

ENTREZ DANS LE PÉRIMÈTRE

SURVOL DE L'ANNÉE 2020-2021

INSTITUT **PI** PÉRIMÈTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE

$\langle \text{out} | S | \text{in} \rangle$
 $\sum_{n=1}^k S_n^{(0)} + O(\omega^2)$
gravity $\frac{(p_n \varepsilon^\pm)^2}{p_n \cdot q}$
symmetry!



La **mission** de l'Institut Péricimètre consiste à réunir les meilleurs scientifiques au monde pour qu'ils s'attaquent aux problèmes les plus difficiles de la physique fondamentale. Nous formons de nouvelles générations de physiciens talentueux. Nous stimulons les gens par la diffusion de connaissances. Et nous développons des partenariats publics et privés pour que tout cela soit possible.

La **vision** de l'Institut Péricimètre est de 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.



« L'Institut Péricimètre constitue un investissement à long terme dont les rendements vont croître de manière exponentielle. Les travaux effectués ici donneront de profonds résultats – non seulement pour l'avenir de la technologie, mais aussi pour celui du Canada et de toute l'humanité. »

Michael Serbinis,
président du conseil d'administration

Note du traducteur :

Dans la présente version française de ce survol de l'année 2020-2021, toutes les citations sont traduites de propos tenus à l'origine en anglais par leurs auteurs.

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

L'Institut Péricètre de physique théorique est une institution de recherche qui vise à accroître nos connaissances sur le fonctionnement de l'univers à son niveau le plus fondamental. Son action comporte 3 volets : des recherches sur des questions difficiles allant du quantum au cosmos, afin de réaliser rien moins que des percées scientifiques; des programmes visant à former de véritables scientifiques; la diffusion des merveilles de la physique dans le monde.

Financé en partie par le gouvernement fédéral du Canada et le gouvernement provincial de l'Ontario, et en partie par des dons privés, l'Institut Péricètre n'est pas une université, mais il collabore étroitement avec des universités et d'autres organismes de recherche. Il a pour but d'être un pôle qui fait progresser la physique théorique à l'échelle mondiale.

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

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

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

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





Robert Spekkens et Matthew Fox, étudiant dans le programme PSI

QUELQUES STATISTIQUES SUR LA RECHERCHE

L'Institut Péricimètre a mis sur pied l'une des communautés les plus nombreuses et les plus solides de chercheurs en physique fondamentale.

COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

- 25 professeurs à plein temps
- 21 professeurs associés
- 79 postdoctorants
- 44 titulaires de chaire de chercheur invité distingué
- 52 adjoints invités
- 4 nouvelles boursières Simons-Emmy-Noether
- 7 conférences et ateliers auxquels ont participé plus de 1 000 scientifiques de premier plan

RÉSULTATS ET IMPACT

- 8 prix et distinctions en 2020-2021
- 6 784 articles publiés depuis la fondation de l'Institut
- 502 articles publiés en 2020-2021
- 351 264 citations depuis la fondation de l'Institut

« Depuis la mise sur pied de l'Institut Péricimètre il y a 20 ans, nos chercheurs ont réalisé une impressionnante série de percées [...] Nous avons beaucoup accompli, mais l'avenir nous réserve encore davantage. Nous sortons plus forts de cette pandémie, encore plus convaincus que notre avenir réside dans la science, et que le meilleur reste à venir. »

Robert Myers,
 directeur de l'Institut Péricimètre,
 titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique de l'Institut

LA RECHERCHE AU-DELÀ DES STATISTIQUES

DE NOUVELLES PERCÉES

2020-2021 a été la première année de fonctionnement du Centre Clay-Riddell de recherches sur la matière quantique, qui se consacre à la réalisation des immenses promesses des matériaux quantiques. Parmi les nombreux résultats obtenus au cours de l'année, le professeur associé Roger Melko a découvert un nouveau type de transition d'état qui pourrait n'exister que dans des ordinateurs quantiques. Le professeur Tim Hsieh a utilisé cette découverte comme nouvel outil d'étude des états dynamiques de la matière quantique.

À l'autre extrémité du spectre qui s'étend du quantum au cosmos, des scientifiques du Centre de recherches de l'Institut Périmètre sur l'univers jouent un rôle moteur dans de nombreux projets et partenariats de pointe. Mentionnons notamment : le radiotélescope CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène), qui éclaire les mystères des sursauts radio rapides; le télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope Horizon des événements), qui perfectionne la première image emblématique d'un trou noir; DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument* – Spectroscopie de l'énergie sombre), qui vise à dévoiler l'histoire cachée de l'énergie sombre. Cette année, des scientifiques de l'Institut Périmètre ont également travaillé avec les principaux centres de recherche sur les ondes gravitationnelles, dans le cadre du consortium scientifique LIGO-VIRGO-Kagra.

D'autres percées réalisées pendant l'année illustrent l'étendue des recherches effectuées à l'Institut Périmètre. Par exemple, la professeure associée Christine Muschik a présenté une nouvelle méthode d'hybridation d'ordinateurs classiques et quantiques, alors que la professeure Bianca Dittrich et le postdoctorant Seth Asante ont révolutionné la simulation de la gravitation quantique à boucles, en mettant au point une nouvelle technique qui permet de faire en quelques minutes avec un ordinateur portable ce qui prenait autrefois des mois avec un superordinateur.

DE NOUVEAUX VISAGES

La stratégie de recrutement de l'Institut Périmètre consiste à trouver de nouvelles étoiles montantes et à les embaucher au début de leurs années les plus productives en recherche. Les recrues de cette année sont : Dominic Else, actuellement à l'Université Harvard, lauréat d'un prix *New Horizons* (Nouveaux horizons) 2022 en physique, qui collaborera prochainement avec des scientifiques du Centre Clay-Riddell de recherches de l'Institut Périmètre sur la matière quantique; Sabrina Gonzalez Pastorski, actuellement à l'Université de Princeton, théoricienne des hautes énergies dont l'initiative sur l'holographie du ciel réunit des chercheurs de premier plan.

Deux nouveaux professeurs associés se sont également joints à l'Institut Périmètre : Anton Burkov, théoricien de la matière quantique et professeur à l'Université de Waterloo; Theo Johnson-Freyd, physicien mathématicien recruté dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Dalhousie.

DE NOUVELLES IDÉES

En 2020-2021, alors que la pandémie continuait d'empêcher la tenue d'activités en personne, l'Institut Périmètre a perfectionné l'art d'organiser des activités scientifiques virtuelles, avec des conférences auxquelles ont participé plus de 1 000 chercheurs. En outre, plus de 10 000 personnes ont pris part à des séminaires et colloques, soit davantage que le nombre prévu. L'Institut a choisi de manière stratégique les sujets abordés, en ciblant des domaines de pointe ayant un potentiel de résultats révolutionnaires. Cette année, il y a eu entre autres des conférences sur la quantification du temps, sur la matière ultraquantique, ainsi que sur les octonions et le modèle standard.





Étudiants de la promotion 2021-2022 du programme PSI

QUELQUES STATISTIQUES SUR LA FORMATION

Les jeunes sont les forces vives de la science, et l'Institut Périmètre cherche à attirer et à développer la prochaine génération d'esprits brillants.

- Plus de 1 000 jeunes scientifiques formés depuis la fondation de l'Institut
- 79 postdoctorants de 23 pays
- 70 doctorants de 29 pays
- 21 étudiants de 13 pays dans le programme de maîtrise PSI
- 50 doctorants et postdoctorants associés

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

Han Ma,
boursière Philip-W.-Anderson

LA FORMATION AU-DELÀ DES STATISTIQUES

DE BRILLANTS ÉTUDIANTS DIPLÔMÉS

La physique n'a pas le monopole des problèmes difficiles non encore résolus, mais les physiciens ont souvent les aptitudes et l'ambition nécessaires pour s'y attaquer. Les programmes d'études supérieures et de bourses postdoctorales de l'Institut Péricètre ont formé jusqu'à maintenant plus de 1 000 personnes douées qui ont ensuite poursuivi des carrières en physique, de même que dans le secteur privé, les soins de santé, la finance, la gouvernance, etc.

Unique en son genre, le programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricètre) est un programme exigeant, axé sur la collaboration, qui couvre l'ensemble de la physique théorique en seulement 10 mois. Les 9 femmes et 12 hommes de la promotion 2021 ont été sélectionnés parmi plus de 900 candidats. Ils ont constitué une extraordinaire communauté virtuelle d'apprentissage et ont complété leur maîtrise sans même venir à l'Institut.

UN MILIEU IDÉAL POUR LES POSTDOCTORANTS

En 2020-2021, l'Institut Péricètre a accueilli (en personne ou virtuellement) 12 nouveaux postdoctorants. Choisis parmi plus de 700 candidats, ces scientifiques en début de carrière se sont joints à l'un des groupes les plus nombreux de postdoctorants en physique théorique au monde.

L'Institut Péricètre considère que les postdoctorants sont souvent au sommet de leur créativité intellectuelle. L'Institut leur offre une liberté scientifique totale et les encourage à poursuivre d'ambitieux programmes de recherche, tout en leur offrant un mentorat et un soutien inégalés.

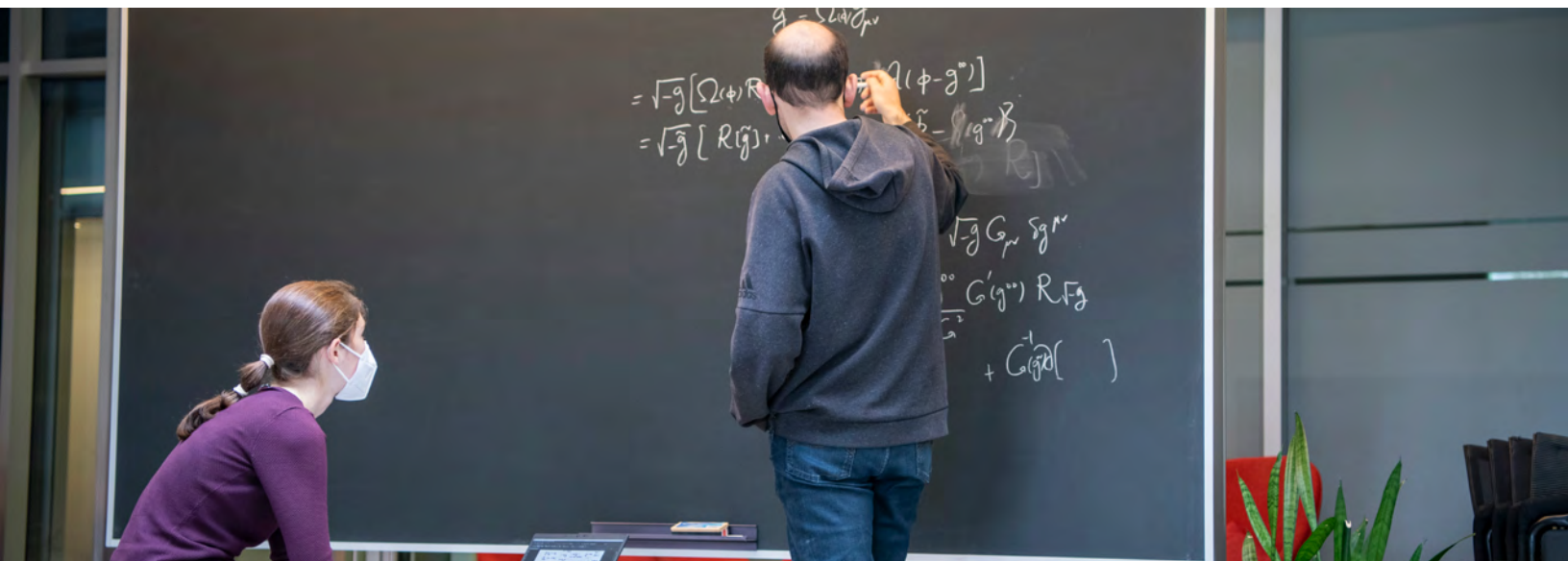
DE NOUVEAUX ENTREPRENEURS

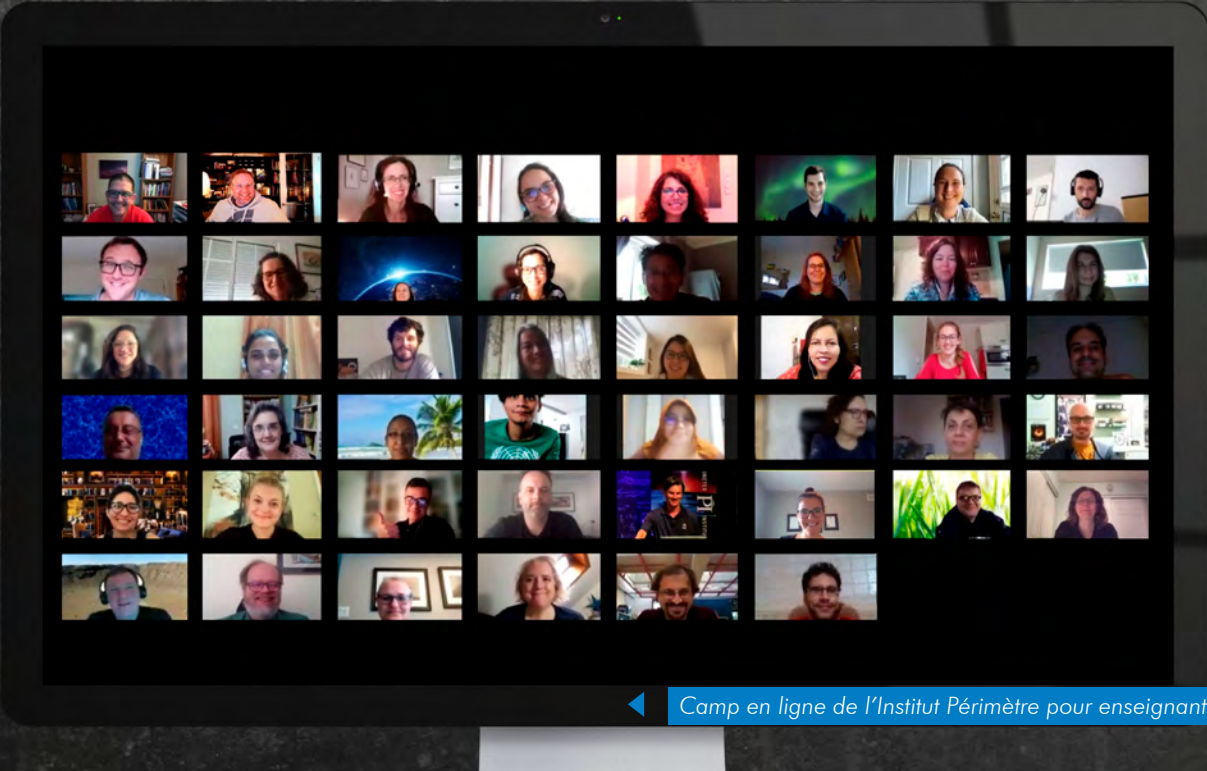
Chercheuse dans le domaine de la matière quantique, Estelle Inack est récipiendaire de la bourse postdoctorale Francis-Kofi-Allotey. Parmi les chercheurs de l'Institut Péricètre, elle est la dernière en date à avoir fondé une entreprise.

L'optimisation consiste à trouver la meilleure parmi de nombreuses solutions possibles pour résoudre un problème complexe. Elle intervient dans la simulation du repliement de protéines pour la recherche pharmaceutique, dans la production d'électricité afin de rendre les réseaux plus verts, ainsi que dans la gestion des chaînes d'approvisionnement en vue d'une efficacité maximale. Les physiciens ont recours à plusieurs techniques connues pour résoudre des problèmes d'optimisation. L'une de ces techniques, dite du « recuit simulé », consiste à traduire un problème général dans le langage de la physique (le même langage utilisé pour décrire le chauffage puis le refroidissement du verre) afin de le résoudre.

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

Cette technique est si puissante et si prometteuse qu'Estelle Inack a entrepris de la commercialiser : elle a cofondé une entreprise du nom de yiyaniQ, qui s'attaquera à des problèmes d'optimisation dans le monde de la haute finance à l'aide de ce nouveau réseau neuronal de recuit simulé.





◀ Camp en ligne de l'Institut PÉRIMÈTRE pour enseignants, 2020

STATISTIQUES SUR NOTRE RAYONNEMENT

Les merveilles de la science méritent d'être communiquées
aux personnes dont elles transforment la vie – c'est-à-dire nous tous.

ÉLÈVES

- 67 millions d'interactions avec des élèves par le truchement de ressources pédagogiques depuis 2006
- 8 millions d'interactions avec des élèves par le truchement de ressources pédagogiques en 2020-2021
- 640 élèves participant à des conférences en 2020-2021
- 285 participants à la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques) en 2021
- 39 élèves exceptionnels du secondaire – 20 du Canada et 19 de l'étranger – qui ont participé à l'École internationale d'été 2021 de l'Institut PÉRIMÈTRE pour jeunes physiciens et physiciennes

SCIENCES POUR LE GRAND PUBLIC

- Conférences publiques qui ont fait l'objet de 130 000 visionnements en 2020-2021
- 6 millions de visionnements dans YouTube en 2020-2021
- 110 000 abonnés au canal YouTube de l'Institut, soit une augmentation de 36 %

ENSEIGNANTS

- 41 000 enseignants formés dans des ateliers de l'Institut PÉRIMÈTRE depuis sa fondation
- 4 700 enseignants formés dans 152 ateliers en 2020-2021
- 46 enseignants au camp de formation en ligne *EinsteinPlus* pour enseignants en 2020-2021
- 125 pays dans lesquels les ressources pédagogiques de l'Institut PÉRIMÈTRE sont utilisées
- 114 trousseaux pédagogiques disponibles pour les enseignants partout au Canada et dans le monde

« Je peux aller dans YouTube et apprendre des choses par moi-même. Mais de travailler avec des élèves de l'étranger et des enseignants a été une expérience extraordinaire. »

Gina Bilic, de Winnipeg,
participante à l'École d'été internationale
pour jeunes physiciens et physiciennes en 2021

LE RAYONNEMENT AU-DELÀ DES STATISTIQUES

FORMATION POUR LES ENSEIGNANTS

L'Institut Péricimètre amène les merveilles de la science moderne dans des classes partout au Canada et dans le monde, en inspirant et en outillant des enseignants.

L'atelier *EinsteinPlus*, une semaine de perfectionnement professionnel pour enseignants, s'est tenu en ligne en 2021. Il a été adapté de manière à inclure les mêmes activités pratiques et les mêmes liens avec des chercheurs que s'il avait eu lieu en personne. De nombreux enseignants ont rapporté que la formation en ligne offerte par l'Institut Péricimètre les a aidés à relever les défis de l'enseignement pendant la pandémie. « La dernière séance est venue trop vite. Je ne voulais pas que ça se termine », a déclaré Hayley McKay, enseignante de sciences à l'école secondaire de Sundre, en Alberta.

Les techniques expérimentées et perfectionnées dans *EinsteinPlus* sont adaptées aux autres ateliers pour enseignants. En 2020-2021, l'Institut Péricimètre a animé 152 ateliers auxquels ont participé plus de 4 700 enseignants.

RESSOURCES PÉDAGOGIQUES POUR LES ÉLÈVES

Utilisées par des millions d'élèves dans des classes partout au Canada et dans 124 autres pays, les troupes pédagogiques multimédias gratuites de l'Institut Péricimètre abordent en profondeur des sujets allant du codage à la matière sombre, en passant par les changements climatiques et les trous noirs. Chaque trousse comprend des plans de cours, des activités pratiques, des démonstrations, un guide pour les enseignants et des vidéos originales produites par l'Institut.

Les nouvelles troupes produites en 2020-2021 comprennent *L'optique, ou l'étude de la lumière* et *Au-delà de l'atome : la physique des particules remodelée*. Toutes les troupes pédagogiques sont disponibles en français et en anglais, et d'autres traductions sont en cours, avec 17 troupes disponibles en portugais et 15 en espagnol.

ÉMERVEILLEMENT POUR TOUS

À une époque où beaucoup recherchent une information scientifique digne de confiance, plus de personnes que jamais se tournent vers l'Institut Péricimètre. Ses conférences publiques et ses autres vidéos ont fait l'objet de plus de 6 millions de visionnements dans YouTube – une augmentation de plus de 200 % par rapport à l'année précédente. Le nombre d'abonnés a bondi de 36 % pour dépasser les 110 000. Le nombre combiné d'abonnés aux comptes Twitter et Facebook de l'Institut a continué d'augmenter pour atteindre les 60 000.

L'Institut Péricimètre continue de faire connaître le pouvoir transformateur de la physique aux gens de tous âges et de tous niveaux de culture scientifique, grâce à un contenu scientifique inspirant allant de jeux et de questionnaires à des articles de fond sur ses plus récentes découvertes.





CHANGER LES VISAGES DE LA PHYSIQUE

L'Institut Péricimètre pose des gestes concrets pour constituer un lieu où des personnes traditionnellement exclues de la physique – en particulier les femmes et les personnes racisées – sont les bienvenues et réalisent leur plein potentiel.

INITIATIVES EMMY-NOETHER

Emmy Noether, génie du XX^e siècle qui a collaboré avec Einstein, est la mathématicienne la plus importante dont vous ayez entendu parler. C'est difficile d'imaginer la physique actuelle sans elle et sans le théorème de Noether. C'est pourquoi les initiatives de l'Institut Péricimètre pour réinventer le rôle des femmes en physique portent son nom. Ces initiatives sont conçues pour inspirer et soutenir les femmes et les filles, et éliminer les obstacles auxquels elles font face, du secondaire aux études supérieures de même qu'au début et au milieu d'une carrière en recherche.

L'une de nos principales initiatives Emmy-Noether est une conférence annuelle intitulée *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques). En 2021, 285 élèves du secondaire ont eu droit à une longue conversation avec 4 femmes accomplies œuvrant dans divers domaines et à différents stades de carrière : une étudiante à la maîtrise en océanographie; une ingénieure en aérospatiale; une biologiste cellulaire; Asimina Arvanitaki professeure à l'Institut Péricimètre et physicienne des particules primée.

Formé de donateurs à l'Institut Péricimètre, le Cercle Emmy-Noether a mis sur pied un fonds pour talents émergents, qui vise à appuyer des femmes à des stades cruciaux de leur formation et de leur carrière, au sein de l'Institut Péricimètre et au-delà. En 2021, les engagements envers le fonds ont atteint près de 1 million de dollars, dépassant largement l'objectif initial de 250 000 \$ et rapprochant l'Institut de la cible de 2,5 millions de dollars.

LIENS AVEC L'ENSEIGNEMENT AUTOCHTONE

En 2020-2021, des membres de l'équipe de diffusion des connaissances de l'Institut Péricimètre ont participé à 3 activités en ligne afin de mieux connaître le milieu de l'éducation autochtone : le rassemblement national pour l'éducation autochtone organisé par Indspire; la table ronde sur les STGM organisée par la Société autochtone canadienne de sciences et de génie; le sommet sur le leadership organisé par la Société autochtone américaine de sciences et de génie. L'équipe souhaite intensifier ses liens en personne avec des représentants des Premières Nations, des Métis et des Inuits, lorsque les directives de la santé publique le permettront.

« J'ai vécu une année extraordinaire. Je réitère ma reconnaissance à ce programme pour avoir rendu tout cela possible! »

Ling-Yan Hung, Université Fudan, Chine, boursière Simons-Emmy-Noether en 2018-2019

CONSTRUIRE L'AVENIR

En tout juste 20 ans, l'Institut Péricètre est passé d'une idée à l'une des meilleures institutions de physique théorique au monde.

L'idée de départ est venue de Mike Lazaridis, inventeur du BlackBerry, qui a lancé l'industrie mondiale du téléphone multifonctionnel. Se rendant compte que son invention révolutionnaire reposait sur des percées réalisées auparavant en physique théorique, il a posé une question à la fois simple et inspirante : d'où viendront les prochaines percées – celles qui transformeront la vie des petits-enfants de nos petits-enfants?

La fondation de l'Institut Péricètre constituait une réponse à cette question : un institut indépendant se consacrant exclusivement à la physique théorique, réunissant des esprits brillants, les libérant des contraintes typiques du milieu universitaire et visant rien moins que de véritables percées scientifiques.

Au cours des deux décennies qui ont suivi la fondation de l'Institut Péricètre, M. Lazaridis a passé des milliers d'heures à investir son énergie et à donner de sages conseils à titre de président du conseil d'administration de l'Institut. Cette année, il s'est retiré pour devenir président émérite fondateur de l'Institut.

Nous accueillons maintenant un nouveau président du conseil en la personne de Mike Serbinis. Tout comme Mike Lazaridis, Mike Serbinis est un entrepreneur en technologie, cofondateur de nombreuses entreprises à succès, dont Kobo, Critical Path, DocSpace et, plus récemment, League.

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

« L'Institut Péricètre a une équipe de classe mondiale. Je suis enthousiasmé et passionné par le travail de ses scientifiques, et je suis honoré d'en faire partie. »

Mike Serbinis,
nouveau président du conseil d'administration de l'Institut Péricètre

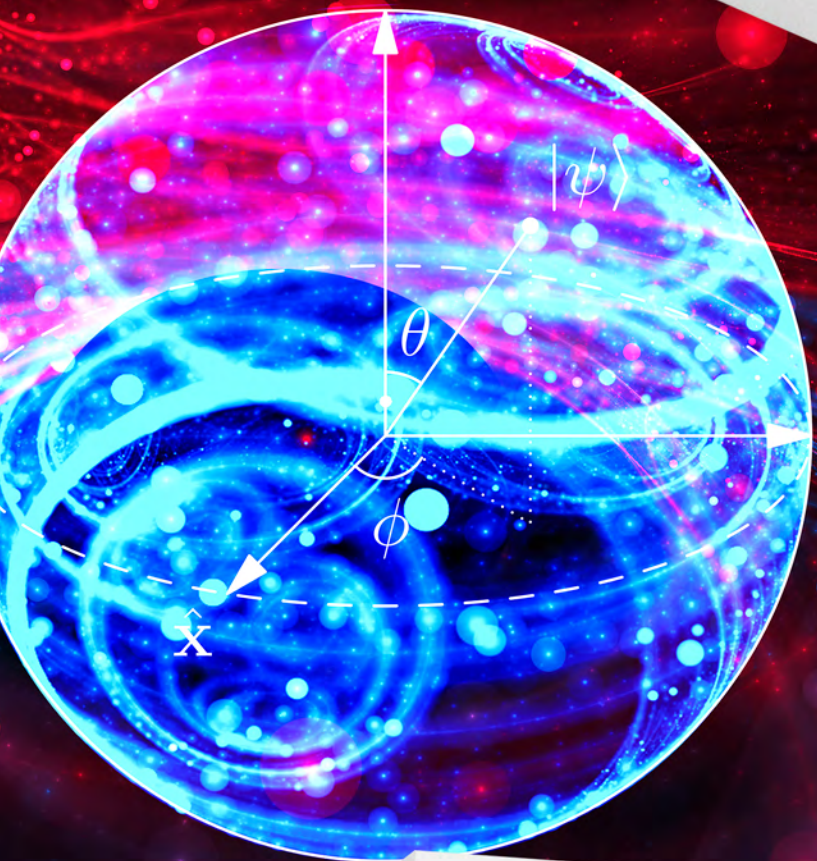
Mike Lazaridis a donné un tiers de sa fortune personnelle pour contribuer à la fondation de l'Institut Péricètre. Les gouvernements fédéral et provincial ont apporté leur soutien, et l'Institut est né. Depuis lors, l'Institut a réuni un vaste cercle de bailleurs de fonds formé de fondations privées, d'entreprises et d'individus.

Le financement public assure à l'Institut Péricètre des bases solides qui lui ont permis de devenir l'un des pôles de physique théorique les plus importants et les plus prestigieux au monde. Le financement privé contribue à l'agilité et à l'esprit d'entreprise de l'Institut, qui peut agir rapidement lorsqu'il détecte de nouvelles possibilités stratégiques.

Nous sommes sincèrement reconnaissants à tous nos bailleurs de fonds publics et privés.



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

 \hat{y} \hat{x} $J_+ \lim_{\omega \rightarrow 0} \langle \text{out} | S | \text{in} \rangle$
low-energy $\rightarrow \text{rel. to } z$

L'UNIVERS EST GRAND. HEUREUSEMENT, NOUS AVONS DE GRANDES IDÉES.

Joignez-vous à nous dans ce parcours de découverte.

Pour en savoir plus sur les manières de soutenir l'Institut Péri-mètre, consultez la page :

perimeterinstitute.ca/fr/donate

$$\int \text{Faites partie}^{(de)} = \text{l'Equation}^2$$

