, l'Institut a continué d'investir dans ses activités de recherche, en mettant l'accent sur le maintien d'un solide environnement hybride et en personne. 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. Le recrutement de professeurs et de postdoctorants s'est poursuivi au rythme prévu – la COVID-19 n'a pas empêché des chercheurs talentueux de choisir l'Institut Périmètre. Les dépenses de recherche ont augmenté de 4 % par rapport à 2020-2021, mais sont demeurées légèrement inférieures à ce qu'elles étaient avant la pandémie. Cela a été dû, en partie, aux restrictions sur les séjours de recherche et conférences en personne dans la première moitié de l'année; il y a eu moins de visites de la part de chercheurs canadiens et étrangers que dans une année typique.

### FORMATION À LA RECHERCHE

L'Institut Périmètre a continué d'investir dans des programmes innovateurs de formation à la recherche tels que le programme de maîtrise PSI, le programme de doctorat et le programme renouvelé de 1<sup>er</sup> cycle PSI Start. 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. Même si les programmes de formation en ligne de l'Institut ont connu du succès pendant toute la pandémie, rien ne remplace une expérience de formation en personne. Les dépenses à ce chapitre ont augmenté d'environ 30 % par rapport à l'année précédente, avec le retour d'étudiants sur le campus, où des protocoles sanitaires complets étaient en place, et les coûts correspondants de déplacement, de logement et de repas. L'Institut Périmètre continue d'allouer des ressources de formation de manière stratégique, dans des efforts concertés pour assurer à chaque étudiant une arrivée couronnée de succès, y compris l'aide à l'obtention de visas et les mesures liées à la COVID-19 pour les étudiants étrangers.



## DIFFUSION DES CONNAISSANCES ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Le programme de classe mondiale de diffusion des connaissances de l'Institut Périètre a continué de s'appuyer sur le succès du passage à des ressources numériques au cours des 2 années précédentes, mettant à profit ce qui a été appris dans l'environnement numérique. L'équipe de diffusion des connaissances a continué d'offrir aux enseignants du matériel prêt à utiliser en classe et conforme aux programmes d'enseignement, ainsi que des ateliers en ligne et en personne de perfectionnement professionnel. *EinsteinPlus*, fleuron des programmes de perfectionnement professionnel de l'Institut à l'intention des enseignants, a été offert en personne à des enseignants canadiens et étrangers. D'autres programmes ont continué d'être proposés à des enseignants, à des élèves et au grand public, dans les plus grandes villes comme dans des collectivités isolées et mal desservies, contribuant à préparer des jeunes à des carrières en STGM et à communiquer au public la valeur de la recherche scientifique. Une nouvelle série de balados, *Conversations at the Perimeter* (Conversations à l'Institut Périètre), a touché de nouveaux publics. Les dépenses totales à ce chapitre ont été sensiblement les mêmes en 2021-2022 que

l'année précédente, mais avec une répartition différente entre les divers programmes.

## 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. L'Institut Périètre continue d'investir dans la technologie, car les environnements hybrides et en ligne font partie de l'avenir, et permettent d'élargir les publics et d'accroître l'accessibilité pour un plus grand nombre de personnes. En plus des coûts d'entretien du bâtiment, et ceux liés à la santé et sécurité au travail, l'Institut a assumé certains coûts supplémentaires liés aux mesures sanitaires, par exemple des tests rapides. L'Institut Périètre a continué d'investir 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.

## PRODUITS

L'Institut Périètre 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 Périètre en vaut la peine et qu'il rapporte beaucoup à ses partenaires publics.

Pour compléter les investissements publics, l'Institut Périètre est parvenu à obtenir un appui généreux du secteur privé, qu'il s'agisse d'entreprises, de fondations ou de donateurs individuels. L'Institut a réussi à augmenter les produits venant de sa campagne de collecte de fonds auprès du secteur privé et des subventions de fondations privées, qui ont apporté environ 5,4 millions de dollars à l'appui du fonctionnement de l'Institut.

## SITUATION FINANCIÈRE

La situation financière de l'Institut Périètre demeure solide et résiliente. 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.

Malgré des rendements importants au cours des 6 premiers mois de l'exercice, la baisse des marchés dans la seconde moitié de l'année a entraîné un rendement négatif d'environ 3,5 %. Le comité de gestion des placements et ses mécanismes de gouvernance visent un niveau de risque qui donne des rendements stables et prévisibles. Des variations dans le temps sont néanmoins inévitables, et la situation financière solide de l'Institut Périètre lui permet de les supporter, tout en lui donnant 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 recherche théorique et de développement technologique.

## PLAN À LONG TERME

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

Le 31 juillet 2022, l'Institut Périètre a terminé la dernière année d'ententes de financement, chacune de 50 millions de dollars sur 5 ans, avec les gouvernements fédéral et provincial, qui lui ont procuré un financement total de 100 millions de dollars. Les engagements des gouvernements sur plusieurs années dont l'Institut Périètre bénéficie depuis sa fondation témoignent d'une étroite collaboration de l'Institut avec ses partenaires publics et montrent que l'Institut Périètre constitue un excellent investissement stratégique pour les gouvernements. Le gouvernement de l'Ontario s'est engagé à verser des subventions totalisant 24 millions de dollars de 2022 à 2024; le gouvernement du Canada s'est engagé à verser pour la même période des subventions totalisant 20 millions de dollars tout en invitant l'Institut à faire une demande pour la période de 2024 à 2029 dans le cadre du Fonds stratégique des sciences.

En plus de l'appui du secteur public, le financement privé joue un rôle crucial dans le succès à long terme de l'Institut Périètre, et l'Institut a fixé des objectifs ambitieux de collecte de fonds. Le financement gouvernemental est vital pour la capacité de l'Institut à attirer un soutien philanthropique. Les donateurs voient dans la confiance accordée par le secteur public, et la surveillance qu'il exerce, une preuve de la valeur de leurs investissements. 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 stabilité financière à long terme de l'Institut Périètre, 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 2022, 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 2022.

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 15 décembre 2022, 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 15 décembre 2022



Comptables professionnels agréés  
Experts-comptables autorisés



## INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé de la situation financière  
(en milliers de dollars)  
au 31 juillet 2022

	2022	2021
<b>ACTIF</b>		
Actif à court terme :		
Trésorerie et équivalents	41 943 \$	7 470 \$
Placements	343 011	391 593
Subventions à recevoir	14	17
Autre actif à court terme	1 184	962
	<u>386 152</u>	<u>400 042</u>
Immobilisations	36 521	37 825
<b>TOTAL DE L'ACTIF</b>	<u>422 673 \$</u>	<u>437 867 \$</u>
<b>PASSIF ET SOLDE DES FONDS</b>		
Passif à court terme :		
Comptes créditeurs et autre passif à court terme	<u>2 354 \$</u>	<u>2 290 \$</u>
<b>TOTAL DU PASSIF</b>	<u>2 354</u>	<u>2 290</u>
Solde des fonds :		
Investis dans les immobilisations	36 497	37 639
Grevés d'affectations d'origine externe	12 638	8 810
Grevés d'affectations d'origine interne	370 204	388 506
Non grevés	<u>980</u>	<u>622</u>
<b>SOLDE TOTAL DES FONDS</b>	<u>420 319</u>	<u>435 577</u>
	<u>422 673 \$</u>	<u>437 867 \$</u>

## INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé des résultats et du solde des fonds  
(en milliers de dollars)  
pour l'exercice terminé le 31 juillet 2022

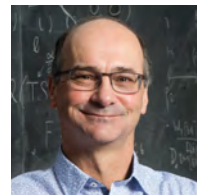
	<b>2022</b>	<b>2021</b>
<b>Produits</b>		
Subventions gouvernementales	24 000 \$	15 085 \$
Subventions de recherche	1 232	848
Dons	4 225	3 923
	<u>29 457</u>	<u>19 856</u>
<b>Charges</b>		
Recherche	14 918	14 282
Formation à la recherche	2 195	1 693
Diffusion des connaissances et communications scientifiques	2 805	2 931
Charges indirectes de recherche et de fonctionnement	8 637	8 198
	<u>28 555</u>	<u>27 104</u>
Excédent des produits par rapport aux charges de fonctionnement (des charges par rapport aux produits), avant amortissement et produits ou pertes de placement	902	(7 248)
Amortissement	(2 287)	(2 316)
Produits (pertes) de placement	<u>(13 873)</u>	<u>47 130</u>
Excédent des produits par rapport aux charges (des charges par rapport aux produits)	(15 258)	37 566
Solde des fonds au début de l'exercice	435 577	398 011
Solde des fonds à la fin de l'exercice	<u>420 319 \$</u>	<u>435 577 \$</u>



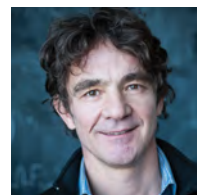
# ANNEXES

## PROFESSEURS-CHERCHEURS

**Robert Myers** (Ph.D., Université de Princeton, 1986) est directeur de l'Institut Péricimètre 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 Péricimètre, 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, dont la théorie quantique des champs, la physique de la gravitation, les trous noirs et la cosmologie. 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); 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 5 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.



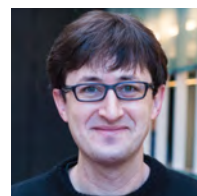
**Laurent Freidel** (Ph.D., École normale supérieure de Lyon, 1994) s'est joint à l'Institut Péricimètre en 2002 à titre de chercheur invité, puis est devenu professeur à l'Institut en 2006. Il a été nommé président du corps professoral de l'Institut en 2021. C'est un physicien mathématicien qui a fait de nombreuses contributions dignes de mention en gravitation quantique, notamment en introduisant la notion de symétrie de coin pour résoudre l'intrication et en élaborant des modèles de mousses de spin. Il a de plus introduit dans ce domaine plusieurs nouveaux concepts, comme ceux d'holographie locale, 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 Péricimètre, 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 Péricimètre 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 et développé (avec Neil Turok) un nouveau modèle cosmologique, dans lequel le Big Bang est une sorte de miroir, et l'univers avant le Big Bang est l'image miroir de l'univers après le Big Bang selon la symétrie CPT (charge, parité, temps). Cette conception donne de nouvelles explications solides d'un certain nombre de caractéristiques observées



de notre univers : son caractère homogène, isotrope et plat; la flèche du temps; la matière sombre; plusieurs propriétés des perturbations de l'univers primitif; un indice des raisons pour lesquelles la constante cosmologique est si mystérieusement petite. 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*. Avec Kendrick Smith, il a introduit la notion de « cristaux chorégraphiques », nouveaux types de cristaux dont les éléments constitutifs exécutent une chorégraphie pouvant avoir une symétrie beaucoup plus riche que ce que révèle tout instantané de ces cristaux. Avec Paul Steinhardt, il a découvert tous les « pavages de type Penrose » (cousins des fameux pavages de Penrose) dans toutes les dimensions. Avec Madeline Dickens et Felix Flicker, il a découvert que les tessellations régulières d'un espace hyperbolique (qui jouent un rôle central dans le domaine émergent de l'« holographie discrète ») produisent des pavages quasipériodiques (semblables aux pavages de Penrose) aux limites de l'espace hyperbolique et a souligné l'importance de ces tessellations pour l'holographie discrète.



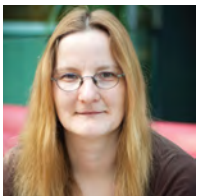
**Freddy Cachazo** (Ph.D., Université Harvard, 2002) est titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Onex-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Périclète, où il est professeur depuis 2005. M. Cachazo est l'un des plus grands experts mondiaux de l'étude et du calcul des amplitudes de diffusion dans 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 Périclète 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. En 2022, il a reçu le prix John-L.-Synge de la Société royale du Canada pour ses recherches remarquables en sciences mathématiques.



**Neal Dalal** (Ph.D., Université de la Californie à San Diego, 2002) s'est joint à l'Institut Périclète 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 Périclète 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 Périclète 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).



**Dominic Else** (Ph.D., Université de la Californie à Santa Barbara, 2018) s'est joint à l'Institut Périclète en 2022, où il collabore avec des scientifiques du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique. Il a récemment complété un séjour de recherche à l'Université Harvard. En 2021, M. Else a remporté un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) de la Fondation *Breakthrough Prize* (Prix du progrès scientifique) pour ses « travaux théoriques innovateurs formulant de nouveaux états de non-équilibre de la matière quantique, notamment les cristaux temporels ».



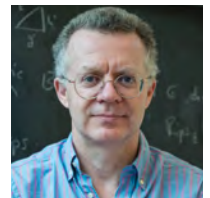
**Davide Gaiotto** (Ph.D., Université de Princeton, 2004) est titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique de l'Institut Périclète, où il est professeur depuis 2012. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université Harvard (2004-2007), puis membre à long terme de l'Institut 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). Il est également l'un des chercheurs principaux du projet de la fondation Simons sur le confinement et les chaînes de CDQ.



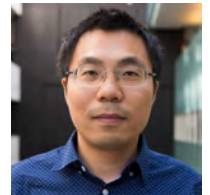
**Jaume Gomis** (Ph.D., Université Rutgers, 1999) est devenu professeur à l'Institut Périclète en 2004, renonçant du même coup à une bourse de jeune chercheur européen qui lui avait été attribuée par la Fondation européenne de la science. Auparavant, il a travaillé à l'Institut de technologie de la Californie 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.



**Lucien Hardy** (Ph.D., Université de Durham, 1992) est devenu professeur à l'Institut Périclète 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 Périclète en juillet 2018, en provenance de l'Université Harvard, où il a été boursier postdoctoral Moore de 2016 à 2018. 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'à la criticité quantique, à la théorie conforme des champs, aux états topologiques de la matière, à la théorie quantique des champs et aux simulations numériques.



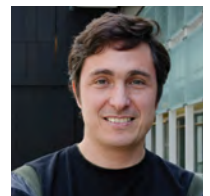
**Timothy Hsieh** (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2015) s'est joint à l'Institut Périclète en mars 2018, en provenance de l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara, où il a été boursier postdoctoral Moore de 2015 à 2018. M. Hsieh est le directeur du Centre Clay-Riddell de recherches de l'Institut Périclète sur la matière quantique. Ses recherches portent principalement sur 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. Timothy Hsieh a obtenu une bourse de nouveau chercheur du ministère des Collèges et Universités de l'Ontario.



**Junwu Huang** (Ph.D., Université Stanford, 2017) s'est joint à l'Institut Périclète comme postdoctorant en 2017 et est devenu membre du corps professoral en 2022. Il conçoit des expériences à petite échelle innovatrices pour rechercher, dans l'univers, des particules légères à couplage faible en tant que matière sombre. Il fait aussi des recherches, fondées sur des observations astrophysiques et cosmologiques, de nouveaux phénomènes physiques liés à la théorie des cordes, y compris des axions, des cordes cosmiques et des vides dans l'univers.



**Luis Lehner** (Ph.D., Université de Pittsburgh, 1998) a d'abord été professeur associé à l'Institut Périclète en 2009, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph, puis est devenu professeur à plein temps à l'Institut Périclète 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.



**Sabrina Gonzalez Pasterski** (Ph.D., Université Harvard, 2019) est une théoricienne des hautes énergies qui est devenue membre du corps professoral de l'Institut Périètre en 2021, après avoir complété un stage postdoctoral au Centre de sciences théoriques de l'Université de Princeton. Avant son arrivée à l'Institut Périètre, elle a découvert des améliorations à la symétrie sans limite de dimensions de la matrice  $S$ , un nouvel effet observable de mémoire dans la gravité, ainsi qu'un cadre permettant de généraliser ces caractéristiques de la physique de l'infrarouge à d'autres théories. À titre de fondatrice et chercheuse principale de la nouvelle initiative de l'Institut Périètre sur l'holographie céleste, elle dirige une équipe de chercheurs dans les domaines de l'amplitude, de la physique mathématique et de la gravitation quantique, dans un effort concerté visant à unifier notre compréhension de l'espace-temps avec la physique quantique en codant notre univers sous forme d'un hologramme.



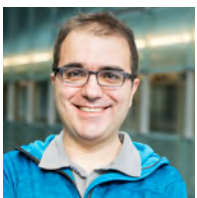
**Kendrick Smith** (Ph.D., Université de Chicago, 2007) est titulaire de la chaire Famille-Daniel-James-Peebles de physique théorique de l'Institut Périètre, où il est professeur depuis 2012. Il dirige également le Centre de recherches de l'Institut Périètre sur l'univers. Auparavant, il a été postdoctorant 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 lentillaire gravitationnel dans le rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique). À titre de membre de l'équipe de chercheurs du télescope CHIME, Kendrick Smith a été colauréat d'un prix du Gouverneur général pour l'Innovation en 2020, du prix Lancelot-Berkeley de la Société américaine d'astronomie en 2021, ainsi que du Prix Brockhouse du Canada du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada en 2022. Il 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 Périètre. 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 participé 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 Périètre 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 quantique* de l'Institut Périètre. 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?).



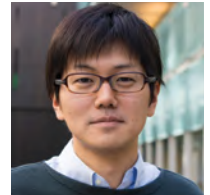
**Pedro Vieira** (Ph.D., École normale supérieure de Paris et Centre de physique théorique de l'Université de Porto, 2008) est titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique à l'Institut Périètre, où il est professeur depuis 2009. Auparavant, il a été chercheur associé à l'Institut 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) 2020 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 a été boursier junior à la Société des boursiers de Harvard de 2015 à 2018. M. Wang travaille sur la théorie de la physique de la matière condensée quantique, notamment les états topologiques de la matière, la criticité quantique, 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 Péricimètre 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.



**Neil Turok**, directeur émérite de l'Institut et titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr, et **Daniel Gottesman** sont en congé.

**Alex May** et **Sisi Zhou** ont été recrutés comme professeurs-chercheurs en 2022, et leur arrivée à l'Institut est prévue en 2023. Voir plus de détails à la page 20.

## PROFESSEURS-CHERCHEURS 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 Péricimètre (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; 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 Péricimètre 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 Péricimètre 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 Péricimètre. 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, et il sonde 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 Péricimètre 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 Périclète 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. Son livre intitulé *Introduction to Effective Field Theory* (Introduction à la théorie effective des champs) lui a valu le prix du meilleur ouvrage de physique et chimie remis par l'Association des éditeurs américains.



**Anton Burkov** (Ph.D., Université de l'Indiana, 2002) s'est joint à l'Institut Périclète 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 innovateurs 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.



**David Gosset** (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2011), nommé conjointement avec l'Institut d'informatique quantique (IQC), est professeur agrégé à l'Université de Waterloo depuis 2018. Auparavant, il a été boursier postdoctoral à l'IQC et à l'Institut de technologie de la Californie, et chercheur au Centre de recherche T.J.-Watson d'IBM. Ses recherches portent sur les algorithmes quantiques et la théorie de la complexité. Entre autres distinctions, M. Gosset a obtenu le prix pour une communication exceptionnelle à la conférence de 2019 sur la théorie du calcul quantique, le prix commémoratif Pat-Goldberg pour le meilleur article en 2016 et 2018, ainsi que la bourse postdoctorale Prix-Sherman-Fairchild à Caltech pour 2015-2016.



**Matthew Johnson** (Ph.D., Université de la Californie à Santa Cruz, 2007) est devenu professeur associé à l'Institut Périclète 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 Périclète. 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 Périclète. 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.



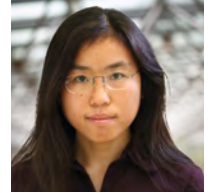
**Raymond Laflamme** (Ph.D., Université de Cambridge, 1988) est professeur associé dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, dont il a été le directeur général de 2002 à 2017. Il est également titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-John-von-Neumann 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 Péricimètre 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 Péricimètre 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 Péricimètre 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 dirige le Laboratoire d'intelligence quantique de l'Institut Péricimètre et la division quantique de Creative Destruction Lab, et est 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; 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. En 2021, il a reçu la médaille Brockhouse de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et de la Division de la physique de la matière condensée et des matériaux.

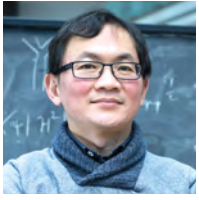


**Michele Mosca** (D.Phil., Université d'Oxford, 1999), nommé conjointement avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC), est membre fondateur de l'Institut Péricimètre, ainsi que cofondateur de l'IQC. Il est aussi professeur au Département de combinatoire et optimisation 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'evolutionQ inc., qui aide les organismes à adopter des systèmes et des pratiques à l'épreuve des attaques quantiques, ainsi que 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 Péricimètre 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 a 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 Péricimètre (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. En 2022, elle a obtenu une chaire de recherche de l'Université de Waterloo.





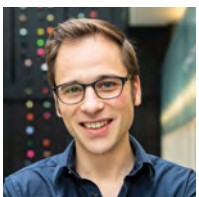
**Ue-Li Pen** (Ph.D., Université de Princeton, 1995) s'est joint à l'Institut Périclète en 2014, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto, où il est professeur depuis 1998. Il est également directeur de l'Institut d'astronomie 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. Il a été reconnu comme l'un des scientifiques les plus influents au monde, figurant plusieurs fois dans la liste dressée par Clarivate Analytics des chercheurs abondamment cités.



**Sergueï 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, Sergueï 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 Périmètre 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.



## PROFESSEURE CHARGÉE DE LA VULGARISATION SCIENTIFIQUE

**Katherine (Katie) Mack** (Ph.D., Université de Princeton, 2009) s'est jointe à l'Institut Périmètre en 2022 pour devenir la première titulaire de la chaire Hawking de cosmologie et de communication scientifique. Elle était auparavant professeure adjointe à l'Université d'État de Caroline du Nord, après avoir été postdoctorante à l'Institut Kavli de cosmologie de l'Université de Cambridge et à l'Université de Melbourne. Ses principaux domaines de recherche sont la cosmologie théorique, la physique des astroparticules, la théorie de l'univers primitif et la formation des galaxies. M<sup>me</sup> Mack s'intéresse particulièrement à la physique et à l'astrophysique de la matière sombre, et à la façon dont on pourrait trouver des indices sur la nature fondamentale de la matière sombre en examinant ses répercussions sur la formation et l'évolution des structures cosmiques les plus anciennes. Elle a été nommée boursière du programme des chercheurs mondiaux Azrieli de l'ICRA en 2022 et boursière TED en 2020.



## CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

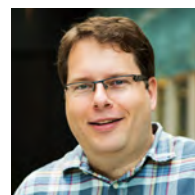
**Maïté Dupuis** (Ph.D., École normale supérieure de Lyon, 2010) est directrice des programmes d'enseignement et de recherche à l'Institut Périmètre, de même que professeure agrégée auxiliaire au Département de mathématiques appliquées ainsi qu'au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Elle a été postdoctorante à l'Institut de gravitation quantique de l'Université Friedrich-Alexander d'Erlangen-Nuremberg, en Allemagne. M<sup>me</sup> Dupuis a obtenu en 2013 une bourse postdoctorale Banting au Département de mathématiques appliquées de l'Université de Waterloo. En 2017, elle s'est jointe au Département des programmes d'enseignement de l'Institut Périmètre comme enseignante, superviseuse et mentore. Elle a été nommée directrice adjointe des programmes d'enseignement en 2020. Elle est cofondatrice du Tremplin vers l'inclusion à l'IP, dont elle est vice-présidente depuis sa mise sur pied en 2018.



**Lauren Hayward** (Ph.D., Université de Waterloo, 2017) est chargée d'enseignement à l'Institut Périmètre, de même que professeure adjointe auxiliaire au Département de physique et d'astronomie de l'Université de Waterloo. Elle travaille dans le domaine de la physique informatique et de la matière quantique, et ses recherches portent sur l'utilisation de méthodes numériques pour étudier des phénomènes tels que les transitions d'état et l'intrication quantique. De plus, M<sup>me</sup> Hayward élabore des programmes d'enseignement et donne des cours en mécanique statistique, théorie de la matière condensée et apprentissage automatique. Elle est coanimatrice de la série de balados *Conversations at the Perimeter* (Conversations à l'Institut Périmètre), où elle mène des entrevues avec des physiciens théoriciens de premier plan sur les manières d'éclaircir les mystères de l'univers.



**David Kubiznak** (Ph.D., Université de l'Alberta, 2008) s'est joint à l'Institut Périmètre en 2011, en provenance du Département de mathématiques appliquées et de physique théorique de l'Université de Cambridge, où il était boursier postdoctoral Herchel-Smith depuis 2008. À titre de chargé d'enseignement, il participe au développement du programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre), dans lequel il donne aussi des cours, et supervise depuis des années de nombreux étudiants. Ses recherches portent sur les trous noirs et leurs propriétés mathématiques. M. Kubiznak est l'un des fondateurs d'une nouvelle sous-discipline de la thermodynamique des trous noirs, appelée *chimie des trous noirs*. Il a reçu la médaille d'or du Gouverneur général à l'Université de l'Alberta et le prix Milan-Odehnal de la Société tchèque de physique.



## 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

### **Patricia Butler**

Directrice des ressources humaines et de la culture

### **Ben Davies**

Directeur de la technologie de l'information

### **Maïté Dupuis**

Directrice des programmes d'enseignement et de recherche

### **James Forrest**

Directeur des partenariats universitaires

### **Colin Hunter**

Directeur des communications

### **John Matlock**

Directeur des relations extérieures et des affaires publiques

### **Sue Scanlan**

Directrice financière

### **Natasha Waxman**

Directrice des publications, des subventions et des distinctions

## CHARGÉS DE RECHERCHE

Estelle Inack

Pooya Ronagh

Elie Wolfe

## POSTDOCTORANTS EN 2021-2022 (institution d'obtention du doctorat)

Aida Ahmadzadegan (Université de Waterloo)

Philippe Allard Guérin (Université de Vienne)

Ali Assem Abdelkader Mahmoud, boursier des instituts Fields, AIMS et Périmètre (Université de Waterloo)

Roland Bittleston (Université Cambridge)

Jacob Bridgeman (Université de Sydney)

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

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

Richard Derryberry (Université du Texas à Austin)

William Donnelly (Université du Maryland à College Park)

Daniel Ignacio Egaña-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)

Lena Funcke (Université Ludwig-Maximilian de Munich)

Marios Galanis (Université Stanford)

Thomas Galley (Collège universitaire de Londres)

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

Meng Guo (Université Harvard)

Justin Hilburn, conjointement avec l'Université de Waterloo (Université de l'Oregon)

Matheus Hostert (Université Durham)

Qi Hu (Université de Waterloo)

Junwu Huang (Université Stanford) – maintenant professeur-chercheur à l'Institut Périmètre

Emilie Huffman (Université Duke)

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

Kennedy Obinna Idu, boursier des instituts Fields, AIMS et Périmètre (Université de Pise)

Estelle Inack, boursière Francis-Kofi-Allotey (Centre international de physique théorique) – maintenant chargée de recherche à l'Institut Périmètre

Raghav Govind Jha (Université de Syracuse)

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) (en congé)

Meenu Kumari (Université de Waterloo)

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

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 (Peter) 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)

Jessica Muir (Université du Michigan)

Suvodip Mukherjee, récipiendaire d'une bourse-relais Simons  
(Centre interuniversitaire d'astronomie et de physique)

Dominik Neuenfeld (Université de la Colombie-Britannique)

Enrico Olivucci (Université de Hambourg)

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

Olga Papadoulaki, récipiendaire d'une bourse-relais Simons  
(Université d'Utrecht)

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)

Geoffrey Ryan (Université de New York)

Giulio Salvatori (Université de Milan)

Susanne Schander (Université d'Erlangen-Nuremberg)

Marc Schiffer (Université de Heidelberg)

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

Ashish Shukla (Institut Tata de recherche fondamentale)

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 Tolmachov (Institut de technologie du Massachusetts)

Maxime Trépanier (Collège royal de Londres)

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

Jonathan Wang (Université de Chicago)

Zachary Weller-Davies (Collège universitaire de Londres)

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

Yong Zhang (Académie chinoise des sciences)

Lijun Zou, boursier John-Bardeen (Université Harvard)

Celine Zwickel, boursière Jocelyn-Joyce-Burnell  
(Université libre de Bruxelles)

## TITULAIRES DE CHAIRE DE CHERCHEUR INVITÉ DISTINGUÉ

Scott Aaronson, Université du Texas à Austin	Hiranya Peiris, Collège universitaire de Londres
Mina Aganagic, Université de la Californie à Berkeley	Sandu Popescu, Université de Bristol
Yakir Aharonov, Université Chapman	Maxim Pospelov, Université du Minnesota
Abhay Ashtekar, Université d'État de Pennsylvanie	Frans Pretorius, Université de Princeton
Leon Balents, Institut Kavli de physique théorique	Fernando Quevedo, Université de Cambridge
Ganapathy Baskaran, Institut de mathématiques de Chennai	Carlo Rovelli, Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille
Edo Berger, Université Harvard	Subir Sachdev, Université Harvard
Patrick Brady, Université du Wisconsin à Milwaukee	Nathan Seiberg, Institut d'études avancées de Princeton
Caslav Brukner, Centre de science et technologie quantiques de Vienne	Yan Soibelman, Université d'État du Kansas
John Cardy, Université de la Californie à Berkeley	Paul Steinhardt, Université de Princeton
Glennys Farrar, Université de New York	Andrew Strominger, Université Harvard
Matthew Fisher, Institut Kavli de physique théorique	Raman Sundrum, Université du Maryland
Dan Freed, Université du Texas à Austin	Barbara Terhal, Université de technologie de Delft – QuTech
Katherine Freese, Université du Texas à Austin	Dam Thanh Son, Université de Chicago
Gian Francesco Giudice, Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN)	Senthil Todadri, Institut de technologie du Massachusetts
Gabriela González, Université d'État de Louisiane	Bill Unruh, Université de la Colombie-Britannique
Ted Jacobson, Université du Maryland	Guifre Vidal, X – The Moonshot Factory
David B. Kaplan, Université de l'État de Washington	Mark Wise, Institut de technologie de la Californie
Adrian Kent, Université de Cambridge	Alexander Zamolodchikov, Université d'État de New York à Stony Brook
Juna Kollmeier, Institut canadien d'astrophysique théorique	
Renate Loll, Université Radboud de Nimègue	
John March-Russell, Université d'Oxford	

## CORPS ENSEIGNANT DU PROGRAMME PSI EN 2021-2022

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

Maïté Dupuis, chargée d'enseignement, directrice des programmes d'enseignement et de recherche

James Forrest, directeur des programmes d'enseignement

Dan Wohns, directeur adjoint des programmes d'enseignement

### Chargés de cours dans le programme PSI

Lauren Hayward, chargée d'enseignement

David Kubiznak, chargé d'enseignement

Gang Xu

### Assistants dans le programme PSI

Philippe Allard Guérin

Ghazal Geshnizjani

Meenu Kumari

Aldo Riello

Giuseppe Sellaroli

Aaron Szasz

## DOCTORANTS EN 2021-2022 (université partenaire)

Jacob Abajian (Université de Waterloo)	Anna Golubeva (Université de Waterloo)	Tales Rick Perche (Université de Waterloo)
Aman Agarwal (Université de Guelph)	Tomáš Gonda (Université de Waterloo)	Matthew Robbins (Université de Waterloo)
Leonardo Almeida Lessa (Université de Waterloo)	Finnian Gray (Université de Waterloo)	Alexander Roman (Université de Waterloo)
Alvaro Ballon Bordo (Université de Waterloo)	Juan Hernandez (Université de Waterloo)	Shan-Ming Ruan (Université de Waterloo)
Jacob Barnett (Université de Waterloo)	Alexandre Homrich (Université de Waterloo)	Nitica Sakharwade (Université de Waterloo)
Yilber Bautista Chivata (Université York)	Puttarak Jai-akson (Université de Waterloo)	Shengqi Sang (Université de Waterloo)
Sara Bogojevic (Université McMaster)	Ding Jia (Université de Waterloo)	Krishan Saraswat (Université de Waterloo)
Francisco Borges (Université McMaster)	Athanasios Kogios (Université de Waterloo)	David Schmid (Université de Waterloo)
Johanna Borissova (Université de Waterloo)	Justin Kulp (Université de Waterloo)	Nils Peter Siemonsen (Université de Waterloo)
Kasia Budzik (Université de Waterloo)	Kohdai Kuroiwa (Université de Waterloo)	Barbara Soda (Université de Waterloo)
Dylan Butson (Université de Toronto)	Ji Hoon Lee (Université de Waterloo)	Aiden Suter (Université de Waterloo)
Juan Cayuso (Université de Waterloo)	Shuwei Liu (Université de Waterloo)	Paul Tiede (Université de Waterloo)
Ramiro Cayuso (Université de Waterloo)	Raez Lorgat (Université de Toronto)	Jingxiang Wu (Université de Waterloo)
Hong Zhe Chen (Université de Waterloo)	Ruochen Ma (Université de Waterloo)	Yigit Yargic (Université de Waterloo)
Yushao Chen (Université de Waterloo)	Marina Maciel Ansanelli (Université de Waterloo)	Weicheng Ye (Université de Waterloo)
Wan Cong (Université de Waterloo)	Amalia Madden (Université de Waterloo)	Jinmin Yi (Université de Waterloo)
Maxence Corman (Université de Waterloo)	Tailte May (Université de Waterloo)	Yilè Ying (Université de Waterloo)
Nicolas Cresto (Université de Waterloo)	Fiona McCarthy (Université de Waterloo)	Matthew Yu (Université de Waterloo)
Conner Dailey (Université de Waterloo)	Soham Mukherjee (Université de Waterloo)	Keyou Zeng (Université de Toronto)
Diego Delmastro (Université de Waterloo)	Michael Müller (Université de Guelph)	Keke Zhang (Université de Waterloo)
Bruno de Souza Leao Torres (Université de Waterloo)	Harish Murali (Université de Waterloo)	Yehao Zhou (Université de Waterloo)
Guillaume Dideron (Université de Waterloo)	José de Jesús Padua Argüelles (Université de Waterloo)	
Matthew Duschenes (Université de Waterloo)	Qiaoyin Pan (Université de Waterloo)	
Thomas Fraser (Université de Waterloo)	Dalila Pirvu (Université de Waterloo)	
Bruno Gimenez Umbert (Université Western)	Masoud Rafiei-Ravandi (Université de Waterloo)	
Lei Gioia Yang (Université de Waterloo)	Surya Raghavendran (Université de Toronto)	
Utkarsh Giri (Université de Waterloo)		

## ÉTUDIANTS DANS LE PROGRAMME PSI EN 2021-2022 (pays de citoyenneté)

Cynthia Arias Pruna (Équateur)	Matthew Fox (États-Unis)	Jordan Krywonos (Canada)
Anna Brandenberger (Canada)	Gabriel Golfetti (Brésil)	Sotirios Mygdalas (Grèce)
Mathew Bub (Canada)	Sofia Gonzalez Garcia (Espagne)	Amirreza Negari (Iran)
Danaan Cordoni-Jordan (Canada)	Javiera Hernández Morales (Chili)	Jaime Redondo Yuste (Espagne)
Charlie Cummings (États-Unis)	Astha Jain (Inde)	Shawn Skelton (Canada)
Caroline de Lima Vargas Simoes (Brésil)	Eivind Jørstad (Norvège)	Manu Srivastava (Inde)
Marcelo Ferreira dos Santos (Brésil)	Anna Knörr (Allemagne)	Zheng Zhou (Chine)



## CONFÉRENCES ET ATELIERS EN 2021-2022

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

Les 28 et 29 octobre 2021

**Gravitational Waves Beyond the Boxes II** (Du nouveau à propos des ondes gravitationnelles II)

Du 4 au 8 avril 2022

**Quantum Criticality: Gauge Fields and Matter** (Criticité quantique : champs de jauge et matière)

Du 16 au 20 mai 2022

**Global Categorical Symmetries** (Symétries génériques)

Du 6 au 17 juin 2022

**QFT for Mathematicians 2022** (TQC pour mathématiciens 2022)

(une semaine en personne, une semaine en ligne)

Du 20 au 30 juin 2022

**CATMIN** (*Cold Atom Molecule Interactions* – Interactions entre atomes et molécules froids)

Les 14 et 15 juillet 2022

## PARRAINAGES EN 2021-2022

L'Institut Périamètre a parrainé les conférences et ateliers suivants organisés ailleurs qu'à l'Institut, et qui ont eu lieu en personne ou en ligne.

**Institut d'hiver du lac Louise 2022**

Organisé par l'Université de l'Alberta

Du 20 au 25 février 2022, à Lac Louise (Alberta)

**Cosmological Frontiers 2022** (Frontières cosmologiques 2022)

Organisée par l'Institut Solvay

Du 26 au 28 avril 2022, à Bruxelles, Belgique

**Rencontre de l'Atlantique sur la relativité générale 2022**

Organisée par l'Université Memorial

Du 16 au 19 mai 2022, en ligne

**Assemblée générale annuelle de la Société canadienne d'astronomie (CASCA)**

Organisée par l'Université de Waterloo

Du 16 au 20 mai 2022, en ligne

**Congrès de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (ACP)**

Organisé par l'ACP

Du 5 au 10 juin 2022, à Hamilton (Ontario)

**Quantum Information Structure of Spacetime** (Structure d'information quantique de l'espace-temps)

Organisée par l'Université Western

Du 6 au 10 juin 2022, à London (Ontario)

**École d'été tripartite sur les particules élémentaires (TRISEP) 2022**

Organisée par TRIUMF

Du 4 au 15 juillet 2022, à Vancouver (Colombie-Britannique)

Photos

Adobe Stock : p. 6, 11, 14, 15 | Mathew McCarthy : p. 3, 6 | istockphoto : p. 41 | Gabriela Secara : couverture et p. 4-14, 16-18, 19-22, 24-26, 28-32, 34, 36-37, 42-43, 49-57

# 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

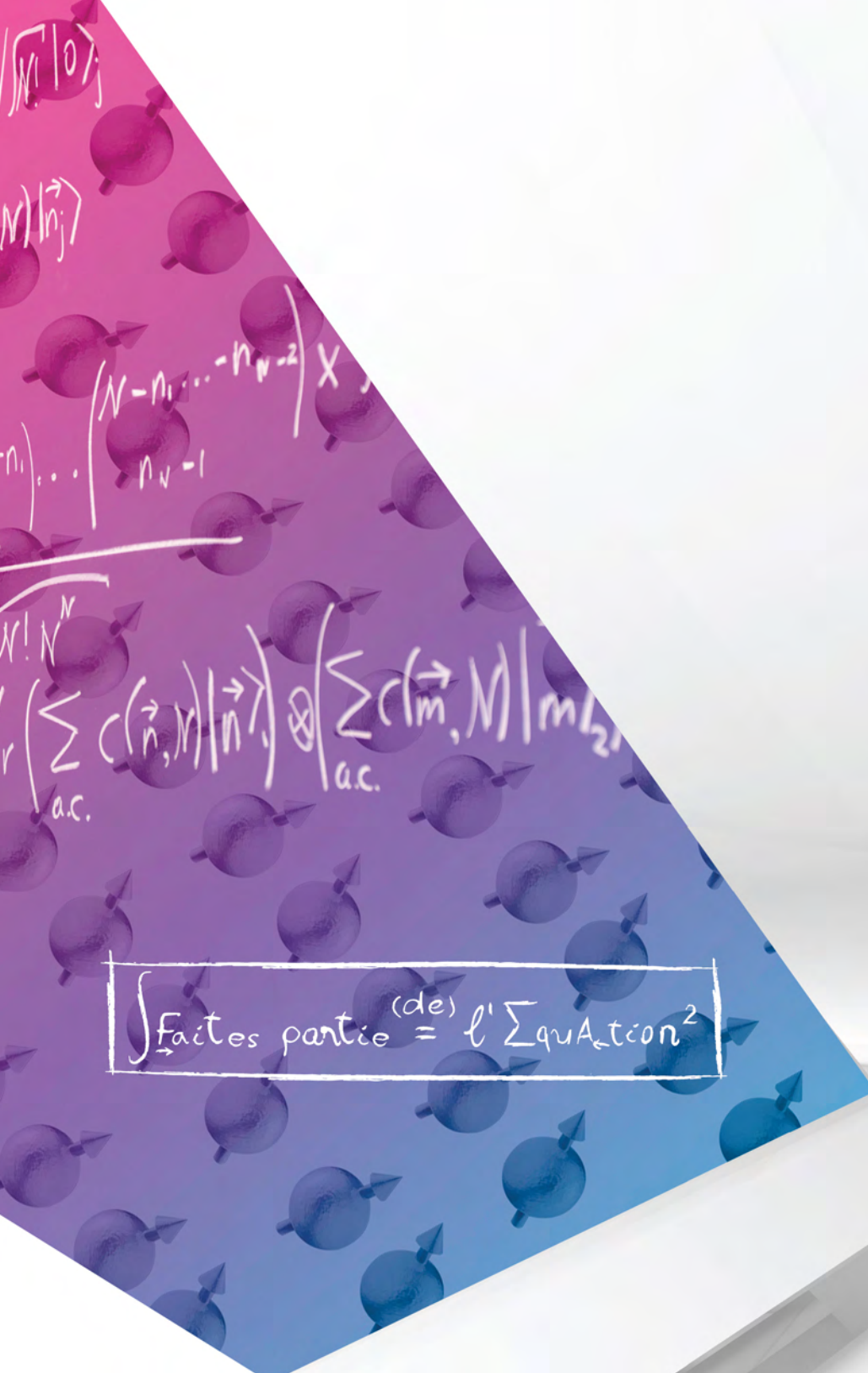
ET

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

La liste des donateurs de l'Institut Péri-mètre est accessible à l'adresse

[www.perimeterinstitute.ca/fr/funding](http://www.perimeterinstitute.ca/fr/funding)

Voir aussi les pages 40 et 41 du présent document.



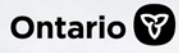
Faites partie (de) l'Equation<sup>2</sup>



INSTITUT



PÉRIMÈTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE



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