



RAPPORT ANNUEL 2015

VISION

Constituer le principal centre mondial de physique théorique fondamentale, 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

| | |
|--|----|
| Bienvenue | 2 |
| Message du président du conseil | 4 |
| Message du directeur de l'Institut | 6 |
| Recherche | 8 |
| Information quantique | 10 |
| Physique mathématique | 12 |
| Cosmologie | 14 |
| Gravité forte | 16 |
| Matière condensée | 18 |
| Physique des particules | 20 |
| Théorie quantique des champs et théorie des cordes | 22 |
| Gravitation quantique | 24 |
| Fondements quantiques | 26 |
| Prix, distinctions et subventions | 28 |
| Recrutement | 30 |
| Formation à la recherche | 36 |
| Réunions de chercheurs | 38 |
| Collaborations | 40 |
| Diffusion des connaissances et présence auprès du public | 42 |
| Développement de l'Institut Périmètre | 48 |
| Développement de la pensée innovatrice | 50 |
| Merci à ceux qui nous soutiennent | 52 |
| Gouvernance | 54 |
| Installations | 57 |
| Finances | 58 |
| Priorités et objectifs pour l'avenir | 63 |
| Annexes | 64 |

Crédits photo

La Société royale de Londres : page 5
iStock by Getty Images : pages 17, 23, 29
Adobe Stock : pages 29, 51

*Ce rapport présente les activités et les finances
de l'Institut Périmètre de physique théorique
pour l'exercice allant du 1^{er} août 2014 au 31 juillet 2015.*

BIENVENUE

L'Institut est un centre de recherche indépendant situé à Waterloo (Ontario), au Canada, qui a été mis sur pied pour accélérer les percées scientifiques dans notre compréhension de l'univers.

Ici, de brillants physiciens explorent la nature de la réalité – de l'infiniment petit à l'infiniment grand.

Leurs idées dévoilent notre passé lointain et rendent possibles les développements technologiques qui façonneront notre avenir.

L'Institut Péricimètre forme la prochaine génération de pionniers de la physique et fait connaître au monde entier la puissance des découvertes scientifiques.

La science est complexe, mais l'équation de base de l'Institut Péricimètre est simple :

De brillants esprits. Des idées lumineuses. Un avenir radieux.

Entrez dans le périmètre.

UN ACCÉLÉRATEUR DE DÉCOUVERTE



RECHERCHE

PLUS DE **160** SCIENTIFIQUES RÉSIDANTS
qui font de la recherche

11 PRIX MAJEURS ET DISTINCTIONS
accordés à des scientifiques de l'Institut
Périmètre en 2014-2015

PLUS DE **1 000** SCIENTIFIQUES
DU MONDE ENTIER accueillis chaque année

PLUS DE **3 400** ARTICLES publiés
dans plus de 170 revues et ayant fait l'objet
de plus de 115 000 citations depuis 2001

PLUS DE **10 000** EXPOSÉS
et cours visionnés en ligne par des internautes
de 175 PAYS

15 ANS après sa fondation, l'Institut Périmètre
se classe parmi les PRINCIPAUX INSTITUTS
DE PHYSIQUE THÉORIQUE au monde

DIFFUSION DES CONNAISSANCES

PLUS DE **5 MILLIONS**
d'élèves bénéficiant de programmes de l'IP

PLUS DE **17 000** ENSEIGNANTS
formés dans des ateliers de l'Institut Périmètre
depuis 2005

580 ÉLÈVES CHOISIS DU SECONDAIRE
provenant de 48 PAYS, ont participé à l'École d'été
internationale pour jeunes physiciens et physiciennes
depuis 2003

61 PAYS ont utilisé les ressources pédagogiques
de l'Institut Périmètre

FORMATION

En 2014-2015, l'Institut Périmètre a accueilli

59 POSTDOCTORANTS

42 DOCTORANTS et

29 ÉTUDIANTS À LA MAÎTRISE,
venus de 18 PAYS, dans le cadre
du programme PSI

MESSAGE DU PRÉSIDENT DU CONSEIL

On me demande souvent si la physique théorique – et plus particulièrement la mécanique quantique – a une quelconque utilité pratique. Je réponds que oui, elle est utile partout!

La mécanique quantique est essentielle pour toutes les sciences de la nature. Elle nous a donné directement le transistor, les circuits intégrés, la *Silicon Valley*, les lasers, les supraconducteurs, la fibre optique, les DEL, les caméras numériques, les ordinateurs individuels, Internet, les communications numériques sans fil, les téléphones multifonctions, les téléviseurs à écran plat, les jeux vidéo, la chimie moderne, la biologie moléculaire (y compris l'ADN et les protéines), l'IRM, la tomodensitométrie, les radiographies, et encore bien des choses que nous tenons pour acquises. Un auteur a récemment fait remarquer que plus d'un tiers de l'économie des États-Unis fait intervenir des technologies et des produits issus de la mécanique quantique, seulement à partir de nos premières découvertes réalisées il y a plus d'un siècle. La physique n'est pas restée immobile.

Les importantes recherches effectuées par des scientifiques à l'Institut Périmètre et par ceux qui mènent des expériences à l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo constituent un fondement solide pour la mise sur pied d'une *Quantum Valley* dans la région de Waterloo (Ontario), au Canada.

Je crois que nous pouvons comparer ces recherches aux travaux des scientifiques des Laboratoires Bell, au New Jersey, ou des chercheurs et diplômés d'institutions californiennes comme l'Université Stanford, l'Université de la Californie à Berkeley et à Santa Cruz, l'Université d'État de San José, etc., qui ont contribué à jeter les bases de la *Silicon Valley* dans le Nord de la Californie. Ces recherches ont engendré des technologies dont la commercialisation a donné naissance à des entreprises telles que Fairchild, Intel, Hewlett Packard et Rockwell.

La *Quantum Valley* canadienne compte déjà un certain nombre de nouvelles entreprises qui travaillent à la mise au point et à la commercialisation de technologies quantiques révolutionnaires pour les marchés mondiaux. Nous sommes confiants que, à l'instar des premières entreprises de la *Silicon Valley*, elles seront à la source d'un écosystème de commercialisation à grande échelle de la technologie quantique au Canada.

Le gouvernement du Canada et la Province de l'Ontario sont des partenaires et investisseurs de premier plan pour l'Institut Périmètre depuis sa fondation, dans le cadre de l'un des partenariats publics-privés les plus fructueux au Canada. L'Institut est également très reconnaissant envers un nombre croissant de donateurs privés, qui fournissent du financement et associent leur image de marque à ce projet enthousiasmant que



l'Institut représente selon moi pour le pays. Cette année, Gluskin Sheff et associés, Genovus Energy et Clayton Riddell ont appuyé de tout leur poids la recherche effectuée à l'Institut Péricône en finançant des chaires de recherche occupées respectivement par Freddy Cachazo, Subir Sachdev et Pedro Vieira. La Fondation Stavros-Niarchos s'est engagée à soutenir une autre chaire de recherche de l'Institut. La Fondation familiale de Peter et Shelagh Godsoe ainsi que la Fondation RBC ont toutes deux contribué à l'action essentielle de l'Institut Péricône en vue de former la prochaine génération de scientifiques.

À titre de président du conseil d'administration de l'Institut Péricône, j'ai l'agréable tâche de remercier certains des bénévoles à qui l'Institut Péricône doit son existence, notamment les membres du conseil d'orientation, du Conseil Emmy-Noether et du conseil d'administration. Je souhaite en particulier la bienvenue au sein du conseil d'administration à Indira Samarasekera, ancienne rectrice et vice-chancelière de l'Université de l'Alberta, et tête d'affiche en éducation, en recherche et en technologie au Canada. L'Institut Péricône est honoré de compter sur l'appui et les conseils de tels visionnaires. Je tiens à féliciter personnellement Art McDonald, membre de notre conseil d'administration, colauréat du prix Nobel de physique et du Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize*) en physique fondamentale en 2015. Ces prix récompensent les travaux qu'il a dirigés au laboratoire canadien SNOLAB, haut lieu mondial de l'étude des neutrinos et de la physique de la matière sombre.

Aujourd'hui, nous sommes inondés de nouvelles données expérimentales, fournies entre autres par le satellite Planck, la découverte époustouflante du boson de Higgs par le CERN, et maintenant par le projet LOGO, dont la détection des ondes gravitationnelles confirme les prédictions de la théorie de la relativité générale d'Einstein. La physique théorique est au seuil de nouvelles découvertes. Il y a un siècle, la physique théorique nous a donné la mécanique quantique et la relativité – dont les applications ont depuis lors entraîné la plus grande révolution industrielle et la plus importante création de richesse que le monde ait jamais connues. Je crois que nous sommes à la veille de réaliser une percée comparable dans notre compréhension de l'espace-temps, de l'énergie, de la matière, de dimensions supplémentaires et de la gravité, qui alimentera la prochaine grande révolution industrielle, celle du monde quantique. Et je suis convaincu que l'Institut Péricône continuera de jouer un rôle fondamental pour le Canada, ses citoyens, ses universités, son industrie et sa prospérité.

– Mike Lazaridis

MESSAGE DU DIRECTEUR DE L'INSTITUT

Nous entrons dans la période la plus passionnante depuis des décennies pour la physique fondamentale. Des observations et des mesures effectuées à toutes les échelles de l'univers repoussent les limites de nos connaissances. Nous vivons un âge d'or de données d'une puissance et d'une étendue sans précédent.

Ces données nous surprennent, et ce d'une manière merveilleuse et stimulante. Elles nous révèlent un univers d'une extrême simplicité aux échelles de l'infiniment grand et de l'infiniment petit, mais d'une très grande complexité aux échelles intermédiaires, qui nous sont les plus familières. De la même manière, le commencement et l'avenir lointain de l'univers semblent étonnamment simples, alors que l'époque intermédiaire actuelle est pleine de complexité. Les caractéristiques fondamentales de notre modèle cosmologique, par exemple l'énergie sombre, remettent en question le cadre même des théories modernes de la physique (c.-à-d. la théorie quantique des champs). Elles nous orientent vers des principes radicalement nouveaux, capables de concilier la physique quantique et la relativité, et d'expliquer l'univers à la fois simple et paradoxal dans lequel nous vivons.

L'Institut Périclète est dans une position idéale pour élaborer des théories et paradigmes nouveaux capables de résoudre ces énigmes. Conçu comme le milieu optimal de recherche en physique fondamentale, l'Institut attire de jeunes scientifiques d'élite qui ouvrent des avenues de recherche révolutionnaires. Au cours de la dernière année, les professeurs Natalia Toro et Phillip Schuster se sont partagé un prix *Nouveaux horizons en physique*, prix de physique théorique le plus prestigieux pour des scientifiques en début de carrière. Des chercheurs de l'Institut Périclète se sont mérité ce prix 3 années de suite, alors qu'aucune autre institution ne l'a remporté plus d'une fois. Un autre de nos jeunes professeurs, Pedro Vieira, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac, a remporté la médaille Gribov, prix européen le plus important pour de jeunes physiciens. Là encore, l'Institut Périclète se distingue avec 3 professeurs lauréats de la médaille Gribov, dont Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson, en 2009, et Davide Gaiotto, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée, en 2011.

De nouveaux schémas de pensée sont nécessaires non seulement pour comprendre les confins du cosmos, mais aussi pour saisir la nature complexe et quantique de la matière à toutes les échelles. Xiao-Gang Wen, pionnier dans le domaine, s'est joint à l'Institut Périclète comme titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton, suivi peu après de Dmitry Abanin, jeune chercheur de premier plan en physique de la matière condensée. Nous sommes ravis d'accueillir à son retour au pays le Canadien Max Metlitski, autre chercheur de premier plan. Il vient de remporter les deux principaux prix mondiaux pour jeunes chercheurs en physique de la matière condensée. Ses travaux sont centrés sur l'utilisation de la théorie quantique des champs pour décrire des matériaux quantiques complexes à N corps, dont beaucoup ont des propriétés originales et surprenantes pouvant donner lieu à de nouvelles et puissantes applications technologiques.

L'un des secteurs de recherche qui distingue le plus l'Institut Périclète est celui des fondements quantiques. Nous sommes enchantés d'accueillir Markus Mueller, jeune chef de file dans ce domaine, à titre de professeur associé dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Western. Il explore les liens entre fondements quantiques, causalité et relativité, de même que les structures mathématiques en physique quantique.

Au cours de l'histoire, les interactions entre les mathématiques et la physique ont souvent été à l'origine de grandes percées scientifiques. Plusieurs de nos professeurs sont à la fine pointe de la recherche en physique mathématique. L'an dernier, nous avons eu le plaisir d'accueillir Kevin Costello, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton. Ce chercheur en mathématiques pures explore des modèles mathématiques radicalement nouveaux de la théorie quantique des champs. Alexander Braverman s'est récemment joint à nous dans le cadre d'une nomination conjointe avec le Département de mathématiques de l'Université de Toronto. Il est un chef de file du « programme de Langlands géométrique », partie des mathématiques pures lié à la théorie quantique des champs et qui cherche à unifier les principales branches des mathématiques : l'analyse, l'algèbre et la géométrie.



Résultat de nos efforts croissants en cosmologie, nous avons recruté Ue-Li Pen, l'un des astrophysiciens les plus originaux et créatifs au monde, comme professeur associé dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique à Toronto. L'une de ses contributions scientifiques les plus importantes a été de faire remarquer que l'hydrogène neutre présent dans tout l'univers pourrait nous fournir une carte en 3D du cosmos, nous donnant beaucoup d'information sur sa structure. Grâce à la collaboration d'expérimentateurs de premier plan, cette idée a donné naissance au projet CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène), effort expérimental canadien de pointe visant à cartographier la structure de l'univers.

Je crois que l'Institut Périètre est unique en son genre parmi les centres de recherches théoriques, par sa combinaison de théories mathématiques et de liens étroits avec le milieu expérimental : le grand collisionneur de hadrons, le télescope EHT, LIGO, SNOLAB, CHIME et bien d'autres. En plus de placer l'Ontario et le Canada à l'avant-garde de l'élaboration de nouvelles théories, les scientifiques de l'Institut testent ces théories à leurs limites dans certaines des expériences les plus importantes de notre époque.

En juin, nous avons tenu une rencontre scientifique inhabituelle, intitulée *Convergence*, qui a réuni bon nombre des plus grands physiciens théoriciens et expérimentateurs de la planète, dans tous les sous-domaines de la physique, et de jeunes scientifiques très prometteurs. Nous les avons mis au défi de sortir de leur zone de confort, d'avoir une vue d'ensemble de la physique actuelle et des possibilités les plus palpitantes pour l'avenir. De nombreux participants ont rapporté qu'ils n'avaient jamais été exposés auparavant à un éventail aussi étendu de la physique, et beaucoup ont estimé que c'était l'une des rencontres les plus emballantes à laquelle ils avaient jamais participé.

À l'Institut Périètre, nous nous efforçons sans cesse d'être souples et entreprenants, toujours à l'affût de nouvelles avenues prometteuses. Celles-ci se situent souvent entre des domaines établis plutôt qu'à l'intérieur de ceux-ci. Cette année, nous avons mis sur pied plusieurs initiatives de pointe – portant sur l'émergence de l'espace-temps, sur les réseaux de tenseurs, sur une nouvelle méthode de description de systèmes quantiques complexes et sur un projet d'observation de la structure des trous noirs – qui rassemblent la combinaison voulue d'expertise et de jeunes talents afin de favoriser des progrès rapides.

L'un des membres de notre conseil d'administration, Art McDonald, nous a montré ce que la clairvoyance, la collaboration et un esprit curieux permettent de réaliser. Il a été colauréat du prix Nobel de physique et du Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize*) pour la découverte des oscillations des neutrinos, réalisée grâce à l'expérience SNO menée à Sudbury. Ses découvertes et sa contribution à la physique au Canada sont un exemple fantastique pour nous tous.

Au XX^e siècle, les découvertes en physique fondamentale ont été à l'origine de millions d'emplois et de milliers de milliards de dollars de nouvelle richesse, fondée sur les transistors, les ordinateurs, l'IRM, le GPS, les communications sans fil, les téléphones multifonctions, etc. L'économie du XXI^e siècle reposera probablement sur des innovations issues de la physique quantique, par exemple des ordinateurs, capteurs et dispositifs de communication quantiques. L'Institut Périètre est fier de faire partie de la *Quantum Valley* qui prend naissance ici même en Ontario. Nous cherchons à alimenter un écosystème quantique florissant qui couvre tout le spectre allant de la science fondamentale au démarrage d'entreprises, en passant par la formation avancée, les expériences en laboratoire, le développement technologique et le capital de risque. Cette combinaison n'a probablement pas d'équivalent ailleurs dans le monde.

La révolution quantique à venir promet d'être encore plus extraordinaire que la révolution numérique. Et nous croyons que, cette fois, le Canada peut ouvrir la voie.

– Neil Turok



« Sommes-nous à la veille de la prochaine révolution scientifique et technologique? »

Ceux qui investissent dans l'Institut Péricimètre le croient. »
[traduction]

– Bill Downe,
PDG du Groupe financier BMO,
commanditaire principal
de la conférence Convergence
et bailleur de fonds de la chaire Groupe-
financier-BMO-Isaac-Newton de physique
théorique de l'Institut Péricimètre

Comment l'univers a-t-il commencé? De quoi est-il fait? Quelle est la nature de l'énergie sombre et de la matière sombre? Comment pouvons-nous comprendre et exploiter le monde quantique?

Les chercheurs de l'Institut Péricimètre s'attaquent à de grandes questions – créant de nouvelles théories à propos de la nature de l'univers – sur l'espace, le temps, la matière et l'information.

Des limites du cosmos, jusqu'au monde de l'infiniment petit décrit par la physique des particules et la théorie des cordes, notre univers se dévoile à une vitesse sans précédent, grâce aux explorateurs qui travaillent à la fine pointe de la physique théorique.

Les recherches effectuées à l'Institut Péricimètre couvrent 9 domaines choisis de manière stratégique. Les chercheurs de l'Institut sont des chefs de file dans leurs domaines respectifs, mais la véritable force de l'Institut se situe à la rencontre de ces domaines – les découvertes inattendues qui surviennent lorsqu'un cosmologiste et un physicien mathématicien discutent près de la machine à café, ou lorsqu'un théoricien des cordes croise un expert de la gravitation quantique devant l'un des tableaux omniprésents à l'Institut.

L'Institut Péricimètre réunit sous un même toit des esprits brillants et les encourage à aborder les questions les plus difficiles de la nature. La collaboration alimente la découverte. Grâce à des réseaux interdisciplinaires de recherche qui couvrent la planète, les scientifiques de l'Institut Péricimètre sont en contact avec les plus grandes institutions et expériences au monde.



IMAGINER L'AVENIR ET LE RENDRE POSSIBLE

En 1959, alors qu'un ordinateur remplissait encore une salle entière, le physicien théoricien Richard Feynman imaginait l'avenir, qui résidait selon lui dans la miniaturisation.

« Pourquoi ne pourrions-nous pas enregistrer les 24 volumes de l'encyclopédie *Britannica* sur une tête d'épingle », demandait-il dans une conférence célèbre prononcée à Caltech. Il allait plus loin, affirmant que non seulement nous pourrions coder chaque lettre à l'aide de quelques « bits » sur la surface d'une tête d'épingle, mais que nous pourrions aussi utiliser l'intérieur de l'épingle!

« Il y a plein de place en bas! », a-t-il alors déclaré. Il songeait même à jouer avec des atomes, dans les profondeurs de la nature où la physique classique est supplantée par les lois de la mécanique quantique. « Nous pouvons fabriquer des objets de diverses manières. Nous pouvons utiliser non seulement des circuits, mais aussi des systèmes impliquant les niveaux d'énergie quantifiés ou les interactions des spins quantifiés » [traduction], prédisait-il.

La vision de Feynman est en train de se réaliser. L'informatique quantique pourrait bien être la révolution façonnant le XXI^e siècle.

INFORMATION QUANTIQUE

On s'attend à ce que les ordinateurs quantiques, qui exploitent des effets quantiques tels que la « superposition » et l'« intrication » pour atteindre une puissance de traitement bien supérieure à celle des ordinateurs actuels, révolutionnent notre manière de travailler, de communiquer et de vivre. Il reste cependant beaucoup de recherches théoriques à faire avant que ces appareils puissent voir le jour. Des chercheurs de l'Institut Périmètre s'intéressent à la correction d'erreurs quantiques – les techniques requises pour protéger et vérifier l'information au milieu des erreurs inhérentes au calcul quantique. Ils étudient également les fondements de la cryptographie quantique, qui exploite les lois propres à la physique quantique, comme le principe d'incertitude, pour protéger les données confidentielles. Bon nombre de chercheurs de l'Institut Périmètre dans le domaine de l'information quantique collaborent avec des scientifiques de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC), notre voisin et partenaire expérimental, et certains occupent des postes conjoints au sein des deux instituts. Ensemble, l'Institut Périmètre et l'IQC sont en train de transformer la région en une « Quantum Valley ».

ÉCHANTILLONNAGE DISPERSÉ DE BOSONS

Si vous espérez obtenir simultanément 5 « face » en jouant à pile ou face, vous avez 2 possibilités : prendre 5 pièces de monnaie et les lancer jusqu'à ce que le hasard vous donne le résultat voulu, ou bien lancer un grand nombre de pièces en même temps et ne compter que celles qui donnent face.

Il s'avère que la seconde méthode est très efficace dans le cas d'un dispositif appelé échantillonneur de bosons, considéré comme un précurseur potentiel d'un ordinateur quantique.

Dans un échantillonneur de bosons, des photons sont envoyés dans un interféromètre, traversent des séparateurs de faisceau et ressortent à l'autre bout.

Pour produire les photons, les expérimentateurs font appel à l'abaissement paramétrique de fréquence (PDC pour *parametric down conversion*) pour créer des paires de photons qui se dirigent dans des directions opposées : un photon va dans l'interféromètre, et l'autre informe les scientifiques de l'existence des photons jumeaux.

Nous n'avons pas pour l'instant de moyen simple et fiable de produire sur demande des photons identiques. Pour créer 30 photons à la fois (soit suffisamment pour mener une expérience trop difficile à simuler à l'aide d'un ordinateur classique), les chercheurs pourraient devoir attendre très longtemps – des semaines, des mois ou davantage –, ce qui rend l'expérience impraticable.

En 2013, une nouvelle démarche d'« échantillonnage dispersé » a été suggérée. Tout comme le fait de lancer un grand nombre de pièces de monnaie augmente la probabilité d'obtenir 5 « face », le déclenchement simultané d'un grand nombre de PDC est susceptible de produire suffisamment de photons pour avoir une expérience valable.

Daniel Brod, postdoctorant à l'Institut Périmètre, a fait partie cette année d'une équipe internationale de théoriciens et d'expérimentateurs qui a précisément adopté cette démarche.

L'expérience d'échantillonnage dispersé de bosons effectuée au laboratoire d'optique quantique de Fabio Sciarrino à l'Université *La Sapienza* de Rome, et dont le compte rendu a été publié dans la nouvelle revue *Web Science Advances*, a permis de recueillir des données à un rythme 4,5 fois plus rapide que les échantillonneurs précédents.

« Cette méthode promet des améliorations exponentiellement plus grandes à mesure que l'ampleur de l'expérience augmente » [traduction], déclare M. Brod.

L'amélioration porte aussi sur l'un des principaux problèmes de l'échantillonnage de bosons : la dépendance à l'égard des sources de PDC. L'équipe de chercheurs a montré que même si l'on ne peut pas créer des photons sur demande, on peut en produire un nombre suffisant pour effectuer une expérience valable.

LE PROJET IT FROM QUBIT

Dans les années 1970, Jacob Bekenstein et Stephen Hawking ont ébranlé le monde de la physique théorique en montrant que les trous noirs ont une entropie et qu'ils émettent un rayonnement thermique.

Fait intéressant, l'entropie joue aussi un rôle clé en théorie de l'information quantique. Les découvertes de Bekenstein et Hawking sont maintenant reconnues comme les premiers indices de liens profonds entre la théorie de l'information quantique et la relativité générale, théorie d'Einstein sur la gravitation.

Ces théories sont qualitativement très différentes. La théorie d'Einstein sur la gravitation donne une image géométrique de l'espace-temps, alors que la mécanique quantique est une théorie sur les particules, centrée sur le non-déterminisme. Depuis plus d'un demi-siècle, les physiciens s'échinent à chercher comment concilier les deux (puisqu'elles décrivent le même univers).

Des progrès remarquables ont été réalisés récemment grâce à un ensemble de méthodes mathématiques appelées *holographie*. Le professeur **Robert Myers** est l'un des chefs de file mondiaux dans ce domaine passionnant. En août 2015, l'Institut Périmètre a organisé l'atelier *Quantum Information in Quantum Gravity II* (Information quantique et gravitation quantique II), afin de réunir des scientifiques qui travaillent dans ce remarquable nouveau domaine de recherche. Ses perspectives sont si prometteuses que la Fondation Simons a décidé de financer pendant 5 ans un projet majeur, intitulé *It from Qubit*, dans ce domaine. Le projet est dirigé notamment par M. Myers, et l'Institut Périmètre en est l'un des pôles.

EXPLOITER LA DÉCOHÉRENCE QUANTIQUE

Imaginez une balle de tennis bombardée par de petits trombones transparents qui viennent de tous côtés. Les trombones sont difficiles à voir, mais chaque fois qu'un trombone heurte la balle de tennis, celle-ci bouge un petit peu. Avec le temps, on peut déduire la présence des trombones même sans les voir directement, parce qu'on observe les mouvements apparemment aléatoires de va-et-vient de la balle de tennis.

Supposons maintenant que les trombones bombardent une boule de jeu de quilles. Celle-ci bougera beaucoup moins que la balle de tennis, de sorte que l'on ne pourra pas voir ses mouvements. Par contre, les trombones changent radicalement de direction lorsqu'ils heurtent la boule de quilles, et la direction dans laquelle ils rebondissent dépend de la position de la boule.

Si l'on pouvait mettre la boule de quilles dans une superposition quantique de deux emplacements simultanés, les trombones permettraient de savoir où la boule est située, détruisant du même coup la propriété quantique de superposition de la boule et réduisant sa position à un seul emplacement.

Jess Riedel, postdoctorant à l'Institut Périmètre, a étudié ce scénario et montré que la décohérence quantique peut effectivement constituer un puissant outil de détection de particules qui seraient indétectables par des mesures purement classiques (comme les trombones transparents de l'exemple ci-dessus). Un tel processus pourrait par exemple être utile pour la détection de particules de matière sombre.

Cette recherche survient à point nommé, parce que la sensibilité de cette technique augmente rapidement avec la taille de l'objet superposé et que les expériences de création de superpositions de grande taille ont connu récemment des progrès rapides. Des appareils appelés *interféromètres de matière* ont produit des superpositions de molécules géantes comportant une centaine d'atomes, et des superpositions de dizaines de milliers d'atomes seront possibles dans un avenir rapproché.

Références :

BROD, D.J., *et al.* « Experimental scattershot boson sampling », *Science Advances*, vol. 1, n° 3, 2015, e1400255, DOI: 10.1126/sciadv.1400255.

RIEDEL, C.J. *Decoherence from classically undetectable sources: A standard quantum limit for diffusion*, arXiv:1504.03250.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

En physique mathématique, des problèmes qui surgissent d'abord en physique engendrent de nouveaux outils mathématiques nécessaires pour les résoudre. De la même manière, de nouveaux outils mathématiques peuvent ouvrir la porte à de nouvelles manières de comprendre l'univers physique. Newton a inventé l'analyse mathématique parce qu'il avait besoin de comprendre la mécanique – et l'analyse en est venue à redéfinir toute la physique. Le développement de la physique quantique au XX^e siècle a suscité des progrès dans des domaines des mathématiques tels que l'algèbre linéaire et l'analyse fonctionnelle, et a bénéficié de ces progrès. Les chercheurs de l'Institut Périclète en physique mathématique perpétuent cette grande tradition.

DES PHYSICIENS TISSENT UNE TOILE POUR LES MATHÉMATIQUES

L'année 2015 a vu une contribution majeure en physique mathématique : la publication d'un article de 400 pages par **Davide Gaiotto**, titulaire de la chaire Fondation-Kremlil-Gallée de physique théorique de l'Institut Périclète, avec Gregory Moore (de l'Université Rutgers) et Edward Witten (de l'Institut d'études avancées de Princeton). Cet article réunit un certain nombre de puissants outils de mathématiques avancées et de théorie des cordes pour analyser la structure de théories des champs massifs bidimensionnels.

Ces théories font intervenir la supersymétrie, proposée comme solution de mystères à la fois cosmiques et subatomiques de la physique. Elles sont également importantes en symétrie bilatérale, qui joue un rôle central dans les recherches actuelles en géométrie.

MM. Gaiotto, Moore et Witten ébauchent des manières d'appliquer leur théorie (la théorie des tissus) à des objets auxquels on s'intéresse dans les recherches actuelles en mathématiques. Ces travaux illustrent l'impact important des physiciens théoriciens de l'Institut Périclète sur les mathématiques pures, de même que l'importance d'outils mathématiques puissants pour comprendre le comportement des champs quantiques, qui constituent notre description la plus fondamentale de la nature.

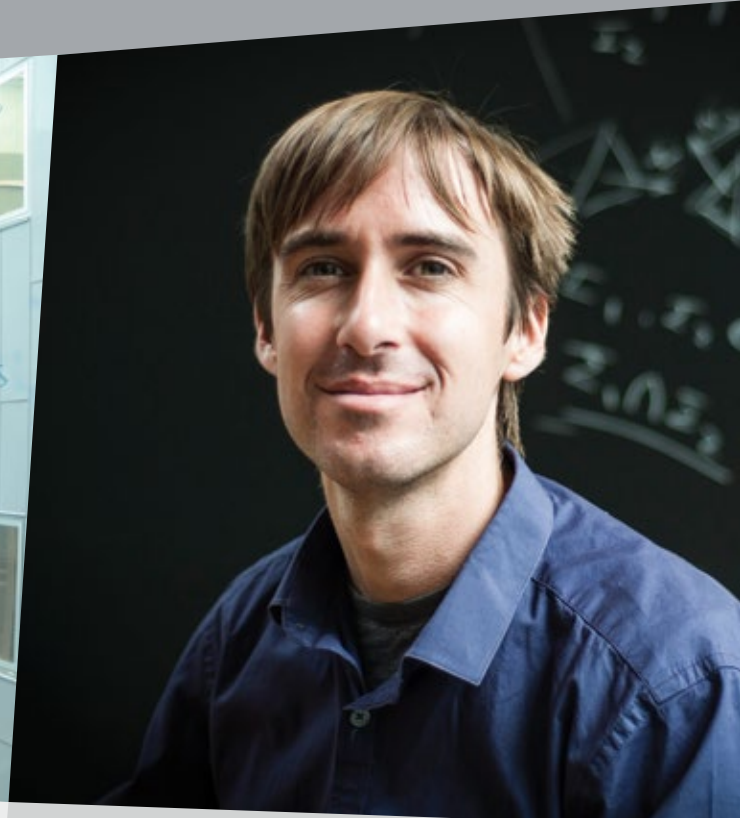
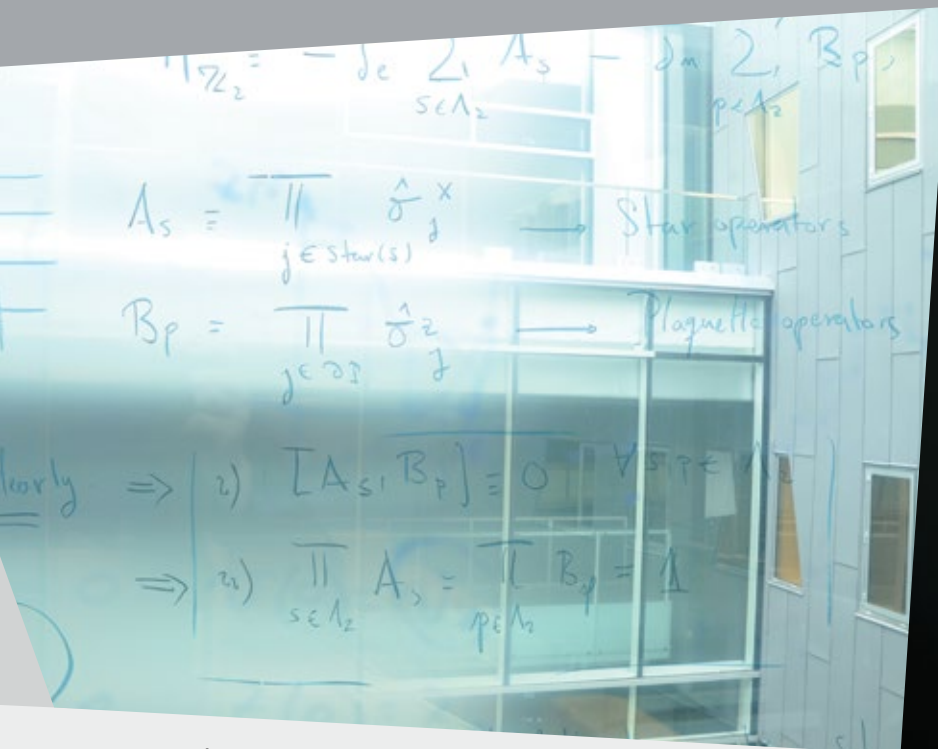
VÉRIFIER UN DICTIONNAIRE INFINI

En 1998, Juan Maldacena a proposé quelque chose d'impossible : un dictionnaire de traduction entre certaines théories de la gravitation et certaines théories des champs. On l'appelle la *correspondance AdS/CFT*, ou parfois *dualité entre gravitation et théorie de jauge*. Elle fournit aux physiciens un moyen de résoudre, par exemple, un problème difficile dans le domaine de la matière condensée en le reformulant dans le langage des trous noirs. Le langage des deux théories est si différent qu'on a souvent du mal à croire qu'elles décrivent la même réalité. C'est pourtant ce qu'a affirmé Maldacena.

Même si elle a d'abord été reçue avec scepticisme, la proposition de Maldacena a jusqu'à maintenant été mise à l'épreuve et testée dans plus de 10 000 articles. Elle est absolument centrale en théorie des cordes et largement utilisée dans toute la physique – mais elle n'est toujours pas mathématiquement démontrée.

La principale difficulté d'une telle preuve mathématique vient du fait que ce « dictionnaire » devrait contenir un nombre infini de mots et qu'un seul échec le détruirait.

Kevin Costello, titulaire de la chaire Fondation-Kremlil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique de l'Institut Périclète, a lancé un ambitieux nouveau programme pour prouver la proposition de Maldacena. Mené avec **Si Li**, adjoint invité à l'Institut Périclète, ce programme consiste à construire rigoureusement la théorie de la gravitation et à formuler mathématiquement la correspondance AdS/CFT.



AMÉLIORATION DE LA GÉOMÉTRIE DE CONNES

À la fin des années 1970, le grand mathématicien français Alain Connes a élaboré une branche des mathématiques appelée *géométrie non commutative*, cadre dans lequel le modèle standard de la physique des particules, combiné à la gravité d'Einstein, pourrait être reformulé de manière élégante.

En 2014, **Latham Boyle**, professeur à l'Institut Périclète, et son co-auteur **Shane Farnsworth** (étudiant diplômé à l'Institut Périclète) ont découvert une manière de simplifier et de généraliser le principe de Connes, et d'en faire ainsi un outil permettant de construire de nouveaux modèles unifiés de la physique des particules.

Leur innovation résout un certain nombre de questions ouvertes dans la formulation originale de la proposition de Connes, lui donnant un pouvoir prédictif potentiel plus grand.

Il s'agit d'un cas inhabituel où un physicien améliore un cadre mathématique – le genre d'interaction fructueuse entre domaines que l'Institut Périclète cherche à encourager avec l'importance plus grande qu'il accorde depuis quelque temps à la physique mathématique.

Références :

GAOTTO, D., G. MOORE et E. WITTEN. *Algebra of the Infrared: String Field Theoretic Structures in Massive N=(2,2) Field Theory In Two Dimensions*, arXiv:1506.04087.

COSTELLO, K., et S. LI. *Quantization of Open-Closed BCOV Theory-I*, arXiv:1505.06703.

FARNSWORTH, S., et L. BOYLE. « Rethinking Connes' approach to the standard model of particle physics via non-commutative geometry », *New Journal of Physics*, vol. 17, 2015, article n° 023021, arXiv:1408.5367.

MATHÉMATIQUES + PHYSIQUE = DE BELLES IDÉES

Lorsque j'étais enfant, à Cork, en Irlande, mon père s'est abonné à *Scientific American*. Ce magazine contenait une merveilleuse chronique de mathématiques dans laquelle, par exemple, on expliquait comment programmer l'ensemble de Mandelbrot. J'essayais de le faire sur l'ordinateur de la maison. Je n'y arrivais pas bien – j'avais 10 ans –, mais la beauté de la chose me passionnait et m'a mené à une carrière en physique mathématique.

En 2013, alors que j'étais professeur à l'Université Northwestern, j'ai été invité à me joindre à l'Institut Périclète comme titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton.

C'est un milieu unique, où il y a une grande collaboration entre mathématiciens et théoriciens des cordes, cosmologistes, physiciens des particules, etc. Je travaille depuis peu sur des idées liées à la supergravité – combinaison de la théorie d'Einstein de la gravitation et la supersymétrie. C'est une belle idée qu'il vaut la peine d'essayer de comprendre.

Des choses passionnantes peuvent se produire à la jonction des mathématiques pures et de la physique théorique. Lorsqu'un mathématicien et un physicien abordent un même problème, ils adoptent toujours des points de vue différents. De telles perspectives différentes sont utiles, et cette collaboration stimule ma curiosité d'une manière qui me rappelle les problèmes mathématiques du *Scientific American*.

– Kevin Costello, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique

Presque tous les indices que nous avons sur la physique au-delà du modèle standard viennent d'observations cosmologiques portant sur des échelles de longueur, de temps et d'énergie inaccessibles dans des laboratoires terrestres. La cosmologie constitue donc un point de convergence naturel d'une grande partie des recherches effectuées à l'Institut Péricimètre en physique fondamentale, dont la physique des particules, la théorie quantique des champs et la théorie des cordes, de même que la gravité forte. Les cosmologistes de l'Institut cherchent à réunir tous ces domaines, afin de répondre aux grandes questions sur l'univers, notamment son contenu, sa structure, ses origines et son évolution.

À L'AUBE D'UNE ÈRE NOUVELLE

Pendant une grande partie de l'histoire de l'humanité, les grandes questions de cosmologie ont semblé relever davantage de la philosophie que de la science : Comment l'univers a-t-il commencé? Comment a-t-il évolué? Vers quoi s'en va-t-il? Il y a aussi des questions plus récentes : Qu'est-ce que la matière sombre, indispensable pour expliquer les amas de galaxies? Qu'est-ce que l'énergie sombre, cette chose mystérieuse qui fait accélérer l'expansion de notre univers?

Jusqu'à récemment, les réponses à ces questions semblaient hors de portée. Mais de récentes observations spectaculaires, combinées à de nouvelles idées théoriques, ont fait entrer la cosmologie dans un âge d'or où les plus grands mystères sont enfin accessibles à la science.

L'un des progrès les plus importants est venu de la cartographie précise du rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique) issu du Big Bang, grâce au satellite WMAP de la NASA et au satellite Planck de l'Agence spatiale européenne. Des dizaines d'expériences à plus petite échelle sont aussi en cours pour cartographier la structure fine du rayonnement fossile, dont sa polarisation, et rechercher des signaux d'une phase d'inflation cosmique au commencement de l'univers. Les cosmologistes de l'Institut Péricimètre jouent un rôle majeur dans la prédiction des conséquences observationnelles de théories cosmologiques et dans l'analyse des énormes quantités de données recueillies.

L'un de ces chercheurs est **Kendrick Smith**, qui dirige des études sur les modèles statistiques des perturbations primordiales de densité à l'origine des structures contenues dans l'univers. Il a mis au point les méthodes les plus efficaces et les plus complètes de recherche de déviations primordiales d'un comportement gaussien. Avec Leonardo Senatore et **Matias Zaldarriaga**, actuellement titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre, il a publié en 2009 deux articles marquants sur les cinq années de données de l'expérience WMAP. En 2013 et en 2015, il a dirigé les travaux d'analyse qui ont fixé une limite beaucoup plus forte sur le caractère non gaussien des données du satellite Planck. Ce résultat impressionnant constitue l'un

des extraits clés du projet du satellite Planck. Il élimine de nombreux modèles théoriques et laisse entendre que les mécanismes à l'origine des structures de l'univers sont remarquablement simples.

SOLUTIONS NOUVELLES EN COSMOLOGIE

La plupart des études théoriques et des modèles cosmologiques mettent l'accent sur la physique et l'évolution de l'univers depuis peu après le Big Bang jusqu'à nos jours.

Même si les équations de la théorie d'Einstein, combinées au modèle standard de la physique, peuvent expliquer l'expansion de l'univers, son refroidissement ainsi que la production des galaxies et des étoiles que nous voyons aujourd'hui, ces équations échouent à la singularité initiale, il y a 14 milliards d'années, où selon la théorie d'Einstein, la taille de l'univers était nulle, et sa densité, sa température ainsi que la courbure de l'espace-temps étaient infinies.

L'échec de ces équations est un obstacle à toute tentative de comprendre ce qui s'est passé exactement lors du Big Bang. L'univers a-t-il commencé avec le Big Bang? Si oui, comment et pourquoi? Sinon, qu'est-ce qu'il y a eu avant?

Depuis quelques années, **Paul Steinhardt**, titulaire de la chaire Richard-P.-Feynman, et **Neil Turok**, directeur de l'Institut Péricimètre et titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr, ainsi que leurs collaborateurs, élaborent de nouvelles approches de ces questions en se fondant sur l'hypothèse que, à sa base, la physique fondamentale ne devrait pas avoir d'échelle.

Dans une récente série d'articles, ces chercheurs ont révélé un ensemble de nouvelles solutions cosmologiques dans lesquelles un univers en contraction passe par une phase exotique d'antigravité avant de commencer une nouvelle expansion.



Dans des travaux tout récents, Neil Turok et **Steffen Gielen**, du Collège impérial de Londres (et ancien postdoctorant à l'Institut Péricètre), ont montré comment l'intégrale de chemin de Feynman pour la gravitation quantique peut être calculée dans ces contextes cosmologiques, donnant une description quantique précise de ce qu'ils appellent « un rebond parfait ». Ils expliquent comment on peut décrire de manière cohérente le passage quantique d'un univers à travers une singularité cosmologique. Ces recherches ouvrent la voie à une nouvelle classe de modèles théoriques, qui pourraient dans l'avenir expliquer d'une manière incontestable et originale les observations remarquables du satellite Planck.

Lors de ces recherches, MM. Gielen et Turok se sont rendu compte avec étonnement que l'univers primitif, même selon l'image la plus conservatrice, a dû connaître des chocs – des variations abruptes de la densité du fluide de rayonnement qui remplissait l'espace à l'époque. Heureusement, l'expert en hydrodynamique informatique **Ue-Li Pen**, de l'Institut canadien d'astrophysique théorique et professeur associé à l'Institut Péricètre, était disponible pour participer aux calculs détaillés. Ces chocs pourraient avoir un certain nombre de conséquences importantes, notamment aider à expliquer la prépondérance de la matière sur l'antimatière, ou encore la naissance des ondes gravitationnelles initiales qui pourraient être détectées lors d'expériences futures, en passant par l'existence de champs magnétiques cosmiques.

Références :

SMITH, K., *et al.* *Planck 2015 Results. XVII. Constraints on primordial non-Gaussianity*, arXiv:1502.01592.

BARS, I., P. STEINHARDT et N. TUROK. « Local Conformal Symmetry in Physics and Cosmology », *Physical Review D*, vol. 89, 2014, article n° 043515, arXiv:1307.1848.

GIELEN, S., et N. TUROK. *A Perfect Bounce*, arXiv:1510.00699.

PEN, U., et N. TUROK. *Shocks in the Early Universe*, arXiv:1510.02985.

LES PROFESSEURS À PLEIN TEMPS DE L'INSTITUT PÉRICÈTRE

Dmitry Abanin (en congé)

Asimina Arvanitaki

Latham Boyle

Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique

Kevin Costello, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique

Bianca Dittrich

Laurent Freidel

Davide Gaiotto, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique

Jaume Gomis

Daniel Gottesman

Lucien Hardy

Luis Lehner

Robert Myers

Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (à titre de chercheur invité)

Philip Schuster

Kendrick Smith

Lee Smolin

Robert Spekkens

Paul Steinhardt, titulaire de la chaire Richard-P.-Feynman de physique théorique (à titre de chercheur invité)

Natalia Toro

Neil Turok, titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique

Guifre Vidal

Pedro Vieira, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique

Xiao-Gang Wen, titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique

GRAVITÉ FORTE

Du Big Bang aux étoiles à neutrons et aux trous noirs, la recherche effectuée à l'Institut Périmètre dans le domaine de la gravité forte explore des cataclysmes cosmiques suffisamment puissants pour déformer la structure de l'espace-temps. Ces régions de l'espace, à la gravité extrêmement forte, constituent un laboratoire naturel où les chercheurs peuvent mettre à l'épreuve la validité de la théorie actuelle de la gravitation (la relativité générale d'Einstein) et examiner d'autres théories. Les scientifiques de l'Institut Périmètre cherchent aussi à comprendre et à caractériser les liens entre des espaces-temps courbes ou dynamiques et divers autres problèmes de physique fondamentale.

LES PROMESSES DE L'ASTRONOMIE MULTIMESSAGE

La détection directe d'ondes gravitationnelles par l'expérience du LIGO avancé constitue le début d'une révolution qui améliorera considérablement notre compréhension des objets les plus étranges et merveilleux de l'univers – les trous noirs et les étoiles à neutrons – et de leurs interactions.

L'astronomie d'aujourd'hui est surtout électromagnétique. Que les télescopes captent de la lumière, des rayons gamma, des rayons X ou des rayons infrarouges, ce qu'ils détectent fait partie d'un seul et même spectre de rayonnement.

Maintenant, grâce à la détection d'ondes gravitationnelles, nous pouvons commencer à sonder l'univers d'une manière différente. Nous pouvons non seulement le regarder, mais aussi l'écouter. Une nouvelle génération de détecteurs d'ondes gravitationnelles s'apprête à écouter les ondulations dans le tissu de l'espace-temps. Les astrophysiciens espèrent que ce réseau mondial de détecteurs nous permettra de repérer des collisions de trous noirs ou l'effondrement de systèmes formés de 2 étoiles à neutrons.

Ces données gravitationnelles seront particulièrement utiles et intéressantes si nous pouvons les combiner avec les données électromagnétiques des télescopes traditionnels, idée que l'on désigne par le terme *astronomie multimessage*.

Le professeur **Luis Lehner** est l'un de ceux qui s'intéressent à ce que l'astronomie multimessage pourrait nous apprendre. Par exemple, dans des travaux récents, M. Lehner et ses collaborateurs ont étudié la collision de 2 étoiles à neutrons. On sait que ces étoiles s'effondrent alors et font éclater leur enveloppe externe. Il s'agit d'un processus incroyablement violent, qui crée certains des atomes les plus lourds de l'univers – des éléments trop lourds pour être créés même dans la

fournaise des étoiles les plus chaudes. Beaucoup de ces atomes sont instables, et leur désintégration produit un signal électromagnétique caractéristique.

À l'aide de simulations complexes, Luis Lehner *et al.* ont montré que certains détails de l'effondrement affecteraient la quantité et la nature des atomes lourds créés, ce qui aurait à son tour des effets sur le signal électromagnétique émis par la désintégration de ces éléments.

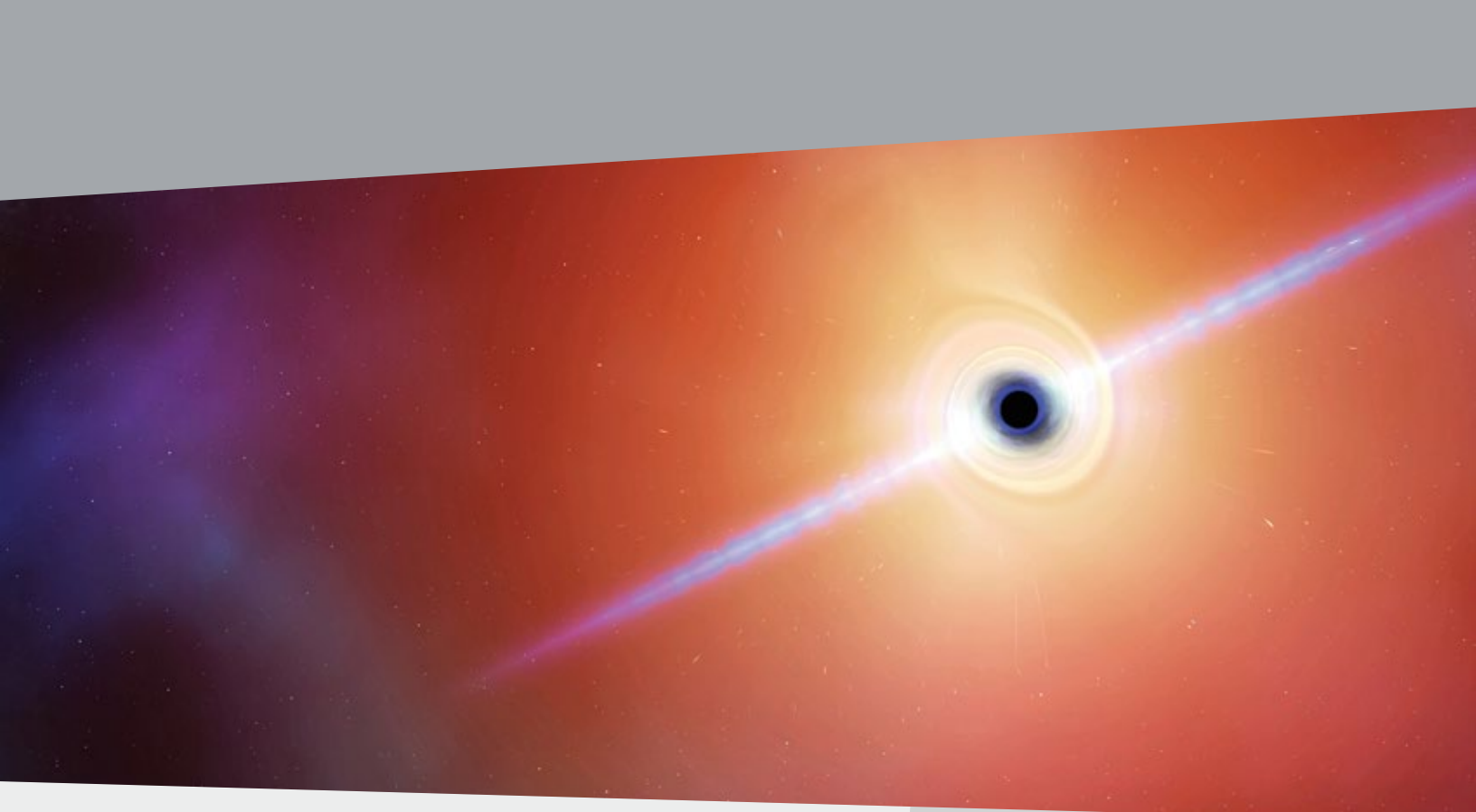
En observant en même temps le signal électromagnétique émis par les éléments en décomposition et le signal gravitationnel issu de la collision des étoiles, les astrophysiciens en sauront bien davantage sur les détails de l'effondrement d'étoiles à neutrons qu'avec chaque type de signal pris isolément. On perçoit mieux avec deux sens qu'avec un seul.

LE TEST DU TROU NOIR

Pour les physiciens intéressés à mettre à l'épreuve la relativité générale d'Einstein, rien ne vaut un trou noir.

Les trous noirs ont la double qualité de constituer des solutions extraordinairement simples des équations d'Einstein et d'être le lieu où les prédictions d'Einstein concernant la gravitation diffèrent le plus des idées de Newton sur le même sujet. Si nous pouvions voir clairement un trou noir, nous pourrions vérifier si la relativité générale demeure valable dans des conditions extrêmes.

Grâce aux travaux de chercheurs comme **Avery Broderick**, professeur associé à l'Institut Périmètre, une telle observation rapprochée des trous noirs devient possible. M. Broderick est l'un des chercheurs principaux



du projet EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements). Le télescope EHT est un réseau mondial de radiotélescopes qui est en train de produire lentement des images remarquablement détaillées du trou noir situé au cœur de notre galaxie, ainsi que du trou noir situé au centre de la galaxie voisine M87.

Avec ces nouvelles données, les scientifiques commencent à valider ce que l'on raconte sur les trous noirs. Par exemple, l'équipe du projet EHT a publié une étude approfondie sur la luminosité du trou noir de la galaxie M87. Cette étude avait pour objectif de savoir si ce trou noir a une surface cachée, ou s'il s'agit du genre d'horizon des événements que l'on attribue depuis longtemps aux trous noirs. La conclusion? Il n'y a pas de surface. D'autres études du projet EHT ont porté sur la croissance des trous noirs, la structure de leur champ magnétique et l'origine de leurs mystérieux jets.

En plus d'analyser des données, des théoriciens comme Avery Broderick déterminent quels genres de données permettraient de distinguer un trou noir qui obéit aux lois de la relativité générale d'un trou noir dont le comportement est légèrement différent. Autrement dit, les scientifiques apprennent ce qu'ils doivent chercher et comment le chercher. Tout compte fait, il semble que nous soyons au début de l'ère de l'observation des trous noirs.

Références :

PALENZUELA, C., S.L. LIEBLING, D. NEILSEN, L. LEHNER, O.L. CABALLERO, E. O'CONNOR et M. ANDERSON. « Effects of the microphysical Equation of State in the mergers of magnetized Neutron Stars With Neutrino Cooling », *Physical Review D*, vol. 92, 2015, article n° 044045, arXiv:1505.01607.

BRODERICK, A., R. NARAYAN, J. KORMENDY, E.S. PERLMAN, M.J. RIEKE et S. DOELEMAN. « The Event Horizon of M87 », *The Astrophysical Journal*, vol. 805, n° 2, arXiv:1503.03873.

LES PROFESSEURS ASSOCIÉS À L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

(nommés conjointement avec d'autres institutions)

Niayesh Afshordi (Université de Waterloo)

Alexander Braverman (Université de Toronto)

Avery Broderick (Université de Waterloo)

Alex Buchel (Université Western)

Raffi Budakian (Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo – IQC)

Cliff Burgess (Université McMaster)

David Cory (IQC)

James Forrest (Université de Waterloo)

Matthew Johnson (Université York)

Raymond Laflamme (IQC)

Sung-Sik Lee (Université McMaster)

Roger Melko (Université de Waterloo)

Michele Mosca (IQC)

Markus Mueller (Université Western)

Ue-Li Pen (Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto)

Maxim Pospelov (Université de Victoria)

Itay Yavin (Université McMaster)

MATIÈRE CONDENSÉE

Le défi de la matière condensée peut se résumer en une seule observation : le comportement d'un système de plusieurs particules peut être très différent de celui des particules qui le composent. Les physiciens de la matière condensée étudient ces systèmes à N corps, et en particulier ceux qui sont dans un état condensé. À l'Institut Péricimètre, ces chercheurs s'attaquent à des questions fondamentales telles que la nature des supraconducteurs ou les différents états possibles de la matière, ou bien à des questions de pointe comme de savoir si l'on peut assimiler la gravité à une propriété de la matière, ou encore confectionner une forme exotique de matériau quantique qui pourrait servir dans des ordinateurs quantiques.

LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION (QUANTIQUE)

Pendant des décennies, les physiciens ont pensé que les propriétés quantiques ne se manifestaient qu'aux échelles microscopiques ou dans des systèmes très froids. Des phénomènes quantiques tels que la superposition et l'intrication s'annulent généralement dans de grands systèmes, par des processus dits de *dissipation* (interactions aléatoires entre le système étudié et le reste du laboratoire) et de *thermalisation* (mélange et interactions au sein du système lui-même).

De récents progrès expérimentaux permettent de créer, de manipuler et d'étudier des systèmes quantiques artificiels à N corps où la dissipation est presque nulle et dans lesquels les effets quantiques peuvent persister pendant de longues périodes. Et maintenant, des théoriciens prédisent que, en présence de désordre, la thermalisation pourrait aussi être évitée et que de tels systèmes pourraient ne plus obéir aux lois conventionnelles de la mécanique statistique.

Dans ces systèmes, dits *systèmes localisés à N corps*, des effets quantiques sont observables et évoluent de manière dynamique pendant une longue période dans des systèmes qui comportent un grand nombre de particules. Le comportement étrange de ces systèmes peut jouer un rôle important et utile dans la conception de diverses technologies quantiques. Cela met à l'avant-plan le besoin de comprendre l'évolution des systèmes quantiques.

En 2013, le professeur **Dmitry Abanin**, le postdoctorant **Zlatko Papić** et **Maksym Serbyn** (alors étudiant diplômé au MIT et chercheur invité à l'Institut Péricimètre) ont provoqué une percée scientifique en élaborant une théorie qui explique la violation des lois de la mécanique statistique dans les systèmes localisés à N corps et les remplace par de nouvelles lois de dynamique quantique. Il s'agit d'un résultat général qui peut s'appliquer à tout système expérimental quantique à N corps fortement désordonné.

Ces travaux exercent depuis quelques années une influence remarquable et ont suscité beaucoup de nouvelles recherches sur la localisation dans des systèmes à N corps (et l'évitement de la

thermalisation qui en résulte) dans la communauté internationale de la physique de la matière condensée. À titre d'exemple, en Californie, l'Institut Kavli de physique théorique a récemment mis sur pied un programme qui a réuni des chercheurs du monde entier pour réfléchir à ces nouvelles idées et leurs conséquences.

Les scientifiques de l'Institut Péricimètre demeurent à l'avant-garde de ces développements passionnants en explorant les lois qui régissent la dynamique des systèmes quantiques à N corps. Au cours de la dernière année, MM. Abanin et Papić ont travaillé avec d'autres chercheurs pour pousser leurs idées encore plus loin. Leurs récents articles ont fait progresser des questions très peu étudiées sur le phénomène de localisation dans des systèmes à N corps, comme celle de savoir si elle peut se produire dans des systèmes sans désordre.

C'est une étape importante vers le saut quantique dont nous avons besoin.

AU CŒUR DE L'INTRICATION QUANTIQUE

L'intrication quantique joue de plus en plus le rôle d'un thème commun reliant information quantique, matière condensée et gravitation quantique. Mais elle demeure difficile à comprendre.

Des particules intriquées deviennent interdépendantes – ou corrélées – et le demeurent même si elles sont très éloignées dans l'espace. **Guifre Vidal**, professeur à l'Institut Péricimètre, est un pionnier des réseaux de tenseurs, nouveau formalisme qui décrit le comportement de systèmes quantiques fortement intriqués. Il a été le premier à appliquer des principes d'information quantique aux systèmes de treillis quantiques, qui jouent un rôle crucial dans la compréhension du comportement de systèmes à N particules en physique de la matière condensée.

Les réseaux de tenseurs permettent aussi de mieux étudier l'émergence, aspect différent mais connexe de la physique des systèmes à N corps

par lequel la dynamique collective d'un système engendre des propriétés de plus haut niveau – tout comme des molécules d'eau finissent par former des vagues complexes dans l'océan.

Au cours de la dernière décennie, les réseaux de tenseurs ont trouvé une gamme étonnante d'applications. Au-delà de la compréhension de la nature sous son aspect quantique, ils peuvent jouer un rôle central dans la description de systèmes utiles dans de nouvelles technologies quantiques.

Un élément clé des travaux actuels de Guifre Vidal est le MERA (*multi-scale entanglement renormalization ansatz* – ansatz de renormalisation pour intrication multi-échelle), réseau de tenseurs qu'il a proposé en 2005 et qui exploite la structure spatiale de l'intrication pour produire une description efficace et calculable d'états fondamentaux, même à un point critique quantique.

Le MERA fait l'objet de beaucoup d'intérêt à titre d'outil puissant et universel pour la compréhension de systèmes quantiques. Par exemple, il est actuellement étudié par des théoriciens des cordes comme réalisation en treillis du principe holographique. Il est aussi utilisé par des chercheurs dans les domaines de l'information quantique, de la matière condensée, de la mécanique statistique et de la gravitation quantique.

Deux récents articles dont M. Vidal est l'un des auteurs poussent plus loin notre connaissance fondamentale des réseaux de tenseurs et ouvrent de nouvelles perspectives sur l'intrication. Ces idées permettent d'étendre le formalisme du MERA aux systèmes statistiques classiques. Ces articles fournissent aussi une dérivation à partir des principes premiers, ce qui rend le MERA beaucoup plus accessible aux chercheurs dans d'autres domaines.

Références :

ABANIN, D.A., W. DE ROECK et F. HUVENEERS. *A theory of many-body localization in periodically driven systems*, arXiv:1412.4752.

PAPIĆ, Z., E.M. SToudenMIRE et D.A. ABANIN. *Is Many-Body Localization Possible in the Absence of Disorder?*, arXiv:1501.00477.

EVENBLY, G., et G. VIDAL. « Tensor network renormalization yields the multi-scale entanglement renormalization ansatz », *Physical Review Letters*, vol. 115, 2015, article n° 200401.

EVENBLY, G., et G. VIDAL. « Tensor Network Renormalization », *Physical Review Letters*, vol. 115, 2015, article n° 180405.



Guifre Vidal et son collègue Juan Maldacena (de l'IAS)

SAISIR L'OCCASION

Souvent, les idées vraiment nouvelles sortent des cadres établis. Et ce sont celles qui peuvent le plus bénéficier d'une intense collaboration interdisciplinaire.

C'est pourquoi l'Institut Périmètre a mis sur pied plusieurs initiatives s'étendant sur quelques années, pour réunir des scientifiques émergents et établis afin d'accélérer les progrès dans des domaines prometteurs.

Par exemple, les réseaux de tenseurs, nouvel ensemble puissant de méthodes numériques pour la description de systèmes quantiques fortement corrélés à N corps, se révèlent très utiles dans de nombreux domaines de la physique.

D'une durée de 5 ans, l'initiative sur les réseaux de tenseurs, dirigée par le professeur **Guifre Vidal**, comprend la professeure **Bianca Dittrich**, le boursier du directeur **Zheng-Cheng Gu** et le professeur associé **Roger Melko**. Leurs domaines d'expertise couvrent l'information quantique, la gravitation quantique, la théorie des hautes énergies et la théorie de la matière condensée.

Au cours de l'année, ce programme a réuni des experts de l'Institut Périmètre et du monde entier pour des ateliers et conférences, dont l'École d'été Mathematica sur l'intrication, de même que la série d'ateliers *Quantum Information in Quantum Gravity* (Information quantique et gravitation quantique).

Pour en savoir plus sur les réseaux de tenseurs et les autres initiatives spéciales de l'Institut Périmètre, consultez la page www.perimeterinstitute.ca/fr/recherche.

PHYSIQUE DES PARTICULES

La physique des particules explore les constituants de la nature et leurs interactions au niveau le plus fondamental. Elle a donc des liens étroits avec la théorie des cordes, la gravitation quantique et la cosmologie. À l'Institut Périmètre, les physiciens des particules comparent souvent des idées théoriques avec des observations astrophysiques et des expériences menées sur terre, par exemple au grand collisionneur de hadrons (LHC), et étudient comment ces résultats peuvent nous aider à définir la physique au-delà du modèle standard.

MATIÈRE SOMBRE ET VERRE FISSURÉ

La matière sombre est 4 fois plus abondante que la matière ordinaire, et pourtant nous ne savons presque rien à son sujet. Selon l'hypothèse la plus répandue, la matière sombre est formée de particules comme la matière ordinaire. Mais pourrait-elle ne pas ressembler du tout à nos conceptions traditionnelles de la matière?

Maxim Pospelov, professeur associé à l'Institut Périmètre, et son collaborateur Andrei Derevianko, de l'Université du Nevada, explorent cette possibilité.

Au lieu de particules, imaginez un champ comportant des fissures, un peu comme une vitre de sécurité. Le champ lui-même pourrait être indétectable, tout comme un verre parfaitement clair est invisible. Mais les fissures contenues dans le champ seraient différentes. De la même manière que l'on peut voir les fissures dans une vitre, on pourrait peut-être détecter celles qui seraient présentes dans le champ.

Selon les deux chercheurs, nous pourrions potentiellement détecter ces fissures à l'aide d'instruments que nous possédons déjà : horloges atomiques, interféromètres laser, détecteurs d'ondes gravitationnelles.

Cette façon d'aborder la matière sombre est décrite par le terme *matière sombre topologique*, et les fissures elles-mêmes sont qualifiées de *défauts topologiques*. On peut considérer ces défauts topologiques comme une toile de fond stationnaire de l'univers, et imaginer que la Terre heurte cette toile à une vitesse d'environ 300 kilomètres par seconde.

Selon MM. Pospelov et Derevianko, lorsqu'une horloge atomique traverse un défaut topologique, elle pourrait ralentir ou accélérer, selon la nature de l'interaction qui survient. Si l'on disposait d'un réseau d'horloges atomiques, la traversée d'un défaut topologique se traduirait par une onde de tels ralentissements ou accélérations, qui devrait être détectable.

Les chercheurs ont pu calculer certaines caractéristiques qu'aurait cette onde si les satellites de GPS en orbite autour de la Terre

traversaient un défaut topologique : les horloges à bord des satellites se décaleraient dans un ordre déterminé par la position orbitale des satellites, sur une durée d'environ 3 minutes.

Des expériences initiales sont déjà en cours. Seul le temps dira si elles permettront de détecter de la matière sombre topologique.

UN ATOME GRAVITATIONNEL CÉLESTE

Si la matière sombre est formée de particules, de quel genre de particule s'agit-il? Cette question n'est pas du tout anodine.

La professeure **Asimina Arvanitaki** a récemment exploré un scénario selon lequel les trous noirs pourraient nous donner des indices sur la nature de la matière sombre.

Son raisonnement est le suivant : supposons que la taille d'une particule – ou, techniquement parlant, sa longueur d'onde de Compton – soit de l'ordre de celle d'un trou noir; une telle particule peut être confinée par l'intense gravité du trou noir, entraînée par son espace-temps en rotation dans une sorte d'état rigide, selon le processus de Penrose. La description théorique de ce processus est due à Roger Penrose, l'un des pionniers de l'astrophysique.

Liés l'un à l'autre par le processus de Penrose, la particule et le trou noir deviennent ce que M^{me} Arvanitaki appelle « un atome gravitationnel céleste » [traduction]. Cette notion introduit des possibilités fascinantes dans la recherche des constituants élémentaires de la nature, y compris la matière sombre.

Alors que les forces incroyables du trou noir font des ravages dans l'espace-temps environnant, un processus dit de *superradiance* entraîne une augmentation très rapide – en fait exponentielle – du nombre de particules en orbite autour du trou noir, ce qui a pour effet de diminuer l'énergie et le moment angulaire du trou noir.

Des particules peuvent passer d'un état d'énergie à un autre, produisant des gravitons (tout comme les transitions entre états d'énergie des électrons d'un atome peuvent produire des photons – processus à l'origine du fonctionnement des lasers). Des paires de particules peuvent aussi s'annihiler, se transformant en une paire de gravitons – dont l'un est absorbé par le trou noir alors que l'autre s'en échappe. Les deux phénomènes produisent un signal qui peut être détecté sur terre : des ondes gravitationnelles.

Asimina Arvanitaki croit que ce processus pourrait permettre aux chercheurs de diagnostiquer la présence d'une particule appelée *axion* en chromodynamique quantique, particule élémentaire hypothétique considérée par plusieurs comme candidate possible pour la matière sombre.

QU'EN EST-IL DU CÔTÉ SOMBRE?

La matière sombre constitue vraisemblablement un quart de la masse de l'univers, mais elle demeure toujours mystérieuse. Il y a beaucoup de preuves indirectes de son existence, mais on ne l'a jamais détectée directement, puisqu'elle n'interagit avec la matière ordinaire que par la gravité. Mais si elle interagissait avec elle-même? On pourrait concevoir un volet entièrement sombre de la physique, régi par des forces que nous ne pouvons pas ressentir. Si de telles forces inconnues existaient, pourrions-nous le savoir?

Philip Schuster et **Natalia Toro**, professeurs à l'Institut Périmètre, sont à la fine pointe de la recherche de la matière sombre. Avec **Eder Izaguirre** et **Gordan Krnjaic**, postdoctorants à l'Institut, ils ont proposé un ensemble élégant d'expériences faisant appel à des accélérateurs « à faible énergie » pour rechercher de la matière sombre ainsi que des « forces sombres » non encore détectées.

Leurs travaux ont ouvert un nouveau sous-domaine de la physique, et des centaines de scientifiques recherchent de nouvelles forces et de la matière sombre dans une douzaine d'expériences de physique des hautes énergies et de physique nucléaire. Philip Schuster et Natalia Toro ont eux-mêmes contribué à amener 3 expériences de la conception à la réalisation : APEX, dont ils sont les porte-parole, de même que HPS et BDX, dont ils sont les chefs fondateurs. Ils travaillent aussi à d'autres propositions intéressantes de recherche de la matière sombre.

Cette manière d'aborder la physique des particules est complémentaire de celle du LHC, et tout aussi fondamentale. Toute découverte que ces expériences susciteront pourrait révolutionner la physique.

Références :

DEREVIANKO, A., et M. POSPELOV. « Hunting for topological dark matter with atomic clocks », *Nature Physics*, vol. 10, 2014, p. 933-936, doi:10.1038/nphys3137, arXiv:1311.1244.

ARVANITAKI, A., M. BARYAKHTAR et X. HUANG. « Discovering the QCD Axion with Black Holes and Gravitational Waves », *Physical Review D*, vol. 91, 2015, article n° 084011, arXiv:1411.2263.

IZAGUIRRE, E., G. KRnjaIC, P. SCHUSTER et N. TORO. « Analyzing the Discovery Potential for Light Dark Matter », *Physical Review Letters*, vol. 115, 2015, article n° 251301, arXiv:1505.00011.

IZAGUIRRE, E., G. KRnjaIC, P. SCHUSTER et N. TORO. « Testing GeV-Scale Dark Matter with Fixed-Target Missing Momentum Experiments », *Physical Review D*, vol. 91, 2015, article n° 094026, arXiv:1411.1404.



Natalia Toro et Philip Schuster

« J'ai été très attirée par tous ces gens énergiques, actifs et travailleurs, qui s'efforcent de réaliser de grandes choses. Selon moi, les recherches faites ici ouvrent vraiment la voie à de grandes découvertes scientifiques au cours de la prochaine génération. »
[traduction]

– Natalia Toro

« Ce lieu est animé par la quête de la découverte. Chacun fait de son mieux et nous nous encourageons mutuellement non seulement à travailler sur ce qui était peut-être populaire il y a cinq ans ou sur l'idée de l'heure, mais aussi à explorer des avenues entièrement nouvelles, à faire de véritables découvertes. »
[traduction]

– Philip Schuster

Cette année, Natalia Toro et Philip Schuster ont obtenu conjointement un prix *Nouveaux horizons en physique* accordé par la Fondation des Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize Foundation*), pour leurs méthodes innovatrices de recherche d'une nouvelle physique au grand collisionneur de hadrons, et pour avoir initié de nouvelles recherches de la matière sombre.

THÉORIE QUANTIQUE DES CHAMPS ET THÉORIE DES CORDES

La théorie quantique des champs est le système moderne qui nous permet de comprendre la physique des particules, les systèmes de matière condensée et de nombreux aspects de la cosmologie du commencement de l'univers. On l'utilise pour décrire les interactions entre particules élémentaires, la dynamique des systèmes à N corps, ainsi que des phénomènes critiques, toujours avec une grande précision. Les chercheurs de l'Institut Périmètre sont à l'origine d'avancées majeures en théorie quantique des champs.

La théorie des cordes cherche à produire une description unifiée de toutes les particules et forces de la nature, y compris la gravité. Elle repose sur l'idée que, de très près, toutes les particules devraient être considérées comme des objets unidimensionnels étendus appelés « cordes ». La théorie moderne des cordes est devenue un domaine de recherche vaste et varié, étroitement lié à la gravitation quantique, à la physique des particules, à la cosmologie et aux mathématiques.

COMPLÉTER LA COURTEPOINTE

L'une des questions les plus fondamentales en théorie des cordes est de savoir ce qui se passe lorsque des cordes entrent en interaction. Une manière productive de s'attaquer à cette question consiste à la transformer en un problème de topologie. Imaginons une corde fermée simple – c'est-à-dire une minuscule boucle d'énergie qui vibre. Tout comme un point se déplaçant dans l'espace trace une ligne droite ou courbe, cette corde se déplaçant dans l'espace trace un cylindre qui évoque une paille pour boire. Dans le langage de la théorie des cordes, cette surface s'appelle la feuille d'univers de la corde.

Lorsque la corde commence à interagir avec d'autres cordes et avec son environnement, elle crée des objets topologiques et des feuilles d'univers plus complexes, qui exigent des calculs plus difficiles.

Pedro Vieira, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de l'Institut Périmètre, a entrepris un ambitieux projet de recherche à long terme dans le but de simplifier ces calculs, permettant d'espérer pour la première fois la résolution analytique d'interactions entre cordes. De nombreux collaborateurs se sont joints à lui pour ce projet, dont plus récemment les doctorants **Lucia Cordova** et **Joao Caetano**, ainsi que les postdoctorants **Benjamin Basso**, **Shota Komatsu** et **Amit Sever**, tous de l'Institut Périmètre.

La base de cette recherche consiste en premier lieu à apprendre à décomposer les objets topologiques complexes en composantes plus simples, puis à les remettre ensemble – comme pour fabriquer une courtepointe. Les chercheurs ont appris à découper les objets topologiques décrivant des cordes fermées (ou boucles) en hexagones

et les cordes ouvertes en pentagones. Ils ont ensuite mis au point les outils mathématiques qui permettent de recoudre ces pièces ensemble, créant ainsi des feuilles d'univers arbitrairement grandes et complexes.

Il y a toujours eu un risque que ce programme échoue à la dernière minute – que le comportement des feuilles d'univers aux endroits où elles sont mathématiquement découpées et recousues soit trop complexe pour pouvoir être traité. Mais le programme de recherche a franchi cette année une étape majeure, et les diverses pièces ont enfin été rassemblées.

Il s'agit d'un résultat important, qui pourrait bien avoir des répercussions à long terme tant sur la théorie des cordes que sur la physique des particules.

LA THÉORIE QUANTIQUE DES CHAMPS EST-ELLE UNE THÉORIE DES CORDES DÉGUISÉE?

La théorie quantique des champs (TQC) est l'épine dorsale de nos meilleurs modèles de l'univers. Toute théorie qui aspire à aller plus loin et à être unifiée avec la théorie de la gravitation d'Einstein doit, à une certaine limite, pouvoir être représentée par une TQC.

La théorie des cordes a été élaborée précisément pour cela. Elle repose sur l'idée que toutes les sortes de particules de l'univers sont faites

d'un même objet de base, une corde étendue, qui se présente sous divers modes vibratoires. C'est une idée à la fois audacieuse et élégante.

Cependant, en théorie des cordes, il y a une limite où les cordes rétrécissent et deviennent semblables à des points. À cette limite, elles peuvent être représentées par une TQC. Cela indique de manière fascinante que la théorie des cordes pourrait fournir l'unification tant désirée, mais il faut davantage de preuves pour que la théorie des cordes puisse être considérée comme une théorie unifiée de la nature.

En décembre 2014, **Freddy Cachazo**, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson, **Song He**, postdoctorant à l'Institut Périclète, et **Ellis Yuan**, étudiant diplômé à l'Institut Périclète et à l'Université de Waterloo, ont démontré qu'une grande variété de TQC bien connues (dont la gravitation d'Einstein et l'électromagnétisme) peuvent être décrites directement par un nouveau type de « grandes » cordes, c'est-à-dire des cordes qui ne sont pas à la limite où elles deviennent semblables à des points.

Ce que l'on appelle maintenant la formulation de Cachazo-He-Yuan consiste à exprimer les amplitudes de diffusion (qui servent à calculer les résultats d'une expérience de collision de particules) de TQC sous forme d'interactions dans un plan bidimensionnel, où des cordes unidimensionnelles se déplacent dans le temps (une dimension de plus).

Références :

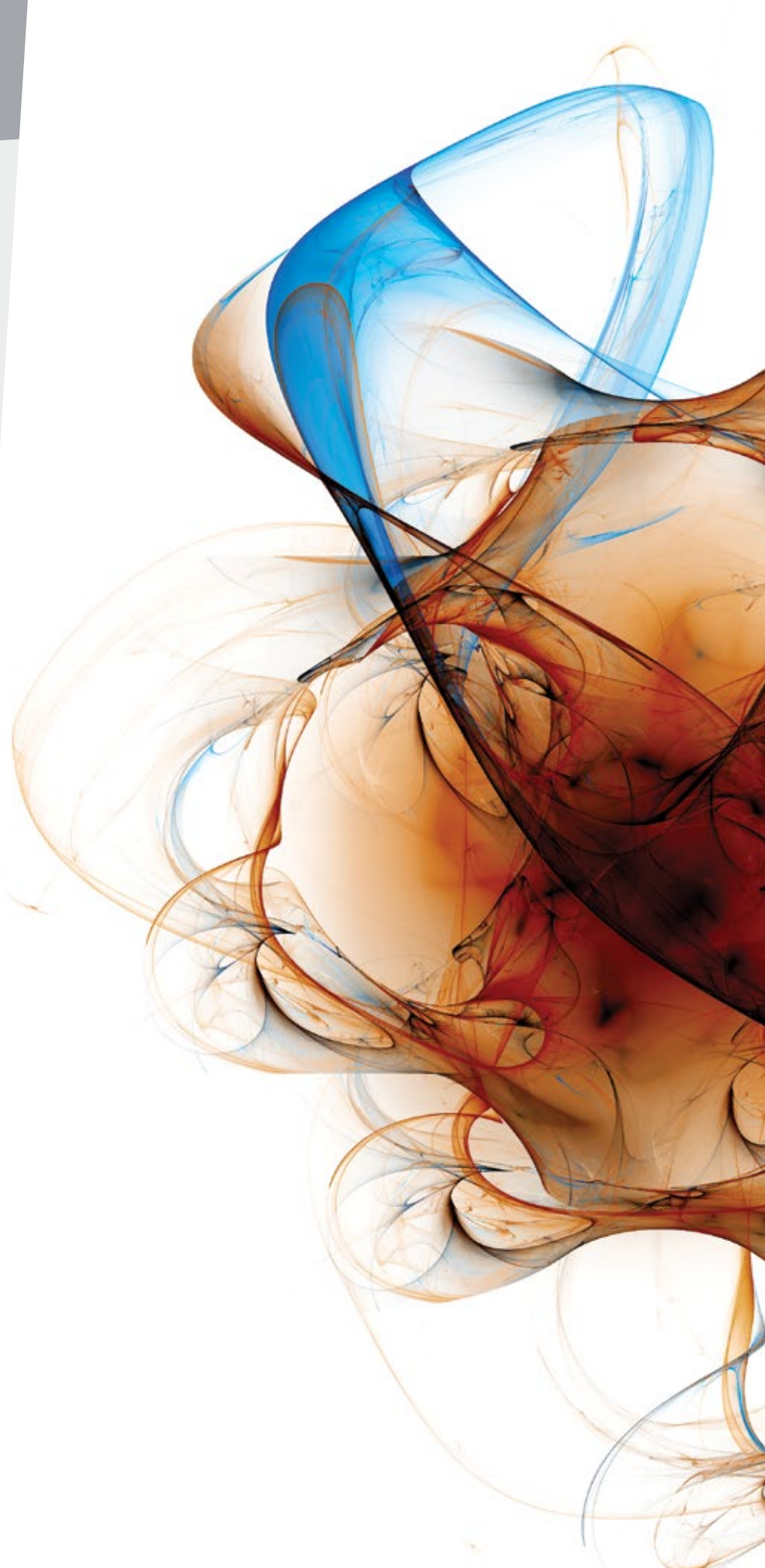
BASSO, B., J. CAETANO, L. CORDOVA, A. SEVER et P. VIEIRA. « OPE for all Helicity Amplitudes », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2015, n° 8, article n° 018, arXiv:1412.1132.

BASSO, B., S. KOMATSU et P. VIEIRA. *Structure Constants and Integrable Bootstrap in Planar N=4 SYM Theory*, arXiv:1505.06745.

BASSO, B., J. CAETANO, L. CORDOVA, A. SEVER et P. VIEIRA. *OPE for all Helicity Amplitudes II. Form Factors and Data analysis*, arXiv:1508.02987.

CASINI, H., M. HUERTA, R. MYERS et A. YALE. « Mutual Information and the F-theorem », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2015, n° 10, article n° 003, arXiv:1506.06195.

CACHAZO, F., S. HE et E. YUAN. « Scattering Equations and Matrices: From Einstein to Yang-Mills, DBI and NLSM », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2015, n° 7, article n° 149, arXiv:1412.3479.



GRAVITATION QUANTIQUE

La théorie de la gravitation quantique cherche à compléter la révolution commencée par Einstein en physique, en unifiant la théorie de la relativité générale et la physique quantique dans un même cadre théorique. Des chercheurs de l'Institut Périmètre travaillent activement sur un certain nombre d'approches de ce problème, dont la gravitation quantique à boucles, les modèles de mousse de spin, la sécurité asymptotique, la gravité émergente, la théorie des cordes et la théorie des ensembles causaux. La recherche sur la gravitation quantique rejoint d'autres domaines comme la cosmologie, la physique des particules et les fondements de la physique quantique.

L'ÉMERGENCE DE L'ESPACE ET DU TEMPS À PARTIR D'ATOMES DE GÉOMÉTRIE QUANTIQUE

Nous savons que l'air et les métaux ne sont pas lisses. Les propriétés qui différencient les gaz, les liquides et les solides émergent des mouvements et interactions complexes de myriades d'atomes.

Il existe depuis longtemps une hypothèse selon laquelle l'espace et le temps seraient eux aussi formés de multitudes d'« atomes fondamentaux d'espace-temps quantique ». Ce que nous appelons l'espace et le temps émergeraient alors des interactions de ces atomes.

Pour les théoriciens, un défi central consiste à mettre au point des techniques permettant de déduire, à partir de la dynamique fondamentale de ces atomes d'espace-temps quantique, les propriétés de l'espace-temps classique, notamment les équations de la relativité générale.

La professeure **Bianca Dittrich** a fait des progrès importants en vue d'atteindre cet objectif. Elle dirige l'élaboration d'un nouveau système, qu'elle appelle « broyage grossier aux frontières », pour analyser le comportement à grande échelle de l'espace-temps quantique.

Avec ses collaborateurs (dont **Sebastian Mizera** et **Sebastian Steinhaus**, étudiants diplômés à l'Institut Périmètre), elle a appliqué avec succès ce nouveau système à un ensemble de modèles d'espace-temps quantique comportant de plus en plus de complexité et de dimensions. Les chercheurs ont également découvert un nouvel « état » de l'espace-temps quantique. Ils sont maintenant sur le point d'appliquer leurs techniques à des modèles parfaitement réalistes d'espace-temps à 4 dimensions.

UN REGARD NEUF SUR L'ESPACE-TEMPS

Laurent Freidel, professeur à l'Institut Périmètre, et ses collaborateurs viennent de proposer une nouvelle manière d'aborder la théorie des cordes, avec des implications étonnantes sur la nature de l'espace et du temps.

Ils ont appliqué à la théorie des cordes un principe récemment découvert, appelé *principe de localité relative*. Selon ce principe, le fait que deux événements qui se produisent loin d'un observateur coïncident ne dépend pas uniquement du mouvement de l'observateur (comme dans la théorie de la relativité d'Einstein), mais aussi de l'énergie de la lumière utilisée pour observer ces événements.

Proposé par M. Freidel, **Lee Smolin**, professeur à l'Institut Périmètre, et leurs collaborateurs, ce principe implique que la structure de l'espace et du temps dépend de l'énergie des moyens que nous utilisons pour l'observer.

En appliquant le principe de localité relative à la théorie des cordes, Laurent Freidel et ses collaborateurs dressent un portrait radicalement nouveau de l'espace-temps et de la théorie des cordes, où une corde fondamentale se déplace dans une nouvelle géométrie quantique qu'ils appellent *espace-temps modulaire*.

Ces travaux permettent aux théoriciens de mieux comprendre certaines symétries et dualités de la théorie des cordes, telles que la dualité de Born, en vertu de laquelle la dynamique d'un système peut s'exprimer aussi bien à partir de sa position que de son moment.

LE TEMPS D'ABORD

Avant de pouvoir combiner la physique quantique et la relativité générale, il faut résoudre un problème important : les deux théories ont des conceptions différentes du temps.

Lee Smolin, professeur à l'Institut Péricimètre, aborde cette unification d'une manière nouvelle, en considérant le temps comme fondamental dans l'expression des lois de la physique. Ses travaux reposent sur 3 hypothèses clés : les relations de causalité et le flux des moments sont des aspects fondamentaux de la réalité; l'irréversibilité est fondamentale, de telle sorte que des événements ne peuvent pas revenir en arrière; les lois de la nature ne sont pas statiques, mais elles évoluent elles-mêmes avec le temps.

Lee Smolin a élaboré ce cadre dans une série d'articles qui ont culminé avec la parution de 2 livres – *The Singular Universe and the Reality of Time* (L'univers singulier et la réalité du temps) et *Time Reborn*, traduit en français sous le titre *La renaissance du temps*. Il s'en est suivi une nouvelle formulation de l'espace-temps quantique, dite des *ensembles causaux énergétiques*, qu'il a élaborée avec Marina Cortès, de l'Université d'Édimbourg. (Ils se sont appuyés sur des travaux précédents portant sur les modèles d'ensembles causaux, effectués par **Rafael Sorkin** et **Cohl Furey**, chercheurs à l'Institut Péricimètre.)

Dans une série de 3 articles, Lee Smolin et Marina Cortès élaborent leur théorie de manière analytique et par simulation numérique. Ils ont découvert une application aux modèles de mousse de spin (qui sont des modèles réalistes de géométrie quantique). Ces travaux ont valu à leurs auteurs le nouveau grand prix Buchalter, créé « pour stimuler des recherches originales dans les secteurs de la théorie, de l'observation et de l'expérimentation en cosmologie, qui remettent en question, étendent ou éclairent les modèles actuels, ou bien qui contribuent à expliquer l'expansion cosmique sur la base de principes fondamentaux » [traduction].

Dans des travaux subséquents menés avec **Henrique Gomes**, postdoctorant à l'Institut Péricimètre, les deux chercheurs ont montré que la relativité générale peut être naturellement étendue à une théorie irréversible dans le temps – ce qui peut être testé par des observations cosmologiques.

Références :

DITTRICH, B., et M. GEILLER. « A new vacuum for Loop Quantum Gravity », *Classical and Quantum Gravity*, vol. 32, 2015, article n° 112001, arXiv:1401.6441.

DITTRICH, B., et S. STEINHAUS. « Time evolution as refining, coarse graining and entangling », *New Journal of Physics*, vol. 16, 2014, article n° 123041, arXiv:1311.7565.

DITTRICH, B., S. MIZERA et S. STEINHAUS. *Decorated tensor network renormalization for lattice gauge theories and spin foam models*, arXiv: 1409.2407.

FREIDEL, L., R.G. LEIGH et D. MINIC. *Metastring Theory and Modular Space-time*, arXiv:1502.08005.

FREIDEL, L., R.G. LEIGH et D. MINIC. « Born Reciprocity in String Theory and the Nature of Spacetime », *Physical Review Letters B*, vol. 730, 2014, p. 302, arXiv:1307.7080.

CORTÈS, M., et L. SMOLIN. « The Universe as a Process of Unique Events », *Physical Review D*, vol. 90, 2014, article n° 084007, arXiv:1307.6167.

CORTÈS, M., et L. SMOLIN. « Quantum energetic causal sets », *Physical Review D*, vol. 90, 2014, article n° 044035.

CORTÈS, M., et L. SMOLIN. *Spin foam models as energetic causal sets*, arXiv:1407.0032.

CORTÈS, M., H. GOMES et L. SMOLIN. « Time asymmetric extensions of general relativity », *Physical Review D*, vol. 92, 2015, article n° 043502, arXiv:1503.06085.

FONDEMENTS QUANTIQUES

L'étude des fondements quantiques porte sur les bases conceptuelles et mathématiques de la physique quantique. À l'Institut Péricimètre, la recherche dans ce domaine vise à préciser et à reformuler la physique quantique d'une manière qui en exprime la nature et la structure véritables. Ces travaux sont étroitement liés à la recherche sur la gravitation quantique et l'information quantique.

CAUSE ET EFFET DANS LE MONDE QUANTIQUE

Corrélation n'implique pas causalité. Cet avertissement est inculqué dans la tête des scientifiques comme dans celle des statisticiens. Si vous avez 2 variables, A et B, dont les valeurs semblent augmenter et diminuer ensemble, cela ne signifie pas nécessairement que A entraîne B ou que B entraîne A. Les 2 variables pourraient tout simplement avoir une cause commune. À moins de pouvoir réaliser une expérience sur le système, il est impossible de déduire une relation de cause à effet à partir d'une relation de cause commune. D'où l'avertissement.

Mais cet avertissement doit maintenant être mis à jour. De récentes recherches effectuées à l'Institut Péricimètre et à l'Institut d'informatique quantique (IQC) montrent que, dans un monde quantique, certains types de corrélations *peuvent* entraîner une relation de causalité.

Ces recherches sont à la fois théoriques et expérimentales. **Robert Spekkens**, professeur à l'Institut Péricimètre, et la doctorante **Katja Ried** ont travaillé avec Dominik Janzing, scientifique à l'Institut Max-Planck, sur l'aspect théorique. Ils ont considéré le cas où un observateur mesure 2 variables quantiques – p. ex. les propriétés de polarisation de 2 photons – à 2 moments différents. L'observateur ne sait pas s'il regarde le même photon 2 fois (et donc mesure une relation de cause à effet) ou s'il regarde 2 photons intriqués (et donc mesure une relation issue de causes communes). L'idée cruciale des théoriciens est que, selon la physique quantique, les corrélations observées dans le cas d'une relation de cause à effet se comportent différemment des corrélations observées dans le cas d'une cause commune, ce qui permet de distinguer les 2 scénarios.

La théorie est devenue réalité à l'IQC, où le groupe de Kevin Resch a construit un circuit dans lequel l'expérimentateur lui-même ne connaît pas la nature de la relation de causalité. Exactement comme les théoriciens l'avaient prédit, les comportements de corrélation ont révélé de quel type de structure causale il s'agissait.

La morale de l'histoire est que corrélation n'implique pas causalité, sauf dans le monde quantique. Cette découverte est importante en

physique fondamentale, tout en ayant un potentiel d'applications à la technologie quantique.

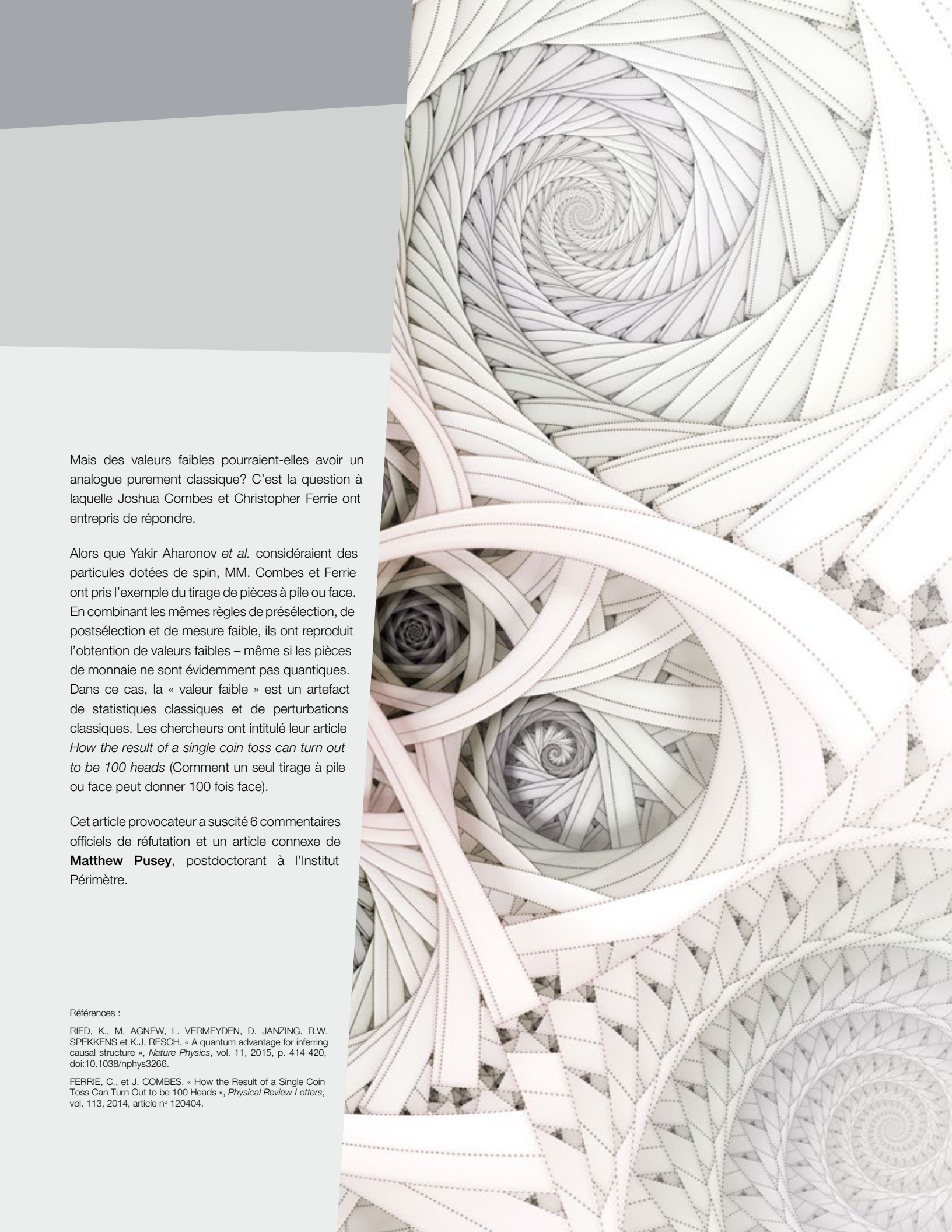
REMISE EN QUESTION DES VALEURS FAIBLES

Selon de nouvelles recherches effectuées par **Joshua Combes**, postdoctorant à l'Institut Péricimètre, et Chris Ferrie, de l'Université du Nouveau-Mexique, une technique clé utilisée pour sonder les systèmes quantiques pourrait ne pas être si quantique.

La technique en question, dite « des mesures faibles », fonctionne un peu comme suit. Supposons que l'on veuille mesurer le spin de certaines particules. On prépare les particules dans un état particulier – par exemple celles qui ont le spin vers le haut, en écartant les données des particules dont le spin est vers le bas. C'est ce que l'on appelle la *présélection*. Plus tard, on détecte les particules qui sont dans un état final donné, écartant à nouveau celles qui ne sont pas dans l'état voulu. C'est la *postsélection*.

On effectue également une mesure entre les états initial et final. Pour minimiser les perturbations que cette mesure entraîne pour le système, on mesure le spin aussi délicatement – ou faiblement – que possible.

En combinant présélection, postsélection et mesure faible, on obtient un résultat inattendu, comme en témoigne le titre d'un article phare de **Yakir Aharonov** (maintenant titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre) *et al.*, publié en 1988 : *How the measurement of a component of the spin of a spin-1/2 particle can turn out to be 100* (Comment la mesure d'une composante du spin d'une particule dont le spin est $\frac{1}{2}$ peut donner un résultat égal à 100). Ce résultat étrange – une mesure dont la valeur devrait être de $+\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$ donne en fait 100 – s'appelle une « mesure faible », et l'on croit qu'il ouvre une nouvelle fenêtre importante sur le monde quantique.



Mais des valeurs faibles pourraient-elles avoir un analogue purement classique? C'est la question à laquelle Joshua Combes et Christopher Ferrie ont entrepris de répondre.

Alors que Yakir Aharonov *et al.* considéraient des particules dotées de spin, MM. Combes et Ferrie ont pris l'exemple du tirage de pièces à pile ou face. En combinant les mêmes règles de présélection, de postsélection et de mesure faible, ils ont reproduit l'obtention de valeurs faibles – même si les pièces de monnaie ne sont évidemment pas quantiques. Dans ce cas, la « valeur faible » est un artefact de statistiques classiques et de perturbations classiques. Les chercheurs ont intitulé leur article *How the result of a single coin toss can turn out to be 100 heads* (Comment un seul tirage à pile ou face peut donner 100 fois face).

Cet article provocateur a suscité 6 commentaires officiels de réfutation et un article connexe de **Matthew Pusey**, postdoctorant à l'Institut Péricimètre.

Références :

RIED, K., M. AGNEW, L. VERMEYDEN, D. JANZING, R.W. SPEKKENS et K.J. RESCH. « A quantum advantage for inferring causal structure », *Nature Physics*, vol. 11, 2015, p. 414-420, doi:10.1038/nphys3266.

FERRIE, C., et J. COMBES. « How the Result of a Single Coin Toss Can Turn Out to be 100 Heads », *Physical Review Letters*, vol. 113, 2014, article n° 120404.

PRIX, DISTINCTIONS ET SUBVENTIONS MAJEURES

- Les professeurs **Philip Schuster** et **Natalia Toro** ont obtenu ensemble un prix *Nouveaux horizons en physique* 2015, d'une valeur de 100 000 \$ US, accordé par la Fondation des Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize Foundation*).
- **Pedro Vieira**, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de l'Institut Péricimètre, a reçu une bourse de recherche Sloan 2015, d'une valeur de 55 000 \$ US.
- **Neil Turok**, directeur de l'Institut Péricimètre et titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique, a été élu membre de la Société royale du Canada.
- Pour la deuxième année consécutive, le professeur **Robert Myers** a fait partie de la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée par Thomson Reuters. **Juan Ignacio Cirac**, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre, a également fait partie de cette liste en 2015.
- **Pedro Vieira** a reçu la prestigieuse médaille Gribov 2015 remise par la Société européenne de physique, devenant le 3^e professeur de l'Institut Péricimètre depuis 2009 à se mériter cet honneur.
- Le professeur **Lee Smolin** et sa collaboratrice Marina Cortês ont été les premiers lauréats du nouveau grand prix Buchalter de cosmologie de la Société américaine d'astronomie. Le professeur **Luis Lehner** et le professeur associé **Matthew Johnson** ont été parmi les lauréats du 3^e prix.
- **Neil Turok** a reçu un doctorat honorifique de l'Université de Stellenbosch, en Afrique du Sud.
- L'adjoint invité **Eduardo Martin-Martinez** a obtenu un prix John-Charles-Polyani 2015, d'une valeur de 20 000 \$, remis par le Conseil des universités de l'Ontario.
- **Joseph Ben Geloun**, ancien postdoctorant à l'Institut Péricimètre, s'est mérité le prix du jeune scientifique 2015 en physique mathématique, remis par l'Union internationale de physique pure et appliquée, pour des travaux effectués alors qu'il était à l'Institut Péricimètre.
- Trois chercheurs de l'Institut Péricimètre ont obtenu chacun une bourse de nouveau chercheur, d'une valeur de 140 000 \$, accordée par le gouvernement de l'Ontario :
 - le professeur **Philip Schuster**
 - le professeur **Kendrick Smith**
 - le professeur associé **Itay Yavin**



- Le professeur associé **Avery Broderick** est l'un des bénéficiaires d'une subvention de 6,5 millions de dollars US de la Fondation nationale des sciences des États-Unis, qui vise à soutenir l'expérience du télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements).
- Les scientifiques de l'Institut Périmètre ont obtenu en tout 3,7 millions de dollars en subventions de recherche d'organismes tels que le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, la Fondation Simons, la Fondation John-Templeton et l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*).

UNE TRÈS BONNE ANNÉE

Ce fut une très bonne année pour **Pedro Vieira**, qui a remporté 2 distinctions majeures – une bourse de recherche Sloan et la médaille Gribov – et a été nommé titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique de l'Institut Périmètre.

Les récipiendaires de bourses de recherche Sloan sont reconnus comme personnes à surveiller, et avec raison : pas moins de 42 d'entre eux ont obtenu par la suite un prix Nobel. La médaille Gribov est remise tous les 2 ans par la Société européenne de physique pour des travaux exceptionnels effectués par des physiciens de moins de 35 ans.

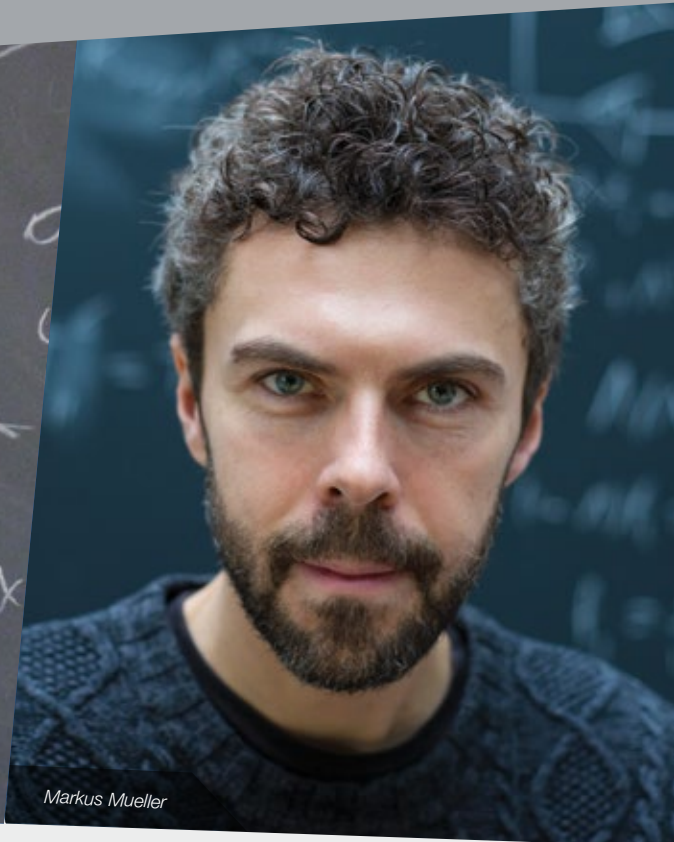
Ces distinctions reconnaissent les travaux de M. Vieira, qui visent à mettre au point des techniques exactes de résolution de théories de jauge et de théories des cordes, afin de résoudre les problèmes les plus difficiles et durables de la théorie quantique des champs.

En utilisant une technique mathématique appelée *holographie*, Pedro Vieira a ouvert une voie vers une compréhension conceptuelle et pratique plus riche de la théorie quantique des champs – le langage dans lequel s'écrivent la physique des particules, la physique de la matière condensée et une grande partie de la cosmologie.

RECRUTEMENT



Max Metlitski



Markus Mueller

L'équipement scientifique le plus puissant au monde n'est pas un accélérateur de particules ou un véhicule spatial : c'est l'esprit humain.

La meilleure manière de susciter des percées scientifiques est de réunir de brillants chercheurs. L'Institut Péricône rassemble de grands cerveaux et les met au défi de s'attaquer aux questions les plus ambitieuses, dans un milieu dynamique et un esprit de collaboration.

L'Institut Péricône est devenu le plus grand centre indépendant de recherche en physique théorique, une communauté de chercheurs extraordinaires qui ont la liberté et le désir de réfléchir aux questions les plus profondes. En 2014-2015, l'Institut a accueilli des scientifiques de premier plan couvrant tout le spectre de la physique théorique, notamment dans des domaines en croissance comme la physique de la matière condensée et la physique mathématique.

CHAIRES DE RECHERCHE DE L'INSTITUT PÉRICÔNE

Le programme de chaires de recherche de l'Institut Péricône a été conçu pour attirer des chercheurs de premier plan à l'échelle mondiale dans des domaines choisis de manière stratégique. Ce programme amène et retient à l'Institut des scientifiques de haut calibre, autour desquels se forment des groupes de recherche dynamiques, capables de réaliser des progrès majeurs sur des problèmes clés. Considérées comme les chaires les plus prestigieuses au monde en physique

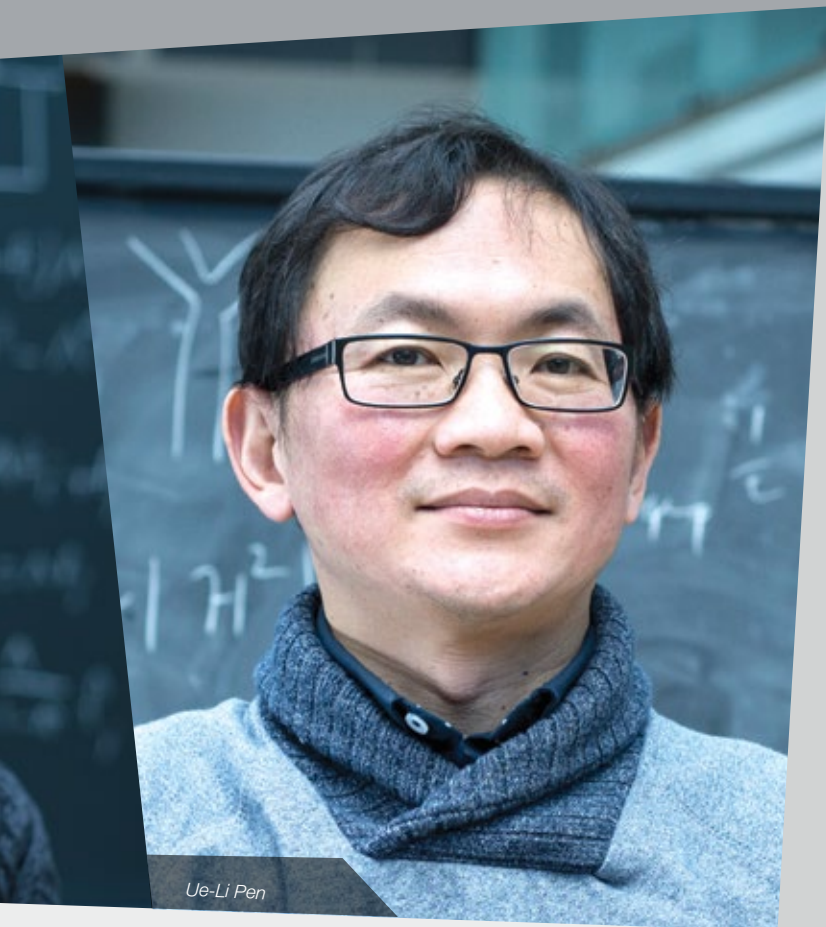
théorique, elles portent les noms de scientifiques légendaires dont les idées ont contribué à définir la physique.

Depuis que Xiao-Gang Wen a été nommé en 2012 titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique, l'Institut a attribué des chaires de recherche à 7 autres chercheurs de renommée internationale.

Au cours de la dernière année, l'Institut Péricône a accueilli **Kevin Costello**, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton, la 5^e chaire de recherche de l'Institut. Il a aussi nommé 3 autres titulaires de chaires de recherche : **Freddy Cachazo**, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson; **Pedro Vieira**, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac; **Paul Steinhardt**, titulaire de la chaire Richard-P.-Feynman (à titre de chercheur invité).

Pour contribuer au financement des nouvelles chaires de recherche, l'Institut Péricône a obtenu des investissements d'un montant total de 3,3 millions de dollars, de Gluskin Sheff et associés, de la Fondation de bienfaisance de la famille Riddell et de Cenovus Energy – cette dernière financera la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell, occupée par **Subir Sachdev** (à titre de chercheur invité).

Freddy Cachazo est un chef de file mondial de l'étude et du calcul des amplitudes de diffusion dans des théories de jauge, telles que la chromodynamique quantique (QCD) et les théories de Yang-Mills supersymétriques $N=4$, ainsi que de la théorie de la gravitation



Ue-Li Pen

QUELQUES STATISTIQUES

L'Institut Péricètre compte le plus grand nombre de chercheurs en physique théorique au monde.

24 professeurs à plein temps, dont 8 titulaires de chaire de recherche de l'Institut Péricètre

17 professeurs associés nommés conjointement avec des universités partenaires

44 titulaires de chaire de chercheur invité distingué

22 adjoints invités

59 postdoctorants

71 étudiants diplômés¹

¹ Dont 42 doctorants et 29 étudiants de maîtrise dans le cadre du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricètre). Tous ces chiffres correspondent à la situation de l'Institut Péricètre au 31 juillet 2015.

d'Einstein. Professeur à l'Institut Péricètre depuis 2005, il a reçu de nombreuses distinctions, dont en 2014 un prix *Nouveaux horizons en physique* de la Fondation des Prix de physique fondamentale.

Pedro Vieira, devenu professeur à l'Institut Péricètre en 2009, met au point de nouveaux outils mathématiques pour les théories de jauge et des cordes. Celles-ci visent ultimement la résolution d'une théorie de jauge quadridimensionnelle réaliste. M. Vieira s'intéresse également à la correspondance AdS/CFT, ainsi qu'au calcul théorique d'amplitudes de diffusion. Cette année, il s'est mérité une bourse de recherche Sloan et la médaille Gribov de la Société européenne de physique.

Paul Steinhardt est un cosmologiste réputé dont les recherches portent aussi sur la physique des particules, l'astrophysique, la physique de la matière condensée et les sciences de la Terre. Ces dernières années, il a élaboré avec Neil Turok la « théorie cyclique » de l'univers. À titre de titulaire de la chaire Richard-P.-Feynman, il passera 3 mois par année à l'Institut, en conjonction avec ses postes de professeur Albert-Einstein en sciences à l'Université de Princeton et directeur du Centre de sciences théoriques de Princeton.

PROFESSEURS À PLEIN TEMPS

En 2014-2015, en plus de nommer de nouveaux titulaires de chaire de recherche, l'Institut Péricètre a recruté comme professeur **Max Metlitski**, jeune chercheur canadien exceptionnel, qui était depuis

2011 postdoctorant associé à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara. Ses travaux ont contribué au développement de la théorie des points critiques quantiques dans les métaux ainsi qu'à la compréhension des phases topologiques en présence d'interactions. Son arrivée contribuera à l'expertise croissante de l'Institut Péricètre en physique de la matière condensée. Depuis 2013, Max Metlitski a remporté le prix Hermann-Kummel pour réalisation exceptionnelle par un jeune chercheur en physique de N corps, le prix Nevill-F.-Mott, de la Conférence internationale sur les systèmes électroniques fortement corrélés, pour un chercheur en début de carrière, ainsi que le prix William-L.-McMillan.

PROFESSEURS ASSOCIÉS

Pour compléter son corps professoral à plein temps, l'Institut Péricètre conclut des partenariats avec des universités canadiennes afin d'attirer et de retenir des scientifiques de haut calibre dans le cadre de son programme de professeurs associés. Les professeurs associés passent jusqu'à 50 % de leur temps à l'Institut Péricètre, en plus d'enseigner et de faire de la recherche dans une université partenaire. En offrant des occasions uniques à l'Institut Péricètre comme à ses partenaires, ce programme amène au Canada de nombreux scientifiques de renom.

En 2014-2015, l'Institut Péricètre a recruté 3 professeurs associés, dont un premier nommé conjointement avec l'Université de Toronto.



Sarah Shandera, boursière Emmy-Noether

Alexander Braverman est entré en fonction à l'Institut Péricètre en juillet 2015, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Toronto, après avoir été pendant une dizaine d'années professeur à l'Université Brown. Il se spécialise dans un certain nombre de domaines ayant des applications en physique mathématique, domaine en expansion rapide à l'Institut. Mentionnons la géométrie algébrique, la théorie des représentations, la théorie des nombres et le programme de Langlands géométrique.

Markus Mueller, physicien mathématicien, a été nommé conjointement avec l'Université Western, où il est titulaire de la chaire de recherche du Canada sur les fondements de la physique, après avoir travaillé à l'Institut de physique théorique de l'Université de Heidelberg. Il travaille dans les domaines de l'information quantique et des fondements quantiques, et s'intéresse plus particulièrement à la physique statistique, aux théories probabilistes généralisées et à la théorie algorithmique de l'information.

Ue-Li Pen est un astrophysicien théoricien qui étudie des systèmes où les effets physiques fondamentaux peuvent être isolés des complexités astronomiques. Ses domaines de recherche comprennent la cosmologie de la raie à 21 cm, les simulations en informatique de haute performance, les ondes gravitationnelles, les pulsars et l'interférométrie radio. Il est nommé conjointement avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto, où il est directeur adjoint depuis 2009.

CHAIRES DE CHERCHEUR INVITÉ DISTINGUÉ

Le programme de chaires de chercheur invité distingué de l'Institut Péricètre amène à l'Institut des scientifiques de réputation mondiale pour de longs séjours de recherche. Les titulaires de ces chaires sont nommés pour des mandats renouvelables de 3 ans, tout en conservant leur poste dans leur établissement d'origine.

Ces scientifiques contribuent à la vie de l'Institut de plusieurs manières – recherches, exposés dans des séminaires, collaboration avec des collègues, organisation de conférences, enseignement dans le programme de maîtrise PSI, participation à des activités de diffusion des connaissances. Pour les titulaires de chaire de chercheur invité distingué, le temps passé à l'Institut Péricètre est très productif, puisqu'ils sont libérés de leurs tâches habituelles d'enseignement et d'administration.

Cette année, l'Institut Péricètre a nommé 4 nouveaux titulaires de chaire de chercheur invité distingué et a renouvelé le mandat de 9 autres. L'Institut en compte maintenant 44, dont des sommités comme Gerard 't Hooft, Nima Arkani-Hamed, Gabriela González et Leonard Susskind. (Voir à la page 35 la liste complète des titulaires de chaire de chercheur invité distingué.)

« La science est un domaine très social. C'est vraiment important de faire partie du groupe... Lorsque l'on voit d'autres personnes réussir, on sent moins la pression des gens disant que les femmes ne peuvent pas y parvenir, ajoute-t-elle. Cela contribue à drainer moins de ressources en pure perte. Voyez mon parcours. J'ai travaillé fort, et vous pouvez y arriver vous aussi. »
[traduction]

– Sarah Shandera, boursière Emmy-Noether 2015

ADJOINTS INVITÉS

Calqué sur le modèle fructueux des chaires de chercheur invité distingué, le programme d'adjoints invités amène des chercheurs prometteurs pour des séjours réguliers à l'Institut Péricètre. Comme les titulaires de chaire de chercheur invité distingué, les adjoints invités sont nommés pour des termes renouvelables, conservent leur poste dans leur établissement d'origine et enrichissent le milieu de recherche de l'Institut Péricètre pendant des séjours allant jusqu'à 6 mois chaque année.

Ce programme a poursuivi sa croissance cette année, avec la venue de 8 nouveaux adjoints invités et le renouvellement du mandat d'un autre. L'Institut compte maintenant 22 adjoints invités, qui couvrent une vaste gamme de domaines.

Rachel Rosen, boursière invitée Emmy-Noether

UN GRAND ET SOMBRE MYSTÈRE

L'Institut Péricètre combat la sous-représentation des femmes en physique avec ses initiatives Emmy-Noether, du nom de la grande mathématicienne du XX^e siècle qui a vaincu de nombreux obstacles pour avoir une influence durable sur les mathématiques et la physique. Soutenues par le Cercle Emmy-Noether – un ensemble de donateurs et de meneurs qui soutiennent les femmes en sciences –, ces initiatives visent à fournir des impulsions stratégiques décisives.

Par exemple, le programme de boursières invitées Emmy-Noether amène de jeunes scientifiques prometteuses à l'Institut Péricètre, où elles peuvent se consacrer à la recherche, loin de leurs responsabilités habituelles au sein de leur institution d'appartenance.

Rachel Rosen, professeure adjointe de physique théorique à l'Université Columbia et l'une des boursières invitées Emmy-Noether de cette année, a passé 4 mois à l'Institut en 2015, travaillant sur une nouvelle manière d'aborder l'un des plus grands mystères de la physique.

Dans les années 1990, les scientifiques ont découvert que non seulement l'univers est en expansion, mais que cette expansion s'accélère. La force mystérieuse qui étire l'espace-temps est appelée *énergie sombre*.

Rachel Rosen aborde l'énergie sombre sous l'angle de la « gravitation massive », qui cherche à modifier la relativité générale pour donner une théorie qui soit compatible avec les observations tout en expliquant l'expansion accélérée de l'univers. Même si cela n'apporte pas toutes les réponses, M^{me} Rosen croit que cela pourrait donner des idées productives.

M^{me} Rosen qualifie sa bourse Emmy-Noether d'expérience fantastique et ajoute : « C'est une occasion extraordinaire d'échanger avec tant de gens sans les contraintes des responsabilités habituelles. » [traduction]





LIBERTÉ ET DÉCOUVERTE

Le monde réel n'est pas compartimenté en physique, biologie, etc. Les idées s'alimentent les unes les autres, et je vais là où la curiosité me conduit.

Jusqu'à maintenant, j'ai exploré la macro-économie, la biologie évolutionniste et l'écologie, en plus de mes travaux habituels en physique gravitationnelle. Je n'ai pas de grande stratégie. Si quelque chose m'intéresse, je l'intègre à mes recherches.

De nombreuses collaborations sont nées en 2013 à l'École d'été de Santa Fe sur les systèmes complexes. J'y suis allé sur un coup de tête et je me suis retrouvé entouré de scientifiques de toutes les disciplines. Il est rapidement devenu évident que les physiciens théoriciens étaient les plus souples. Nous nous intéressons à un plus grand nombre de projets, parce que l'abstraction mathématique est utile dans de multiples contextes différents. Nous avons aussi tendance à simplifier les problèmes, ce qui est une question d'attitude autant que de talent.

Je me suis rendu compte que je pouvais réellement aider, et ce de nombreuses manières différentes. C'était vraiment stimulant, et cela m'a amené dans des directions totalement inattendues.

Les problèmes complexes montrent que les frontières entre disciplines n'ont pas vraiment de sens. Il est essentiel de les traverser pour sortir les phénomènes des idiosyncrasies académiques. J'essaie de faire cela. Je me sens alors plus complet, et aussi plus créatif, sur les plans scientifique et intellectuel.

– Matteo Smerlak, postdoctorant à l'Institut Péricètre

POSTDOCTORANTS

Beaucoup des découvertes les plus importantes ont été réalisées par de jeunes scientifiques. La théorie de la relativité d'Einstein, le principe d'incertitude de Heisenberg et la prédiction de l'antimatière par Dirac ont tous été élaborés avant que ces scientifiques aient atteint l'âge de 30 ans.

L'Institut met en valeur la créativité et l'énergie intellectuelle de jeunes scientifiques. Il compte le plus grand groupe de postdoctorants indépendants en physique théorique au monde. Cette année, 18 nouveaux postdoctorants se sont joints à l'Institut Péricètre, et 17 autres ont été recrutés pour l'an prochain.

Ici, les postdoctorants travaillent en toute indépendance. Ils ont le temps et la latitude de mener des recherches originales et ambitieuses. Comme membres à part entière de la communauté de chercheurs, ils peuvent inviter des collaborateurs, voyager, présenter des exposés, et organiser des conférences et ateliers.



« Ce qui m'a amené à l'Institut Péricètre, c'est l'unité entre disciplines que l'on y voit au sein de la physique. L'Institut Péricètre est manifestement excellent dans tous les domaines de recherche qu'il aborde, mais ce qui le distingue, c'est qu'il est beaucoup plus qu'une simple somme de ses parties. » [traduction]

– Michal Heller, postdoctorant à l'Institut Péricètre

TITULAIRES DE CHAIRE DE CHERCHEUR INVITÉ DISTINGUÉ

* Nomination en 2014-2015

** Dans le cadre du programme *Frontières Templeton*

Yakir Aharonov, Université Chapman et Université de Tel Aviv

Nima Arkani-Hamed, Institut d'études avancées de Princeton

Abhay Ashtekar, Université d'État de Pennsylvanie

Leon Balents, Université de la Californie à Santa Barbara

James Bardeen, Université de l'État de Washington

Ganapathy Baskaran, Institut de mathématiques de Chennai

Patrick Brady, Université du Wisconsin à Milwaukee

Alessandra Buonanno, Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) et Université du Maryland à College Park

Juan Ignacio Cirac, Institut Max-Planck d'optique quantique

Savas Dimopoulos, Université Stanford

Lance Dixon, Université Stanford

Matthew Fisher, Université de la Californie à Santa Barbara

S. James Gates fils, Université du Maryland à College Park

Alexander Goncharov, Université Yale

Gabriela González, Université d'État de Louisiane

Duncan Haldane, Université de Princeton

Patrick Hayden, Université Stanford

Joseph Incandela*, Université de la Californie à Santa Barbara

Ted Jacobson, Université du Maryland à College Park

Shamit Kachru, Université Stanford

Leo Kadanoff, Université de Chicago

Adrian Kent, Université de Cambridge

Renate Loll, Université Radboud de Nimègue

Matilde Marcolli, Institut de technologie de la Californie

Joel Moore, Université de la Californie à Berkeley

Ramesh Narayan, Université Harvard

Sandu Popescu**, Université de Bristol

Frans Pretorius, Université de Princeton

Peter Shor, Institut de technologie du Massachusetts

Iakov (Yan) Soibelman*, Université d'État du Kansas

Dam Thanh Son, Université de Chicago

Andrew Strominger, Université Harvard

Raman Sundrum, Université du Maryland à College Park

Leonard Susskind, Université Stanford

Gerard 't Hooft**, Université d'Utrecht

Barbara Terhal, Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle

Senthil Todadri, Institut de technologie du Massachusetts

William Unruh, Université de la Colombie-Britannique

Frank Verstraete*, Université de Vienne et Université de Gand

Ashvin Vishwanath, Université de la Californie à Berkeley

Zhengan Wang, Station Q de Microsoft Research

Steven White, Université de la Californie à Irvine

Mark Wise, Institut de technologie de la Californie

Matias Zaldarriaga*, Institut d'études avancées de Princeton

La formation reçue à l'Institut Péricimètre développe des aptitudes qui se traduisent par des découvertes et des innovations en physique et au-delà. Cette année, malgré un marché universitaire très concurrentiel partout dans le monde, 3 finissants en postdoctorat ont accepté des postes de professeur menant à la permanence, et plusieurs autres ont obtenu des postes prestigieux dans des institutions de calibre international.

« À mon avis, l'Institut Péricimètre est l'endroit où les défis les plus grands en physique peuvent être relevés avec un véritable espoir de trouver une réponse. »

– Joseph Ben Geloun,
postdoctorant à l'Institut Péricimètre de 2010 à 2013
et lauréat du prix du jeune scientifique 2015 de l'UIPPA
pour des travaux effectués à l'Institut



FORMATION À LA RECHERCHE

UNE INTRODUCTION EN LIGNE

Au début, je n'étais pas bon en sciences. À 10 ou 11 ans, je ne voulais pas avoir honte ou causer de l'embarras à mes parents à cause de mes piètres résultats scolaires. J'ai donc décidé de prendre le taureau par les cordes.

J'ai trouvé cela vraiment intéressant. Un jour, quelqu'un a dit à ma mère que nous devrions rencontrer Ramachandra Subramanyam, qui enseignait au Centre de recherche fondamentale et d'enseignement créatif (CFRCE) dans ma ville natale de Bangalore.

Au CFRCE, j'ai fait de la physique à un niveau de plus en plus difficile, à l'aide de PIRSA [le système d'archivage en ligne de l'Institut Péricimètre] et en visionnant des cours du programme PSI. Je suis venu à l'Institut Péricimètre faire un exposé dans le cadre de la conférence *LOOPS 13*. Un an plus tard, j'ai terminé le cours secondaire et je suis venu faire ma maîtrise ici.

Honnêtement, c'était la réalisation d'un rêve. J'ai pu apprendre sans entrave, à un rythme qui m'avait été impossible de soutenir auparavant. Je fais maintenant mon doctorat en gravitation quantique sous la direction de Lee Smolin, qui laisse avec beaucoup de souplesse ses étudiants approfondir leurs propres idées.

– Vasudev Shyam, doctorant
à l'Institut Péricimètre

En 2014-2015, Vasudev Shyam a reçu dans le cadre du programme PSI une bourse honoraire financée par Brad et Kathy Marsland ainsi que Margaret et Larry Marsland.

En 2015-2016, pour ses études de doctorat, il bénéficiera du premier prix de la Fondation familiale de Peter et Shelagh Godsoe pour jeune talent exceptionnel.



LE PROGRAMME PSI

Pour l'Institut Péricimètre, de brillants jeunes gens ne représentent pas seulement l'avenir de la physique, mais aussi un élément crucial de toute communauté scientifique dynamique. C'est dans cet esprit que l'Institut a créé le programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricimètre) en 2009 et attire depuis lors des diplômés universitaires exceptionnels du Canada et du monde entier.

En une année universitaire, le programme PSI les amène à la fine pointe de la physique théorique. Ce programme innovateur comprend des modules de 3 semaines de cours donnés par des professeurs de l'Institut Péricimètre et par d'autres conférenciers de haut calibre international, ainsi que le soutien d'assistants à plein temps de niveau postdoctoral et d'assistants d'enseignement diplômés. Les étudiants sont exposés au spectre complet de la physique théorique, tout en acquérant des compétences qui leur seront utiles dans le milieu universitaire comme dans l'industrie – p. ex. la pensée critique, la résolution de problèmes en collaboration et l'élaboration de modèles informatisés. Les finissants reçoivent un diplôme de maîtrise de l'Université de Waterloo et un certificat du programme PSI.

En 2014-2015, le programme PSI a formé 31 étudiants provenant de 16 pays. Onze des finissants de cette année – soit plus du tiers de la promotion – restent au Canada pour faire un doctorat, dont huit sous la direction de professeurs de l'Institut Péricimètre. Plusieurs autres poursuivent leurs études dans des institutions de renommée mondiale, dont l'Université d'Oxford, l'Université Stanford et l'Université de la Californie à Berkeley. Le programme PSI est de plus en plus prestigieux et compétitif. Pour la promotion de 2015-2016, l'Institut a reçu 472 demandes d'admission de 76 pays, soit 29 de plus que l'année précédente.

En 2014-2015, le programme PSI a bénéficié du généreux soutien des personnes et organismes suivants : le Fonds de fiducie communautaire Bluma-Appel, Burgundy Asset Management Itée, la Fondation familiale Savvas-Chamberlain, Joanne Cuthbertson et Charlie Fisher, la Fondation de bienfaisance Ira-Gluskin-et-Maxine-Granozsky-Gluskin, la Fondation Scott-Griffin, la Fondation du patrimoine hellénique, la Fondation communautaire de Kitchener-Waterloo – Fonds de la famille John A. Pollock, Margaret et Larry Marsland, Brad et Kathy Marsland, la Banque Scotia.



CORPS PROFESSORAL DU PROGRAMME PSI EN 2014-2015

James Forrest (directeur),
Institut PÉRIMÈTRE et Université de
Waterloo

Anton Burkov, Université de
Waterloo

Freddy Cachazo, Institut
PÉRIMÈTRE

David Cory, Institut PÉRIMÈTRE et
Institut d'informatique quantique de
l'Université de Waterloo (IQC)

François David, Institut de physique
théorique et CEA à Saclay

Bianca Dittrich, Institut PÉRIMÈTRE

Joseph Emerson, IQC

Marcel Franz, Université de la
Colombie-Britannique

Davide Gaiotto, Institut PÉRIMÈTRE

Jaume Gomis, Institut PÉRIMÈTRE

Stefania Gori, Institut PÉRIMÈTRE

Daniel Gottesman, Institut PÉRIMÈTRE

Ruth Gregory, Université de Durham

Alioscia Hamma, Université Tsinghua

Lucien Hardy, Institut PÉRIMÈTRE

Kurt Hinterbichler, Institut PÉRIMÈTRE

Gordan Krnjaic, Institut PÉRIMÈTRE

David Morrissey, TRIUMF

Brian Shuve, Institut PÉRIMÈTRE

Kendrick Smith, Institut PÉRIMÈTRE

Miles Stoudenmire, Institut PÉRIMÈTRE

Neil Turok, Institut PÉRIMÈTRE

Pedro Vieira, Institut PÉRIMÈTRE

DOCTORANTS

Le programme de doctorat de l'Institut PÉRIMÈTRE continue de croître, en grande partie grâce aux diplômés talentueux qui viennent du programme PSI. Il amène des étudiants de premier ordre non seulement à l'Institut, mais aussi dans les universités canadiennes partenaires qui leur confèrent leur diplôme. Sept candidats dirigés par des professeurs de l'Institut PÉRIMÈTRE ont obtenu leur doctorat d'universités partenaires en 2014-2015, et à la fin de l'année écoulée, l'Institut PÉRIMÈTRE comptait 42 doctorants résidents. Trois autres doctorants résidant dans des universités partenaires étaient dirigés par des professeurs associés à l'Institut PÉRIMÈTRE. Pendant leur séjour à l'Institut, les doctorants ont des occasions inégalées d'échanger avec des chefs de file de la recherche venant du monde entier et de développer leur carrière dans un milieu favorable de collaboration.

En 2014-2015, la Fondation de bienfaisance Ira-Gluskin-et-Maxine-Granozsky-Gluskin a généreusement financé, par l'intermédiaire du Cercle Emmy-Noether, une bourse honoraire pour une doctorante.

ADJOINTS DIPLÔMÉS INVITÉS

Le programme d'adjoints diplômés invités de l'Institut PÉRIMÈTRE permet à des doctorants avancés du monde entier de passer plusieurs mois à l'Institut. Ces jeunes chercheurs bénéficient du milieu dynamique de recherche de l'Institut PÉRIMÈTRE et y contribuent tout à la fois. Ils ont l'occasion d'échanger avec des chercheurs de premier plan à un moment charnière de leur formation. En 2014-2015, l'Institut PÉRIMÈTRE a accueilli 21 adjoints diplômés invités.

CHERCHEURS DE PREMIER CYCLE

Dans le cadre de ce programme, des étudiants prometteurs de 1^{er} cycle sont exposés à la recherche de haut niveau, grâce à des projets de 2 à 4 mois qu'ils réalisent avec des postdoctorants de l'Institut PÉRIMÈTRE. Les étudiants choisis ont ainsi un aperçu unique de la vie de physicien, et des postdoctorants acquièrent une précieuse expérience de mentorat. Cette année, l'Institut PÉRIMÈTRE a offert une formation à la recherche à 4 étudiants exceptionnels de 1^{er} cycle venant d'institutions de premier plan, dont l'Institut de technologie du Massachusetts, l'Université de l'Alberta et l'Université de Cambridge. Ce programme permet aussi à l'Institut de faire du recrutement. **Shreya Prasanna Kumar**, étudiante dans le programme PSI, le doctorant **Dalimil Mazac** et le postdoctorant **Matteo Smerlak** sont 3 anciens participants de ce programme.

RÉUNIONS DE CHERCHEURS



QUELQUES STATISTIQUES

En **2014-2015**, l'Institut Périmètre a...

tenu **15** conférences et ateliers, auxquels ont participé
873 scientifiques du monde entier

présenté **325** exposés scientifiques
(**283** séminaires et **42** colloques)

organisé **8** conférences et ateliers conjoints tenus à
l'Institut et en a parrainé **11** autres ailleurs
(dont **10** au Canada)

donné **4** cours à des chercheurs et étudiants
d'universités environnantes

accueilli plus de **250** scientifiques pour la conférence
Convergence, réunion scientifique d'un nouveau
genre donnant une vue d'ensemble de la physique
fondamentale et de son avenir

L'histoire de la physique en est une de discussions, de débats et de collaboration. À titre d'exemple, des percées majeures parmi les premières réalisées en physique quantique remontent au fameux cinquième congrès Solvay, tenu en 1927, où 17 des 29 scientifiques participants – dont Einstein, Bohr, Curie, Heisenberg et Schrödinger – avaient déjà ou allaient obtenir un prix Nobel.

Le réputé programme de conférences de l'Institut Périmètre se veut un prolongement de cette tradition. Les sujets sont choisis pour leur fort potentiel de résultats importants, souvent à des points de rencontre entre diverses disciplines ou entre la théorie et l'expérimentation. Grâce à sa souplesse, l'Institut peut repérer et exploiter rapidement de nouveaux domaines prometteurs, et il est souvent le premier au monde à organiser une conférence dans un domaine émergent ou sur une nouvelle découverte. À titre d'exemple, dans la foulée de l'annonce par l'équipe de l'expérience BICEP2 de la détection d'ondes gravitationnelles en 2014, l'Institut Périmètre a été le premier en Amérique du Nord à réunir des experts pour analyser ce résultat et soulever des doutes qui se sont par la suite avérés fondés.

SÉMINAIRES ET COLLOQUES

Les séminaires et les colloques animés par des scientifiques résidents et invités constituent un volet important de la vie



Des participants à la conférence Convergence

intellectuelle de l'Institut, en faisant connaître des découvertes de pointe et en favorisant la collaboration interdisciplinaire.

Au cours de la dernière année, l'Institut Péricètre a tenu 325 rencontres scientifiques (283 séminaires et 42 colloques). Un certain nombre de titulaires de chaire de chercheur invité distingué, dont **Nima Arkani-Hamed, Abhay Ashtekar, James Bardeen, Savas Dimopoulos, S. James Gates fils, Matilde Marcolli, Barbara Terhal, Senthil Todadri, Bill Unruh, Ashvin Vishwanath, Steven White** et **Mark Wise**, ont fait des exposés.

ARCHIVES VIDÉO EN LIGNE

Presque tous les exposés présentés à l'Institut Péricètre sont enregistrés et accessibles en ligne dans la vidéothèque du site Web de l'Institut ou dans le système d'archivage en ligne de l'Institut Péricètre (PIRSA), à l'adresse www.pirsa.org. Ce système d'archives vidéo de séminaires, conférences, ateliers et cours a été mis au point par l'Institut afin de faciliter la diffusion des connaissances à la communauté scientifique internationale, et est devenu une source importante et largement utilisée dans le domaine.

En 2014-2015, les archives vidéo de l'Institut Péricètre ont été utilisées par 82 845 visiteurs distincts de plus de 170 pays, pour un total de 628 796 pages consultées.

CONVERGENCE D'IDÉES

« Il y a dans les couloirs toutes sortes de discussions sur les sujets de l'heure en physique, et c'est exactement ce que l'on peut espérer d'une conférence comme celle-ci. »

– Art McDonald, colauréat du prix Nobel de physique 2015 et membre du conseil d'administration de l'Institut Péricètre

« C'est une période extraordinaire pour la physique », a déclaré Neil Turok, directeur de l'Institut Péricètre, en ouvrant la conférence *Convergence*, qui a réuni cette année pendant 5 jours plus de 250 théoriciens, expérimentateurs et anciens étudiants de l'Institut venant de 17 pays. « Beaucoup d'entre nous croient que la physique est à la veille d'une nouvelle révolution. » [traduction]

Les récents triomphes de la physique – comme la détection du boson de Higgs en 2012 – ont été spectaculaires, mais il reste encore des défis de longue date et des données déconcertantes.

Convergence a invité les participants à avoir une vue d'ensemble du domaine afin d'examiner et peut-être de commencer à résoudre certains de ces casse-tête.

Les exposés, les tables rondes et les échanges parfois vifs ont fait ressortir l'importance de l'interaction entre la théorie et l'expérimentation. Les experts de différents domaines ont pris connaissance des idées et défis les plus récents dans bien d'autres domaines, des ondes gravitationnelles à la chasse aux exoplanètes, en passant par les parallèles possibles entre d'étranges métaux et les trous noirs.

Les percées ont tendance à survenir là où il y a des failles – là où les jonctions ne sont pas parfaites. Dans ce contexte, une réponse « Je ne sais pas » était non seulement acceptable, mais c'était la plus stimulante possible.

La conférence Convergence a été commanditée par le Groupe financier BMO.



COLLABORATIONS

PROGRAMME DE CHERCHEURS INVITÉS

L'Institut Péricètre encourage les chercheurs à échanger avec des collègues de tout le spectre de la physique théorique. Mais cela va bien au-delà des scientifiques résidents. Chaque année, l'Institut accueille des centaines de scientifiques de haut calibre du Canada et du monde entier, et leur procure le temps et l'espace voulus pour assister à des conférences et à des exposés, échanger des idées et mettre sur pied de nouvelles collaborations.

En 2014-2015, l'Institut Péricètre a accueilli 450 chercheurs invités, dont 32 titulaires de chaire de chercheur invité distingué et 12 adjoints invités, pour un total de 530 séjours scientifiques. Les autres sont des invités à court terme – constituant un mélange stratégique de membres affiliés, collaborateurs, recrues potentielles, conférenciers à des séminaires ou colloques – dont plusieurs ont connu pour la première fois le milieu unique de l'Institut. Au cours de la dernière année, de tels séjours ont mené à des recrutements à tous les niveaux. Mentionnons entre autres le professeur **Max Metlitski** ainsi que les professeurs associés **Markus Mueller** et **Ue-Li Pen**. (Voir à la page 70 la liste des scientifiques invités.)

DES LIENS SCIENTIFIQUES À L'ÉCHELLE MONDIALE

L'Institut Péricètre a conclu des partenariats officiels avec les institutions suivantes :

Centre de physique de l'Université de Porto, Portugal

École internationale supérieure d'études avancées (SISSA), Trieste, Italie

Institut de mathématiques de Chennai, Inde

Institut Fields de recherche mathématique de l'Université de Toronto, Canada

Instituts internationaux Solvay, Bruxelles, Belgique

Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique (ICTP-SAIFR), São Paulo, Brésil

Institut Weizmann des sciences, Rehovot, Israël

TRIUMF, Vancouver, Canada

MEMBRES AFFILIÉS

Depuis plus d'une décennie, le programme de membres affiliés de l'Institut Péricètre établit des liens cruciaux au sein de la communauté des chercheurs en physique fondamentale au Canada, en permettant à des chercheurs choisis d'un bout à l'autre du pays de faire régulièrement des séjours informels à l'Institut. Les membres affiliés ont accès à une communauté active de chercheurs couvrant tout le spectre de la physique, et l'Institut Péricètre consolide ses liens avec plus de 25 centres de recherche canadiens de premier plan. En 2014-2015, l'Institut Péricètre a nommé 9 nouveaux membres affiliés et a renouvelé le mandat de 89 autres jusqu'en 2017, pour un nombre total de 113. (Voir à la page 74 la liste des membres affiliés.)

COLLABORATIONS ET PARTENARIATS

En physique, la collaboration est plus essentielle que jamais. Les partenariats de l'Institut Péricètre avec d'importantes institutions au Canada et à l'étranger renforcent son rôle de plaque tournante de la recherche à l'échelle mondiale et fournissent aux chercheurs de l'Institut des occasions essentielles de collaboration.

En 2014-2015, l'Institut Péricètre a renouvelé des partenariats productifs avec l'École internationale supérieure d'études avancées (SISSA), l'Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique, ainsi que l'Université de Porto, jusqu'en 2016, 2019 et 2020, respectivement. L'Institut Péricètre a aussi renforcé ses liens avec la communauté internationale de la physique grâce à des partenariats informels de son corps professoral avec entre autres le télescope EHT, le grand collisionneur de hadrons, le Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson, l'Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène, le radiotélescope SKA et TRIUMF.

BOURSE POSTDOCTORALE AFRICAINNE DES INSTITUTS FIELDS ET PÉRICÈTRE

L'Institut Péricètre et l'Institut Fields de recherche mathématique de l'Université de Toronto ont conclu un partenariat pour financer 4 bourses postdoctorales conjointes d'une durée d'un an, destinées à des Africains qui ont récemment obtenu leur doctorat. Cette année, **Prince Osei**, du Ghana, a été choisi comme 3^e boursier. Il fait des recherches en gravitation quantique et en physique mathématique.

L'ÉCOLE D'ÉTÉ TRIPARTITE SUR LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

L'École d'été tripartite sur les particules élémentaires (TRISEP), école d'été internationale d'une durée de 2 semaines en physique des particules, résulte d'un partenariat entre l'Institut Péricètre et les laboratoires TRIUMF et SNOLAB. En juillet 2015, l'Institut Péricètre a accueilli la 3^e édition de cette école d'été, destinée à des étudiants diplômés et postdoctorants, qui a porté entre autres sur la cosmologie, le modèle standard, la physique des astroparticules et les techniques modernes de calcul d'amplitudes. **Natalia Toro** et **Song He**, chercheurs à l'Institut Péricètre, ainsi que **Matias Zaldarriaga**, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, ont fait partie du corps enseignant de TRISEP.

LE PARTENARIAT WGS

WGS (*Waterloo Global Science Initiative*) est un partenariat sans but lucratif, financé de manière indépendante, mis sur pied par l'Institut Péricètre et l'Université de Waterloo. Il a pour mandat de promouvoir le dialogue sur des problèmes complexes d'envergure mondiale et de susciter la réflexion à long terme nécessaire pour faire progresser les idées, les possibilités et les stratégies favorisant un avenir sûr et durable. Les sommets qu'il organise, les plans qui en résultent et d'autres activités sont les moyens qu'il emploie pour remplir son mandat.

En 2014-2015, l'équipe du partenariat WGS a continué de distribuer le document *Learning 2030 Blueprint* (Plan Formation 2030) et a complété les activités découlant du sommet sur la formation. Forte du succès des sommets de 2011 et de 2013, l'équipe travaille à la planification du sommet de 2016, qui portera sur les moyens scientifiques et technologiques visant à réduire la dépendance envers les sources d'énergie non renouvelables et à améliorer le bien-être de ceux qui n'ont pas facilement accès à des sources d'énergie.

RAYONNEMENT INTERNATIONAL

Par ses initiatives de rayonnement international, l'Institut Péricètre vise à offrir aide et conseils à de nouveaux centres d'excellence scientifique dans le monde entier, ainsi qu'à être disponible comme ressource, alors que ces centres construisent leur propre succès. Jusqu'à ce jour, ces efforts ont largement mis l'accent sur l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI), projet lancé en 2003 par Neil Turok, actuellement directeur de l'Institut Péricètre, pour mettre sur pied un réseau panafricain de centres dispensant une formation mathématique et scientifique avancée à des diplômés africains exceptionnels.

En 2014-2015, l'Institut Péricètre a continué de mettre à profit les compétences de ses chercheurs et de son personnel administratif pour soutenir le réseau florissant de l'AIMS-NEI, qui a ouvert son 5^e centre, en Tanzanie, à l'automne 2014. Des membres du personnel de l'Institut Péricètre ont contribué au succès d'un engagement de 25 millions de dollars de la part de la Fondation MasterCard, et ont aidé à préparer l'ouverture de l'AIMS-Tanzanie, de même que le premier forum *Next Einstein* qui se tiendra au Sénégal en mars 2016. D'autre part, des chercheurs de l'Institut Péricètre continuent d'enseigner dans des centres de l'AIMS.

UNE QUANTUM VALLEY EN CROISSANCE

Les ordinateurs actuels sont numériques. Ils traitent l'information sous forme de bits qui ont une valeur de 1 ou de 0. Mais les théoriciens prédisent depuis des décennies l'avènement d'un nouveau genre d'informatique, qui exploite la mécanique quantique pour faire des calculs d'une manière beaucoup plus riche et puissante.

C'est maintenant une réalité à nos portes. Dans le monde entier, des laboratoires – dont l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, partenaire expérimental de l'Institut Péricètre – ont réalisé des calculs quantiques.

Ces systèmes sont encore fragiles, mais d'énormes progrès ont été récemment accomplis en vue de la construction d'ordinateurs quantiques évolutifs et insensibles aux défaillances. Les étapes de la recherche sont franchies plus rapidement que ce que l'on aurait pu espérer il y a quelques années.

La région de Waterloo voit se dessiner une *Quantum Valley* qui couvre tout le spectre allant de la recherche fondamentale au démarrage d'entreprises, en passant par la formation, les laboratoires expérimentaux et le développement technologique. La commercialisation est financée en partie par Quantum Valley Investments, entreprise de capital de risque dirigée par Mike Lazaridis, fondateur de l'Institut Péricètre.

L'Institut Péricètre est à la source de cet écosystème, attirant des chercheurs au talent exceptionnel qui contribuent à ensemencer la *Quantum Valley* canadienne.

Nous sommes à l'aube d'une ère depuis longtemps attendue, qui pourrait fort bien façonner l'avenir.

DIFFUSION DES CONNAISSANCES ET PRÉSENCE AUPRÈS DU PUBLIC

« J'ai appris que j'ignore beaucoup de choses, mais je me suis rendu compte que cela ne constitue pas un obstacle. Cela m'encourage à continuer d'apprendre. »

– Lola Hourhane, participant à l'ISSYP 2015

« Tant que vous n'avez pas participé à un atelier EinsteinPlus, vous ne pouvez pas savoir jusqu'à quel point il sera incroyablement et directement utile dans vos cours. »

– Miles Hudson, participant à EinsteinPlus 2015

De quoi l'univers est-il fait? Quelles forces y agissent? Comment a-t-il commencé, et comment évolue-t-il?

Des gens de tous horizons – mères et pères de famille, entrepreneurs et universitaires, enfants et chefs d'entreprise – sont fascinés par des questions auxquelles la physique cherche à répondre. Les découvertes réalisées en physique ont entraîné des progrès scientifiques et technologiques qui ont changé le monde, et le changeront inévitablement encore.

Les activités de diffusion des connaissances de l'Institut Périmètre intéressent et inspirent élèves, enseignants et grand public, contribuant à faire grandir une nouvelle génération de scientifiques.

Cette année, l'Institut a rendu la science plus accessible que jamais, grâce à ses conférences publiques, à l'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP), à ses ressources pédagogiques et à ses bulletins mensuels *Slice of PI* (Tranche d'IP).

QUELQUES STATISTIQUES

En **2014-2015**, l'Institut Périmètre a...

rejoint plus de **1 million** d'élèves canadiens grâce à ses ressources et programmes

animé **130** ateliers pour **3 000** enseignants

présenté **18** exposés *Physica Phantastica* à **2 400** élèves canadiens

attiré plus de **250 000** visionnements en ligne des conférences publiques de l'Institut

EINSTEINPLUS

La formation des jeunes pour l'avenir exige d'excellents enseignants en sciences. Chaque été, des enseignants du secondaire viennent de toutes les régions du Canada et du monde entier à l'Institut Périmètre, afin de participer au camp *EinsteinPlus* pour enseignants. Cet atelier intensif d'une semaine a plongé cette année 45 participants – 23 enseignants de 8 provinces canadiennes et 22 de 11 pays étrangers – au cœur de la physique moderne. Ensemble, ils ont appris et mis en commun des stratégies efficaces d'enseignement des concepts clés de la physique moderne, et pris connaissance de ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre et de techniques concrètes d'enseignement. Des enquêtes menées auprès d'anciens participants montrent qu'ils ont considéré cette expérience comme une occasion de perfectionnement professionnel de premier ordre. Ils ont ajouté qu'elle a renouvelé leur passion de la physique.



La promotion 2015 de l'ISSYP

L'ÉCOLE INTERNATIONALE D'ÉTÉ POUR JEUNES PHYSICIENS ET PHYSIENNES

C'est un rêve d'été devenu réalité pour des jeunes passionnés de sciences.

Chaque année, 40 jeunes épris de sciences – la moitié du Canada et la moitié de l'étranger – sont invités à l'Institut Péricètre pour 2 semaines enivrantes : conférences; séances de mentorat avec des chercheurs; visites d'installations scientifiques comme SNOLAB et l'Institut d'informatique quantique; séance d'affiches sur le modèle d'une conférence scientifique présentée à toute la communauté de l'Institut Péricètre. Ils ont même le temps de faire un peu de physique dans la nature et de créer des liens sous le soleil d'été.

Pour beaucoup d'entre eux, cela change leur vie – selon des enquêtes de suivi, plus de 70 % des participants disent que l'ISSYP les a amenés à poursuivre une carrière en mathématiques ou en physique.

Cette année, la 13^e édition de l'ISSYP a réuni 20 Canadiens de 7 provinces et 20 élèves étrangers de 12 pays, au total autant de filles que de garçons.

L'édition 2014-2015 de l'ISSYP a été rendue possible grâce au généreux et constant soutien de la Fondation RBC, commanditaire principal, ainsi que de The Boardwalk, Deloitte, Vicki Saunders et Toyota Motor Manufacturing Canada inc.

UNE DOUBLE PASSION – PETER BOYCE II



En 2007, Peter Boyce II a assouvi sa passion de la physique à l'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP). Plus tard, étudiant de 1^{er} cycle à Harvard, il a ajouté une nouvelle passion pour la technologie.

Il a combiné les deux en se spécialisant en informatique et en entrepreneuriat. Il est cofondateur de Rough Draft Ventures, qui soutient les entrepreneurs universitaires les plus talentueux, et travaille pour la firme de capital de risque General Catalyst Partners, en l'aidant à ouvrir son bureau de New York.

Peter se rappelle de l'ISSYP comme de « l'un de ses meilleurs étés » et dit que cette expérience l'a mis sur la voie qu'il suit actuellement : « Cela m'a aidé à savoir où je voulais étudier et m'a donné une bonne idée de ce que serait l'université. L'ISSYP m'a révélé la diversité des personnes que j'aurais à côtoyer. C'était la première fois que j'étais en présence de gens du monde entier unis par la passion des mathématiques et de la physique. » [traduction]



« La science en est là maintenant, et c'est là que les choses sont passionnantes. »

– Stacey Harvey, participante à EinsteinPlus en 2014

RESSOURCES PÉDAGOGIQUES

Tout enseignant en sciences cherche à allumer l'étincelle de l'inspiration scientifique – mais en physique cela peut être un défi.

L'Institut Péricône vise à faire sa part en la matièrre. Produits en tenant compte de l'opinion d'enseignants en physique et de scientifiques en exercice, les modules éducatifs constituent le principal moyen employé par l'Institut pour initier les élèves à la physique moderne. Môme si ces modules visent en premier lieu les élèves canadiens, ils ont été déployés dans plus de 60 pays. Les réactions montrent qu'ils sont utilisés et réutilisés dans les écoles, ce qui multiplie leur impact avec le temps.

Au cours de la dernière année, l'Institut a converti ses ressources pédagogiques existantes en vue d'une distribution numérique et a créé 3 nouveaux modules électroniques, intitulés *Black Holes* (Trous noirs), *The Physics of Innovation* (La physique de l'innovation) et *Contemporary Physics* (Physique contemporaine). Deux cours électroniques sur la physique moderne ont été mis au point. Ils offrent aux élèves en mathématiques et en physique des leçons avancées, afin de les préparer aux cours de physique de niveau universitaire.

L'Institut Péricône a aussi conclu avec le ministère de l'Éducation de l'Ontario un partenariat intéressant qui soutiendra la création de ressources pédagogiques pour encore plus de jeunes : une suite intégrée de trousseaux sur les sciences, la technologie et les mathématiques pour les élèves de la 5^e à la 12^e année.

RÉSEAU DES ENSEIGNANTS ET ATELIERS SUR PLACE

Constitué d'enseignants de toutes les régions de l'Ontario et du reste du Canada, le réseau des enseignants de l'Institut Péricône procure aux enseignants des ressources pédagogiques et des techniques pour transmettre efficacement des concepts de la science moderne. Formés par le personnel de diffusion des connaissances de l'Institut Péricône, les membres du réseau des enseignants transmettent cette formation dans leur région, à l'aide de trousseaux de l'Institut.

Cette année, des membres du réseau des enseignants ont animé 104 ateliers sur l'enseignement des STGM (sciences, technologie, génie et mathématiques), auxquels ont participé plus de 2 000 enseignants et qui ont ultimement bénéficié à quelque 150 000 élèves.

L'Institut Péricône a tenu 4 camps de formation de son réseau des enseignants, à Waterloo (2), à Calgary et à Vancouver, auxquels ont participé 445 enseignants. Il a aussi animé 27 ateliers sur place lors de conférences tenues au Canada et à l'étranger.

CONFÉRENCES PUBLIQUES

La principale série de conférences publiques de l'Institut Péricône demeure l'un des programmes les plus populaires de l'Institut. En 2014-2015, l'Institut Péricône a présenté à guichets fermés 8 conférences accessibles et intéressantes dans l'amphithéâtre des idées Mike-



Lazaridis de l'Institut Périmètre. De plus, toutes les conférences sont maintenant webdiffus es à des publics en ligne partout dans le monde, par l'intermédiaire du site Web de l'Institut ainsi que par le truchement de partenaires médiatiques comme *Maclean's*, la SRC, *National Post*, *Scientific American* et *COSMOS*.

Toutes les conférences sont enregistrées de manière professionnelle, webdiffus es en ligne, puis accessibles sur demande dans le site Web de l'Institut Périmètre, YouTube et des partenaires médiatiques. Elles ont fait l'objet de plus de 235 000 visionnements en 2014-2015. L'Institut a en outre considérablement augmenté l'accessibilité aux conférences, avec des bandes-annonces et de la publicité diffusées à l'avance, ainsi que l'ajout de séances de clavardage en direct avec des chercheurs de l'Institut.

La série 2014-2015 a permis d'assister à des exposés intéressants sur des sujets allant des voyages interstellaires aux propriétés inhabituelles de l'eau. Mentionnons notamment la conférence de Kendrick Smith sur la cosmologie au XXI  siècle, qui a présenté une sorte d'«  tat de l'univers », celle d'Amanda Peet, qui a expliqué la théorie des cordes à l'aide de blocs Lego, et celle de Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell, sur l'intrication quantique et la supraconductivité.

Les conférences publiques de 2014-2015 ont été commanditées par la Financiere Sun Life.

PARTICIPATION DES AUTOCHTONES

Au cours de la dernière année, l'Institut Périmètre a poursuivi son partenariat avec Actua, le principal organisme canadien de diffusion des connaissances en STGM auprès des jeunes, et en particulier des Autochtones.

Le personnel de diffusion des connaissances de l'Institut Périmètre a formé à l'utilisation des ressources de l'Institut des membres d'Actua de partout au pays, qui ont à leur tour transmis ce contenu à des élèves autochtones pendant les mois d'été. L'Institut Périmètre et Actua ont aussi commencé à définir une stratégie pour atteindre davantage de collectivités autochtones partout au Canada, dans le cadre des célébrations du 150  anniversaire en 2017.

Grâce aux partenaires de l'Institut Périmètre, plus de 1 000 jeunes Autochtones ont bénéficié des ressources de l'Institut.

« C'est en grande partie grâce aux chercheurs de l'Institut Périmètre que j'ai décidé de devenir physicien. »

– Ash Arsenault, participant à l'ISSYP en 2008



ACTIVITÉS CULTURELLES

Les arts et les sciences ont en commun des symétries naturelles et nous poussent à aller au-delà de ce qui est connu afin d'explorer ce qui est possible. Les activités culturelles occupent une place importante dans la vie de l'Institut Péricètre, en complétant les activités de recherche et de diffusion des connaissances, et en tissant des liens avec la collectivité.

Cette année, des célébrités telles que Christian Tetzlaff, le trio Sitkovetsky, Avi Avital et Benedetto Lupo se sont produits dans l'amphithéâtre des idées Mike-Lazaridis, dans le cadre de la série de concerts classiques de l'Institut. Non loin de là, le Festival de Stratford et l'Institut Péricètre ont organisé conjointement une soirée de lecture et de discussion autour de la pièce *Copenhagen* de Michael Frayn, qui évoque une rencontre entre Niels Bohr et Werner Heisenberg.

La série de concerts classiques de l'Institut Péricètre est généreusement soutenue par le Fonds Musagetes de la Fondation communautaire de Kitchener-Waterloo.

PRÉSENCE DANS LES MÉDIAS

L'Institut Péricètre diffuse la passion de la physique théorique par le truchement de médias du monde entier. L'Institut est devenu une source recherchée d'idées, de commentaires et de contenu de qualité en matière de physique théorique. Au cours de l'année écoulée, l'Institut a bénéficié d'une large couverture dans des médias canadiens et étrangers, dont *The Globe and Mail*, *Nature*, *Forbes*, *Maclean's*, *The New York Times*, *The Guardian*, la SRC, *Wired* et bien d'autres.



DIFFUSION DANS LES MÉDIAS NUMÉRIQUES ET SOCIAUX

Qui n'aimerait pas connaître la relativité générale sous toutes ses coutures, les éléments de science-fiction devenus réalité, le profil de femmes pionnières de la physique, ou encore savoir où en sont nos connaissances sur les trous noirs?

L'Institut Péricimètre cherche à être la première source d'un contenu en ligne fascinant et exact dans le domaine de la physique. Au cours de

la dernière année, des initiatives innovatrices dans les médias sociaux, par exemple la série mensuelle *Slice of PI* (Tranche d'IP), qui diffuse un contenu scientifique amusant et partageable, ont contribué à attirer un public en ligne nouveau et nombreux. Les abonnements au canal YouTube de l'Institut Péricimètre ont plus que doublé, et la fréquentation des médias sociaux de l'Institut a augmenté de 90 %.

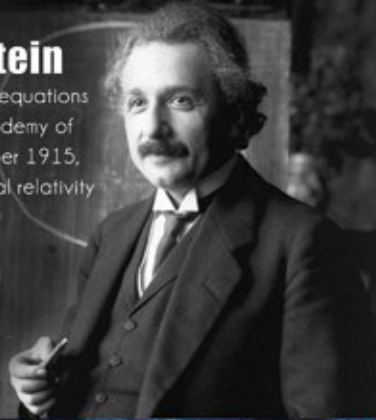
SLICE OF PI

GENERAL RELATIVITY *from A to Z*



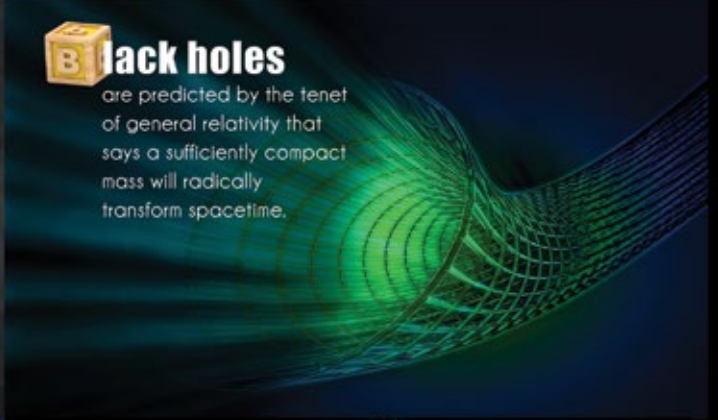
Albert Einstein

presented his field equations to the Prussian Academy of Science in November 1915, sparking the general relativity revolution.



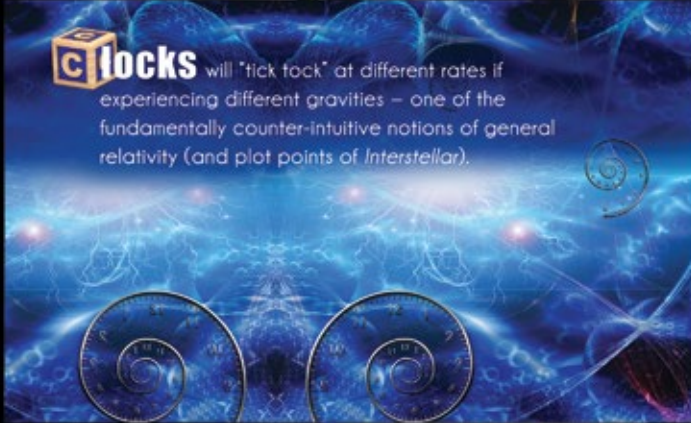
Black holes

are predicted by the tenet of general relativity that says a sufficiently compact mass will radically transform spacetime.



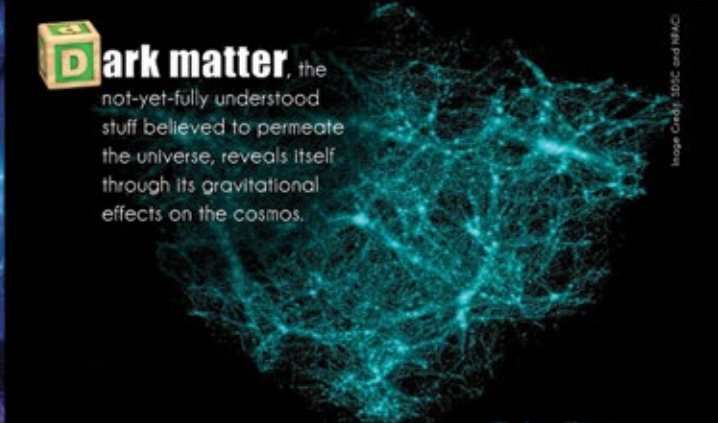
Clocks

will "tick tock" at different rates if experiencing different gravities – one of the fundamentally counter-intuitive notions of general relativity (and plot points of *Interstellar*).



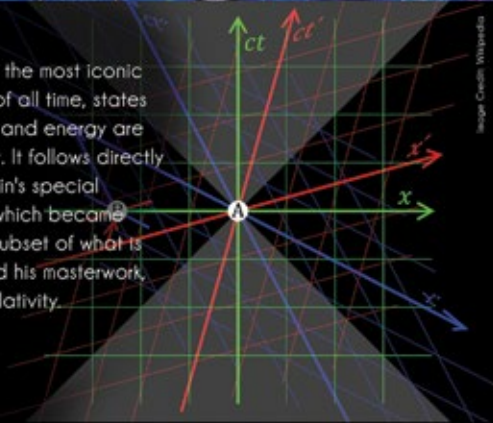
Dark matter

the not-yet-fully understood stuff believed to permeate the universe, reveals itself through its gravitational effects on the cosmos.



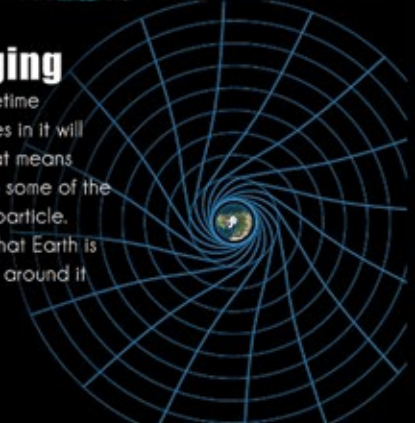
$E=mc^2$

the most iconic equation of all time, states that mass and energy are equivalent. It follows directly from Einstein's special relativity, which became a crucial subset of what is considered his masterwork, general relativity.



Frame dragging

is the idea that spacetime is elastic, and particles in it will exchange energy. That means spacetime will absorb some of the energy of a spinning particle. Research has shown that Earth is "dragging" spacetime around it as it rotates.



DÉVELOPPEMENT DE L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

« Nous nous sentons en phase avec l'Institut Péricètre parce qu'à l'évidence, cet institut croit comme nous que des institutions canadiennes peuvent être parmi les meilleures au monde dans leur domaine. Et cela commence par le recrutement et le développement de talents de classe mondiale. »

– Jeremy Freedman, président et chef de la direction de Gluskin Sheff et associés, bailleur de fonds de la chaire Freeman-Dyson de physique théorique

Les percées scientifiques résultent d'une combinaison d'intelligence, d'imagination et d'inspiration. Ce sont ces mêmes qualités qui motivent les précieux supporteurs de l'Institut Péricètre.

L'Institut Péricètre est une entreprise de collaboration, dans tous les sens du terme. À titre d'institut de recherche à but non lucratif et d'organisme de bienfaisance reconnu, l'Institut Péricètre est financé par un partenariat public-privé fructueux, qui combine des investissements des gouvernements de l'Ontario et du Canada, ainsi que des dons d'entreprises, de fondations et d'individus.

Nous sommes partenaires d'une recherche scientifique de classe mondiale. Ceux qui nous appuient comprennent que les découvertes fondamentales d'aujourd'hui alimenteront les progrès technologiques de demain.

Tout don, peu importe son ampleur, contribue à l'excellence scientifique et se traduira un jour par de grands progrès de la connaissance humaine.

CONSEIL D'ORIENTATION DE L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

Le conseil d'orientation de l'Institut Péricètre est formé de personnes influentes bénévoles qui offrent des conseils et agissent comme ambassadeurs de l'Institut auprès des milieux d'affaires et des organismes philanthropiques. Ce groupe exceptionnel contribue à la croissance stratégique et internationale de l'Institut.

Joanne Cuthbertson (coprésidente)
Membre du conseil d'administration,
Institut Péricètre

Patrice Merrin (coprésidente)
Administratrice, Glencore PLC, société
minière Stillwater et Novadaq
Technologies inc.
Coprésidente du Conseil Emmy-Noether,
Institut Péricètre

Mike Lazaridis (coprésident fondateur)
Associé directeur et cofondateur,
Quantum Valley Investments
Président du conseil d'administration,
Institut Péricètre

Cosimo Fiorenza (coprésident fondateur)
Vice-président et avocat-conseil,
Quantum Valley Investments
Vice-président du conseil d'administration,
Institut Péricètre

Alexandra Brown
Cofondatrice et PDG, AprilAge inc.

Savvas Chamberlain
PDG, Exel Research inc.

Jim Cooper
PDG, Maplesoft

Catherine Delaney
Présidente, C.A. Delaney Capital
Management Ltd.

Jon Dellandrea
PDG, Fondation de l'hôpital Sunnybrook

Arlene Dickinson
Directrice générale,
Venture Communications Itée

Ginny Dybenko
Directrice générale, campus de Stratford,
Université de Waterloo

H. Garfield Emerson
Directeur, Emerson Advisory

Edward Goldenberg
Associé, cabinet d'avocats Bennett Jones

Tom Jenkins
Président, OpenText

Farsad Kiani
PDG, Groupe Ensil

Carol Lee
Directrice générale et cofondatrice,
Linacare Cosmethery inc.

Gerry Remers
Président et directeur de l'exploitation,
Christie Digital Systems Canada inc.

Maureen Sabia
Présidente du conseil d'administration,
Société Canadian Tire Itée

Kevin Shea
Président, ChezShea Communications

Alfredo Tan
Directeur de groupe, Solutions globales de
mise en marché, Facebook (Canada)

Harry Zarek
PDG, Compugen Inc.



SUBIR SACHDEV, TITULAIRE DE LA CHAIRE CENOVUS-ENERGY-JAMES-CLERK-MAXWELL

Lorsque de l'azote liquide s'est répandu sur la table, produisant un sifflement de vapeur pendant sa conférence publique donnée en octobre 2014 à l'Institut Périmètre, **Subir Sachdev** s'est mis à rire.

« Voilà ce qui arrive, a-t-il ironisé, quand on demande à un théoricien de faire une expérience. » [traduction]

Comme théoricien, M. Sachdev est plus à l'aise au tableau qu'en laboratoire, mais il voulait montrer à l'auditoire certaines des propriétés remarquables et bien réelles des matériaux supraconducteurs.

L'azote liquide servait à refroidir un morceau de matériau supraconducteur pour faire « léviter » un petit cube magnétique. C'était une démonstration à petite échelle de principes qui pourraient révolutionner les transports, la transmission d'énergie, la technologie médicale, etc.

M. Sachdev, l'un des plus grands spécialistes mondiaux de la supraconductivité, a découvert des liens fascinants avec la théorie des cordes et les trous noirs, ce qui a fait de lui le candidat parfait pour une chaire de recherche de l'Institut Périmètre, à titre de chercheur invité.

Subir Sachdev est devenu en juin 2015 titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (à titre de chercheur invité). Il peut ainsi partager son temps entre l'Institut Périmètre et l'Université Harvard.

Financé par Cenovus Energy, ce poste permet à M. Sachdev de faire des séjours prolongés à l'Institut Périmètre, pour mener des recherches et collaborer avec des collègues dans un certain nombre de disciplines.

« Notre entreprise croit en l'innovation », a déclaré Harbir Chhina, vice-président directeur, Développement des sables bitumineux, de Cenovus Energy. « Nous croyons en la recherche fondamentale. Grâce au calibre de ses chercheurs, l'Institut Périmètre sera à l'avant-garde des progrès qui changeront notre pays et notre monde, et nous aideront à mieux comprendre l'univers. » [traduction]



Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (à titre de chercheur invité), a donné l'une des conférences publiques les plus divertissantes de l'année sur les défis et les promesses des supraconducteurs.

FAIRE PROGRESSER LA PENSÉE INNOVATRICE

« Je veux comprendre la structure de l'espace-temps et comment la physique que nous connaissons peut s'exprimer en termes mathématiques. »

– Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique

FREDDY CACHAZO, TITULAIRE DE LA CHAIRE GLUSKIN-SHEFF-FREEMAN-DYSON

La finance et la physique sont tous deux des domaines mathématiques, mais ce n'est pas la bosse des mathématiques qui a amené Gluskin Sheff et associés à l'Institut Péricône. C'est une philosophie commune de l'innovation.

Fondée en 1984, la firme de gestion de patrimoine s'enorgueillit de ses capacités de direction et de pensée innovatrice. C'est la raison pour laquelle son PDG, Jeremy Freedman, a vu en l'Institut Péricône un partenaire naturel.

« Chez Gluskin Sheff, nous nous considérons comme des novateurs. Nous sommes fiers de nous associer à l'Institut Péricône, qui est lui aussi un chef de file et novateur à l'échelle planétaire, déclare M. Freedman. Nous croyons que les institutions canadiennes peuvent être aussi bonnes que leurs semblables partout dans le monde. L'Institut Péricône l'a prouvé et nous pensons que Gluskin Sheff en est aussi un exemple. » [traduction]

Cette chaire de recherche porte le nom de Freeman Dyson, l'un des physiciens les plus remarquables du XX^e siècle, et **Freddy Cachazo** semble suivre une trajectoire similaire. Encore dans la trentaine, M. Cachazo a remporté un prix *Nouveaux horizons en physique* en 2014, de même que les médailles Gribov et Rutherford. Ses élégantes idées mathématiques ont déjà été adoptées pour l'interprétation de données fournies par des expériences à la fine pointe de la science, dont celles du grand collisionneur de hadrons du CERN, et auront une importance durable dans la recherche d'une description unifiée des lois physiques de la nature.

La chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Péricône est financée par un don de 2 millions de dollars de Gluskin Sheff et associés, auquel s'ajoute un montant égal fourni par l'Institut Péricône.

PEDRO VIEIRA, TITULAIRE DE LA CHAIRE CLAY-RIDDELL-PAUL-DIRAC

Clayton (Clay) Riddell est un chef d'entreprise qui investit dans le changement.

Il a commencé sa carrière comme géologue pour une société pétrolière multinationale, avant d'être expert-conseil puis de fonder Paramount Resources Itée en 1978.

Avec ses antécédents en sciences et un désir marqué d'encourager l'innovation et la prochaine génération de chefs de file scientifiques, c'était tout naturel pour lui d'appuyer les recherches de **Pedro Vieira**, professeur à l'Institut Péricône et étoile montante de la physique mathématique, en finançant la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique.

Pedro Vieira est reconnu pour son utilisation innovatrice de la théorie des cordes en vue de résoudre des problèmes soulevés depuis longtemps en physique.

« Tout juste 15 ans après sa fondation, a déclaré M. Riddell, l'Institut Péricône fait preuve d'une excellence scientifique exceptionnelle à l'échelle mondiale. J'attribue cela à la vision clairvoyante, à la direction solide et aux partenariats fructueux de l'Institut.

« J'ai confiance que l'Institut Péricône jouera un rôle national dans l'accélération de la recherche et de la découverte, et c'est pourquoi



notre Fondation familiale investit dans le programme exceptionnel de chaires de recherche de l'Institut. » [traduction]

La chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique de l'Institut Périclète est financée par un don de 1 million de dollars de la Fondation de bienfaisance de la famille Riddell, auquel s'ajoute un montant égal fourni par l'Institut Périclète.

OUVRIR UNE VOIE

Elle est la scientifique la plus influente dont vous n'avez jamais entendu parler.

Par ses travaux effectués il y a plus d'un siècle, Emmy Noether a façonné la physique moderne, l'informatique et certaines branches des mathématiques. Le théorème de Noether est utilisé dans tous les domaines de la physique, depuis la théorie quantique des champs à l'étude des trous noirs, en passant par la prédiction de nouvelles particules, dont le boson de Higgs. Pourtant, parce qu'elle était une femme, Emmy Noether n'a jamais réussi à obtenir un poste rémunéré dans son Allemagne natale et, pour la même raison, ses travaux si marquants ont été publiés en grande partie par son mentor et collègue David Hilbert.

C'est tout naturel que cette femme remarquable donne son nom aux initiatives Emmy-Noether de l'Institut Périclète, soutenues par le **Cercle Emmy-Noether**, groupe engagé de bailleurs de fonds et de défenseurs des femmes en sciences.

Au cours de la dernière année, 6 boursières invitées Emmy-Noether, 4 étudiantes à la maîtrise et au doctorat, de même que 200 jeunes filles du secondaire venues participer à la conférence annuelle *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques) ont bénéficié des initiatives Emmy-Noether.

Au fur et à mesure de sa croissance, le Cercle Emmy-Noether offrira encore davantage de possibilités à des physiciennes.

LE CONSEIL EMMY-NOETHER



Le Conseil Emmy-Noether est une source de conseils, de dons et d'autres appuis au Cercle Emmy-Noether, aidant celui-ci à amener davantage de physiciennes à l'Institut Périclète.

Patrice Merrin, coprésidente

Administratrice, Glencore PLC, société minière Stillwater et Novadaq Technologies inc.

Jennifer Scully-Lerner, coprésidente

Vice-présidente, Gestion du patrimoine privé, Goldman Sachs

Nyla Ahmad

Vice-présidente principale, Commercialisation, Rogers Communications inc.

Katherine Barr

Associée gérante, Mohr Davidow Ventures

Michelle Osry

Associée, Services-conseils auprès des entreprises familiales, Deloitte Canada

Vicki Saunders

Fondatrice, SheEO

Sherry Shannon-Vanstone

PDG, Trustpoint Innovation Technologies Ltd.

Suzan Snaggs-Wilson

Gestionnaire locale des services bancaires, Banque Scotia

MERCI À CEUX QUI NOUS SOUTIENNENT

FONDATEUR

Mike Lazaridis (170 millions de dollars)

DOTATIONS

Doug Fregin (30 millions de dollars)

Jim Balsillie (10 millions de dollars)

PARTENAIRES PUBLICS

Gouvernement du Canada

Gouvernement de l'Ontario

Région de Waterloo

Ville de Waterloo

INITIATIVES PARTICULIÈRES

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

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

Chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique (2 millions de dollars)

Chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique (2 millions de dollars)

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

Fondation John-Templeton – Programme *Frontières Templeton* de l'Institut Périmètre (2 millions de dollars)

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

Prix de la Fondation familiale de Peter et Shelagh Godsoe pour jeune talent exceptionnel (500 000 \$)

Chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (à titre de chercheur invité) (300 000 \$)

ENTREPRISES DONATRICES

PARRAINS (100 000 \$ et plus)

Financière Sun Life

Fondation RBC

PARTENAIRES (10 000 \$ et plus)

Google

Toyota Motor Manufacturing Canada inc.

SUPPORTEURS (5 000 \$ et plus)

The Boardwalk

Linamar Corporation

COMMANDITAIRE DE *CONVERGENCE* (50 000 \$ et plus)

Groupe financier BMO

DONATEURS INDIVIDUELS

CERCLE DES ACCÉLÉRATEURS

(100 000 \$ et plus)

Corinne Squire et Neil Turok

CERCLE DES DIRECTEURS (1 000 \$ et plus)

50 000 \$ et plus

Joanne Cuthbertson et Charlie Fischer

Jon et Lyne Dellandrea

Brad et Kathy Marsland

Margaret et Larry Marsland

30 000 \$ et plus

Don Campbell

Michael et Kathy Duschenes

Cosimo et Christina Fiorenza

Carol A. Lee

10 000 \$ et plus

Catherine A. Delaney

Reid Family

Maureen J. Sabia

Renée Schingh et Robert Myers

Michael Serbinis et Laura Adams

Alex White

5 000 \$ et plus

Dorian Hausman

John Matlock

2 500 \$ et plus

Ian et Debbie Adare

Jerome Bolce

Greg Dick

Edward Goldenberg

1 000 \$ et plus

Ben et Mona Davies

Sue et Perry Dellelce

J. DesBrisay et M. Cannell

Frederick Knittel

Bernard Portier

... plus 3 donateurs anonymes du Cercle des directeurs

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 de connaissances. Nous exprimons notre profonde reconnaissance à tous ceux qui nous soutiennent.

AMIS (jusqu'à 999 \$)

| | | | | |
|-------------------------------|----------------------|------------------|------------------|--|
| Jeremy Bell et Sunny Tsang | Grant Davidson | Mario Lourenco | Bill Murphy | T.J. Scoble |
| Mike Birch | Marguerite Doyon | Nathan Lundholm | Dan Petru | Adam Smith |
| Sebastien Cadorette | Tina Goldlist | Joy Macdonald | Julia Rickert | Lane Stevens |
| Duncan Campbell | Lukasz Jędrzychowski | Yuri Markarov | W. Michael Roche | Eric Strychaluk |
| Toni Carson | Matthew Jenkins | Melanie Marsland | Kyle Rozoski | Dale Vaillancourt |
| David Cook | Don Kissinger | Catherine Martin | Iain Russell | Dustin Windibank |
| George Curelet-Balan | Rohit Korrapolu | John Moore | Catalin Sandu | ... plus 29 amis donateurs anonymes |

CERCLE EMMY-NOETHER

DONATEUR FONDATEUR (105 000 \$)

Fonds de fiducie communautaire Bluma-Appel

FONDATEURS DONATRICES (250 000 \$ et plus)

Fondation de bienfaisance
Ira-Gluskin-et-Maxine-Granozsky-Gluskin

ENTREPRISES DONATRICES (35 000 \$ et plus)

Banque Scotia

ENTREPRISES DONATRICES (10 000 \$ et plus)

Burgundy Asset Management Itée
Deloitte
Fondation de dons particuliers

DONATEURS INDIVIDUELS

20 000 \$ et plus

Maria Antonakos et Harald Stover
D^r Scott et Sherry Vanstone

5 000 \$ et plus

Andrea K. Grimm
Jennifer Scully-Lerner

2 500 \$ et plus

Patrice Merrin

1 000 \$ et plus

Beth S. Horowitz
Vicki Saunders

Jusqu'à 999 \$

Nyla Ahmad
Margaret Franklin

... plus un donateur
anonyme

DONS COMMÉMORATIFS

Carolyn Crowe Ibele, en mémoire de Richard A. Crowe, Ph.D.
Catherine A. Delaney, en l'honneur de Bob et Linda Krembil
Ann Leese et Irwin Rotenberg, en l'honneur de Bob et Linda Krembil
Bruce Middleton, en l'honneur de Doreen Middleton
Antonio Pereira, en l'honneur du physicien et inventeur Nikola Tesla
Doug Wakida, en l'honneur d'Andy Kebo

FONDATEURS DONATRICES

Fondation Birch Island de la Fondation de Toronto
Fondation du patrimoine hellénique
Fondation communautaire de Kitchener-Waterloo
– Fonds de la famille John A. Pollock
– Fonds Musagetes
Fondation familiale Savvas-Chamberlain
Fondation Scott-Griffin

DONS EN NATURE

Steinway Piano Gallery

La liste ci-dessus correspond aux dons et aux engagements sur plusieurs années reçus ou en cours entre le 1^{er} août 2014 et le 31 juillet 2015.

L'Institut Périètre est une société 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 d'investissement relèvent du comité de gestion des investissements 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 jouent un rôle actif dans la gestion opérationnelle des activités de l'Institut, en participant à différents comités chargés des programmes scientifiques. Les présidents de comité relèvent du directeur général.

Composé de scientifiques de renommée internationale, le comité consultatif scientifique est un corps d'examen et un organe consultatif indépendant. Il contribue à assurer l'objectivité et un niveau élevé d'excellence dans toutes les activités de l'Institut Périètre.

MEMBRES DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Mike Lazaridis, O.C., O.Ont., président du conseil, est associé directeur et cofondateur de Quantum Valley Investments (QVI), société qu'il a mise sur pied avec Doug Fregin à Waterloo. En 2013, les deux hommes ont fondé QVI avec 100 millions de dollars, afin de fournir du capital financier et intellectuel pour la mise au point et la commercialisation de percées réalisées en physique quantique et en informatique quantique. L'objectif de QVI est d'aider à transformer des idées et de nouvelles percées en produits, technologies et services commercialement viables. QVI constitue l'initiative la plus récente de M. Lazaridis, qui travaille depuis plus de dix ans à la création d'une *Quantum Valley* à Waterloo en réunissant les meilleurs cerveaux du monde en physique, génie, mathématiques, informatique et science des matériaux, afin qu'ils collaborent à des recherches de pointe dans le domaine quantique.

En 1984, M. Lazaridis a fondé BlackBerry (autrefois Research In Motion) avec M. Fregin. Ils ont inventé l'appareil BlackBerry, créé l'industrie des téléphones multifonctions et construit la plus grande entreprise canadienne de technologie mondiale. M. Lazaridis a occupé divers postes au sein de l'entreprise, dont ceux de coprésident et codirecteur général (1984-2012) ainsi que de vice-président du conseil d'administration et président du comité de l'innovation (2012-2013).

M. Lazaridis est le fondateur de l'Institut Périètre et président de son conseil d'administration, où il contribue à l'obtention d'importantes sommes d'argent des secteurs public et privé pour le financement de

l'Institut. Il a également fondé l'Institut d'informatique quantique (IQC) et le Centre Quantum-Nano, tous deux à l'Université de Waterloo. Il a donné plus de 170 millions de dollars à l'Institut Périètre et plus de 100 millions de dollars à l'IQC.

Entre autres distinctions, M. Lazaridis a été élu membre des sociétés royales de Londres et du Canada, et a reçu l'Ordre de l'Ontario et l'Ordre du Canada. Il a fait partie de la liste d'honneur de la revue *Maclean's* en 2000, à titre de Canadien distingué, et de la liste des 100 personnes les plus influentes du magazine *Time*. Il a été honoré par *The Globe and Mail* à titre de bâtisseur de la nation de l'année en 2010 et a également reçu le prix principal Ernest-C.-Manning, récompense la plus prestigieuse au Canada dans le domaine de l'innovation.

M. Lazaridis a reçu un doctorat honorifique en génie de l'Université de Waterloo (dont il a été chancelier) ainsi que des doctorats honorifiques en droit de l'Université McMaster, de l'Université de Windsor et de l'Université Laval. En plus de ses nombreuses réalisations professionnelles et personnelles, M. Lazaridis a remporté un Oscar et un prix Emmy pour ses réalisations techniques dans les domaines du cinéma et de la télévision, notamment la mise au point d'un lecteur de codes-barres à grande vitesse qui a beaucoup accéléré le montage des films.

Mike Lazaridis est né à Istanbul, en Turquie. Il a immigré au Canada en 1966 avec sa famille, qui s'est établie à Windsor, en Ontario.

Cosimo Fiorenza, vice-président du conseil, est vice-président et avocat-conseil de Quantum Valley Investments et du fonds d'investissement Quantum Valley. Auparavant, il a passé environ 20 ans dans de grands cabinets d'avocats de Toronto, où il se spécialisait dans l'impôt des sociétés. Pendant son mandat à Bay Street, il a conseillé certaines des plus grandes sociétés et des principaux entrepreneurs du Canada au sujet de l'impôt sur le revenu et de questions commerciales, en particulier en matière de technologie et de structure internationale. M. Fiorenza a contribué à la mise sur pied de l'Institut Périmètre, dont il est l'un des administrateurs fondateurs. En plus d'être vice-président du conseil d'administration, il est coprésident du conseil d'orientation et membre du comité des finances de l'Institut. Dans ces divers rôles, il conseille et soutient régulièrement l'équipe de direction sur différentes questions, notamment financières et juridiques, et le développement de l'Institut. Il est également membre du conseil d'administration de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo. Cosimo Fiorenza a obtenu un diplôme en administration des affaires de l'Université Lakehead et un diplôme en droit de l'Université d'Ottawa. Il est membre du Barreau de l'Ontario depuis 1991.

Joanne Cuthbertson, LL.D., a été la première présidente élue d'EducationMatters (la seule fiducie pour l'avancement de l'enseignement public à Calgary), fondatrice de SPEAK (*Support Public Education – Act for Kids* – Soutenir l'enseignement public, agir pour les enfants) et récipiendaire du Prix de Calgary pour l'éducation. Elle est chancelière émérite de l'Université de Calgary, coprésidente de l'Académie des universitaires, qu'elle a mise sur pied au moment où elle a pris sa retraite, et présidente du Cercle du doyen de la Faculté de design environnemental. Mme Cuthbertson est membre du Musée Glenbow, administratrice de l'Institut de la santé osseuse et articulaire de l'Alberta, ainsi que récipiendaire de la Médaille du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II. Elle est aussi coprésidente du conseil d'orientation de l'Institut Périmètre.

Peter Godsoe, O.C., O.Ont., a été président du conseil d'administration et chef de la direction de la Banque Scotia, dont il a pris sa retraite en mars 2004. Il a obtenu un B.Sc. en mathématiques et physique à l'Université de Toronto et un MBA à l'École de gestion de l'Université Harvard. Il est comptable agréé et membre de l'Institut des comptables agréés de l'Ontario. M. Godsoe demeure actif comme membre du conseil d'administration de nombreuses entreprises et organisations à but non lucratif.

Michael Horgan est conseiller principal chez Bennett Jones LLP, l'un des plus grands cabinets canadiens en droit des affaires. Avant d'œuvrer dans le secteur privé, il a eu une carrière remarquable de 36 ans dans la fonction publique fédérale, dont 5 ans comme sous-ministre des Finances. M. Horgan a reçu le Prix du Premier ministre pour services insignes de la fonction publique du Canada et la Médaille du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II.

Art McDonald, O.C., O.Ont., a été pendant plus de 20 ans directeur du SNO (*Sudbury Neutrino Observatory* – Observatoire de neutrinos de Sudbury) et est professeur émérite à l'Université Queen's. En 2015, il a été colauréat du prix Nobel de physique et du Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize*), pour l'expérience menée au SNO qui a montré que les neutrinos ont une masse. Les recherches de M. McDonald lui ont valu de nombreuses distinctions, dont la médaille Henry-Marshall-Tory de la Société royale du Canada en 2011 et la médaille Benjamin-Franklin de physique, conjointement avec le chercheur Yoji Totsuka, en 2007. Il a en outre été fait officier de l'Ordre du Canada en 2007 et promu au grade de compagnon en 2015.

John Reid a récemment pris sa retraite après avoir été chef de l'audit chez KPMG dans la région du Grand Toronto. Au cours de ses 35 ans de carrière, il a assisté des organismes des secteurs privé et public dans les diverses étapes de la planification stratégique, de l'acquisition d'entreprises, du développement, ainsi que de la gestion de la croissance. Son expérience s'étend dans tous les domaines des affaires et tous les secteurs industriels, principalement les fusions et acquisitions, la technologie et les soins de santé. M. Reid a été membre du conseil d'administration de nombreux hôpitaux canadiens ainsi que de nombreux collèges et universités.

Michael Serbinis est le fondateur et PDG de LEAGUE, entreprise dans le domaine de la santé numérique mise sur pied en 2015. C'est un meneur connu comme entrepreneur visionnaire qui a construit plusieurs outils technologiques révolutionnaires dans différents secteurs. M. Serbinis a été le fondateur et PDG de Kobo, fabricant de liseuses électroniques qui a fait une entrée remarquée sur le marché en 2009, avec 110 millions de dollars de ventes à sa première année d'existence. Kobo est devenu le seul concurrent à l'échelle mondiale du Kindle d'Amazon, avec 20 millions de clients dans 190 pays. En plus d'être le fondateur de Three Angels Capital, Michael Serbinis fait actuellement partie du conseil d'administration du Centre des sciences de l'Ontario et est membre de YPO (*Young Presidents' Organization*). Il a obtenu un baccalauréat en génie physique de l'Université Queen's et une maîtrise en génie industriel de l'Université de Toronto.

MEMBRES DU COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE

Le comité consultatif scientifique de l'Institut Périètre apporte un soutien important à l'atteinte des objectifs stratégiques de l'Institut, en particulier pour ce qui est du recrutement.

Renate Loll, Université Radboud de Nimègue (membre depuis 2010), présidente du comité

Mme Loll est professeure de physique théorique à l'Institut de mathématiques, d'astrophysique et de physique des particules de l'Université Radboud de Nimègue, aux Pays-Bas. Ses recherches portent principalement sur la gravitation quantique et sur la conception d'une théorie cohérente capable de décrire les constituants microscopiques de la géométrie de l'espace-temps et les lois de la dynamique quantique régissant leurs interactions. Elle a apporté des contributions majeures à la théorie de la gravitation quantique à boucles et proposé, avec ses collaborateurs, une nouvelle théorie de la gravitation quantique par l'approche des « triangulations dynamiques causales ». Mme Loll dirige l'un des plus grands groupes de recherche au monde sur la gravitation quantique non perturbative. Elle a reçu la prestigieuse subvention individuelle VICI de l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique. En 2015, elle a été élue membre de l'Académie royale néerlandaise des Arts et des Sciences.

Ganapathy Baskaran, Institut de mathématiques de Chennai (membre depuis 2013)

M. Baskaran est professeur émérite à l'Institut de mathématiques de Chennai, en Inde, où il a récemment fondé le Centre de sciences quantiques. Il a apporté d'importantes contributions dans le domaine de la matière quantique fortement corrélée. Il s'intéresse principalement aux nouveaux phénomènes quantiques émergents dans la matière, y compris des phénomènes biologiques. M. Baskaran est bien connu pour sa contribution à la théorie de la supraconductivité à haute température et pour la découverte de champs de jauge émergents dans des systèmes d'électrons fortement corrélés. Il a prédit la supraconductivité d'onde P dans Sr_2RuO_4 , un système que l'on croit compatible avec la présence de fermions de Majorana, qubits populaires en informatique quantique topologique. Il a récemment prédit la supraconductivité à la température ambiante du graphène dopé de manière optimale. De 1976 à 2006, Ganapathy Baskaran a apporté une contribution substantielle au Centre international Abdus-

Salam de physique théorique (ICTP), situé à Trieste, en Italie. Il a reçu le prix S.S.-Bhatnagar du Conseil indien de la recherche scientifique et industrielle (1990), et le prix Alfred-Kasler de l'ICTP (1983). Il a été élu membre de l'Académie des sciences de l'Inde (1988), de l'Académie scientifique nationale de l'Inde (1991) et de l'Académie des sciences du Tiers-Monde (2008). Il a également été nommé « Ancien distingué » de l'Institut indien des sciences à Bangalore (2008).

Mark Wise, Institut de technologie de la Californie (membre depuis 2013)

M. Wise a le titre de professeur de physique des hautes énergies John-Alexander-McCone à l'Institut de technologie de la Californie. Il a mené des recherches en physique des particules élémentaires et en cosmologie. M. Wise est colauréat du prix J.J. Sakurai de physique théorique des particules 2001 pour l'élaboration de la théorie effective des quarks lourds (HQET), formalisme mathématique qui permet aux physiciens de faire des prédictions au sujet de problèmes autrement insolubles dans la théorie des interactions fortes entre quarks. Il a également publié des travaux sur les modèles mathématiques d'évaluation des risques financiers. Ancien récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan, Mark Wise est actuellement membre élu de la Société américaine de physique, de l'Académie américaine des arts et sciences, ainsi que de l'Académie nationale des sciences des États-Unis.

INSTALLATIONS

AU-DELÀ DU BÉTON

Le bâtiment emblématique et primé de l'Institut Péricimètre a été conçu spécifiquement pour inspirer de grandes idées. Le bâtiment d'origine a remporté en 2006 une Médaille du Gouverneur général en architecture. Le Centre Stephen-Hawking – agrandissement complété en 2011 – a reçu un prix 2012 d'excellence en design de l'Association des architectes de l'Ontario.

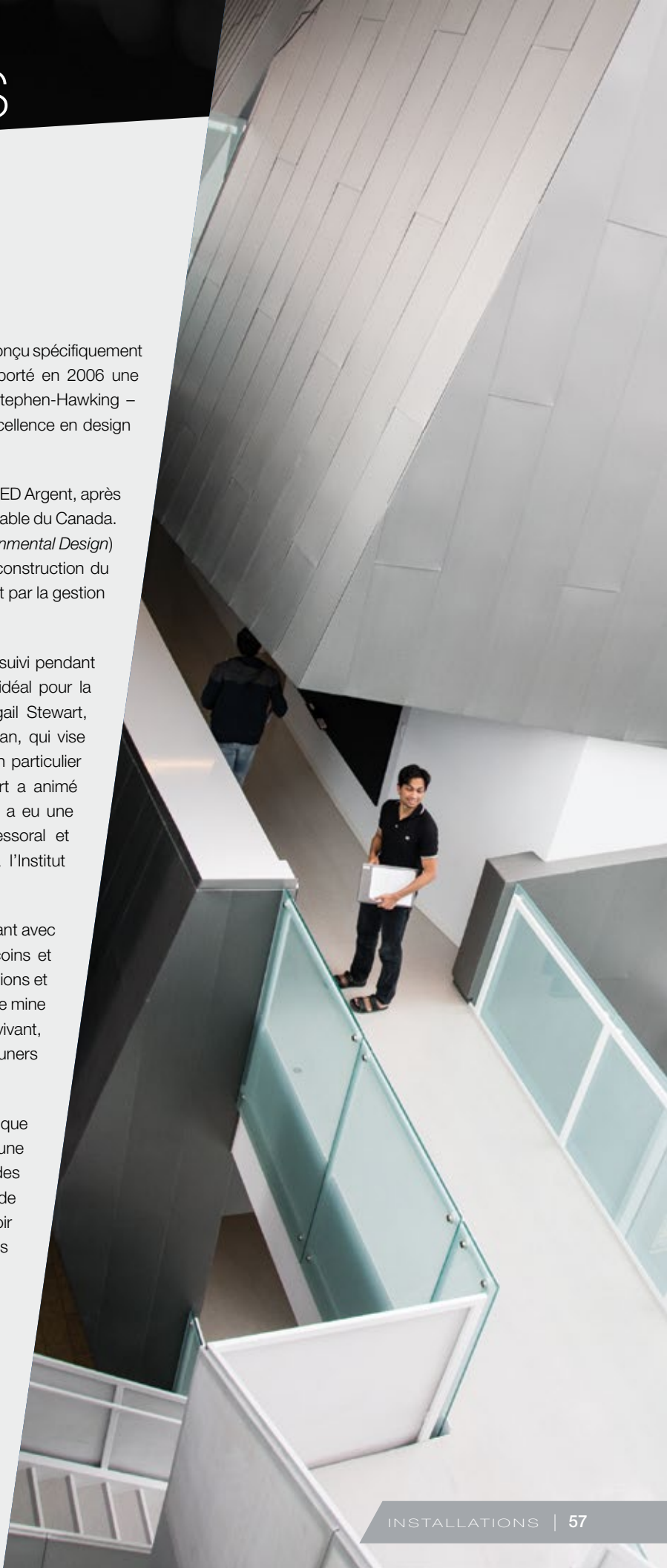
En 2015, le Centre Stephen-Hawking a obtenu la certification LEED Argent, après un examen indépendant, effectué par le Conseil du bâtiment durable du Canada. Le système d'évaluation LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) tient compte de tous les aspects, depuis la conception et la construction du bâtiment jusqu'au choix des plantes pour les jardins, en passant par la gestion des déchets et l'efficacité énergétique.

Mais l'Institut Péricimètre est bien plus qu'un bâtiment. Il a poursuivi pendant toute l'année 2014-2015 ses efforts de création d'un milieu idéal pour la réalisation de percées scientifiques. L'Institut a accueilli Abigail Stewart, directrice du programme ADVANCE de l'Université du Michigan, qui vise à améliorer le milieu universitaire pour tous les professeurs, en particulier les femmes et les minorités sous-représentées. Mme Stewart a animé un colloque sur le processus de changement institutionnel et a eu une discussion approfondie avec des membres du corps professoral et du personnel administratif sur les améliorations possibles à l'Institut Péricimètre.

Les installations de l'Institut allient forme et fonction, en combinant avec soin des lieux privés et des espaces de collaboration. Des coins et recoins paisibles et confortables sont propices à de petites réunions et à la contemplation. La bibliothèque de deux étages renferme une mine de connaissances en physique. Le bistro *Black Hole* est un lieu vivant, l'endroit parfait pour des discussions spontanées et des déjeuners de travail.

L'informatique scientifique est cruciale pour la physique théorique moderne. C'est pourquoi l'Institut Péricimètre fournit une infrastructure informatique de pointe, qui donne accès à des calculs de haute performance et à des services spécifiques de TI, dont un expert en informatique scientifique qui peut concevoir et réaliser des simulations complexes en collaboration avec des chercheurs.

Capable d'accueillir jusqu'à 250 chercheurs et étudiants, l'Institut Péricimètre est le plus grand centre de recherche en physique théorique au monde. Dans un contexte qui favorise la pensée profonde et des échanges d'idées animés, l'Institut cherche activement à créer un milieu de travail stimulant, susceptible d'encourager et d'appuyer de grands scientifiques et leurs travaux.



RÉSULTATS D'EXPLOITATION

Un soutien important et constant des secteurs public et privé, de même qu'une gestion prudente et stratégique des dépenses, ont permis à l'Institut Péricètre de renforcer sa position financière au cours de l'exercice 2014-2015 et de demeurer en bonne voie d'atteindre ses objectifs à long terme.

L'Institut a continué d'investir de manière stratégique dans sa mission centrale. Conformément à son plan de croissance, ses investissements dans le personnel scientifique et le soutien aux programmes de recherche ont augmenté de plus de 12 %.

Les programmes innovateurs de formation à la recherche offerts par l'Institut Péricètre – afin de produire la prochaine génération de grands physiciens et de fournir, à l'écosystème étendu de l'innovation, des gens dotés d'une pensée critique et compétents pour résoudre des problèmes – ont représenté environ 7 % des charges de l'Institut. Le programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricètre) et le programme de doctorat, offerts en collaboration avec des universités partenaires, ont continué d'attirer des diplômés talentueux de toutes les régions du monde.

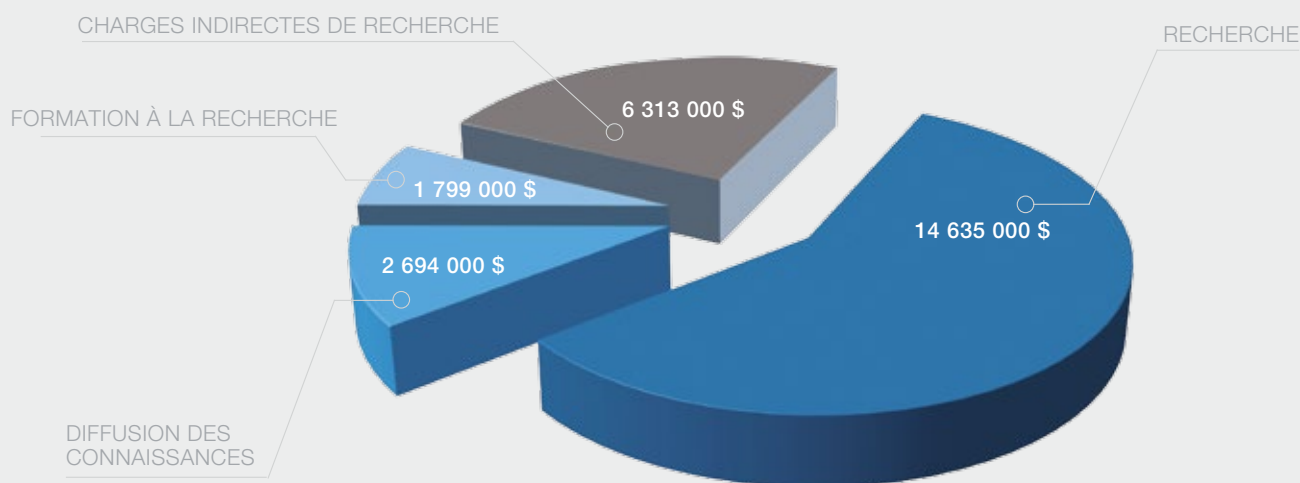
La diffusion des connaissances est demeurée un élément important de la mission de l'Institut Péricètre en 2014-2015. L'Institut a investi environ 11 % de ses charges annuelles dans des programmes et produits inspirants destinés aux élèves, aux enseignants et au grand public.

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. En proportion des dépenses totales, ces charges ont été du même ordre que l'année précédente, ce qui témoigne d'une gestion efficace des coûts tout en assurant le maintien d'un centre de recherches de classe mondiale.

L'Institut Péricètre a terminé son exercice 2014-2015 avec un excédent de 28 millions de dollars des produits sur les charges. Ce résultat est notamment dû aux succès de l'Institut dans l'obtention de subventions de recherche et la collecte de fonds auprès du secteur privé, ainsi qu'à un rendement des investissements qui a dépassé les 10 %. Les surplus sont gérés avec prudence, afin d'accroître la solidité financière à long terme de l'Institut.

SOMMAIRE DES CHARGES DE FONCTIONNEMENT

Pour l'exercice terminé le 31 juillet 2015



SITUATION FINANCIÈRE

L'Institut PÉRIMÈTRE a vu son fonds de roulement augmenter. Il a ainsi la souplesse voulue pour répondre à ses besoins à court terme et réagir aux possibilités de recherches qui peuvent se présenter.

Le fonds de dotation sert à accumuler des fonds privés afin de répondre aux besoins futurs de l'Institut.

Ce fonds de 303 millions de dollars comprend des titres canadiens, des titres étrangers, des titres à revenu fixe et d'autres investissements spécifiques conformes aux objectifs de l'Institut en matière de risque et de rendement.

RISQUES ET INCERTITUDES

L'Institut PÉRIMÈTRE doit son existence à un partenariat public-privé coopératif très fructueux qui pourvoit aux activités courantes tout en préservant les possibilités futures.

Des engagements de financement de 50 millions de dollars du gouvernement du Canada ainsi que de 50 millions de dollars du gouvernement de l'Ontario (tous deux renouvelables en 2017) renforcent la collaboration étroite de l'Institut PÉRIMÈTRE avec ses partenaires publics et témoignent de l'intérêt que ces derniers voient à investir dans l'Institut.

Ces engagements pour plusieurs années, d'un montant total de 100 millions de dollars, montrent que l'Institut constitue pour les gouvernements un excellent investissement.

L'Institut PÉRIMÈTRE cherche en outre à augmenter de manière innovatrice ses sources de financement du secteur privé, afin d'accroître son budget annuel d'exploitation et d'augmenter son fonds de dotation pour les années à venir.

Selon les désirs des donateurs, les sommes provenant du secteur privé servent à assumer des charges d'exploitation ou sont placées dans un fonds de dotation. Celui-ci est conçu pour maximiser la croissance et réduire le plus possible les risques, afin de renforcer au maximum la santé financière à long terme de l'Institut. Le rendement des investissements est toutefois susceptible de varier et est assujéti à la situation économique. Sous la direction du comité de gestion des investissements, les fonds sont investis conformément aux politiques et procédures d'investissement approuvées par le conseil d'administration.





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 2015, ainsi que l'état résumé des résultats et de 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 2015. Nous avons exprimé une opinion sans réserve sur ces états financiers dans notre rapport daté du 11 décembre 2015. Ces états financiers, de même que les états financiers résumés ci-joints, ne tiennent pas compte d'événements survenus après la date de notre rapport sur les états financiers audités.

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.

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 selon les normes comptables canadiennes pour les organismes à but non lucratif.

Responsabilité des auditeurs

Notre responsabilité consiste à exprimer une opinion sur les états financiers résumés, 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*.

Opinion

À notre avis, les états financiers résumés établis à partir des états financiers audités de l'Institut pour l'exercice terminé le 31 juillet 2015 constituent un résumé fidèle de ces états financiers, établi selon les normes comptables canadiennes pour les organismes à but non lucratif.

Toronto (Ontario)
Le 11 décembre 2015

Zeifmans LLP
Comptables agréés
Experts-comptables autorisés

INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé de la situation financière
au 31 juillet 2015

| | 2015 | 2014 |
|--|-----------------------|-----------------------|
| ACTIF | | |
| Actif à court terme : | | |
| Trésorerie et équivalents | 9 230 000 \$ | 15 958 000 \$ |
| Investissements | 302 796 000 | 264 333 000 |
| Subventions gouvernementales à recevoir | 4 671 000 | 5 680 000 |
| Autre actif à court terme | 706 000 | 809 000 |
| | <u>317 403 000</u> | <u>286 780 000</u> |
| Immobilisations | 46 412 000 | 49 457 000 |
| TOTAL DE L'ACTIF | <u>363 815 000 \$</u> | <u>336 237 000 \$</u> |
| | | |
| PASSIF ET SOLDE DES FONDS | | |
| Passif à court terme : | | |
| Comptes créditeurs et autre passif à court terme | <u>1 095 000 \$</u> | <u>1 692 000 \$</u> |
| TOTAL DU PASSIF | <u>1 095 000</u> | <u>1 692 000</u> |
| | | |
| Solde des fonds : | | |
| Investis dans les immobilisations | 46 399 000 | 49 974 000 |
| Grevés d'affectations d'origine externe | 117 866 000 | 121 873 000 |
| Grevés d'affectations d'origine interne | 188 840 000 | 78 840 000 |
| Non grevés | <u>9 615 000</u> | <u>83 858 000</u> |
| SOLDE TOTAL DES FONDS | <u>362 720 000</u> | <u>334 545 000</u> |
| | <u>363 815 000 \$</u> | <u>336 237 000 \$</u> |

INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé des résultats et du solde des fonds
pour l'exercice terminé le 31 juillet 2015

| | 2015 | 2014 |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Produits | | |
| Subventions gouvernementales | 21 548 000 \$ | 19 526 000 \$ |
| Autres produits | 3 073 000 | 1 850 000 |
| Dons | 2 691 000 | 761 000 |
| | <u>27 312 000</u> | <u>22 137 000 \$</u> |
| Charges | | |
| Recherche | 14 635 000 | 13 002 000 |
| Formation à la recherche | 1 799 000 | 2 034 000 |
| Diffusion des connaissances et communications scientifiques | 2 694 000 | 3 112 000 |
| Charges indirectes de recherche et de fonctionnement | 6 313 000 | 5 770 000 |
| | <u>25 441 000 \$</u> | <u>23 918 000 \$</u> |
| Excédent des produits par rapport aux charges (des charges par rapport aux produits) avant amortissement, gain sur la disposition d'immobilisations et produits de placement | 1 871 000 \$ | (1 781 000) \$ |
| Amortissement | (2 941 000) | (3 838 000) |
| Gain sur la disposition d'immobilisations | 111 000 | |
| Produits de placement | <u>29 134 000</u> | <u>41 635 000</u> |
| Excédent des produits par rapport aux charges | 28 175 000 | 36 016 000 |
| Solde des fonds au début de l'exercice | 334 545 000 | 298 529 000 |
| Solde des fonds à la fin de l'exercice | <u>362 720 000 \$</u> | <u>334 545 000 \$</u> |

Zeifmans

PRIORITÉS ET OBJECTIFS POUR L'AVENIR



Les objectifs stratégiques énumérés ci-dessous, qui ont guidé les orientations de l'Institut Périètre depuis plus de 5 ans, font actuellement l'objet d'une révision. Au cours du prochain exercice, l'Institut les modifiera selon les besoins, afin qu'ils reflètent sa stature internationale et les nouvelles possibilités qui s'offrent à lui d'être un chef de file en science fondamentale. La réalisation de la mission essentielle de l'Institut continuera d'orienter toutes les facettes de ses efforts de recherche, de formation et de diffusion des connaissances.

Réaliser des découvertes de classe mondiale, en essayant continuellement de faire avancer la recherche fondamentale dans tous les domaines couverts par l'Institut, en encourageant des approches complémentaires ainsi qu'en insufflant une atmosphère de collaboration favorisant l'épanouissement des idées et augmentant la probabilité d'avancées majeures.

Devenir la résidence de recherche d'une masse critique des plus grands physiciens théoriciens au monde, en poursuivant le recrutement au plus haut niveau, en offrant des possibilités de recherche inégalées, et en favorisant les liens de coopération dans l'ensemble de la communauté scientifique au Canada et dans le monde.

Devenir un incubateur des talents les plus prometteurs, en recrutant les meilleurs postdoctorants au monde, en facilitant la collaboration des chercheurs avec les centres d'observation et d'expérimentation, en attirant et en formant de brillants jeunes diplômés dans le programme de formation PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périètre) et en recrutant les meilleurs comme doctorants, ainsi qu'en offrant des possibilités de formation à la recherche à des étudiants doués de premier cycle invités à l'Institut.

Devenir la seconde résidence de recherche de plusieurs grands théoriciens du monde, en continuant d'attribuer des chaires de chercheur invité distingué à des scientifiques de premier plan, en attirant des adjoints invités et des boursières Emmy-Noether de calibre exceptionnel, de même que par des accords qui encouragent les

activités conjointes entre les chercheurs de l'Institut et ceux d'autres grands établissements du monde.

Constituer une plaque tournante d'un réseau mondial de centres de physique théorique et de mathématiques, en recherchant des occasions de partenariat et de collaboration qui peuvent contribuer à accélérer la mise sur pied de centres d'excellence en mathématiques et physique.

Renforcer le rôle de l'Institut comme centre de convergence pour la recherche en physique fondamentale au Canada, en continuant de développer des partenariats nationaux et internationaux, ainsi qu'en jouant un rôle moteur dans le développement de l'écosystème de la *Quantum Valley*, tout en favorisant les interactions entre ses chercheurs et ses membres affiliés dans tout le pays.

Organiser des conférences, ateliers, cours et séminaires ciblés et opportuns sur des sujets de pointe, et en rendre la plus grande partie accessible en ligne et sans frais à la communauté scientifique élargie.

Mener une action de diffusion des connaissances à fort impact, en communiquant au grand public l'importance de la recherche fondamentale et la puissance de la physique théorique, et en offrant des occasions uniques et des ressources de grande qualité aux enseignants et aux élèves du Canada et de l'étranger.

Créer l'environnement et l'infrastructure les meilleurs au monde pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique, en fournissant un espace physique inspirant, des moyens informatiques d'avant-garde et un soutien professionnel de grande qualité.

Continuer d'exploiter le modèle de financement public-privé qui a fait ses preuves à l'Institut, en augmentant le nombre de donateurs de l'Institut, au Canada comme à l'étranger.

PROFESSEURS À PLEIN TEMPS



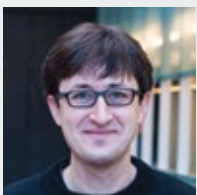
Neil Turok (Ph.D., Collège impérial de Londres, 1983) a été professeur de physique à l'Université de Princeton et titulaire de la chaire de physique mathématique de l'Université de Cambridge, avant de devenir directeur de l'Institut Périclète. En 2013, il a vu son mandat de directeur renouvelé et a été nommé titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique de l'Institut Périclète. Les recherches de M. Turok mettent l'accent sur l'élaboration de théories fondamentales en cosmologie et de nouveaux tests d'observation. Ses prédictions concernant les corrélations entre la polarisation et la température du rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique) et du rayonnement de fond produit par l'énergie sombre ont été récemment confirmées. Avec Stephen Hawking, Neil Turok a découvert les solutions instanton qui décrivent la naissance d'univers inflationnaires. Ses travaux sur l'inflation ouverte constituent le fondement du modèle de multivers, qui fait actuellement l'objet de nombreuses discussions. Avec Paul Steinhardt, il a élaboré un nouveau modèle cosmologique cyclique, dont les prédictions concordent jusqu'à maintenant avec tous les tests d'observation. M. Turok a reçu de nombreuses distinctions, dont des bourses Sloan et Packard, de même que la médaille James-Clerk-Maxwell de l'Institut de physique du Royaume-Uni. Il est membre du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées, membre élu de la Société royale du Canada et membre principal du Collège Massey de l'Université de Toronto. En 2012, il a été invité à prononcer les conférences Massey de la radio anglaise de Radio-Canada. Ces conférences ont été également publiées dans le livre *The Universe Within* (traduit en français sous le titre *L'univers vu de l'intérieur*), bestseller qui a valu à son auteur le prix Lane-Anderson 2013, prix de vulgarisation scientifique le plus important au Canada. Né en Afrique du Sud, M. Turok a fondé l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS) dans la ville du Cap en 2003. L'AIMS est depuis devenu un réseau de 5 centres – situés en Afrique du Sud, au Sénégal, au Ghana, au Cameroun et en Tanzanie – qui est maintenant l'institution de formation supérieure en sciences mathématiques la plus renommée de l'Afrique. Pour ses découvertes scientifiques et son œuvre de fondation et de développement de l'AIMS, Neil Turok s'est vu décerner un prix TED en 2008. Il a également reçu des prix du Sommet mondial sur l'innovation et l'esprit d'entreprise (WSIE) ainsi que du Sommet mondial de l'innovation en éducation (WISE).



Dmitry Abanin (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2008) s'est joint à l'Institut Périclète en 2012, après avoir été postdoctorant à l'Université Harvard et au Centre de sciences théoriques de Princeton. M. Abanin est un jeune théoricien de premier plan dans le domaine de la matière condensée. Ses recherches portent principalement sur l'élaboration d'une compréhension théorique des matériaux de Dirac, en mettant l'accent sur le transport quantique de charge et de spin, et sur la recherche de nouvelles manières de contrôler leurs propriétés électroniques. Certains de ses résultats théoriques ont été confirmés par des groupes d'expérimentateurs des universités Harvard et Columbia, de l'Université de Manchester, de l'Université de la Californie à Riverside, de l'Institut Max-Planck, ainsi que d'autres établissements. Dmitry Abanin a reçu une bourse de recherche Sloan en 2014.



Asimina Arvanitaki (Ph.D., Université Stanford, 2008) est devenue professeure à l'Institut Périclète en 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). Mme 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 travaille également sur les défis théoriques soulevés par des résultats expérimentaux, par exemple sur un modèle de physique des particules influencé par une théorie des cordes dite de « supersymétrie (SUSY) avec scalaires découplés ».



Latham Boyle (Ph.D., Université de Princeton, 2006) s'est joint au corps professoral de l'Institut Périclète en 2010. De 2006 à 2009, il a été boursier postdoctoral à l'Institut canadien d'astrophysique théorique. Il a aussi été boursier junior de l'Institut canadien de recherches avancées. M. Boyle a étudié ce que la mesure des ondes gravitationnelles peut nous enseigner sur le commencement de l'univers. Avec Paul Steinhardt, il a déduit un ensemble de « relations d'amorçage de l'inflation » qui, si elles étaient confirmées par l'observation, soutiendraient de manière irréfutable la théorie de l'inflation primordiale. Latham Boyle est l'un des inventeurs d'une technique algébrique simple permettant de comprendre la fusion de trous noirs. Il a également formulé la théorie des « porcs-épics », nom qu'il a donné aux réseaux de détecteurs d'ondes gravitationnelles à basse fréquence, qui fonctionnent ensemble comme des télescopes pour la détection d'ondes gravitationnelles. En collaboration avec son étudiant Shane Farnsworth, il a découvert une reformulation de la géométrie non commutative de Connes qui simplifie grandement et unifie ses axiomes, et éclaire ses liens avec le modèle standard de la physique des particules. Avec Kendrick Smith, il a élaboré la notion de « cristaux chorégraphiques » dont les éléments constitutifs exécutent une chorégraphie pouvant avoir une symétrie beaucoup plus riche que ce que révèle tout instantané de ces cristaux. Plus récemment, avec Paul Steinhardt, il a élaboré une nouvelle manière d'aborder les paysages de Penrose et explore de nouvelles applications de ces structures à la physique.



Freddy Cachazo (Ph.D., Université Harvard, 2002) est titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Périclète, où il est professeur depuis 2005. De 2002 à 2005, il a été membre de l'École de sciences naturelles de l'Institut d'études avancées de Princeton. 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 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), et un prix *Nouveaux horizons en physique* de la Fondation des Prix de physique fondamentale (2014).



Kevin Costello (Ph.D., Université de Cambridge, 2003) s'est joint à l'Institut Périclète en août 2014, en provenance de l'Université Northwestern, où il était professeur depuis 2006. Il est titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique. Auparavant, il a été boursier Chapman au Collège impérial de Londres (2003-2005) et instructeur Dixon à l'Université de Chicago (2005-2006). M. Costello travaille sur les aspects mathématiques de la théorie quantique des champs et de la théorie des cordes. Il a récemment publié *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. Entre autres distinctions, Kevin Costello a reçu une bourse de recherche Sloan et plusieurs subventions prestigieuses de la Fondation nationale des sciences des États-Unis.

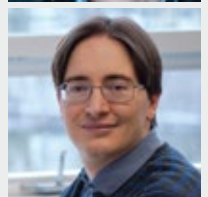
Bianca Dittrich (Ph.D., Institut Max-Planck de physique gravitationnelle, 2005) est devenue professeure à l'Institut Périclète en janvier 2012. Auparavant, elle dirigeait le groupe de recherche Max-Planck sur la dynamique canonique et covariante de la gravitation quantique à l'Institut Albert-Einstein de Potsdam, en Allemagne. Ses recherches mettent l'accent sur l'élaboration et l'examen de modèles de gravitation quantique. Entre autres importantes découvertes, elle a mis au point un cadre de calcul de grandeurs observables invariantes de jauge en relativité générale canonique et a réalisé de nouvelles constructions de géométrie quantique. Bianca Dittrich a reçu la médaille Otto-Hahn, remise par la Société Max-Planck à de jeunes scientifiques d'exception, ainsi qu'une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario.



Laurent Freidel (Ph.D., École normale supérieure de Lyon, 1994) s'est joint à l'Institut Périclète en 2002 à titre de chercheur invité, puis est devenu professeur à l'Institut en 2006. C'est un physicien mathématicien qui a fait de nombreuses contributions dignes de mention en gravitation quantique, dont l'élaboration de modèles de mousse de spin. Il a de plus introduit dans ce domaine plusieurs nouveaux concepts, dont ceux de théorie des groupes en théorie quantique des champs, de localité relative et, plus récemment, de théorie des métacordes et d'espace-temps modulaire. M. Freidel possède des connaissances très étendues dans bien des domaines, dont 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 (CNRS) de France depuis 1995 et a reçu de nombreuses distinctions.



Davide Gaiotto (Ph.D., Université de Princeton, 2004) est professeur à l'Institut Périclète depuis 2012 et titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Gallée de physique théorique. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université Harvard de 2004 à 2007, puis membre à long terme de l'Institut d'études avancées de Princeton de 2007 à 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 *Nouveaux horizons en physique* de la Fondation des Prix de physique fondamentale (2013).



Jaume Gomis (Ph.D., Université Rutgers, 1999) est devenu professeur à l'Institut 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 et la théorie quantique des champs. En 2009, 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.



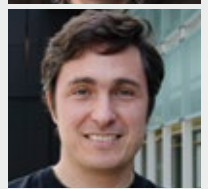
Daniel Gottesman (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 1997) est professeur à l'Institut Périclète depuis 2002. De 1997 à 2002, il a été postdoctorant au Laboratoire national de Los Alamos, à la division de la recherche de Microsoft et à l'Université de la Californie à Berkeley (à titre de boursier CMI à long terme de l'Institut de mathématiques Clay). M. Gottesman est l'auteur de contributions majeures qui continuent de façonner le domaine de l'informatique quantique, grâce à son travail sur la correction d'erreurs quantiques et la cryptographie quantique. Il a publié plus de 50 articles qui ont fait l'objet de plus de 4 000 citations à ce jour. Daniel Gottesman est également boursier principal du programme *Information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées et a été élu membre de la Société américaine de physique.



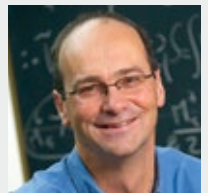
Lucien Hardy (Ph.D., Université de Durham, 1992) est devenu professeur à l'Institut Périclète en 2002, après avoir occupé des postes de chercheur et d'enseignant dans diverses universités européennes, dont l'Université d'Oxford, l'Université *La Sapienza* de Rome, l'Université de Durham, l'Université 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 *théorème de Hardy*. Il s'est intéressé à la caractérisation de la physique quantique sous forme de postulats opérationnels et à sa reformulation opérationnelle. Son travail actuel vise à reformuler la relativité générale en termes opérationnels, en vue de trouver une théorie de la gravitation quantique.



Luis Lehner (Ph.D., Université de Pittsburgh, 1998) est devenu professeur associé à l'Institut Périclète en 2009, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph, puis professeur à plein temps à l'Institut en 2012. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université du Texas à Austin et à l'Université de la Colombie-Britannique, puis professeur à l'Université d'État de Louisiane de 2002 à 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. 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 *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées.



Robert Myers (Ph.D., Université de Princeton, 1986) est l'un des principaux physiciens théoriciens travaillant sur la théorie des cordes au Canada. Après avoir obtenu son doctorat, il a été postdoctorant à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara, puis professeur de physique à l'Université McGill, avant de se joindre à l'Institut Périclète en 2001. Il est l'auteur de contributions majeures à la compréhension des d-branes et de la microphysique des trous noirs. M. Myers a reçu de nombreuses distinctions, dont la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (1999), le prix ACP-CRM (2005) et la médaille Vogt (2012). Il est en outre membre élu de la Société royale du Canada et boursier principal du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées. En 2014 et 2015, Robert Myers a fait partie de la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée par Thomson Reuters.





Subir Sachdev (Ph.D., Université Harvard, 1985) s'est joint à l'Institut Périclète en 2014 et est titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique (à titre de chercheur invité). Il est professeur de physique à l'Université Harvard depuis 2005. M. Sachdev a fait d'abondantes contributions à la physique quantique de la matière condensée, notamment par ses recherches sur les transitions de phase quantiques et leur application aux systèmes à électrons corrélés tels que les supraconducteurs à haute température. Il est l'auteur d'un ouvrage majeur intitulé *Quantum Phase Transitions* (Transitions de phase quantiques). Au cours des dernières années, il a exploité un lien remarquable entre les propriétés électroniques de matériaux au voisinage d'une transition de phase quantique et la théorie quantique des trous noirs. Entre autres distinctions, Subir Sachdev a reçu une bourse de recherche Sloan et une bourse de la Fondation commémorative John-Simon-Guggenheim. Il est membre élu de la Société américaine de physique et de l'Académie nationale des sciences des États-Unis. Il a été titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Périclète de 2009 à 2014.



Philip Schuster (Ph.D., Université Harvard, 2007) est devenu professeur à l'Institut Périclète en 2010. Il a été associé de recherche au Laboratoire national de l'accélérateur SLAC de 2007 à 2010. Son domaine de spécialité est la théorie des particules, et notamment la physique au-delà du modèle standard. Il a des liens étroits avec le milieu expérimental et a travaillé sur diverses théories qui pourraient être vérifiées par des expériences au grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN. Avec des membres de l'expérience de solénoïde compact pour muons (CMS) du LHC, il a mis au point des méthodes visant à caractériser des signaux potentiels de nouvelle physique et des résultats nuls à l'aide de modèles simplifiés, facilitant une interprétation théorique plus solide des données. Philip Schuster est en outre co-porte-parole de l'expérience APEX au Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson, en Virginie. Il a reçu avec Natalia Toro un prix *Nouveaux horizons en physique* 2015 de la Fondation des Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize Foundation*).



Kendrick Smith (Ph.D., Université de Chicago, 2007) s'est joint à l'Institut Périclète en 2012, en provenance de l'Université de Princeton, où il était titulaire de la bourse postdoctorale Lyman-P.-Spitzer depuis 2009. Auparavant, il a été de 2007 à 2009 postdoctorant à l'Université de Cambridge, à titre de boursier du Conseil de recherche en physique des particules et en astronomie du Royaume-Uni (PPARC). M. Smith est un cosmologiste actif dans les milieux de la théorie et de l'observation. Il est membre de plusieurs équipes d'expérimentateurs, dont celle de l'expérience WMAP, qui a reçu le prix Gruber 2012 de cosmologie, ainsi que des expériences CHIME et Planck. Il a également participé à la phase de démarrage du projet HSC (*Hyper-Suprime Cam*) au télescope Subaru d'Hawaii. Il a obtenu plusieurs résultats importants, dont la première détection de l'effet lentillaire gravitationnel dans le rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique). Kendrick Smith détient aussi un doctorat en mathématiques de l'Université du Michigan.



Lee Smolin (Ph.D., Université Harvard, 1979) est l'un des membres fondateurs du corps professoral de l'Institut Périclète. Auparavant, il a été professeur à l'Université Yale, à l'Université de Syracuse et à l'Université d'État de Pennsylvanie. Ses recherches portent surtout sur le problème de la gravitation quantique, où il a contribué à l'élaboration de la gravitation quantique à boucles. Ses contributions s'étendent toutefois sur de nombreux domaines, dont les fondements quantiques, la cosmologie, la physique des particules, la philosophie de la physique et l'économie. Il a publié plus de 180 articles qui ont fait l'objet de plus de 16 300 citations à ce jour. Il a écrit 4 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 Périclète en 2008, après avoir été postdoctorant à l'Institut et titulaire 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 l'interprétation de l'état quantique, le principe de non-contextualité, la nature de la causalité dans un monde quantique, de même que sur la caractérisation des propriétés de violation de symétrie et propriétés thermodynamiques d'états quantiques en tant que ressources. Spekkens est corédacteur de l'ouvrage *Quantum Theory: Informational Foundations and Foils* (Physique quantique : fondements et volets informationnels) et a reçu le prix Birkhoff-von-Neumann de l'Association internationale pour les structures quantiques.



Paul Steinhardt (Ph.D., Université Harvard, 1978) est titulaire de la chaire Richard-P.-Feynman de physique théorique de l'Institut Périclète (à titre de chercheur invité) et professeur Albert-Einstein de sciences à l'Université de Princeton, où il dirige également le Centre de sciences théoriques. Ses domaines de recherche sont la physique des particules, l'astrophysique, la cosmologie, la physique de la matière condensée et les sciences de la Terre. Il est l'un des architectes originaux de la théorie inflationnaire de l'univers, dont il a construit les premiers modèles viables et montré qu'ils peuvent produire des variations de densité capables d'engendrer la formation des galaxies. Il a aussi été le premier à démontrer que des fluctuations quantiques rendent éternelle l'expansion de l'univers, ce qui conduit ultimement à la formation d'un multivers. Plus tard, il a élaboré avec Neil Turok la « théorie cyclique » de l'univers, selon laquelle l'univers aurait traversé des périodes répétées de contraction et d'expansion ponctuées de grands rebonds; cette théorie donne des variations de densité semblables, mais évite le multivers et les problèmes qui lui sont associés. M. Steinhardt est également connu pour ses travaux sur l'énergie sombre et la matière sombre, dont les théories de la « quintessence » et de la matière sombre interagissant avec elle-même. En physique de la matière condensée, il a inventé avec son étudiant Dov Levine le concept théorique de quasi-cristaux et a par la suite expliqué un grand nombre de leurs propriétés distinctives. Plus récemment, il a coordonné une équipe qui a découvert le premier quasi-cristal naturel, puis établi son origine en dirigeant une expédition géologique plus étoffée dans la péninsule du Kamchatka en 2011. Il est co-inventeur du premier quasi-cristal photonique icosaédral, ainsi que d'une nouvelle classe de matériaux photoniques appelés *solides désordonnés hyperuniformes*.



Natalia Toro (Ph.D., Université Harvard, 2007) est devenue professeure à l'Institut Périclète en 2010, après avoir été boursière postdoctorale à l'Institut de physique théorique de l'Université Stanford. Elle a élaboré un cadre de modèles comportant peu de paramètres pour des signaux potentiels de nouvelle physique. Elle a aussi joué un rôle important dans l'intégration de nouvelles techniques, dites de description effective de particules intermédiaires réelles, au sein du programme de recherche lié à l'expérience de solénoïde compact pour muons (CMS) au grand collisionneur de hadrons du CERN. Mme Toro est une experte de l'étude des forces sombres d'interaction très faible avec la matière ordinaire et est co-porte-parole de l'expérience APEX, qui recherche de telles forces au Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson, en Virginie. Elle a reçu avec Philip Schuster un prix *Nouveaux horizons en physique* 2015 de la Fondation des Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize Foundation*).

Guifre Vidal (Ph.D., Université de Barcelone, 1999) est devenu professeur à l'Institut Péricètre en 2011, en provenance de l'Université du Queensland à Brisbane, où il était professeur à l'École de mathématiques et physique. Auparavant, il avait été postdoctorant à l'Université d'Innsbruck et à l'Institut de technologie de la Californie. M. Vidal travaille à la jonction entre la théorie de l'information quantique, la physique de la matière condensée et la théorie quantique des champs. Il élabore des algorithmes sur des réseaux de tenseurs pour calculer l'état fondamental de systèmes quantiques à N corps, et a proposé une formulation moderne du groupe de renormalisation, à partir de circuits et de l'intrication quantiques. Il travaille actuellement à la mise au point d'outils non perturbatifs pour des champs quantiques en interaction forte, ainsi que sur l'utilisation de réseaux de tenseurs en holographie. Guifre Vidal a reçu entre autres distinctions une bourse Marie-Curie de l'Union européenne, une bourse de la Fondation Sherman-Fairchild et une bourse de la Fédération australienne des conseils de recherche.



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 de l'Institut Péricètre, 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. Elles visent ultimement la résolution d'une théorie de jauge quadridimensionnelle réaliste. M. Vieira s'intéresse également à la correspondance AdS/CFT, au calcul théorique d'amplitudes de diffusion, ainsi qu'aux fonctions de corrélation dans des théories quantiques des champs en interaction. En 2015, il s'est mérité à la fois une bourse de recherche Sloan et la médaille Gribov de la Société européenne de physique.



Xiao-Gang Wen (Ph.D., Université de Princeton, 1987) est devenu professeur à l'Institut Péricètre en 2012 à titre de titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique. Reconnu mondialement comme un chef de file de la théorie de la matière condensée, il a été un pionnier du concept nouveau d'ordre topologique quantique, utilisé pour décrire des phénomènes allant de la supraconductivité aux particules de charge fractionnaire. M. Wen a aussi inventé de nombreux formalismes mathématiques. Il est l'auteur du manuel intitulé *Quantum Field Theory of Many-body Systems: From the Origin of Sound to an Origin of Light and Electrons* (Théorie quantique des champs de systèmes à N corps : de l'origine du son à une origine de la lumière et des électrons). Avant de se joindre à l'Institut Péricètre, Xiao-Gang Wen a été chercheur distingué Moore à l'Institut de technologie de la Californie, professeur de physique Cecil-et-Ida-Green à l'Institut de technologie du Massachusetts, ainsi que titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricètre. Il est également membre élu de la Société américaine de physique.



PROFESSEURS ASSOCIÉS

Niyesh Afshordi (Ph.D., Université de Princeton, 2004), nommé conjointement avec l'Université de Waterloo, a été de 2004 à 2007 boursier de l'Institut de théorie et de calcul du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique, puis boursier de recherche distingué à l'Institut Péricètre en 2008 et 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. En 2010, il a reçu un supplément d'accélération à la découverte accordé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. En 2011, il a reçu la médaille d'or Vainu-Bappu de la Société d'astronomie de l'Inde, ainsi qu'une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario.



Alexander Braverman (Ph.D., Université de Tel Aviv, 1998) s'est joint à l'Institut Péricètre en juillet 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 un certain nombre de domaines ayant des applications en physique mathématique, dont la géométrie algébrique, la théorie des représentations, la théorie des nombres et le programme de Langlands géométrique. Il a été boursier de l'Institut de mathématiques Clay et boursier Simons en mathématiques.



Avery Broderick (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 2004) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en septembre 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo. 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. Il a récemment participé à un projet international visant à produire et à interpréter des images témoignant de l'horizon de trous noirs supermassifs – afin d'étudier 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 trous noirs.



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



Raffi Budakian (Ph.D., Université de la Californie à Los Angeles, 2000) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en juin 2014, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC). Il est également titulaire de la chaire de supraconductivité financée par un fonds de dotation à l'IQC et à l'Institut de nanotechnologie de Waterloo. Auparavant, M. Budakian a été professeur à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, et chercheur à l'Université de la Californie à Los Angeles et au Centre de recherches Almaden d'IBM à San Jose. M. Budakian est un physicien expérimentateur de la matière condensée. Ses recherches portent sur la mise au point de techniques ultrasensibles de détection de spin pour visualiser des spins uniques et faire des mesures quantiques. En 2005, Raffi Budakian a remporté un *World Technology Award* pour ses travaux sur la détection et la manipulation de spins quantiques.





Cliff Burgess (Ph.D., Université du Texas à Austin, 1985) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2004, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster entrée en vigueur en 2005. Auparavant, il a été membre de l'École de sciences naturelles de l'Institut d'études avancées de Princeton, puis professeur à l'Université McGill. Pendant deux 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 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 titulaire 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.



David Cory (Ph.D., Université Case Western Reserve, 1987) s'est joint à l'Institut Péricètre en 2010, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est professeur de chimie et membre de l'Institut d'informatique quantique. Auparavant il a été professeur de sciences et génie nucléaires à l'Institut de technologie du Massachusetts. Depuis 1996, M. Cory explore les défis expérimentaux de la construction de petits processeurs quantiques fondés sur les spins nucléaires, les spins électroniques, les neutrons, les dispositifs supraconducteurs à courant persistant et l'optique. En 2010, il s'est vu attribuer la chaire d'excellence en recherche du Canada sur le traitement de l'information quantique. David Cory préside le comité consultatif du programme *Information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées. Il est membre élu de la Société américaine de physique et de la Société royale du Canada.



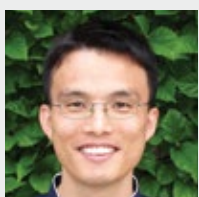
James Forrest (Ph.D., Université de Guelph, 1994) s'est joint à l'Institut Péricètre en 2014 à titre de directeur des programmes d'enseignement et professeur associé, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est professeur depuis 2000. Ses recherches portent sur la physique de la matière souple à l'échelle nanométrique, notamment les polymères et les protéines, sur la transition vitreuse en géométrie confinée, de même que sur les propriétés de surface et d'interface des polymères. Entre autres distinctions, James Forrest est membre élu de la Société américaine de physique et corécepteur de la médaille Brockhouse 2013 de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes.



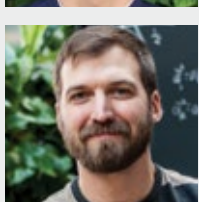
Matthew Johnson (Ph.D., Université de la Californie à Santa Cruz, 2007) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2012, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université York. Auparavant, il a été boursier postdoctoral Moore à l'Institut de technologie de la Californie, puis postdoctorant à l'Institut Péricètre. 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 *Nouvelles frontières en astronomie et cosmologie* administré par l'Université de Chicago.



Raymond Laflamme (Ph.D., Université de Cambridge, 1988) est membre fondateur du corps professoral de l'Institut Péricètre et directeur fondateur de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC). Il est professeur associé à l'IP dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'IQC. 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 sa recherche 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 est directeur du programme *Information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) depuis 2003. Il est boursier principal 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 est également titulaire de la chaire de recherche du Canada sur l'information quantique. Avec des collègues, il a fondé l'entreprise Universal Quantum Devices, qui commercialise certaines retombées des recherches en physique quantique.



Sung-Sik Lee (Ph.D., Université scientifique et technologique de Pohang, 2000) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster, où il est professeur agrégé. 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 portent sur les théories effectives des champs à faible énergie pour les non-liquides de Fermi, de même que sur la construction de théories holographiques duales de théories quantiques des champs à partir du groupe de renormalisation quantique.



Roger Melko (Ph.D., Université de la Californie à Santa Barbara, 2005) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2012, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est professeur depuis 2007. Auparavant, il a été boursier postdoctoral Wigner au Laboratoire national d'Oak Ridge (2005-2007). M. Melko est un théoricien de la matière condensée qui élabore de nouveaux algorithmes et méthodes de calcul afin d'étudier les systèmes fortement corrélés à N corps. Il se concentre sur les phénomènes émergents, les phases des états fondamentaux, les transitions de phase, les systèmes critiques quantiques et l'intrication. Entre autres distinctions, il a obtenu une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario, de même que le Prix du jeune scientifique en physique informatique de l'Union internationale de physique pure et appliquée, remis par le Conseil de physique informatique. Il a également été nommé titulaire de la chaire de recherche (de niveau 2) du Canada en physique informatique quantique à N corps.

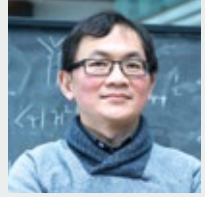


Michele Mosca (D.Phil., Université d'Oxford, 1999), nommé conjointement avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC), est membre fondateur de l'Institut Péricètre, ainsi que cofondateur et directeur général adjoint de l'IQC. Il est l'auteur de contributions majeures à la théorie et à la pratique du traitement de l'information quantique, dont plusieurs des premières mises en œuvre d'algorithmes quantiques et de méthodes fondamentales permettant d'effectuer des calculs fiables avec des appareils quantiques non nécessairement dignes de confiance. Ses recherches actuelles portent sur les algorithmes et la complexité quantiques, de même que sur la mise au point d'outils de cryptographie assurant la sécurité des données dans des appareils quantiques. Michele Mosca a reçu de nombreux prix et distinctions. Il a entre autres été désigné parmi les 40 meilleurs leaders de moins de 40 ans au Canada (2010). Il a reçu le prix du Premier ministre de l'Ontario pour l'excellence en recherche (2000-2005) et est boursier de l'Institut canadien de recherches avancées depuis 2010. Il a été titulaire d'une chaire de recherche du Canada en informatique quantique (2002-2012) et est titulaire depuis 2012 d'une chaire de recherche de l'Université de Waterloo.

Markus Mueller (Ph.D., Université technique de Berlin, 2007) s'est joint à l'Institut Péricètre en juillet 2015, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Western, où il est titulaire de la chaire de recherche du Canada sur les fondements de la physique. Auparavant, il a été chef de groupe de recherche débutant à l'Institut de physique théorique de l'Université de Heidelberg, ainsi que postdoctorant à l'Institut Péricètre, à l'Université de Potsdam et à l'Institut Max-Planck pour les mathématiques dans les sciences. Ce physicien mathématicien travaille dans les domaines de l'information quantique et des fondements quantiques. Il s'intéresse plus particulièrement à la physique statistique, aux théories probabilistes généralisées et à la théorie algorithmique de l'information.



Ue-Li Pen (Ph.D., Université de Princeton, 1995) s'est joint à l'Institut Péricètre en décembre 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 et directeur adjoint depuis 2009. Auparavant, il a été boursier à l'Université de Princeton (1994-1995) et à l'Université Harvard (1995-1998). M. Pen est un astrophysicien théoricien qui étudie des systèmes où les effets physiques fondamentaux peuvent être isolés des complexités astronomiques. Ses domaines de recherche comprennent la cosmologie de la raie à 21 cm, les simulations en informatique de haute performance, les ondes gravitationnelles, les pulsars et l'interférométrie radio. Entre autres distinctions, Ue-Li Pen est boursier principal du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées et professeur associé à l'Institut Tata de recherche fondamentale en Inde.



Maxim Pospelov (Ph.D., Institut Budker de physique nucléaire, 1994) est devenu professeur associé à l'Institut en 2004, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Victoria. Auparavant, il a été chercheur à l'Université du Québec à Montréal, à l'Université du Minnesota, à l'Université McGill et à l'Université du Sussex. M. Pospelov travaille dans les domaines de la physique des particules et de la cosmologie.



Itay Yavin (Ph.D., Université Harvard, 2006) est devenu professeur associé à l'Institut Péricètre en 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster. Auparavant, il a été associé de recherche à l'Université de Princeton et titulaire d'une bourse postdoctorale James-Arthur à l'Université de New York. Ses travaux en physique des particules mettent l'accent sur la recherche allant au-delà du modèle standard. Il a entre autres proposé récemment une nouvelle expérience visant à rechercher de nouvelles particules ayant des charges fractionnaires au grand collisionneur de hadrons. Il dirige maintenant une équipe en vue de réaliser cette expérience.



CADRES ADMINISTRATIFS

Directeur administratif et chef de l'exploitation

Michael Duschenes

Directeur principal des finances et de l'exploitation

Stefan Pregelj

Directeur des communications et relations avec les médias

Colin Hunter

Directrice financière

Sue Scanlan

Directeur des relations extérieures et des affaires publiques

John Matlock

Directrice du développement

Maria Antonakos

Directeur des programmes d'enseignement

James Forrest

Directrice des ressources humaines et de la culture

Sheri Keffer

Directeur de la diffusion des connaissances

Greg Dick

Directrice des publications

Natasha Waxman

Directeur de la technologie de l'information

Ben Davies

CHERCHEURS RÉSIDANTS

Chercheur résident associé

John Moffat

Chercheur principal associé

Steve MacLean

Chercheur principal

Rafael Sorkin

POSTDOCTORANTS EN 2014-2015

* Assistant dans le programme PSI

** Boursier dans le cadre du programme Frontières Templeton

| | | | | | |
|------------------------|----------------------|------------------|------------------|---------------------------|------------------------|
| Tibra Ali* | Yanou Cui | Phillipp Hoehn | David Kubiznak* | Dine Ousmane Samary | William Witczak-Krempa |
| Wolfgang Altmannshofer | Denis Dalidovich* | Mike Hogan | Ipsita Mandal | Luiz Santos | Daniel Wohns* |
| Denis Bashkirov | Tobias Fritz** | Eder Izaguirre | David Marsh | Brian Shuve | Elie Wolfe |
| Agata Branczyk* | Martin Ganahl | Tim Johannsen | Jia-Wei Mei | Matteo Smerlak | Gang Xu* |
| Daniel Brod | Henrique Gomes | Hee-Cheol Kim | Flavio Mercati** | Edwin (Miles) Stoudenmire | Huan Yang |
| Christopher Brust | Stefania Gori | Heeyeon Kim | Yasha Neiman | Matt von Hippel | Shuo Yang |
| Juan Carrasquilla | Stephen Green | Isaac Kim | Matthew Pusey | Yidun Wan | Peng Ye |
| Anushya Chandran | Gus Gutoski | Shota Komatsu | C. Jess Riedel | Julian Rincon | Jie Zhou |
| Lukasz Cincio | Song He | Peter Koroteev | Aldo Riello | Yuan Wan | Huangjun Zhu |
| Joshua Combes | Michal Heller | Ryszard Kostecki | Julian Rincon | | |
| | Kurt Hinterbichler** | Gordan Krnjaic | | | |

SCIENTIFIQUES INVITÉS EN 2014-2015

* Titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué

** Adjoint invité

| | | |
|---|--|--|
| Scott Aaronson, Institut de technologie du Massachusetts (MIT) | Jibril Ben Achour, Université Paris-Diderot (Paris 7) | Gang Chen, Université de Toronto |
| Niloufar Afsari, Université de Toronto | Ariel Bendersky, Institut de sciences photoniques (ICFO) | Ji-Yao Chen, Université Tsinghua |
| Yakir Aharonov*, Université Chapman et Université de Tel Aviv | Nathan Benjamin, Université Stanford | Yanbei Chen, Institut de technologie de la Californie (Caltech) |
| Aris Alexandradinata, Université de Princeton | Joshua Berger, Laboratoire national de l'accélérateur SLAC | Meng Cheng, Station Q de Microsoft Research |
| Murad Alim, Université Harvard | David Berman, Université Queen-Mary de Londres | Aleksey Cherman, Université du Minnesota |
| John-Mark Allen, Université d'Oxford | Gary Bernstein, Université de Pennsylvanie | Giulio Chiribella**, Université de Hong Kong |
| Jan Ambjorn, Institut Niels-Bohr de l'Université de Copenhague | Joe Bhaseen, Collège royal de Londres | Emily Cliff, Université d'Oxford |
| Giovanni Amelino-Camelia, Université La Sapienza de Rome | Atri Bhattacharya, Université de l'Arizona | Adrian Clough, Institut fédéral suisse de technologie de Zurich (ETH) |
| Abhay Ashtekar*, Université d'État de Pennsylvanie | Nadir Bizi, Université Pierre-et-Marie-Curie | Andrew Coates, Collège universitaire de Londres |
| Benjamin Assel, Collège royal de Londres | Nikita Blinov, TRIUMF | Mattia Colombo, Université de Nottingham |
| Miriam Backens, Université d'Oxford | Robin Blume-Kohout, Laboratoires nationaux Sandia | Joshua Cooperman, Université Radboud de Nimègue |
| Yuntao Bai, Université de Princeton | Celine Boehm, Université de Durham | Antonin Coutant, Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) |
| Leon Balents*, Université de la Californie à Santa Barbara | Hector Bombin, Université de Copenhague | Elizabeth Crosson, Institut de technologie du Massachusetts (MIT) |
| Guillermo Ballesteros, Université de Heidelberg | James Bonifacio, Université d'Oxford | Andrzej Czarnecki, Université de l'Alberta |
| Ning Bao, Institut de technologie de la Californie (Caltech) | Valentin Bonzom, Université Paris 13 | Bartek Czech, Université Stanford |
| Yaneer Bar-Yam, Institut des systèmes complexes de la Nouvelle-Angleterre | Patrick Brady*, Université du Wisconsin à Milwaukee | Raffaele D'Agnolo, Institut d'études avancées de Princeton (IAS) |
| Ben Baragiola, Université du Nouveau-Mexique | Joseph Bramante, Université Notre-Dame | Francesco D'Eramo, Université de la Californie à Berkeley |
| Jacob Barandes, Université Harvard | Robert Brandenberger, Université McGill | Saurya Das, Université de Lethbridge |
| Julian Barbour, Université d'Oxford | Nikolas Breuckmann, Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle | Sacha Davidson, Institut de physique nucléaire de Lyon (IPNL) |
| James Bardeen*, Université de l'État de Washington | Alyson Brooks, Université Rutgers | Seamus Davis, Université Cornell |
| Till Bargheer, Institut d'études avancées de Princeton (IAS) | Adam Brown, Université Stanford | Anton de la Fuente, Université du Maryland à College Park |
| Maissam Barkeshli, Station Q de Microsoft Research | Olivier Brunet, Lycée Vaucanson de Grenoble | Dirk-Andre Deckert, Centre Arnold-Sommerfeld de physique théorique de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich |
| Alexandre Barreira, Université de Durham | Matthew Buckley, Université Rutgers | Simon DeDeo, Université de l'Indiana |
| John Barrett, Université de Nottingham | Oliver Buerschaper, Université libre de Berlin | Sebastian Deffner, Laboratoire national de Los Alamos |
| Jonathan Barrett**, Université d'Oxford | Philip Bull, Université d'Oslo | Lidia del Rio, Institut fédéral suisse de technologie de Zurich (ETH) |
| Itzhak Bars, Université de la Californie du Sud | Mathew Bullimore, Institut d'études avancées de Princeton (IAS) | Michele Del Zotto, Université Harvard |
| Masha Baryakhtar, Université Stanford | Philipp Burda, Université de Durham | Philippe Di Stefano, Université Queen's |
| Ganapathy Baskaran*, Institut de mathématiques de Chennai | Philipp Burda, Université de Durham | Rainer Dick, Université de la Saskatchewan |
| Benjamin Basso, École normale supérieure de Paris | Juan Campuzano, Université de l'Illinois à Chicago | Markus Dierigl, Centre Arnold-Sommerfeld de physique théorique de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich |
| Nick Battaglia, Université de Princeton | Vitor Cardoso**, Institut supérieur de technologie de l'Université de Lisbonne (IST) | Tudor Dimofte, Institut d'études avancées de Princeton (IAS) |
| Matthew Baumgart, Université Carnegie-Mellon | Sylvain Carrozza, Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille (CPT) | Savas Dimopoulos*, Université Stanford |
| Melanie Becker, Université Texas A&M | Shira Chapman, Université de Tel Aviv | |
| Christopher Beem, Institut d'études avancées de Princeton (IAS) | Benoit Charbonneau, Université de Waterloo | |
| | Edgardo Cheb-Terrab, Maplesoft | |
| | Chien-Yi Chen, Laboratoire national de Brookhaven | |

David DiVincenzo, Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle – Institut JARA d’information quantique

Lance Dixon*, Université Stanford

Fay Dowker**, Collège impérial de Londres

Richard Eager, Institut Kavli de physique et de mathématiques de l’univers (Kavli IPMU)

Chris Elliott, Université Northwestern

J.D. Emberson, Université de Toronto

Netta Engelhardt, Université de la Californie à Santa Barbara

Jeremy England, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Domenec Espriu, Université de Barcelone

Glen Evenbly, Institut de technologie de la Californie (Caltech)

Lisa Everett, Université du Wisconsin à Madison

Angelo Fazio, Université nationale de Colombie

Job Feldbrugge, Université de Cambridge

Rodrigo Fernandez, Université de la Californie à Berkeley

Simone Ferraro, Université de Princeton

Christopher Ferrie, Université du Nouveau-Mexique

Scott Field, Université Cornell

Sebastian Fischetti, Université de la Californie à Santa Barbara

Matthew Fisher*, Institut Kavli de physique théorique de l’Université de la Californie à Santa Barbara (KITP)

Raphael Flauger, Institut d’études avancées de Princeton (IAS)

Thiago Fleury, Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique (ICTP-SAIFR)

Cecilia Flori, Collège impérial de Londres

Martin Fluder, Université d’Oxford

Valeri Frolov, Université de l’Alberta

Wenbo Fu, Université Harvard

Jason Gallicchio, Université de Chicago

Ernesto Galvao, Université fédérale Fluminense

Peng Gao, Université de Toronto

S. James Gates fils*, Université du Maryland à College Park

Jerome Gauntlett**, Collège impérial de Londres

Sachin Gautam, Université Columbia

Marc Geiller, Université d’État de Pennsylvanie

Simon Gentle, Université de la Californie à Los Angeles

Andrew Geraci, Université du Nevada à Reno

Scott Geraedts, Institut de technologie de la Californie (Caltech)

Amir Masoud Ghezelbash, Université de la Saskatchewan

Michel Gingras, Université de Waterloo

Paul Ginsparg, Université Cornell

Lisa Glaser, Université de Nottingham

Roman Gold, Université du Maryland à College Park

Andrew Goldsborough, Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle

Joao Gomes, Institut supérieur de technologie de l’Université de Lisbonne (IST)

Humberto Gomez, Université d’État de São Paulo

Alexander Goncharov*, Université Yale

Gabriela González*, Université d’État de Louisiane

Garrett Goon, Université de Cambridge

David Gosset, Université de Waterloo

Andrew Gould, Université d’État de l’Ohio

Olga Goulko, Université du Massachusetts à Amherst

Ryan Grady, Université de Boston

Christopher Granade, Université de Sydney

Alba Grassi, Université de Genève

Markus Grassl, Institut Max-Planck de photonique

Daniel Green, Institut canadien d’astrophysique théorique de l’Université de Toronto (ICAT)

Lauren Greenspan, Université de Porto

Ruth Gregory**, Université de Durham

Tarun Grover, Institut Kavli de physique théorique de l’Université de la Californie à Santa Barbara (KITP)

Sean Gryb, Université Radboud de Nimègue

Jeongwan Haah, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Roland Haas, Institut de technologie de la Californie (Caltech)

Hal Haggard, Collège Bard

Fabian Haiden, Université Harvard

Duncan Haldane*, Université de Princeton

Alioscia Hamma, Université Tsinghua

Masanori Hanada, Université de Kyoto

Amihay Hanany, Collège impérial de Londres

Sheikh Shajidul Haque, Université du Witswatersrand à Johannesburg

Daniel Harlow, Université de Princeton

John Harnad, Université Concordia

Marc Harper, Covariant Consulting

Sarah Harrison, Université Harvard

Bruno Hartmann, Université Humboldt de Berlin

Ian Hatton, Université McGill

Joe Henson, Université de Bristol

Carlos Herdeiro, Université d’Aveiro

Christopher Hill, Université d’État de l’Ohio

Matty Hoban, Université d’Oxford

Carl Hoefler, Université Western

Matthijs Hogervost, Laboratoire de physique théorique de l’Université Paris-Sud (Paris 11)

Alireza Hojjati, Université de la Colombie-Britannique

Gilbert Patrick Holder, Université McGill

Richard Holman, Université Carnegie-Mellon

Sabine Hossenfelder, Institut nordique de physique théorique (Nordita)

Mark Howard, Université de Waterloo

Timothy Hsieh, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Jiangping Hu, Université Purdue

Xinlu Huang, Université Stanford

Yu-tin Huang, Université nationale de Taiwan

Lam Hui, Université Columbia

Ling-Yan Hung, Université Fudan

Viqar Husain, Université du Nouveau-Brunswick

Francois Huveneers, Université Paris-Dauphine

Thomas Iadecola, Université de Boston

Anna Iijas, Université de Princeton

Joseph Incandela*, Université de la Californie à Santa Barbara

Derek Inman, Institut canadien d’astrophysique théorique de l’Université de Toronto (ICAT)

Keisuke Izumi, Université nationale de Taiwan

Ted Jacobson*, Université du Maryland à College Park

Kieran James-Lubin, Université de la Californie à Berkeley

Miranda Jarvis, Université de Toronto

Vishnu Jejjala, Université du Witswatersrand à Johannesburg

Kristan Jensen, Université d’État de New York (SUNY) à Stony Brook

Wenjie Ji, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Theo Johnson-Freyd, Université Northwestern

Juan Jottar, Institut fédéral suisse de technologie de Zurich (ETH)

Austin Joyce, Université de Chicago

Shamit Kachru*, Université Stanford

Leo Kadanoff*, Université de Chicago

David Kagan, Université du Massachusetts à Dartmouth

Yonatan Kahn, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Nemanja Kaloper, Université de la Californie à Davis

Ying-Jer Kao, Université nationale de Taiwan

Anton Kapustin, Institut de technologie de la Californie (Caltech)

Antti Karlsson, Université de Turku

SCIENTIFIQUES INVITÉS (SUITE)

- John Kearney, Laboratoire national de l'accélérateur Fermi (Fermilab)
- Christoph Keller, Université Rutgers
- Viv Kendon, Université de Durham
- Michael Kesden, Université du Texas à Dallas
- Justin Khoury, Université de Pennsylvanie
- Lawrence Kidder, Université Cornell
- Jihn Kim, Université nationale de Séoul
- Simon Knapen, Laboratoire national Lawrence-Berkeley de l'Université de la Californie à Berkeley (LBNL)
- Dax Koh, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)
- Zohar Komargodski**, Institut Weizmann des sciences
- Olesya Koroteeva, Université du Minnesota
- Tim Koslowski, Université du Nouveau-Brunswick
- Pavel Kovtun, Université de Victoria
- Jerzy Kowalski-Glikman, Université de Wrocław
- Pavel Krtoš, Université Charles de Prague
- Kerstin Kunze, Université de Salamanque
- Astrid Lamberts, Université du Wisconsin à Milwaukee
- Suzanne Lanery, Institut de gravitation quantique de l'Université d'Erlangen-Nuremberg
- Nick Lange, Université de Victoria
- Robert Lasenby, Université d'Oxford
- Andreas Lauchli, Université d'Innsbruck
- Chris Laumann**, Université de l'État de Washington
- Guilhem Lavaux, Institut d'astrophysique de Paris (IAP)
- Ching Hua Lee, Université Stanford
- Ciaran Lee, Université d'Oxford
- Boris Leistedt, Collège universitaire de Londres
- Madalena Lemos, Université d'État de New York (SUNY) à Stony Brook
- Alex Levchenko, Université d'État du Michigan
- Michael Levin, Université de Chicago
- Si Li**, Université Tsinghua
- Adam Lidz, Université de Pennsylvanie
- Steven Liebling, Université de Long Island
- Eugene Lim, Collège royal de Londres
- Cedric Lin, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)
- Jennifer Lin, Université de Chicago
- Shih-Yuin Lin, Université nationale d'éducation de Changhua
- Yi Ling, Institut de physique des hautes énergies de l'Académie chinoise des sciences
- Jonas Lippuner, Institut de technologie de la Californie (Caltech)
- Siqi Liu, Université de Toronto
- Zheng-Xin Liu, Université Tsinghua
- Eva Llabres, Université d'Amsterdam
- Renate Loll*, Université Radboud de Nimègue
- Andrew Lucas, Université Harvard
- Edward Macaulay, Université du Queensland
- Joseph Maciejko, Université de l'Alberta
- Mathew Madhavacheril, Université d'État de New York (SUNY) à Stony Brook
- Carlos Mafra, Université de Cambridge
- Joao Magueijo, Collège impérial de Londres
- Sudhansu Mandal, Association indienne de culture scientifique
- John March-Russell, Centre de physique théorique Rudolf-Peierls de l'Université d'Oxford
- Matilde Marcolli*, Institut de technologie de la Californie (Caltech)
- Zachary Mark, Institut de technologie de la Californie (Caltech)
- David McGady, Université de Princeton
- David McKeen, Université de l'État de Washington
- Amal Medhi, Institut indien d'enseignement et de recherche en sciences
- Daan Meerburg, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)
- Nicolas Menicucci, Université de Sydney
- Nelson Merino, Université pontificale catholique de Valparaiso
- Max Metlitski, Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara (KITP)
- Ashley Milsted, Université de Hanovre
- Keith Moffatt, Université de Cambridge
- Marc Moniez, Université Paris-Sud (Paris 11)
- Patrick Motl, Université de l'Indiana à Kokomo
- Eduardo Mucciolo, Université de Floride centrale
- Markus Mueller, Université de Heidelberg
- Jonas Mureika, Université Loyola Marymount
- Norman Murray, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)
- Daniel Nagaj, Institut de physique de l'Académie slovaque des sciences
- Yu Nakayama, Institut de technologie de la Californie (Caltech)
- Andrea Napoletano, Université *La Sapienza* de Rome
- Julio Navarro, Université de Victoria
- Satoshi Nawata, Institut national de physique atomique des Pays-Bas (NIKHEF)
- David Neilsen, Université Brigham-Young
- Nikita Nekrasov, Université d'État de New York (SUNY) à Stony Brook
- Elliot Nelson, Université d'État de Pennsylvanie
- Florian Niedermann, Centre Arnold-Sommerfeld de physique théorique de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich
- Jorge Norena, Université de Genève
- Karim Noui, Université François-Rabelais
- Niall O Murchadha, Collège universitaire de Cork
- Andrew O'Bannon, Centre de physique théorique Rudolf-Peierls de l'Université d'Oxford
- Robert Oeckl, Université nationale autonome du Mexique (UNAM)
- Andrei Okounkov, Université Columbia
- Rodrigo Olea, Université nationale Andrés-Bello
- Jonathan Oppenheim, Collège universitaire de Londres
- Niels Oppermann, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)
- Prince Osei, Institut africain de sciences mathématiques (AIMS) – Ghana
- Don Page, Université de l'Alberta
- Carlos Palenzuela, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)
- Leopoldo Pando Zayas, Université du Michigan
- Natalie Paquette, Université Stanford
- Siddharth Parameswaran, Université de la Californie à Irvine
- Manu Paranjape, Université de Montréal
- Aavishkar Patel, Université Harvard
- Gil Paz, Université Wayne State
- Wolfgang Peelaers, Université d'État de New York (SUNY) à Stony Brook
- Hiranya Peiris, Collège universitaire de Londres
- Ue-Li Pen, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)

Carlos Pena-Garay, Institut de physique corpusculaire du Conseil supérieur de recherche scientifique espagnol (CSIC-IFIC)

Alexander Penin, Université de l'Alberta

Robert Penna, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Alejandro Perez, Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille (CPT)

Eric Perlmutter, Université de Princeton

Laurence Perreault Levasseur, Université de Cambridge

Valeria Pettorino, Université de Heidelberg

Robert Pfeifer, Université Macquarie

Christoph Pfrommer, Université de Heidelberg

Damian Pitalua-Garcia, Université libre de Bruxelles

Jiri Podolsky, Université Charles de Prague

Levon Pogosian, Université Simon-Fraser

Sandu Popescu*, Université de Bristol

Erich Poppitz, Université de Toronto

Daniele Pranzetti, Institut de gravitation quantique de l'Université d'Erlangen-Nuremberg

Frans Pretorius*, Université de Princeton

Stefano Profumo, Université de la Californie à Santa Cruz

Tomaz Prosen, Université de Ljubljana

Andrea Prudenziati, Université de São Paulo

Xiao-Liang Qi, Université Stanford

Yang Qi, Université Tsinghua

Andrea Quadri, Université de Milan

Marco Quintino, Université de Genève

Suvrat Raju, Université Harvard

Salvatore Rappoccio, Université d'État de New York (SUNY) à Buffalo

Michael Reisenberger, Université de Montevideo

Oscar Reula, Université nationale de Córdoba

Raquel Ribeiro, Université Queen-Mary de Londres

María Rodriguez, Université Harvard

Paul Romatschke, Université du Colorado à Boulder

Rachel Rosen, Université Columbia

Carlo Rovelli, Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille (CPT)

Heather Russell, Université de l'État de Washington

Gray Rybka, Université de l'État de Washington

Thomas Salez, Université Harvard

Barry Sanders, Université de Calgary

Olivier Sarbach, Université du Michoacán San Nicolás de Hidalgo

Yuya Sasai, Université Meiji Gakuin

Lucile Savary, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Michael Scherer, Université de Heidelberg

Joshua Schiffrin, Université de Chicago

Oliver Schlotterer, Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein)

Johannes Schmude, Université d'Oviedo

Kareljan Schoutens, Institut de physique théorique de l'Université d'Amsterdam

Ralf Schuetzhold, Université de Duisbourg et Essen

Douglas Scott, Université de la Colombie-Britannique

Leonardo Senatore, Laboratoire national de l'accélérateur SLAC

Josh Shadlen, Université Northwestern

Saad Shamsi, Université Dartmouth College

Prajval Shastri, Institut indien d'astrophysique

Jessie Shelton, Université de l'Illinois à Urbana-Champaign

Stephen Shenker, Université Stanford

Hidehiko Shimada, Institut de physique quantique d'Okuyama

Peter Shor*, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Kris Sigurdson**, Université de la Colombie-Britannique

Jamie Sikora, Université nationale de Singapour

Alessandra Silvestri, Université de Leyde

Dana Simard, Université de Toronto

Suprit Singh, Centre interuniversitaire d'astronomie et d'astrophysique

Misha Smolkin, Université de la Californie à Berkeley

Inti Sodemann, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Iakov (Yan) Soibelman*, Université d'État du Kansas

Dam Thanh Son*, Université de Chicago

Thomas Sotiriou, Université de Nottingham

Michal Spalinski, Université de Bialystok

Suzanne Staggs, Université de Princeton

Emmanuel Stamou, Institut Weizmann des sciences

Albert Stebbins, Laboratoire national de l'accélérateur Fermi (Fermilab)

Leo Stein, Université Cornell

Abigail Stewart, Université du Michigan

Daniel Stolarski, Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN)

Daniel Sudarsky, Université nationale autonome du Mexique (UNAM)

James Sully, Laboratoire national de l'accélérateur SLAC

Piotr Surowka, Université Harvard

Gerard 't Hooft*, Université d'Utrecht

Barbara Terhal*, Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle

John Terning, Université de la Californie à Davis

Daniel Terno, Université Macquarie

Joerg Teschner, Synchrotron d'électrons allemand (DESY)

Jesse Thaler, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Karim Thebault, Centre de philosophie mathématique de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich

Senthil Todadri*, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Jonathan Toledo, Université de Porto

Andrew Tolley, Université Case Western Reserve

Dave Touchette, Université de Montréal

Emilio Trevisani, Université de Porto

Mark Trodden, Université de Pennsylvanie

Carlo Trugenberger, InfoCodex Semantic Technologies

Sean Tulin, Université York

Chris Tully, Université de Princeton

Tomasz Tylec, Centre de physique théorique de l'Académie polonaise des sciences

Cora Uhlemann, Centre Arnold-Sommerfeld de physique théorique de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich

William Unruh*, Université de la Colombie-Britannique

Wilke van der Schee, Institut de technologie du Massachusetts (MIT)

Mark Van Raamsdonk, Université de la Colombie-Britannique

Ken Van Tilburg, Université Stanford

Oscar Varela, Université Harvard

Jamie Vicary, Université d'Oxford

Thomas Vidick**, Institut de technologie de la Californie (Caltech)

Francesca Vidotto, Université Radboud de Nimègue

Ashvin Vishwanath*, Université de la Californie à Berkeley

Amar Vutha, Université York

SCIENTIFIQUES INVITÉS (SUITE)

- Jeff Wagg, Radiotélescope SKA
- Aron Wall, Institut d'études avancées de Princeton (IAS)
- Matthew Walters, Université de Boston
- Chenjie Wang, Université de Chicago
- Qing-Rui Wang, Université Tsinghua
- Tian Wang, Université Cornell
- Yi Wang, Université McGill
- Barry Wardell, Université Cornell
- Neal Weiner**, Université de New York
- Zheng-Yu Weng, Université Tsinghua
- Christopher Wever, Institut de physique nucléaire du Centre national de la recherche scientifique *Demokritos* de Grèce
- Daniel Whalen, Université Stanford
- Steven White*, Université de la Californie à Irvine
- Wolfgang Wieland, Institut de la gravitation et du cosmos de l'Université d'État de Pennsylvanie
- Alexander Wilce, Université de Susquehanna
- Julia Wildeboer, Université d'État de Floride
- Brian Willett, Institut d'études avancées de Princeton (IAS)
- Brian Williams, Université Northwestern
- Ciaran Williams, Université d'État de New York (SUNY) à Buffalo
- Matthew Williams, Université de Louvain
- Danielle Wills, Université de Durham
- Edward Wilson-Ewing, Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein)
- Mark Wise*, Institut de technologie de la Californie (Caltech)
- Raimar Wulkenhaar, Université de Münster
- Na Xu, Université de Boston
- Di Yang, École internationale supérieure d'études avancées (SISSA)
- Kazuya Yonekura, Institut d'études avancées de Princeton (IAS)
- Philsang Yoo, Université Northwestern
- Beni Yoshida, Institut de technologie de la Californie (Caltech)
- Ahmed Youssef, Université Humboldt de Berlin
- Haoran Yu, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)
- Matias Zaldarriaga*, Institut d'études avancées de Princeton (IAS)
- Fan Zhang, Université normale de Beijing
- Jianhao Zhang, Université Tsinghua
- Wei Zheng, Université Tsinghua
- Hong-Ming Zhu, Observatoires astronomiques nationaux de l'Académie chinoise des sciences
- Claire Zukowski, Université de la Californie à Berkeley
- Miguel Zumalacarregui, Université de Heidelberg
- Shifan Zuo, Observatoires astronomiques nationaux de l'Académie chinoise des sciences

MEMBRES AFFILIÉS EN 2014-2015

- Arif Babul, Université de Victoria
- Leslie Ballentine, Université Simon-Fraser
- Richard Bond, Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto (ICAT)
- Ivan Booth, Université Memorial
- Vincent Bouchard, Université de l'Alberta
- Robert Brandenberger, Université McGill
- Gilles Brassard, Université de Montréal
- Anne Broadbent, Université d'Ottawa
- Jim Bryan, Université de la Colombie-Britannique
- Anton Burkov, Université de Waterloo
- Benoit Charbonneau, Université de Waterloo
- Gang Chen, Université de Toronto
- Jeffrey Chen, Université de Waterloo
- Andrew Childs, Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC)
- Kyung Soo Choi, IQC
- Matthew Choptuik, Université de la Colombie-Britannique
- Dan Christensen, Université Western
- James Cline, Université McGill
- Alan Coley, Université Dalhousie
- Andrzej Czarnecki, Université de l'Alberta
- Saurya Das, Université de Lethbridge
- Arundhati Dasgupta, Université de Lethbridge
- Keshav Dasgupta, Université McGill
- Rainer Dick, Université de la Saskatchewan
- Joseph Emerson, IQC
- Valerio Faraoni, Université Bishop's
- Marcel Franz, Université de la Colombie-Britannique
- Doreen Fraser, Université de Waterloo
- Andrew Frey, Université de Winnipeg
- Valeri Frolov, Université de l'Alberta
- Jack Gegenberg, Université du Nouveau-Brunswick
- Ghazal Geshnizjani, Université de Waterloo
- Amir Masoud Ghezelbash, Université de la Saskatchewan
- Shohini Ghose, Université Wilfrid-Laurier
- Florian Girelli, Université de Waterloo
- Daniel Green, ICAT
- Thomas Grégoire, Université Carleton
- Marco Gualtieri, Université de Toronto
- John Harnad, Université Concordia
- Jeremy Heyl, Université de la Colombie-Britannique
- Carl Hoefler, Université Western
- Gilbert Patrick Holder, Université McGill
- Bob Holdom, Université de Toronto
- Michael Hudson, Université de Waterloo
- Viqar Husain, Université du Nouveau-Brunswick
- Lisa Jeffrey, Université de Toronto
- Thomas Jennewein, IQC
- Catherine Kallin, Université McMaster
- Joel Kamnitzer, Université de Toronto
- Joanna Karczmarek, Université de la Colombie-Britannique
- Spiro Karigiannis, Université de Waterloo
- Mikko Karttunen, Université de Waterloo
- Achim Kempf, Université de Waterloo
- Yong-Baek Kim, Université de Toronto
- David Kribs, Université de Guelph
- Hari Kunduri, Université Memorial
- Gabor Kunstatter, Université de Winnipeg
- Kayll Lake, Université Queen's

Debbie Leung, Université de Waterloo
 Randy Lewis, Université York
 Hoi-Kwong Lo, Université de Toronto
 Michael Luke, Université de Toronto
 Adrian Lupascu, IQC
 Norbert Lütkenhaus, IQC
 A. Hamed Majedi, IQC
 Alexander Maloney, Université McGill
 Robert Mann, Université de Waterloo
 Gerry McKeon, Université Western
 Brian McNamara, Université de Waterloo
 Volodya Miransky, Université Western
 Guy Moore, Université McGill
 Ruxandra Moraru, Université de Waterloo
 David Morrissey, TRIUMF
 Norman Murray, ICAT
 Wayne Myrvold, Université Western
 Julio Navarro, Université de Victoria
 Ashwin Nayak, Université de Waterloo
 Elisabeth Nicol, Université de Guelph

Don Page, Université de l'Alberta
 Prakash Panangaden, Université McGill
 Manu Paranjape, Université de Montréal
 Amanda Peet, Université de Toronto
 Alexander Penin, Université de l'Alberta
 Harald Pfeiffer, ICAT
 Marco Piani, IQC
 Levon Pogolian, Université Simon-Fraser
 Dmitri Pogosyan, Université de l'Alberta
 Eric Poisson, Université de Guelph
 Erich Poppitz, Université de Toronto
 David Poulin, Université de Sherbrooke
 Robert Raussendorf, Université de la Colombie-Britannique
 Ben Reichardt, Université de la Californie du Sud
 Kevin Resch, IQC
 Adam Ritz, Université de Victoria
 Moshe Rozali, Université de la Colombie-Britannique
 Barry Sanders, Université de Calgary

Kristin Schleich, Université de la Colombie-Britannique
 Douglas Scott, Université de la Colombie-Britannique
 Sanjeev Seahra, Université du Nouveau-Brunswick
 Peter Selinger, Université Dalhousie
 Gordon Semenov, Université de la Colombie-Britannique
 John Sipe, Université de Toronto
 Aephraim Steinberg, Université de Toronto
 James Taylor, Université de Waterloo
 André-Marie Tremblay, Université de Sherbrooke
 Sean Tulin, Université York
 Johannes Walcher, Université McGill
 Mark Walton, Université de Lethbridge
 John Watrous, Université de Waterloo
 Steve Weinstein, Université de Waterloo
 Lawrence Widrow, Université Queen's
 Don Witt, Université de la Colombie-Britannique
 Bei Zeng, Université de Guelph

CONFÉRENCES ET ATELIERS EN 2014-2015

PI Days (Journées de l'IP)
 Les 22 et 23 octobre 2014

EHT 2014
 Du 10 au 14 novembre 2014

Atelier de physique mathématique
 Du 14 au 16 novembre 2014

Superluminality in Effective Field Theories for Cosmology (Supraluminicité dans les théories quantiques des champs pour la cosmologie)
 Du 9 au 11 avril 2015

(Mock) Modularity, Moonshine, and String Theory (Modularité, pseudomodularité, clair de lune et théorie des cordes)
 Du 13 au 17 avril 2015

Superstring Perturbation Theory (Théorie perturbative de supercordes)
 Du 22 au 24 avril 2015

PI Day (Journée de l'IP)
 Le 28 avril 2015

4 Corners Southwest Ontario Condensed Matter Physics Symposium 2015 (Colloque des quatre coins du Sud-ouest ontarien sur la matière condensée 2015)
 Le 30 avril 2015

PI-CITA Day 2015 (Journée IP-ICAT 2015)
 1^{er} mai 2015

Information Theoretic Foundations for Physics (Fondements de théorie de l'information pour la physique)
 Du 11 au 15 mai 2015

Flux Tubes (Tubes de flux)
 Du 13 au 15 mai 2015

GAP 2015 (Géométrie et physique 2015)
 Du 25 au 30 mai 2015

Preparing for the High-Luminosity Run of the LHC (Préparation du LHC à forte luminosité)
 Les 8 et 9 juin 2015

Convergence
 Du 20 au 24 juin 2015

TRISEP 2015
 Du 6 au 17 juillet 2015

COURS EN 2014-2015

Fundamentals of Astrophysics
 (Notions fondamentales d'astrophysique)
 Donné par Niayesh Afshordi,
 Institut Périclète et Université de Waterloo
 Du 23 septembre au 11 décembre 2014
 Visionnement : <http://pirsa.org/C14039>

Entanglement Entropy and the Area Law
 (Entropie d'intrication et loi de l'aire)
 Donné par Rafael Sorkin, Institut Périclète
 Du 7 au 28 octobre 2014
 Visionnement : <http://pirsa.org/C14040>

Higher-Spin Gravity: One Learner's Perspective
 (Gravité des spins élevés : point de vue d'un apprenant)
 Donné par Yasha Neiman, Institut Périclète
 Du 4 au 8 mai 2015
 Visionnement : <http://pirsa.org/C15029>

Unruh-DeWitt Detectors in RQI: From the Basics to Frontiers
 (Détecteurs d'Unruh-DeWitt en informatique quantique relativiste : fondements et limites)
 Donné par Shih-Yuin Lin, Université nationale d'éducation de Changhua
 Les 25 et 26 mai 2015
 Visionnement : <http://pirsa.org/C15028>



PARRAINAGES EN 2014-2015

5^e conférence internationale de l'UIPPA sur les femmes en physique, Université Wilfrid-Laurier

5^e conférence sur l'imagerie par résonance magnétique à l'échelle nanométrique, Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo

Contextuality and Non-Locality as Resources for Quantum Information (La contextualité et la non-localité en tant que ressources pour l'information quantique), Université de la Colombie-Britannique

Institut d'hiver 2015 du lac Louise, Université de l'Alberta

Isham at 70: Modern Issues in Foundations of Physics (Les 70 ans de Chris Isham : Questions sur les fondements de la physique), Collège impérial de Londres

PQCrypto 2014, Université de Waterloo

Progress in Ab Initio Techniques in Nuclear Physics (Progrès des techniques *ab initio* en physique nucléaire), TRIUMF

Searches for New Phenomena at the Upgraded LHC (Recherche de phénomènes nouveaux au LHC rénové), TRIUMF

Testing Gravity 2015 (Test de la gravité 2015), Université Simon-Fraser

Theory Canada 10 (Théorie Canada 10), Université de Calgary

Women in Physics Canada 2015 (Les femmes et la physique au Canada 2015), Université de Toronto

MERCI AUX VISIONNAIRES



L'INSTITUT PÉRIMÈTRE DOIT SON EXISTENCE
À UN PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ D'AVANT-GARDE.
NOUS TENONS À REMERCIER TOUS CEUX
QUI NOUS SOUTIENNENT, NOTAMMENT :

MIKE LAZARIDIS, FONDATEUR

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 Péricètre est accessible à la page
<http://www.perimeterinstitute.ca/fr/soutenez-l-institut-p-rim-tre>.

Voir aussi à la page 52.

« L'Institut PÉRIMÈTRE est maintenant
l'un des principaux centres de
physique théorique au monde,
sinon le principal centre. »
[traduction]

– Stephen Hawking,
professeur lucasien émérite,
Université de Cambridge



Canada

INSTITUT **PI** PÉRIMÈTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE

Ontario

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

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