



Rapport annuel à Industrie Canada 2013-2014

Objectifs, activités et états financiers
pour l'exercice du 1^{er} août 2013 au 31 juillet 2014
et énoncé des objectifs pour le prochain exercice et pour l'avenir

Soumis par Neil Turok, directeur général,
à l'honorable James Moore, ministre de l'Industrie,
et à l'honorable Ed Holder, ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie

Vision : Créer le principal centre mondial de physique théorique fondamentale, en réunissant des partenaires publics et privés, de même que les plus brillants esprits scientifiques du monde, dans une entreprise commune visant à réaliser des avancées qui transformeront notre avenir.

Vue d'ensemble de l'Institut Péricimètre

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

La physique théorique est à la fois la discipline scientifique la moins coûteuse et celle dont les impacts sont les plus grands. Elle vise à nous faire comprendre l'univers au niveau le plus élémentaire : de quoi il est fait, les forces qui le régissent, le potentiel qu'il renferme. Ce domaine est si fondamental que chaque nouvelle avancée change littéralement notre monde. Par exemple, la découverte de l'électromagnétisme a donné la radio, les rayons X et toutes les technologies sans fil, et a catalysé à son tour des percées dans toutes les autres sciences. La découverte de la mécanique quantique a mené directement aux semiconducteurs, aux ordinateurs, aux lasers et à un ensemble presque sans fin d'appareils électroniques modernes.

Situé à Waterloo, en Ontario, l'Institut Péricimètre de physique théorique a été fondé en 1999, dans un effort sans précédent pour accélérer de manière stratégique les découvertes dans ce domaine tout à fait fondamental de la science. Son modèle de financement d'avant-garde réunit des partenaires des secteurs public et privé, et rassemble certains des meilleurs esprits scientifiques du monde, dans le but commun de réaliser les prochaines percées qui transformeront notre avenir.

Au 31 juillet 2014, l'Institut Péricimètre comptait :

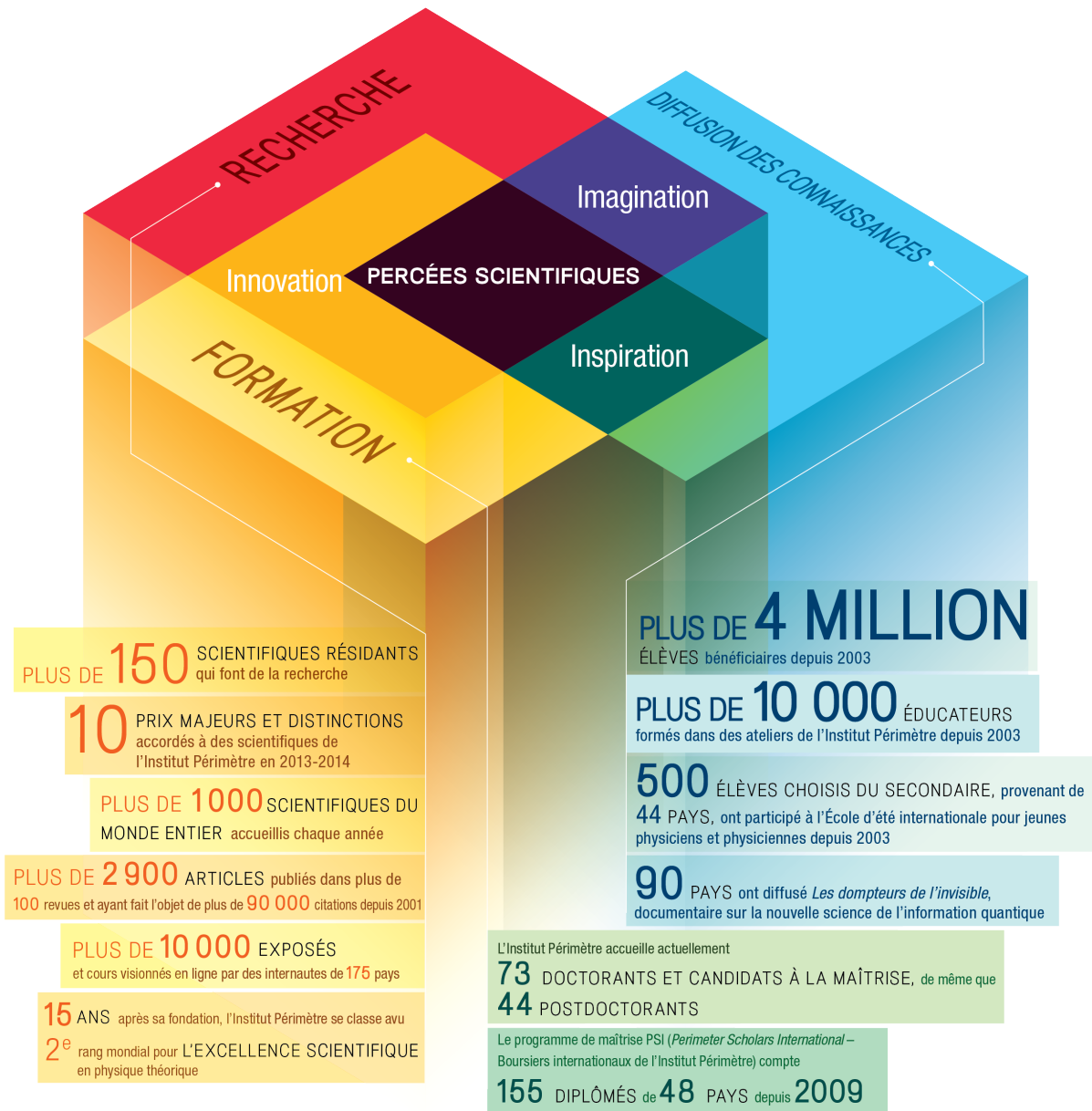
- 22 professeurs,
- 14 professeurs associés,
- 42 titulaires de chaire de chercheur invité distingué,
- 14 adjoints invités,
- 44 postdoctorants,
- 73 étudiants diplômés¹.

L'Institut Péricimètre est devenu une importante plaque tournante pour l'échange de nouvelles idées. Ses programmes de conférences et de visites amènent à l'Institut environ 1 000 scientifiques chaque année, ce qui suscite des collaborations et des découvertes dans tout le spectre de la physique fondamentale.

Des percées en physique sont essentielles pour notre société et notre avenir. Il est plus important que jamais de comprendre le rôle de la science dans notre vie; c'est pourquoi la diffusion de connaissances aux enseignants, aux élèves et au grand public fait partie intégrante de la mission de l'Institut Péricimètre. Couronnés par des prix, les programmes et les outils pédagogiques de l'Institut cherchent à éveiller l'intérêt, à instruire et à inspirer, en communiquant l'importance de la recherche fondamentale, les joies de la découverte et le pouvoir durable des idées.

¹ C'est-à-dire 42 doctorants et 31 étudiants de maîtrise dans le cadre du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricimètre).

UN ÉCOSYSTÈME DE DÉCOUVERTE



CATALYSEUR DE LA COMMERCIALISATION DANS LA QUANTUM VALLEY

Table des matières

Préface	1
Sommaire.....	4
Énoncé des objectifs pour 2013-2014	9
Objectif n° 1 :	10
Information quantique	12
Physique mathématique.....	14
Cosmologie	17
Gravité forte	20
Matière condensée.....	23
Physique des particules	25
Théorie quantique des champs et théorie des cordes.....	28
Gravitation quantique.....	31
Fondements quantiques.....	33
Prix, distinctions et subventions majeures	36
Objectif n° 2 : Devenir la résidence de recherche d'une masse critique des plus grands physiciens théoriciens.....	38
Renouvellement du mandat du directeur	38
Chaires de recherche de l'Institut Périmètre.....	38
Professeurs	40
Professeurs associés	40
Boursier du directeur.....	42
Objectif n° 3 : Devenir un incubateur des talents les plus prometteurs.....	43
Postdoctorants.....	43
Nouveau directeur des programmes d'enseignement	44
Programme PSI (<i>Perimeter Scholars International</i> – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre)	44
Doctorants	45
Adjoints diplômés invités.....	45
Étudiants de 1 ^{er} cycle	46
Objectif n° 4 : Devenir la seconde résidence de recherche de plusieurs grands théoriciens du monde...	47
Chaires de chercheur invité distingué	47
Adjoints invités	51

Boursières Emmy-Noether (nouvelle initiative)	52
Programme de chercheurs invités	54
Objectif n° 5 : Constituer une plaque tournante d'un réseau mondial de centres de physique théorique et de mathématiques	55
Collaborations et partenariats	55
Rayonnement international – AIMS-NEI	57
Objectif n° 6 : Renforcer le rôle de l'Institut Périmètre comme centre de convergence pour la recherche en physique fondamentale au Canada	58
Participation à la <i>Quantum Valley</i> à titre de catalyseur	59
Engagement avec des centres d'expérimentation	60
Membres affiliés	61
Objectif n° 7 : Organiser des conférences, ateliers, cours et séminaires ciblés et opportuns	62
Conférences et ateliers	62
Séminaires et colloques	64
Cours	65
Archives vidéo en ligne	65
Objectif n° 8 : Mener une action de diffusion des connaissances à fort impact	66
Programmes et produits destinés aux élèves	66
Programmes et ressources destinés aux enseignants	68
Ressources pédagogiques	69
Programmes destinés au grand public	71
Objectif n° 9 : Créer le milieu et l'infrastructure les meilleurs au monde pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique	73
Création d'un climat de collaboration et d'échange	73
Promotion de l'équité entre les sexes	74
Collections de la bibliothèque et accès électronique à des revues	74
Mises à niveau des systèmes et autres initiatives en matière de TI	74
Objectif n° 10 : Continuer d'exploiter le modèle de financement public-privé qui a fait ses preuves à l'Institut Périmètre	76
Partenaires publics	76
Partenaires privés	77
Aperçu des états financiers, des dépenses, des critères d'évaluation et de la stratégie d'investissement	80

Stratégie d'évaluation du rendement.....	85
Objectifs pour 2014-2015	88
Annexe A : Corps professoral de l'Institut Périmètre	89
Annexe B : Titulaires de chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre	99
Annexe C : Membres affiliés de l'Institut Périmètre.....	110
Annexe D : Membres du conseil d'administration de l'Institut Périmètre	115
Annexe E : Membres du comité consultatif scientifique de l'Institut Périmètre.....	117
Annexe F : Liens de l'Institut Périmètre avec le milieu de l'expérimentation	119
Annexe G : Présence de l'Institut Périmètre dans les médias	122

Préface

L'Institut Périmètre est aujourd'hui dans une position remarquable. Je crois qu'il est bien placé pour être à la tête d'une révolution à venir dans le domaine de la physique théorique.

Au cours des deux dernières décennies, et en particulier au cours des deux dernières années, la communauté scientifique a eu trois indices très puissants d'un nouveau paradigme à propos de l'univers.

Premièrement, nous avons découvert que 70 % de l'énergie présente dans l'univers est de l'énergie sombre : l'énergie présente dans le vide de l'espace une fois que l'on a enlevé toutes les particules et toutes les formes de rayonnement qu'il contient. Depuis le début du XX^e siècle, nous comprenons que plusieurs champs – le champ électrique, le champ gravitationnel, le champ électronique de Dirac, etc. – peuvent se déplacer sous forme d'ondes dans l'espace vide. De fait, les particules et le rayonnement ne sont que des ondulations de ces champs. Avec l'avènement de la physique quantique, nous avons appris que même dans le vide, tout champ fluctue constamment, et que chaque onde possible de chaque champ contribue à l'énergie du vide. La somme de toutes ces contributions donne une valeur gigantesque, beaucoup plus élevée que l'énergie du vide calculée dans les années 1990 à partir de mesures de la vitesse d'expansion de l'univers, puis confirmée par la suite de plusieurs manières. Il y a alors deux possibilités : soit il faut une nouvelle théorie des champs quantiques et du vide, soit il y a des champs supplémentaires qui annulent les effets des champs connus. Les deux possibilités sont extraordinairement excitantes.

Le deuxième indice est le boson de Higgs, détecté au grand collisionneur de hadrons en 2012. Cette découverte constitue à la fois un succès spectaculaire de la physique théorique et un immense défi pour l'avenir. Le boson de Higgs a été trouvé exactement là où la théorie le prédisait – c'est la partie triomphale –, mais selon les théories les plus en vogue, on s'attendait à ce qu'il soit accompagné de beaucoup d'autres particules, dont aucune n'a été observée jusqu'à ce jour. Cela soulève des doutes sur la plupart des théories élaborées depuis plusieurs décennies. D'une certaine manière, la nature a trouvé une manière de s'organiser plus simple que ce que nous comprenons jusqu'à maintenant.

Le troisième indice est la carte du rayonnement fossile issu du Big Bang. Dressée par le satellite Planck et publiée l'an dernier, cette carte montre la structure de l'univers à une très grande échelle et fournit une image merveilleusement détaillée. Fait remarquable, la totalité de cette image, qui représente la structure de l'univers résultant du Big Bang, peut être décrite avec une bonne précision à l'aide d'un seul nombre représentant le degré de fluctuation à n'importe quelle échelle visible. Aux échelles les plus grandes, l'univers est l'une des choses les plus simples que nous connaissions! Mais jusqu'à maintenant, tout comme pour le boson de Higgs et la physique des particules, nos théories n'arrivent pas à expliquer cette étonnante simplicité.

Ces observations constituent les meilleurs indices que nous ayons eus depuis très longtemps. Et elles pointent toutes vers un nouveau paradigme de la physique fondamentale. L'Institut Périmètre possède

la bonne combinaison de compétences et d'imagination pour tirer parti de ces indices et élaborer une nouvelle compréhension de la nature. L'histoire montre que des avancées aussi radicales ont toujours engendré de nouvelles technologies et des progrès qui ont transformé la société. Je parle de « la bonne combinaison » de compétences parce que l'Institut possède une masse critique d'esprits singuliers – des chercheurs capables de reformuler des questions de manières entièrement nouvelles, et qui ont le savoir-faire et le talent voulus pour illuminer de nouveaux territoires avec leurs réponses.

Au cours des cinq dernières années, l'Institut Périmètre a réussi à réunir beaucoup de tels esprits singuliers. À titre d'exemple, nous avons recruté cette année Kevin Costello comme 1^{er} titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique. Chercheur en mathématiques pures, M. Costello a surpris de grands physiciens en introduisant de puissants nouveaux outils mathématiques en théorie quantique des champs, le cadre le plus fondamental des théories physiques, simplifiant et améliorant ainsi notre compréhension de la nature à son niveau le plus élémentaire.

Nous avons également accueilli cette année Asimina Arvanitaki, une autre jeune pionnière. Dans son domaine, la physique des particules, la tendance a été depuis les années 1940 à la construction de collisionneurs de plus en plus grands, afin d'explorer des énergies de plus en plus élevées. Mais cette façon de faire a clairement des limites – plus ils sont puissants, plus les collisionneurs coûtent cher et prennent du temps à construire. Mme Arvanitaki a adopté une approche différente, utilisant l'extrême précision plutôt que les hautes énergies pour sonder la nouvelle physique. Elle a conçu des expériences élégantes et ingénieuses pour rechercher des ondes gravitationnelles et des particules hypothétiques appelées axions, et elle a utilisé les propriétés observées des trous noirs pour en déduire des limites sur de telles particules dans l'univers.

L'Institut Périmètre a été fondé en vue de comprendre et d'exploiter le pouvoir du monde quantique à l'échelle humaine. Élaborée dans les années 1920, la physique quantique a permis de concevoir le transistor, épine dorsale de tous les ordinateurs, téléphones multifonctions et appareils électroniques modernes. De la même manière, le laser, maintenant employé dans tous les lecteurs optiques et projecteurs, repose sur les propriétés quantiques de la lumière.

La loi de Moore, selon laquelle le nombre de transistors que l'on peut mettre dans un microprocesseur double tous les deux ans, régit depuis des décennies la croissance exponentielle des industries de l'électronique, des communications et de l'information numériques. Mais la loi de Moore ne sera plus valide lorsque la taille d'un transistor sera réduite à celle d'un atome. Les transistors ne pourront plus alors servir de « robinets » pour contrôler les flux d'électricité. Au lieu de cela, il faudra décrire la nature dans ses propres termes quantiques, beaucoup plus subtils. La bonne nouvelle, c'est que selon la physique quantique, des technologies beaucoup plus puissantes pourront voir le jour. L'électronique quantique ramènera nos appareils numériques actuels au rang de bouliers compteurs. Les appareils quantiques nous permettront de recueillir, de stocker et de traiter de l'information à une échelle pratiquement inconcevable.

L'Institut Périmètre fait partie d'un écosystème remarquable situé à Waterloo. Nos théoriciens collaborent avec des expérimentateurs, notamment ceux de l'Institut d'informatique quantique et du nouveau Centre nano-quantique de l'Université de Waterloo, et des initiatives telles que la *Quantum Valley* visent à traduire des découvertes scientifiques en technologies quantiques commercialisées. Depuis plusieurs années, nous progressons rapidement vers la réalisation d'ordinateurs quantiques, de capteurs quantiques et de technologies quantiques de communication.

En acquérant le statut de plaque tournante mondiale de la recherche théorique qui sous-tend ces technologies, l'Institut Périmètre est devenu le catalyseur de la révolution quantique au Canada, qui offre de fantastiques possibilités de commercialisation et de croissance économique. Nous sommes vraiment chanceux de faire partie d'un écosystème où des idées fondamentales donnent naissance à la technologie de l'avenir.

– Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre

Sommaire

L'Institut Péricimètre a pour mission de créer et pérenniser un centre qui soit le chef de file mondial pour la recherche fondamentale, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique, afin de promouvoir l'excellence et de favoriser des percées scientifiques majeures.

Chacun des objectifs énoncés dans le plan d'activité de l'an dernier fait partie de la stratégie globale à long terme de l'Institut visant ce but très ambitieux. En 2013-2014, l'Institut a accompli de grands progrès, atteignant ou dépassant les principaux résultats définis par tous ses objectifs. Cela indique clairement que la planification stratégique de l'Institut est à la fois judicieuse et efficace, et que ses objectifs à long terme sont en bonne voie d'être réalisés.

Principales réalisations en 2013-2014

Progrès de la recherche fondamentale

- ✓ L'Institut Péricimètre a fait des découvertes ayant une importance et des répercussions internationales.
- ✓ Robert Myers et Subir Sachdev, professeurs à l'Institut Péricimètre, ont été désignés parmi les « esprits scientifiques les plus influents au monde », tout comme Lance Dixon et Dam Thanh Son, titulaires de chaire de chercheur invité distingué.
- ✓ Voici quelques points saillants de la recherche effectuée :
 - L'informatique quantique promet des avancées extraordinaires dans des domaines tels que les communications, la cryptographie, la médecine et bien d'autres. Pour que ces promesses se concrétisent, il faut des recherches faisant le pont entre la théorie et l'expérience, afin de construire des ordinateurs quantiques. Une clé de la réussite est de mettre au point des moyens de surmonter les erreurs qui surviennent inévitablement dans les fragiles systèmes quantiques. Le postdoctorant Hector Bombin a introduit une nouvelle méthode qui pourrait rendre plus efficace la détection d'erreurs dans un calcul quantique.
 - Le professeur Dmitry Abanin et le postdoctorant Zlatko Papić ont découvert que l'application d'un champ électrique à travers la surface de deux couches de graphène – forme cristalline de carbone ayant un seul atome d'épaisseur – posées l'une sur l'autre pourrait produire des « anyons non abéliens ». Ces particules pourraient servir à la fabrication de qubits, les « bits » fondamentaux des ordinateurs quantiques. Plusieurs groupes d'expérimentateurs dans le monde utilisent cette découverte théorique en laboratoire, et les premiers résultats s'annoncent prometteurs.
 - Les professeurs Philip Schuster et Natalia Toro sont à la recherche de matière sombre, qui, croit-on, constitue la plus grande partie de la masse de l'univers, même si l'on n'en

a jamais détecté directement. Ils ont proposé une nouvelle méthode d'exploration de la matière sombre, cherchant des signes de sa présence dans des diffuseurs d'énergie de faisceaux d'électrons à l'intérieur d'accélérateurs de particules à haute énergie.

- ✓ Des chercheurs de l'Institut Périmètre ont obtenu de nombreux prix et distinctions d'envergure nationale et internationale, notamment les suivants :
 - le professeur Freddy Cachazo a obtenu un prix *Nouveaux horizons en physique*, d'une valeur de 100 000 \$, accordé par la Fondation des Prix de physique fondamentale; il s'agit du prix le plus important au monde pour de jeunes physiciens théoriciens, et l'Institut Périmètre est la seule institution à en avoir remporté deux;
 - le professeur Dmitry Abanin a obtenu une bourse de recherche Sloan;
 - le professeur associé Roger Melko a été nommé titulaire de la chaire de recherche (de niveau 2) du Canada en physique informatique quantique à N corps;
 - quatre chercheurs de l'Institut Périmètre ont reçu du gouvernement de l'Ontario des bourses de nouveau chercheur;
 - Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a été élu membre de la Société royale du Canada;
 - Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a remporté le prix Lane-Anderson 2013 d'écriture scientifique au Canada, pour son ouvrage intitulé *The Universe Within: From Quantum to Cosmos* (L'univers vu de l'intérieur : du quantum au cosmos);
 - Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a reçu des doctorats honorifiques de l'Université Rhodes et de l'Université métropolitaine Nelson-Mandela, toutes deux situées en Afrique du Sud, ainsi que de l'Université Saint Mary's de Halifax.

- Des scientifiques de l'Institut Périmètre ont obtenu des subventions de recherche totalisant 2,2 millions de dollars.

Recrutement des meilleurs talents

- ✓ Kevin Costello et Subir Sachdev, scientifiques de premier plan à l'échelle internationale, ont été recrutés comme titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre; 1 professeur à plein temps et 2 professeurs associés ont également été recrutés.

- ✓ Neil Turok a vu son mandat de directeur de l'Institut Périmètre renouvelé pour un 2^e terme de 5 ans à compter d'octobre 2013; il a aussi été nommé titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique.

- ✓ L'Institut Périmètre a attribué des chaires de chercheur invité distingué à 11 scientifiques de renommée mondiale.

- ✓ L'Institut Périmètre a nommé un nouveau directeur des programmes d'enseignement.

- ✓ L'Institut Péricimètre a embauché 16 postdoctorants en 2013-2014 et en a recruté 21 autres pour 2014-2015.

Formation des scientifiques de l'avenir

- ✓ L'Institut Péricimètre a formé 31 étudiants, provenant de 16 pays, dans le cadre du programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricimètre).
- ✓ L'Institut Péricimètre a donné une formation avancée à 45 doctorants, en collaboration avec des universités environnantes.
- ✓ Sept anciens postdoctorants ont obtenu des postes menant à la permanence comme professeurs d'université.

Une plaque tournante mondiale de l'interaction scientifique

- ✓ Expansion des liens avec des projets expérimentaux majeurs partout dans le monde
- ✓ Organisation de 17 conférences et ateliers, auxquels ont participé 844 scientifiques du monde entier
- ✓ Partenariat pour 8 conférences et ateliers conjoints tenus à l'Institut Péricimètre, et parrainage conjoint de 12 autres rencontres scientifiques à l'extérieur de l'Institut
- ✓ Tenue de 286 rencontres scientifiques
- ✓ Accueil de 424 chercheurs invités pour des recherches en collaboration et individuelles
- ✓ Diffusion par Internet des activités scientifiques de l'Institut : plus de 75 000 visiteurs de 171 pays
- ✓ Assistance et conseils pour l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI)

Une source d'inspiration par la diffusion de connaissances

- ✓ Programmes et ressources pédagogiques qui ont bénéficié à plus de 1 million d'élèves cette année, pour un total de plus de 4 millions d'élèves à ce jour
- ✓ Tenue de *BrainSTEM* – projet financé par FedDev Ontario et comprenant un festival de science, des ateliers pour enseignants et une ressource pédagogique – pour promouvoir les compétences en sciences, technologie, génie et mathématiques (STGM) au XXI^e siècle, touchant en tout près de 2 millions de personnes

- ✓ Production de nouvelles ressources pédagogiques, *L'univers en expansion* et *Destination carrière : les compétences pour réussir*, et mise sur pied de partenariats internationaux de distribution
- ✓ Expansion substantielle et couronnée de succès des communications numériques ainsi que par les médias sociaux
- ✓ Attribution du prix Lane-Anderson d'écriture scientifique à Neil Turok pour son livre intitulé *The Universe Within: From Quantum to Cosmos* (L'univers vu de l'intérieur : du quantum au cosmos), tiré des conférences Massey 2012 de la radio anglaise de Radio-Canada
- ✓ Tenue de la 12^e École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP) et organisation de 18 exposés *Physica Phantastica* – pour plus de 5 500 élèves de toutes les régions du Canada
- ✓ Présentation de plus de 90 ateliers à plus de 2 000 enseignants au Canada et à l'étranger, pour le bénéfice de plus de 150 000 élèves
- ✓ Tenue de la conférence *Equinox Summit: Learning 2030* (Sommet Equinox : Formation 2030), pour définir l'école secondaire de l'avenir, et résumé de ses conclusions et recommandations dans le document *Equinox Blueprint* (Plan Equinox)
- ✓ Présence importante dans des médias canadiens et étrangers, entre autres *Nature*, Radio-Canada, le magazine *Maclean's*, *BBC News*, *TVO*, *The Globe and Mail*, *Scientific American* et *Wired*
- ✓ Présentation à guichets fermés d'une série de 10 conférences publiques, commanditées par la Financière Sun Life, également suivies par un auditoire en ligne de plus en plus nombreux

Un milieu de recherche optimal

- ✓ Climat favorisant la collaboration et les échanges scientifiques, ainsi que l'égalité des sexes
- ✓ Amélioration du site Web et des systèmes informatiques de l'Institut Péricimètre, pour offrir aux scientifiques des ressources informatiques et de recherche à la fine pointe

Un partenariat public-privé en croissance

- ✓ Plus de 5,1 millions de dollars en nouveaux engagements de la part d'individus, d'entreprises et de fondations, dont 4 millions de dollars de la Fondation Krembil

- ✓ Lancement officiel du Cercle Emmy-Noether, pour offrir un soutien spécifique aux femmes en physique
- ✓ Lancement des programmes de financement annuel et des anciens de l'Institut Périmètre, afin de susciter des dons d'individus
- ✓ Collaboration avec des partenaires de tous les paliers de gouvernement, afin de fournir des idées et des conseils sur des politiques publiques en matière scientifique
- ✓ Rôle de catalyseur pour le nouvel écosystème de la *Quantum Valley*

Énoncé des objectifs pour 2013-2014

- Objectif n° 1 : Réaliser des découvertes de classe mondiale.
- Objectif n° 2 : Devenir la résidence de recherche d'une masse critique des plus grands physiciens théoriciens au monde.
- Objectif n° 3 : Devenir un incubateur des talents les plus prometteurs.
- Objectif n° 4 : Devenir la seconde résidence de recherche de plusieurs grands théoriciens du monde.
- Objectif n° 5 : Constituer une plaque tournante d'un réseau mondial de centres de physique théorique et de mathématiques.
- Objectif n° 6 : Renforcer le rôle de l'Institut Périmètre comme centre de convergence pour la recherche en physique fondamentale au Canada.
- Objectif n° 7 : Organiser des conférences, ateliers, cours et séminaires ciblés et opportuns.
- Objectif n° 8 : Mener une action de diffusion des connaissances à fort impact.
- Objectif n° 9 : Créer l'environnement et l'infrastructure les meilleurs au monde pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique.
- Objectif n° 10 : Continuer d'exploiter le modèle de financement public-privé qui a fait ses preuves à l'Institut Périmètre.

Objectif n° 1 : Réaliser des découvertes de classe mondiale

Résumé des réalisations

- Recherche fondamentale de pointe, qui s'est traduite par 413 articles de haut calibre
- Les chercheurs de l'Institut Périmètre ont produit depuis sa création 2 961 articles, parus dans près de 150 revues spécialisées et qui ont fait à ce jour l'objet de plus de 90 000 citations. Cela témoigne de l'importance et de l'impact à long terme de la recherche effectuée à l'Institut.

Points saillants



Recherche

Le but premier de l'Institut Périmètre est de favoriser les percées scientifiques. Pour cela il accorde la priorité à la recherche fondamentale dans un ensemble de domaines choisis de manière stratégique et facilite des échanges dynamiques d'idées dans ces domaines.

Cette façon de faire rapporte des dividendes – pour la physique et pour le Canada. Des études objectives indépendantes montrent que les scientifiques de l'Institut Périmètre font une recherche de grande qualité et à fort impact, et que l'Institut contribue de manière significative à la place de plus en plus enviable du Canada dans la communauté scientifique mondiale².

² À titre d'exemple, dans l'étude [Mapping Scientific Excellence](#) menée en 2013, l'Institut Périmètre s'est classé au 2^e rang mondial en physique théorique, et au 5^e rang en physique et astronomie. Une étude menée en 2011 par Thomson Reuters a montré que l'impact scientifique du Canada avait augmenté de manière spectaculaire depuis la

Cette année, 4 scientifiques de l'Institut Périmètre ont été désignés parmi les « esprits scientifiques les plus influents au monde » dans une étude de Thomson Reuters : **Robert Myers**, président du corps professoral de l'Institut Périmètre; **Subir Sachdev**, titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Périmètre (à titre de chercheur invité); **Lance Dixon** et **Dam Thanh Son**, titulaires de chaire de chercheur invité distingué³. Cette étude a consisté à analyser 11 années de données sur les citations, afin d'identifier les scientifiques dont les publications se situent dans le centile supérieur des plus souvent citées dans leur domaine et qui ont donc l'impact le plus important dans l'orientation future des recherches.

En science, l'expérimentation constitue le test ultime de toute théorie. Il vaut donc la peine de mentionner que l'Institut Périmètre a continué d'intensifier en 2013-2014 ses liens avec d'importants centres d'expérimentation partout dans le monde. Des scientifiques de l'Institut Périmètre sont en relation avec plusieurs des organismes d'expérimentation les plus importants au monde, dont le télescope *Event Horizon* (EHT), l'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo, le grand collisionneur de hadrons (LHC) au CERN, le satellite Planck, l'Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène (CHIME), le Laboratoire national de l'accélérateur SLAC, l'Observatoire de neutrinos de Sudbury (SNOLAB), le Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson (JLab), le Laboratoire TRIUMF, l'expérience WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), etc. L'annexe F donne la liste de ces liens. L'Institut Périmètre a également organisé plusieurs conférences visant directement l'établissement de liens entre théoriciens et expérimentateurs, dont la 1^{ère} conférence au monde à propos de l'expérience BICEP2 sur les ondes gravitationnelles (voir l'objectif n° 7).

Les scientifiques de l'Institut Périmètre poursuivent des recherches originales et interdisciplinaires sur certains des problèmes les plus difficiles de la physique fondamentale. Les pages qui suivent donnent des exemples représentatifs de ces travaux effectués en 2013-2014.

fondation de l'Institut Périmètre. En 2010, le Canada se classait au 1^{er} rang mondial pour l'indice de citation en physique; sans l'Institut Périmètre, il aurait été 4^e.

³ THOMSON REUTERS. *The World's Most Influential Scientific Minds: 2014*. Adresse URL : <http://thomsonreuters.com/articles/2014/worlds-most-influential-scientific-minds-2014>.

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 notre voisin et partenaire expérimental, l'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo, et certains occupent des postes conjoints des deux instituts. Ensemble, l'Institut Périmètre et l'IQC sont en train de transformer la région en une « Quantum Valley ».

Maintenir des qubits en ligne

La construction d'un ordinateur quantique – capable de surpasser un ordinateur classique dans des tâches importantes de traitement de l'information – n'est pas une entreprise facile.

Maîtriser et exploiter des « bits » quantiques d'information – atomes, électrons, photons ou autres particules –, c'est un peu comme de discipliner les chanteurs exubérants d'une chorale d'enfants. Ce n'est pas facile de les synchroniser et de les diriger, mais une fois qu'ils ont pris le bon pli, l'harmonie qui en résulte est supérieure à la somme de ses parties.

Évidemment, si un ou deux enfants se trompent de note ou sautent une ligne, leurs erreurs seront couvertes par la majorité des autres qui restent synchronisés.

En informatique quantique, pour arriver à une telle harmonie, les chercheurs doivent prévoir ce genre d'erreurs – inévitables avec des bits aussi minuscules et fragiles – et en tenir compte. Tout comme pour un concert de chorale, on ne peut pas s'attendre à ce qu'un calcul quantique se déroule à la perfection; il faut donc faire en sorte que les erreurs ne gâchent pas la qualité du résultat final.

C'est là l'objectif du calcul quantique insensible aux défaillances : obtenir le bon résultat, même lorsque des erreurs surviennent (et s'additionnent) au cours du calcul.

Les techniques actuelles de calcul insensible aux défaillances consistent à ajouter des bits quantiques (qubits) supplémentaires de codage – pour introduire des redondances. Mais cette méthode accroît de beaucoup le coût et la difficulté de construction d'un ordinateur quantique.

La solution originale proposée par **Daniel Gottesman**, professeur à l'Institut Périmètre, ne requiert qu'un nombre de qubits légèrement plus élevé que dans un ordinateur quantique parfait.

Même si les protocoles proposés par M. Gottesman ne sont pas encore totalement réalisables en pratique, ils apportent la démonstration cruciale qu'un calcul insensible aux défaillances peut ne pas exiger beaucoup de qubits supplémentaires. Ces travaux montrent en outre les propriétés qu'un code de correction d'erreurs devrait posséder pour utiliser les qubits de manière efficace – ce qui est vital pour que les ordinateurs quantiques deviennent une réalité.

Trouver de l'harmonie dans le bruit

Hector Bombin, postdoctorant à l'Institut Périmètre, s'intéresse particulièrement aux techniques de calcul insensible aux défaillances appelées mémoires quantiques topologiques, généralement considérées comme l'une des avenues les plus prometteuses de correction d'erreurs quantiques.

Pour que les ordinateurs quantiques deviennent réalité, les chercheurs devront trouver des moyens d'effectuer des opérations quantiques avec des composants et du matériel susceptibles de « bruit » (ou pouvant comporter des erreurs). Les chercheurs doivent faire le pont entre la théorie et la pratique, traduisant ce qui est mathématiquement possible sur papier en quelque chose qui peut effectivement être construit et exploité de manière fiable.

L'innovation clé d'Hector Bombin est l'introduction d'une nouvelle sorte de mémoire topologique qui, contrairement aux techniques conventionnelles de correction d'erreurs quantiques, n'a pas besoin de plusieurs séries de mesures pour détecter des erreurs dans un calcul quantique.

Comme moins de temps est consacré au processus de détection d'erreurs, moins d'erreurs ont le temps de s'accumuler. Pour reprendre l'image de la chorale d'enfants, le chef de chœur ramène rapidement à l'ordre les quelques enfants dissipés et fait chanter tout le monde avant que les autres enfants ne puissent être distraits et devenir agités.

L'informatique quantique promet des progrès fantastiques dans des domaines aussi divers que les communications, la cryptographie, la médecine, et bien d'autres. Pour qu'elle puisse remplir ces promesses, il faut d'intenses recherches, établissant des ponts entre la théorie et l'expérience, sur les propriétés et les applications potentielles de l'information quantique.

Références

D. GOTTESMAN (Institut Périmètre). *Fault-Tolerant Quantum Computation with Constant Overhead*, arXiv:1310.2984.

H. BOMBIN (Institut Périmètre). *Gauge Color Codes*, arXiv:1311.0879.

H. BOMBIN (Institut Périmètre). *Single-shot fault tolerant quantum error correction*, arXiv:1404.5504.

Physique mathématique

En physique mathématique, de nouveaux problèmes de physique engendrent de nouveaux outils mathématiques pour les résoudre, et la nouvelle mathématique ouvre la porte à une nouvelle compréhension de l'univers physique. Newton a inventé l'analyse mathématique moderne 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 il a bénéficié de ces progrès. Les chercheurs de l'Institut Périmètre en physique mathématique perpétuent cette grande tradition.

Prendre du recul pour explorer la gravitation quantique plus en profondeur

La compréhension des liens entre la mécanique quantique et la gravité sur de petites distances constituerait une percée majeure en physique moderne. Cependant, les techniques traditionnelles de traitement quantique des forces fondamentales ne s'appliquent pas facilement à la gravité, malgré les succès de leur application à d'autres forces telles que la force électromagnétique ou l'interaction faible. Le problème de la gravitation quantique doit être abordé de manière nouvelle et innovatrice.

Une méthode possible est celle de la gravitation quantique à boucles (GQB). Cet ambitieux programme de recherche traite l'espace-temps lui-même comme un système mécanique quantique. L'une des caractéristiques les plus intéressantes de cette théorie est que l'espace et le temps sont quantifiés. Autrement dit, l'espace et le temps sont formés de blocs fondamentaux discrets. Le comportement de la gravité à petite distance serait régi par la dynamique de ces blocs.

Il s'agit d'une représentation fascinante de l'espace-temps sur de petites distances. Si elle est correcte, une théorie de mécanique quantique microscopique de l'espace-temps couronnée de succès devrait également reproduire les propriétés bien connues de l'espace-temps classique sur de grandes distances, conformément à la théorie de la relativité d'Einstein. Mais cette tâche n'est pas facile, car tenir compte de la dynamique de chaque quantum d'espace-temps pour comprendre la gravité sur de grandes distances, c'est comme tenir compte du mouvement de chaque molécule pour comprendre le mouvement de l'eau contenue dans un verre; c'est à la fois inefficace et impossible!

Les physiciens ont des moyens plus efficaces de traiter des systèmes formés d'un grand nombre d'éléments constitutifs, et **Bianca Dittrich**, professeure à l'Institut Périmètre, élabore de telles techniques pour la gravitation quantique à boucles. En GQB, l'espace-temps est représenté par des états quantiques, et Mme Dittrich fait appel à des méthodes de broyage grossier pour extraire les propriétés collectives pertinentes d'un grand nombre d'états à la fois. En prenant en quelque sorte du recul, elle est parvenue à mieux comprendre l'ensemble des états quantiques permis par la théorie. Cet ensemble code les solutions possibles de la théorie, permettant de connaître la structure de l'espace-temps en GQB. Par exemple, à l'aide de ces outils, Bianca Dittrich a découvert un nouvel état de vide quantique possible de la GQB. Un tel état de vide quantique détermine d'importantes propriétés de la théorie.

Il s'agit d'une étape majeure vers une compréhension complète de la GQB. De fait, on s'attend à ce que ces résultats permettent aux chercheurs de comprendre le comportement de la GQB sur de grandes distances et aident les chercheurs en gravitation quantique à atteindre leur objectif ultime, à savoir de faire des prédictions vérifiables à partir de cette théorie passionnante.

Théorie quantique des champs sur une sphère

La théorie quantique des champs est le langage qui décrit toutes les interactions au sein de systèmes à N corps dans la nature, qu'il s'agisse de particules dans un collisionneur ou d'objets posés sur une paillasse de laboratoire. Dans certains systèmes, les interactions entre composantes sont faibles, et la théorie quantique des champs est alors bien comprise. Par contre, de nombreux systèmes sont le siège d'interactions fortes, et la théorie quantique des champs commence alors à ne plus fonctionner.

Autrement dit, si la théorie quantique des champs est un langage, il nous manque les mots et les règles de grammaire capables de décrire aussi bien le fonctionnement quotidien des protons que les comportements étranges des supraconducteurs. C'est un peu comme si la biologie pouvait décrire tous les êtres vivants sauf les mammifères. Cela constitue évidemment un problème.

Jaume Gomis, professeur à l'Institut Périmètre, est l'un des nombreux scientifiques qui tentent de résoudre ce casse-tête – cherchant un nouveau dictionnaire pour ce que l'on appelle techniquement une théorie quantique des champs en régime de couplage fort.

Cette année, il a fait quelques progrès en modifiant l'espace qu'il observe. De nombreuses théories des champs décrivent l'espace plat dans lequel nous vivons, c'est-à-dire un espace où un crayon traçant une ligne droite sur une feuille ne peut jamais revenir à son point de départ. M. Gomis a modifié ces théories de manière à ce qu'elles décrivent un espace sphérique, qui ressemble davantage à un ballon qu'à une feuille de papier.

En décrivant une théorie des champs sur une sphère, Jaume Gomis s'est rendu compte qu'il pouvait obtenir une meilleure vue de cette théorie. Cette façon de faire isole mathématiquement certaines variables et définit mieux certaines grandeurs observables. (Une grandeur observable est une propriété d'un système qui peut être mesurée et qui donne de l'information sur l'état du système. À titre d'exemple, la température est une grandeur observable.) Plus précisément, M. Gomis a découvert qu'en utilisant des fonctions de partition sphérique, on peut calculer avec exactitude l'une de ces grandeurs observables, peu importe la force de couplage. Cette capacité de calculer quelque chose avec exactitude pour un couplage arbitraire est, note le chercheur, « très particulière, très rare » [traduction].

En autant que nous le sachions, l'espace dans lequel nous vivons n'est pas un ballon, et la théorie des champs sur laquelle Jaume Gomis travaille n'est pas aussi complexe que celle dont nous avons besoin pour écrire un nouveau dictionnaire pour une théorie quantique des champs en régime de couplage fort. Mais comme le dit le chercheur, « ces travaux nous aident à avoir une idée de ce qui peut se passer en régime de couplage fort » [traduction].

Références

B. DITTRICH (Institut Péricimètre) et S. STEINHAUS (Institut Péricimètre). *Time evolution as refining, coarse graining and entangling*, arXiv:1311.7565.

B. DITTRICH (Institut Péricimètre) et M. GEILLER (Université d'État de Pennsylvanie). *A new vacuum for Loop Quantum Gravity*, arXiv:1401.6441.

B. DITTRICH (Institut Péricimètre). *The continuum limit of loop quantum gravity – a framework for solving the theory*, arXiv:1409.1450.

E. GERCHKOVITZ (Institut Weizmann des sciences), J. GOMIS (Institut Péricimètre) et Z. KOMARGODSKI (Institut Weizmann des sciences). *Sphere Partition Functions and the Zamolodchikov Metric*, arXiv:1405.7271.

Cosmologie

Les cosmologistes de l'Institut Périmètre cherchent à révéler l'histoire ancienne et les constituants de notre univers, ainsi qu'à décoder les règles qui régissent son origine et son évolution. Ils cherchent à répondre à certaines des questions les plus difficiles de la physique, à des échelles de distance et à des niveaux d'énergie qu'il serait impossible de simuler en laboratoire sur terre. La cosmologie est intrinsèquement liée à d'autres domaines de recherche de l'Institut Périmètre, dont la physique des particules, la théorie quantique des champs et la théorie des cordes, de même que la gravité forte.

Comprendre l'univers primitif (ou les univers primitifs)

C'est l'une des questions les plus difficiles de toute la science : comment l'univers a-t-il commencé?

D'une certaine manière, la cosmologie est un voyage dans le temps, car les chercheurs regardent près de 14 milliards d'années dans le passé pour comprendre la naissance, la petite enfance et la croissance de notre univers.

Avec l'avènement de télescopes d'une précision sans précédent, qui balayent les confins du cosmos, et les théoriciens qui décodent les structures mathématiques de la réalité, nous sommes à une époque passionnante pour la cosmologie.

Mais l'univers ne révèle pas facilement ses secrets, et pour les découvrir, il faut attaquer des questions sous plusieurs angles, travailler en collaboration, chercher des résultats reproductibles et demeurer toujours ouvert à de nouvelles possibilités.

En voici un exemple : en mars dernier, l'annonce que le télescope BICEP2 (*Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization* – Représentation de la polarisation du rayonnement fossile extragalactique) pouvait avoir détecté des ondes gravitationnelles primitives a suscité beaucoup d'excitation chez les cosmologistes et dans les médias scientifiques.

Les résultats de l'expérience BICEP2 semblaient constituer une percée majeure en cosmologie – une apparente confirmation de la théorie de l'inflation cosmique, qui postule l'existence d'un moment d'expansion extrême de l'univers, survenu une minuscule fraction de seconde après le Big Bang. Mais certains cosmologistes estimaient qu'il était prématuré de déclarer que ces résultats – la détection du « mode B » de polarisation dans le rayonnement fossile – étaient dus à des ondes gravitationnelles.

Quelques semaines seulement après cette annonce, l'Institut Périmètre accueillait la 1^{ère} grande conférence au monde sur le sujet, intitulée *Implications of BICEP2* (Implications de l'expérience BICEP2).

Au milieu de toute cette frénésie, de nouvelles recherches en collaboration ont commencé dans le but d'interpréter les données de l'expérience BICEP2, leurs explications possibles et leurs liens avec d'autres recherches théoriques et expérimentales.

Latham Boyle, Kendrick Smith et Neil Turok, chercheurs à l'Institut Périmètre, font partie des auteurs d'un article qui analysait avec soin la compatibilité entre les résultats de l'expérience BICEP2 et des données antérieures du satellite Planck, et qui faisait état d'une tension statistique surprenante entre tous ces éléments.

Les auteurs ont quantifié dans quelle mesure la tension statistique constatée peut être atténuée par des modifications possibles du modèle standard de la physique et proposé un nouveau test permettant de vérifier l'exactitude de l'une de ces modifications dans l'avenir.

Leur article précisait en outre comment de futures expériences devraient jeter un nouvel éclairage sur les résultats de l'expérience BICEP2. C'est exactement ce qui s'est produit 6 mois plus tard, lorsque des données du satellite Planck ont indiqué que la poussière cosmique pourrait expliquer certaines des fascinantes « ondulations » de l'espace-temps attribuées en mars à des ondes gravitationnelles.

Un test scientifique de l'existence d'un multivers

Des avancées expérimentales constantes, inspirées et interprétées par la recherche théorique, nous permettent de regarder plus profondément dans le passé lointain de notre univers.

Mais il se peut que « notre univers » ne constitue pas toute la réalité. Notre univers n'est peut-être qu'une bulle parmi d'autres dans une mer écumeuse d'univers, comme le laisse entendre l'hypothèse de plus en plus répandue du multivers.

Proposée il y a à peine une décennie comme conséquence de ce que nous croyons savoir à propos de l'inflation cosmique, l'hypothèse du multivers s'attire des critiques parce qu'elle se rapproche davantage de la métaphysique que de la véritable science. Selon ces critiques, même si d'autres univers existaient à l'extérieur du nôtre, comment pourrions-nous le savoir, puisqu'ils se situeraient à l'extérieur des limites de nos observations?

Peut-être d'autres univers rebondissent-ils de temps à autre sur le nôtre en laissant une trace observable, suggèrent **Matthew Johnson et Luis Lehner**, chercheurs à l'Institut Périmètre.

À l'aide de simulations informatiques, les chercheurs ont créé un scénario dans lequel un autre univers entre en collision avec le nôtre, laissant une « ecchymose » révélatrice sur le rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique, première lumière de l'univers primitif).

Avec leur article sur le sujet, c'est la première fois que quelqu'un a produit un ensemble direct et quantitatif de prédictions concernant une collision entre deux univers faisant partie du multivers.

Autrement dit, ils ont amené l'hypothèse du multivers du domaine de la métaphysique dans celui de la science empirique vérifiable. Si l'univers dans lequel nous vivons n'en est qu'un parmi d'autres, nous pourrions maintenant avoir un moyen de le vérifier.

Références

K.M. SMITH (Institut Périmètre), C. DVORKIN (Institut d'études avancées de Princeton), L. BOYLE (Institut Périmètre), N. TUROK (Institut Périmètre), M. HALPERN (Université de la Colombie-Britannique), G. HINSHAW (Université de la Colombie-Britannique) et B. GOLD (Université Hamline). « Quantifying the BICEP2-Planck Tension over Gravitational Waves » *Physical Review Letters*, vol. 113, 2014, article n° 031301, arXiv:1404.0373.

M.C. JOHNSON (Institut Périmètre), H.V. PEIRIS (Collège universitaire de Londres) et L. LEHNER (Institut Périmètre). *Determining the outcome of cosmic bubble collisions in full General Relativity*, arXiv:1112.4487.

C.L. WAINWRIGHT (Université de la Californie à Santa Cruz), M.C. JOHNSON (Institut Périmètre et Université York), A. AGUIRRE (Université de la Californie à Santa Cruz) et H.V. PEIRIS (Collège universitaire de Londres). *Simulating the universe(s) II: phenomenology of cosmic bubble collisions in full General Relativity*, arXiv:1407.2950.

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 où la gravité est 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 également à comprendre et à caractériser les liens entre des espaces-temps courbes ou dynamiques et une variété d'autres problèmes de physique fondamentale.

Les trous noirs pourraient-ils avoir des cheveux?

Tous les trous noirs ayant la même masse et le même moment angulaire sont identiques, nous assure la relativité générale. C'est vrai même s'ils sont formés de manières très diverses, ou composés de matériaux entièrement différents. On peut résumer cela par un de ces étranges truismes en physique : les trous noirs n'ont pas de cheveux.

Si l'on trouvait des trous noirs chevelus, cela prouverait que la théorie de la relativité générale est erronée.

De nouvelles recherches menées par **Avery Broderick**, professeur associé à l'Institut Périmètre, le postdoctorant associé **Tim Johannsen** et leurs collaborateurs visent à vérifier si les trous noirs pourraient avoir des cheveux – et mettent ainsi à l'épreuve la relativité générale.

Les chercheurs ont d'abord tenté de déterminer ce à quoi ressembleraient des trous noirs chevelus. Ils ont modifié les équations de la relativité générale pour permettre l'existence de trous noirs chevelus, puis ils ont fait appel à des modèles informatiques complexes pour produire des images de ce à quoi ressembleraient de tels trous noirs. Ils ont ensuite examiné ces images, à la recherche de caractéristiques dues à leurs modifications de la relativité générale, et non à d'autres facteurs tels que la taille, l'état de rotation, ou encore le processus exact par lequel la matière est tombée dans les trous noirs.

Ils ont trouvé que la modification de la relativité générale altérerait la forme de l'ombre projetée par l'horizon des événements.

Les chercheurs ont comparé les données réelles de l'image du trou noir Sag A* avec les portraits-robots produits par leurs modèles. Cela leur permet de fixer une limite quant à l'ampleur de la modification à la relativité générale qu'autoriseraient les données – jusqu'à quel point les trous noirs pourraient être chevelus.

Pour le moment, les chercheurs peuvent exclure les effets importants – des trous noirs qui auraient une crinière comme celle d'Einstein –, mais non les plus faibles. L'importance réelle de ces travaux réside dans le fait qu'ils constituent une démonstration de faisabilité : ils prouvent hors de tout doute que les

physiciens peuvent se servir des trous noirs comme de laboratoires naturels pour tester des idées à propos de l'espace-temps.

Des turbulences près des trous noirs

La gravité peut-elle être agitée? La réponse conventionnelle est « non », mais de nouvelles recherches menées à l'Institut Périmètre pourraient vous obliger à boucler votre ceinture de sécurité.

En physique, une dualité est constituée par deux théories qui sont mathématiquement équivalentes même si elles semblent décrire des phénomènes différents à l'aide de langages différents. Les dualités constituent de puissants moyens d'aborder de manière nouvelle des problèmes difficiles et d'introduire de nouvelles idées sur d'anciens sujets. Un exemple d'une telle dualité est la correspondance fluide-gravité, selon laquelle les champs gravitationnels peuvent être décrits à l'aide du langage de la dynamique des fluides.

La correspondance fluide-gravité n'est pas nouvelle – elle fait l'objet de recherches depuis les 6 dernières années. Mais il y a une difficulté au cœur de cette correspondance. Si la gravité peut être traitée comme un fluide, qu'en est-il alors des turbulences?

Selon l'opinion répandue, la gravité est décrite par un ensemble d'équations si différentes de celles de la dynamique des fluides qu'il ne pourrait jamais y avoir de turbulence, peu importe les circonstances.

Les recherches dont il est question ici ont été effectuées par **Huan Yang**, postdoctorant à l'Institut Périmètre, **Luis Lehner**, professeur à l'Institut Périmètre, et Aaron Zimmerman, postdoctorant à l'Institut canadien d'astrophysique théorique. Luis Lehner met en évidence ce nouveau paradoxe : « Ou bien la correspondance est problématique et la gravité ne peut pas être complètement représentée par une description en tant que fluide, ou bien il y a un phénomène nouveau, selon lequel il peut vraiment y avoir une gravité turbulente. » [traduction]

Les chercheurs ont entrepris de résoudre ce paradoxe. Plus précisément, ils ont étudié les perturbations non linéaires des trous noirs. Des systèmes gravitationnels sont rarement analysés à ce niveau de détail, parce que les équations sont monstrueusement complexes. Mais, sachant que les turbulences sont fondamentalement non linéaires, les chercheurs ont pensé qu'une analyse des perturbations non linéaires était exactement ce qu'il fallait faire.

Ils ont été stupéfaits de constater que leur analyse montrait que l'espace-temps autour de trous noirs en rotation rapide est effectivement le siège de turbulences. Luis Lehner déclare : « Nous sommes passés de doutes sérieux sur la possibilité que la gravité puisse être turbulente, à un degré assez élevé de confiance quant à l'existence de telles turbulences. » [traduction]

Par conséquent, si vous vous aventurez au voisinage d'un trou noir, veillez à bien boucler votre ceinture de sécurité.

Références

A.E. BRODERICK (Institut Périmètre et Université de Waterloo), T. JOHANNSEN (Institut Périmètre, Université de Waterloo et Institut canadien d'astrophysique théorique), A. LOEB (Université Harvard) et D. PSALTIS (Université de l'Arizona). « Testing the No-Hair Theorem with Event Horizon Telescope Observations of Sagittarius A* », *The Astrophysical Journal*, vol. 784, n° 1, 2014, arXiv: 1311.5564.

H. YANG (Institut Périmètre), A. ZIMMERMAN (Institut canadien d'astrophysique théorique) et L. LEHNER (Institut Périmètre). *Turbulent Black Holes*, arXiv: 1402.4859.

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 Périmètre, ces chercheurs s'attaquent à des questions fondamentales telles que la nature des aimants ou la différence entre conducteurs et isolants, ou 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.

Composition de qubits

Dans notre monde en 3 dimensions, il y a deux sortes de particules : les fermions (p. ex. les électrons), où deux particules identiques ne peuvent occuper un même état, et les bosons (p. ex. les photons), où deux particules identiques cherchent en fait à occuper un même état. En 3 dimensions, les fermions restent des fermions et les bosons restent des bosons, et jamais il n'y aura de passage d'un groupe à l'autre.

Mais dans le monde de la matière condensée, il y a une exception. Le graphène, matériau prodigieux, est une forme cristalline de carbone ayant un seul atome d'épaisseur. Du point de vue des particules et des charges qu'il contient, le graphène n'a pas 3 dimensions – il n'en a que 2. C'est effectivement un minuscule univers à 2 dimensions et, dans cet univers, de nouveaux phénomènes peuvent se produire. Les fermions et les bosons peuvent se rencontrer à mi-chemin – devenant des anyons, qui peuvent se situer n'importe où entre les fermions et les bosons.

Zlatko Papić, postdoctorant à l'Institut Périmètre, et **Dmitry Abanin**, professeur à l'Institut Périmètre, étudient les propriétés du graphène, à la recherche d'une catégorie particulière d'anyons dits non abéliens. Les anyons non abéliens sont importants parce qu'ils peuvent servir à fabriquer des qubits.

Le qubit est à un ordinateur quantique ce que le bit est à un ordinateur ordinaire : une unité fondamentale d'information et le dispositif de base qui contient cette information. Depuis une décennie, on recherche frénétiquement à trouver un moyen de construire des qubits stables.

MM. Papić et Abanin espèrent que les propriétés étranges de l'univers restreint du graphène permettront de trouver des anyons non abéliens, et donc de fabriquer des qubits. Plus précisément, ils ont étudié ce qui arrive lorsque l'on superpose 2 feuillets de graphène et que l'on place le graphène bicouche résultant dans un fort champ magnétique perpendiculaire. Ils ont découvert qu'en appliquant un champ électrique à travers la surface du graphène bicouche, on pourrait – en théorie – amener le matériau à produire des anyons non abéliens.

Trois groupes d'expérimentateurs travaillent maintenant à partir de ces recherches, utilisant cette avenue expérimentale originale pour composer des qubits. Les premiers résultats semblent prometteurs. Grâce aux travaux de Dmitry Abanin et de Zlatko Papić, nous nous dirigeons peut-être vers un nouveau monde d'ordinateurs quantiques.

Garçon, il y a un trou noir dans ma matière condensée...

Subir Sachdev, titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Périmètre, **William Witczak-Krempa** postdoctorant à l'Institut Périmètre, et Erik Sørensen, professeur à l'Université McMaster, sont des physiciens de la matière condensée. Ils étudient des systèmes étranges mais tangibles, par exemple des suprafluides. Et dans leur dernier article à propos de l'un de ces systèmes, il est question de trou noir.

Les trous noirs sont rarement évoqués dans les articles sur la matière condensée. Normalement, les physiciens de la matière condensée utilisent dans leurs modèles des ingrédients beaucoup plus conventionnels (mais quand même imaginaires) appelés « quasi-particules ». Cette démarche leur permet de décrire le comportement de matériaux comme si les électrons ou d'autres particules se déplaçaient librement à l'intérieur. Mais il y a toujours quelques systèmes que l'on ne peut pas décrire à l'aide de quasi-particules – et les physiciens de la matière condensée butent depuis des décennies sur le problème de la modélisation de ces systèmes.

MM. Witczak-Krempa et Sachdev ont donc décidé d'essayer quelque chose de nouveau. Ils ont étudié l'un des systèmes les plus simples sans quasi-particules, une transition de phase quantique entre un suprafluide et un isolant. Ils ont utilisé l'un des outils de base de la théorie des cordes – l'holographie – pour transformer la théorie quantique des champs qui décrit ce système en une théorie de la gravitation avec une dimension supplémentaire.

Pour étudier le système à une température non nulle, ils ont dû introduire un trou noir.

William Witczak-Krempa admet que c'est peu orthodoxe : « La plupart des chercheurs dans le domaine de la matière condensée diraient : "Pourquoi parle-t-on de trou noir dans cet article?" C'est insensé. Mais ce qui est encore plus incroyable, c'est que la mécanique mathématique fonctionne très bien. Elle donne des réponses qui ont beaucoup de sens. » [traduction]

MM. Witczak-Krempa et Sachdev ont pu comparer les résultats à saveur de théorie des cordes avec ceux d'une simulation plus traditionnelle du système effectuée par Erik Sørensen. C'était la première fois que l'on comparait les résultats d'une simulation traditionnelle à grande échelle de matière condensée à ceux de la nouvelle démarche de la théorie des cordes.

Et les deux concordaient.

Références

Z. PAPIĆ (Institut Périmètre et Institut d'informatique quantique) et D.A. ABANIN (Institut Périmètre et Institut d'informatique quantique). « Topological Phases in the Zeroth Landau Level of Bilayer Graphene », *Physical Review Letters*, vol. 112, 2014, article n° 046602, arXiv:1307.2909.

W. WITCZAK-KREMPA (Institut Périmètre), E.S. SØRENSEN (Université McMaster) et S. SACHDEV (Université Harvard). « The dynamics of quantum criticality via Quantum Monte Carlo and holography », *Nature Physics*, vol. 10, 2014, p. 361-366, arXiv: 1309.2941.

Physique des particules

La physique des particules est le domaine de la science qui identifie les constituants de la nature et leurs interactions au niveau le plus fondamental. Elle s'attache à comparer les idées théoriques avec des expériences terrestres et des observations astrophysiques. Elle recoupe donc nettement la théorie des cordes, la gravitation quantique et la cosmologie. À l'Institut Périmètre, les physiciens des particules définissent comment les observations cosmologiques et les expériences menées sur terre dans des laboratoires souterrains et dans des accélérateurs limitent les possibilités théoriques de la physique au-delà du modèle standard.

À la recherche des composants élémentaires cachés de la nature

Le modèle standard de la physique des particules est la théorie maîtresse qui décrit toutes les particules élémentaires et leurs interactions. Depuis qu'il a été parachevé dans les années 1970, le modèle standard a connu d'énormes succès dans la prédiction des résultats d'expériences en physique des particules. Ces succès ont culminé l'an dernier avec la découverte du boson de Higgs, la dernière des 17 particules prédites par le modèle à avoir été observée.

Mais même si le modèle standard est largement acclamé comme la « théorie du (presque) tout », le « presque » est important. Entre autres, ce modèle n'explique pas la gravité, la matière sombre et l'énergie sombre. Les physiciens sont donc avides de trouver dans le modèle standard des failles qu'il faudrait colmater avec de nouvelles découvertes. Cette année, l'expérience LHCb du CERN a permis d'observer ce qui pourrait être une telle faille, lorsqu'elle a permis de mesurer une vitesse de désintégration semileptonique de mésons B légèrement différente de ce que prédit le modèle standard.

Itay Yavin et **Maxim Pospelov**, chercheurs à l'Institut Périmètre, et leurs collaborateurs, ont démontré que cette différence pourrait être le résultat d'une nouvelle force agissant sur le muon et le lepton tau, ainsi que sur leurs neutrinos. Si cette différence est effectivement le signe d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard, cette explication est probablement la plus naturelle. Les chercheurs ont pu identifier d'autres rares cas de désintégration où cette nouvelle force devrait se manifester. Les tests proposés comprennent des mesures des propriétés du muon et du lepton tau.

De plus, et cela est important, la nouvelle force contribuerait au processus de production de paires de muons par leurs neutrinos, processus extrêmement rare observé pour la première fois il y a 25 ans au CERN et au Fermilab.

L'Institut Périmètre poursuit actuellement des travaux d'exploration de ces données expérimentales tombées dans l'oubli depuis longtemps. Il étudie aussi les possibilités de détecter à nouveau ce processus dans les prochaines expériences sur les neutrinos; des travaux de suivi dans ce domaine ont donné lieu à un article publié dans *Physical Review Letters*.

De la matière sombre dans des diffuseurs d'énergie?

Deux autres professeurs de l'Institut Périmètre, **Philip Schuster** et **Natalia Toro**, sont à la recherche de la matière la plus omniprésente, mais aussi la plus insaisissable, de l'univers. On croit généralement que la matière sombre constitue la plus grande partie de toute la masse de l'univers, même si on ne l'a jamais directement détectée ou mesurée (elle n'émet et n'absorbe aucune lumière, d'où son nom).

Pour la trouver, disent-ils, il faudrait peut-être aller là où les particules vont généralement mourir : le diffuseur d'énergie d'un faisceau d'électrons.

Des expériences menées à l'aide d'accélérateurs de particules consistent à projeter des milliards d'électrons à haute énergie sur des cibles précises, afin de mesurer et d'interpréter les éclats subatomiques résultant de ces collisions. Toute cette énergie doit être diffusée de manière sécuritaire à la fin de l'expérience; elle est donc dirigée vers un diffuseur – bloc de métal dense qui absorbe la plupart des particules et l'énergie qu'elles transportent.

Il est possible, font valoir Philip Schuster et Natalia Toro, que certaines particules exceptionnelles interagissent si faiblement avec d'autres qu'elles traversent tout simplement le diffuseur et soient détectées de l'autre côté. Si c'est le cas, de telles particules pourraient être candidates à constituer de la matière sombre.

Un diffuseur d'énergie est un endroit idéal pour rechercher de la matière sombre, disent les chercheurs, parce qu'il y a très peu de « bruit de fond » (comme le bombardement typique du rayonnement cosmique), grâce à son blindage et à son emplacement souterrain.

Les chercheurs travaillent en étroite collaboration avec des collègues d'installations d'accélérateurs de particules, afin de mettre en œuvre l'expérience proposée (ils ont déjà démontré la faisabilité d'une telle expérience à l'accélérateur linéaire de Stanford, ou accélérateur SLAC).

Même s'il est fort possible qu'une telle expérience ne permette pas de trouver de matière sombre (elle ne détecterait que des particules légères qui interagissent faiblement), elle permettra tout de même de clarifier notre compréhension des composants fondamentaux de la nature.

« Les résultats feront partie d'une œuvre plus grande – la courtepointe de nos connaissances » [traduction], dit Natalia Toro.

Références

W. ALTMANNSHOFER (Institut Périmètre), S. GORI (Institut Périmètre), M. POSPELOV (Institut Périmètre) et I. YAVIN (Institut Périmètre). *Dressing $L_\mu - L_\tau$ in Color*, arXiv:1403.1269.

W. ALTMANNSHOFER (Institut Périmètre), S. GORI (Institut Périmètre), M. POSPELOV (Institut Périmètre) et I. YAVIN (Institut Périmètre). *Neutrino Trident Production: A Powerful Probe of New Physics with Neutrino Beams*, arXiv:1406.2332.

E. IZAGUIRRE (Institut Périmètre), G. KRnjaIC (Institut Périmètre), P. SCHUSTER (Institut Périmètre) et N. TORO (Institut Périmètre). « New Electron Beam-Dump Experiments to Search for MeV to few-GeV Dark Matter », *Physical Review D*, vol. 88, 2013, article n° 114015, arXiv:1307.6554.

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.

Un pont entre cordes et champs

Que se passe-t-il lorsque 2 ou plusieurs particules se rencontrent?

C'est peut-être l'une des questions les plus fondamentales de la physique des particules. Pour répondre à cette question, les physiciens calculent ce que l'on appelle techniquement des amplitudes de diffusion, qui donnent la probabilité de chaque résultat possible.

Traditionnellement, le calcul d'amplitudes de diffusion est très difficile, puisque les chercheurs doivent tenir compte de chacun des résultats possibles d'une interaction, puis faire la somme de toutes ces possibilités, même pour faire la prédiction la plus simple. Dans bien des cas, ces calculs sont tellement complexes qu'ils deviennent impossibles.

Heureusement, il y a eu au cours de la dernière décennie des progrès spectaculaires – dont une grande partie à l'Institut Périmètre – dans la compréhension et le calcul des amplitudes de diffusion. C'est particulièrement vrai dans le cas de la diffusion de particules dépourvues de masse qui transmettent des forces (comme les photons, les gluons et les gravitons) et se déplacent dans l'espace à 4 dimensions (3 dimensions spatiales, plus le temps) qui nous est familier.

Le professeur **Freddy Cachazo**, le postdoctorant **Song He** et le doctorant **Ellis Yuan**, tous de l'Institut Périmètre, se sont demandé si les nouvelles méthodes de calcul des amplitudes de diffusion devaient s'en tenir à 4 dimensions. Ils ont entrepris un programme de recherche dans le but d'étudier si les nouvelles techniques mises au point peuvent s'appliquer à la diffusion de particules dans d'autres types d'espaces.

Les chercheurs ont trouvé que les nouvelles interprétations de la diffusion peuvent effectivement être étendues à un plus grand nombre de dimensions. Ils ont écrit une formule très compacte de la diffusion de particules scalaires, gluons et gravitons dépourvus de masse, qui est valable dans un nombre

quelconque de dimensions. Cela comprend les espaces à 10 et à 11 dimensions souvent décrits par la théorie des cordes.

Cette nouvelle formule établit des ponts étonnants entre la théorie des cordes et une théorie quantique des champs plus ordinaire. Elle implique même l'existence d'une description semblable à la théorie des cordes applicable à une pure théorie quantique des champs.

Il s'agit de travaux passionnants qui se situent aux fondements de la physique mathématique. Ils ont inspiré jusqu'à maintenant 42 articles de suivi, suscitant des progrès en théorie quantique des champs, en théorie des cordes et même en mathématiques pures.

Un coup de pied dans une horloge quantique

Les systèmes qui sont loin d'un état d'équilibre sont difficiles à comprendre. Prenons par exemple une horloge. C'est assez facile de décrire le balancement du pendule d'une horloge grand-père. C'est encore plus facile lorsque l'horloge est arrêtée. Mais si vous donnez un bon coup de pied sur l'horloge, pouvez-vous prédire le mouvement du pendule pendant que l'horloge vacille, bascule, puis tombe sur le plancher?

Le coup de pied sur une horloge illustre le défi que représente l'étude de systèmes qui sont loin d'un état d'équilibre. Inutile de dire que ce n'est pas facile. Et c'est encore plus difficile si l'on ajoute l'aspect quantique. Les physiciens ont réalisé certains progrès, mais ils cherchent encore des outils théoriques largement applicables – ou, idéalement, un ensemble de principes universels – permettant de décrire des systèmes qui sont loin d'un état d'équilibre. Mais il semble maintenant que des chercheurs de l'Institut Périclète aient trouvé un tel principe.

Le professeur **Robert Myers**, le professeur associé **Alex Buchel** et le doctorant **Anton van Neikerk**, tous de l'Institut Périclète, ont décidé d'étudier des systèmes qui sont loin d'un état d'équilibre sous un aspect de la théorie des cordes appelé techniquement correspondance AdS/CFT. En vertu de la correspondance AdS/CFT, certaines théories quantiques des champs – qui constitueraient normalement le langage utilisé pour décrire des systèmes quantiques – peuvent se traduire dans le langage de la gravitation.

Plus précisément, la correspondance AdS/CFT montre qu'un système quantique qui se dirige vers un état d'équilibre peut aussi être décrit comme une coquille d'énergie qui s'effondre pour former un trou noir. Cela peut sembler un détour inutile, mais il rend le système plus facile à décrire mathématiquement.

Dans un premier temps, cette démarche a permis aux chercheurs de calculer la quantité d'énergie ajoutée au système après qu'il ait reçu des coups de pied (mathématiques) de différentes forces. Mieux encore, Robert Myers, Sumit Das, de l'Université du Kentucky, et **Damian Galante**, doctorant à l'Institut Périclète, sont parvenus à généraliser ce résultat. La théorie des cordes leur a permis de décrire un

comportement simple d'un système se dirigeant vers un état d'équilibre, et ce comportement demeure valable pour une vaste catégorie de systèmes.

Les chercheurs ont publié des articles sur ce sujet dans *Physical Review Letters* en 2013-2014, et leurs travaux se poursuivent.

Références

F. CACHAZO (Institut Péricimètre), S. HE (Institut Péricimètre et Institut d'études avancées de Princeton) et E.Y. YUAN (Institut Péricimètre et Université de Waterloo). « Scattering of Massless Particles: Scalars, Gluons and Gravitons », *Journal of High Energy Physics*, n° 1407, 2014, article n° 033, arXiv:1309.0885.

A. BUCHEL (Institut Péricimètre et Université Western), R.C. MYERS (Institut Péricimètre) et A. VAN NIEKERK (Institut Péricimètre et Université de Waterloo). « Universality of Abrupt Holographic Quenches », *Physical Review Letters*, vol. 111, 2013, article n° 201602, arXiv:1307.4740.

S.R. DAS (Université du Kentucky), D.A. GALANTE (Institut Péricimètre et Université Western) et R.C. MYERS (Institut Péricimètre). « Universal scaling in fast quantum quenches in conformal field theories », *Physical Review Letters*, vol. 112, 2014, article n° 171601, arXiv:1401.0560.

Gravitation quantique

La théorie de la gravitation quantique cherche à unifier la relativité générale d'Einstein 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.

Un domaine qui vise l'unification

Comme la force de gravité que nous expérimentons tous les jours, le domaine de la gravitation quantique tend à rassembler les choses.

Voyez comment la gravité unit des choses bien différentes – p. ex. vos pieds et la planète Terre – d'une manière qui semble parfaitement naturelle, même si vous ne comprenez pas entièrement les forces en jeu.

La recherche en gravitation quantique vise elle aussi à unifier des choses disparates : la théorie de l'infiniment petit (la mécanique quantique) et la théorie de l'infiniment grand (la relativité générale). Le chaînon manquant dans notre compréhension de la nature se situe entre ces deux domaines, dans le monde des objets qui sont à la fois très lourds et très petits (comme les trous noirs et la singularité du Big Bang). C'est le monde de la recherche en gravitation quantique.

Comme les phénomènes étudiés sont très éloignés de notre expérience quotidienne – et très difficiles à mesurer de manière expérimentale – beaucoup de recherches théoriques sont en cours, dans l'espoir d'améliorer nos connaissances dans ce domaine.

À titre d'exemple, **Laurent Freidel**, professeur à l'Institut Périmètre, a récemment réalisé des progrès importants sur un sujet ancien – la relation entre la gravité et la thermodynamique, suggérée par la découverte de Stephen Hawking selon laquelle les trous noirs sont chauds.

L'existence possible d'un lien profond entre la gravitation, la physique quantique et la thermodynamique suscite beaucoup d'intérêt depuis les années 1970. Les travaux de M. Freidel étendent ce lien selon deux axes importants : premièrement, le lien s'applique aux situations qui ne sont pas en équilibre thermodynamique (les travaux antérieurs traitent les trous noirs comme étant en équilibre); deuxièmement, ses travaux montrent que la correspondance s'étant à des espaces-temps généralisés.

La contribution originale de Laurent Freidel a consisté à introduire un écran – une sorte de membrane étirée dans tout l'espace-temps – pour démontrer que, à mesure que l'espace-temps évolue (conformément aux équations d'Einstein) la matière contenue dans la membrane obéit aux lois de systèmes qui ne sont pas en équilibre thermodynamique.

La flèche du temps

Alors que les travaux de Laurent Freidel portent sur des processus qui évoluent dans le temps, **Flavio Mercati**, postdoctorant à l'Institut Péricimètre, s'est récemment attaqué à la question de savoir pourquoi le temps lui-même s'écoule comme il le fait.

M. Mercati, et ses collaborateurs Julian Barbour et Tim Koslowski, ont proposé une nouvelle explication de ce que l'on appelle la « flèche du temps », qui décrit la progression universelle du passé vers le présent puis l'avenir.

Mais *pourquoi* le temps file-t-il tout droit comme une flèche et ne revient-il jamais en arrière? Cette question fait l'objet de beaucoup de recherches et de débats. La flèche du temps est souvent expliquée par ce que l'on appelle l'« hypothèse du passé », qui présume que l'univers a commencé dans un état très particulier de faible entropie – scénario bien net selon lequel l'univers naissant était rangé avant de devenir progressivement de plus en plus désordonné.

Mais des observations donnent à penser que notre univers a commencé dans un état très désordonné (une « soupe de plasma » proche de l'équilibre thermique), puis a évolué pour aboutir aux structures magnifiquement ordonnées d'aujourd'hui, comme les galaxies et les systèmes solaires.

Flavio Mercati et les autres co-auteurs sont d'avis qu'une explication plus plausible de la flèche du temps est fondée sur la complexité.

Le modèle qu'ils ont étudié comporte dans toutes ses solutions une croissance irréversible de la complexité, et cela implique que le temps s'écoule nécessairement du passé vers l'avenir.

Des programmes de recherche tels que ceux de Laurent Freidel et de Flavio Mercati sont des composantes cruciales d'une étude à plusieurs facettes de la gravitation quantique – qui réunit des domaines et des idées autrefois disparates –, dans la quête d'une compréhension cohérente et unifiée de notre univers aux échelles les plus petites et les plus grandes.

Références

L. FREIDEL (Institut Péricimètre). *Gravitational Energy, Local Holography and Non-equilibrium Thermodynamics*, arXiv:1312.1538.

J. BARBOUR (College Farm et Université d'Oxford), T. KOSLOWSKI (Université du Nouveau-Brunswick) et F. MERCATI (Institut Péricimètre). *A Gravitational Origin of the Arrows of Time*, arXiv:1310.5167.

Fondements quantiques

L'étude des fondements quantiques porte sur les bases conceptuelles et mathématiques de la physique quantique. À l'Institut Périmètre, 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.

Extension du théorème de Noether

Le théorème de Noether est l'un des outils mathématiques les plus connus et les plus puissants de la physique. Il montre que toute symétrie dans les lois du mouvement implique une loi de conservation. Par exemple, le fait que les lois physiques ne changent pas avec le temps implique la conservation de l'énergie, et le fait qu'elles soient les mêmes partout impliquent la conservation du moment.

Le théorème de Noether est important non seulement de par ce qu'il nous enseigne sur les lois de conservation, mais aussi comme outil de calcul pratique. Par exemple, on l'utilise beaucoup lorsque l'évolution d'un système est trop complexe pour qu'on puisse le résoudre exactement, ou lorsque certains détails de sa dynamique sont inconnus. Dans ces cas, malgré les difficultés ci-dessus, le théorème de Noether permet aux chercheurs d'utiliser les symétries de la dynamique du système pour en déduire des contraintes fortes sur son évolution.

Cependant, même s'il est beaucoup utilisé, le théorème de Noether est déficient sous deux aspects. Premièrement, il ne s'applique qu'aux systèmes qui n'interagissent pas avec leur environnement. Deuxièmement, même dans le cas de systèmes isolés, il ne rend pas compte de toutes les conséquences des symétries.

Dans un article récent, **Robert Spekkens**, professeur à l'Institut Périmètre, et l'étudiant diplômé Iman Marvian étendent le théorème de Noether. Ils élaborent des mesures indiquant jusqu'à quel point un état quantique viole une symétrie donnée et démontrent que ces mesures n'augmentent pas en vertu de lois du mouvement qui respectent cette symétrie, même si le système interagit avec son environnement. Dans le cas de systèmes isolés, cela donne de nouvelles lois de conservation.

Ce résultat a un intérêt immédiat pour les physiciens, mais il a aussi de nombreuses applications pratiques dans les technologies quantiques émergentes. Par exemple, on peut l'utiliser pour mesurer la cohérence quantique, pour déduire des limites, indépendantes du modèle, du rendement d'amplificateurs quantiques et pour évaluer des procédés quantiques afin d'atteindre des normes de haute précision.

Le travail d'élaboration de diverses mesures intéressantes d'asymétrie effectué par les auteurs repose sur des idées de la théorie de l'information quantique. Cela illustre de façon remarquable l'intérêt d'étayer la théorie de l'information quantique dans un cadre élargi de recherche en physique théorique, ce que fait l'Institut Périmètre depuis sa fondation.

Les pourquoi de la mécanique quantique

La mécanique quantique fonctionne. L'ennui, c'est que personne ne sait *pourquoi* elle fonctionne. Considérez la relativité restreinte, qui repose sur seulement 2 principes fondamentaux concernant la nature des lois physiques et la vitesse de la lumière. Si la mécanique quantique possède de tels principes fondamentaux sous-jacents, nous ne savons pas encore ce que sont ces principes.

Cela pose un problème lorsque les physiciens essaient d'étendre ou de généraliser la théorie au-delà de la mécanique quantique. Comme nous ne connaissons pas les principes sous-jacents de la mécanique quantique, nous ne pouvons pas distinguer ce qui est fondamental des artefacts résultant de la manière dont nous avons élaboré la théorie. Lorsque nous sortons des sentiers battus en physique quantique, nous ne savons pas bien dans quelle direction il faut aller.

Ryszard Kostecki, postdoctorant à l'Institut Périmètre, espère trouver cette direction, et ultimement déduire la structure qui unifie la mécanique quantique et la théorie quantique des champs non perturbative à partir de principes significatifs de la théorie de l'information.

Dans ses travaux récents, M. Kostecki a étudié une relation entre, d'une part, la manière dont les états quantiques changent lorsqu'on les mesure et, d'autre part, comment les mesures de probabilité évoluent lorsque l'on acquiert de l'information nouvelle. Pour parler plus techniquement, il a reconsidéré l'idée selon laquelle la règle de Lüders, centrale en mécanique quantique, est analogue à la règle de Bayes, centrale en théorie des probabilités.

Au cours des dernières décennies, des chercheurs ont découvert que la règle de Bayes peut être déduite comme un cas particulier d'un principe plus général de la théorie de l'information. Appelé maximisation contrainte de l'entropie relative, ce principe dit que, lorsque l'on acquiert une nouvelle information, le nouvel état de connaissance qui en résulte devrait être en accord avec cette information tout en étant maximale non contraint par tout le reste.

La règle de Bayes repose donc sur un principe sous-jacent, celui de l'entropie maximale. Ryszard Kostecki et ses collaborateurs ont prouvé que la règle de Lüders peut aussi être déduite de ce principe. Ainsi, l'analogie conceptuelle entre la règle de Bayes et la règle de Lüders devient une propriété mathématique précise : ces règles constituent deux cas d'un même principe unificateur. La prochaine étape consiste à étudier d'autres cas particuliers de ce principe comme de nouvelles formes potentielles de dynamique de l'information quantique.

La construction de la physique quantique à partir de la base, sur le modèle de la théorie des probabilités, est une entreprise très ambitieuse. Mais tout succès obtenu par Ryszard Kostecki et ses collègues rapporterait des dividendes considérables : elle rendrait la physique quantique plus générale sur le plan mathématique et plus claire sur le plan conceptuel.

Références

I. MARVIAN (Institut Périmètre, Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo et Centre d'informatique et de technologie quantiques de l'Université de la Californie du Sud) et R.W. SPEKKENS (Institut Périmètre). « Extending Noether's theorem by quantifying the asymmetry of quantum states », *Nature Communications*, vol. 5, 2014, article n° 3821, arXiv:1404.3236.

F. HELLMAN (Institut Albert-Einstein et Institut de recherche sur les impacts climatiques de Potsdam), W. KAMIŃSKI (Institut Périmètre et Institut de physique théorique de l'Université de Varsovie) et R.P. KOSTECKI (Institut Périmètre). *Quantum collapse rules from the maximum relative entropy principle*, arXiv:1407.7766.

Prix, distinctions et subventions majeures

- Le professeur Freddy Cachazo a reçu un prix *Nouveaux horizons en physique*, d'une valeur de 100 000 \$, accordé par la Fondation des Prix de physique fondamentale.
- Le professeur Dmitry Abanin a reçu une bourse de recherche Sloan 2014 d'une valeur de 50 000 \$.
- Le professeur Guifre Vidal a obtenu une subvention de 835 000 \$ de la Fondation Simons en tant que membre du Groupe de réseau de tenseurs, dans le cadre du projet collaboratif Simons sur le problème de N électrons.
- Mike Lazaridis, fondateur et président du conseil d'administration de l'Institut Périmètre, a été élu membre de la Société royale de Londres.
- Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a été élu membre de la Société royale du Canada.
- Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a remporté le prix Lane-Anderson 2013 d'écriture scientifique au Canada, pour son ouvrage intitulé *The Universe Within: From Quantum to Cosmos* (L'univers vu de l'intérieur : du quantum au cosmos).
- Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a reçu des doctorats honorifiques de l'Université Rhodes et de l'Université métropolitaine Nelson-Mandela, toutes deux situées en Afrique du Sud, ainsi que de l'Université Saint Mary's de Halifax.
- Le professeur associé Roger Melko a été nommé titulaire de la chaire de recherche (de niveau 2) du Canada en physique informatique quantique à N corps.
- Le professeur Guifre Vidal et le professeur associé Roger Melko ont obtenu une subvention de 454 000 \$ de la Fondation John-Templeton pour leur projet portant sur la simulation de l'émergence dans la matière quantique.
- Xiao-Gang Wen, titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique, a obtenu une subvention de 452 000 \$ de la Fondation John-Templeton pour son projet portant sur l'émergence de particules élémentaires et de lois fondamentales à partir d'états d'intrication quantique.
- Leon Balents, Joel Moore, Senthil Todadri et Ashvin Vishwanath, titulaires de chaire de chercheur invité distingué, ont été élus membres de la Société américaine de physique.

- Flavio Mercati, boursier postdoctoral dans le cadre du programme *Frontières Templeton*, a obtenu une subvention de 140 000 \$ de l'institut FQXi (*Foundational Questions Institute*) pour son projet de recherche sur l'information, la complexité et la flèche du temps en dynamique des formes. D'autres récipiendaires de subventions de l'institut FQXi sont liés à l'Institut Périmètre : Adrian Kent (72 500 \$) et Patrick Hayden (127 000 \$), titulaires de chaire de chercheur invité distingué, ainsi que Giulio Chiribella (48 000 \$) et Jonathan Barrett (120 000 \$), adjoints invités.
- Flavio Mercati, boursier postdoctoral dans le cadre du programme *Frontières Templeton*, a été l'un des lauréats du 4^e prix au concours d'essais de l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*).
- Eugenio Bianchi a reçu le 1^{er} prix Bronstein, alors qu'il était postdoctorant à l'Institut Périmètre, « pour ses contributions intéressantes sur l'entropie des trous noirs, la géométrie discrète de l'espace-temps quantique et la propagation des gravitons dans cet espace-temps, de même que pour son enthousiasme inspirant et son esprit de collaboration » [traduction].
- David Skinner, adjoint invité à l'Institut Périmètre, a remporté un « prix 2013 du meilleur article » du *Journal of Physics A*, pour son texte intitulé *Amplitudes at weak coupling as polytopes in AdS₅*.
- Lauren Hayward, étudiante diplômée associée à l'Institut Périmètre, a été nommée l'une des « futures têtes d'affiche du Canada » de 2014 par le magazine *Maclean's*.
- Quatre chercheurs de l'Institut Périmètre ont reçu du gouvernement de l'Ontario des bourses de nouveau chercheur d'une valeur de 140 000 \$ chacune :
 - Davide Gaiotto, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique;
 - le professeur Dmitry Abanin;
 - la professeure Bianca Dittrich;
 - la professeure Natalia Toro.
- Des chercheurs de l'Institut Périmètre ont obtenu des subventions à la découverte du CRSNG, d'un montant total de 790 000 \$ (pour une période de 5 ans), réparti comme suit :
 - le professeur Jaume Gomis : 300 000 \$ (60 000 \$ par année pendant 5 ans);
 - le professeur Robert Myers : 350 000 \$ (70 000 \$ par année pendant 5 ans);
 - le professeur Kendrick Smith : 140 000 \$ (28 000 \$ par année pendant 5 ans).

Objectif n° 2 : Devenir la résidence de recherche d'une masse critique des plus grands physiciens théoriciens

Résumé des réalisations

- Renouvellement du mandat de Neil Turok pour un 2^e terme de 5 ans comme directeur de l'Institut
- Recrutement de Kevin Costello et de Subir Sachdev comme 4^e et 5^e titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre
- Nomination d'Asimina Arvanitaki comme professeure à plein temps, portant à 22 le nombre total de professeurs à plein temps à l'Institut Périmètre
- Nomination de Raffi Budakian et de James Forrest comme professeurs associés à l'Institut Périmètre, portant leur nombre total à 14.
- Nomination de Zhengcheng Gu comme 1^{er} récipiendaire d'une bourse postdoctorale du directeur

Points saillants

Renouvellement du mandat du directeur

Depuis son arrivée en 2008 en provenance de l'Université de Cambridge, Neil Turok a mené la croissance stratégique et le développement de l'Institut, contribuant à sa progression rapide en taille et en réputation internationale. Les points saillants du 1^{er} mandat de M. Turok comprennent de nombreux succès de recrutement⁴, la mise sur pied du programme de chaires de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre, la création du programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre) et la venue des premiers titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre, Xiao-Gang Wen et Davide Gaiotto. En octobre 2013, Neil Turok a commencé un 2^e terme de 5 ans comme directeur de l'Institut Périmètre, suite à une décision unanime du conseil d'administration de l'Institut.

Chaires de recherche de l'Institut Périmètre

Le programme de chaires de recherche de l'Institut Périmètre a été conçu pour attirer des chercheurs de premier plan à l'échelle mondiale dans des domaines choisis de manière stratégique. L'Institut vise à recruter des scientifiques dans la phase la plus productive de leur carrière, pour qu'ils animent des groupes de recherche dynamiques, et à leur procurer les ressources nécessaires pour faire des progrès rapides sur des questions clés.

⁴ Depuis l'arrivée de Neil Turok, l'Institut Périmètre a recruté 15 nouveaux professeurs et 9 professeurs associés.

Ce programme s'est avéré profitable pour l'Institut. Le recrutement de Xiao-Gang Wen, titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton de physique théorique, a contribué de manière importante à attirer Dmitry Abanin, Sung-Sik Lee, Guifre Vidal et Roger Melko au sein du corps professoral de l'Institut. En quelques années seulement, l'Institut Périclès est devenu l'une des premières destinations au monde pour des chercheurs dans le domaine de la matière condensée.

Les chaires de recherche de l'Institut Périclès se veulent les chaires de physique théorique les plus prestigieuses au monde, chacune portant le nom d'un scientifique légendaire dont les idées ont contribué à définir la physique moderne. Chaque titulaire recruté constitue un important gain de talent pour le Canada. Au cours de l'année écoulée, l'Institut Périclès a dépassé ses objectifs pour ce programme, ce qui montre le pouvoir d'attraction qu'il exerce déjà dans la communauté élargie de la physique.

En novembre 2013, l'Institut Périclès a conclu un partenariat avec la Fondation Krembil pour la dotation de 2 nouvelles chaires de recherche : la chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique et la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique.

Davide Gaiotto, largement considéré comme le principal jeune spécialiste mondial de la théorie quantique des champs, est le 1^{er} titulaire de la chaire Galilée. L'Institut Périclès a recruté Kevin Costello, l'un des meilleurs jeunes mathématiciens au monde, à titre de titulaire de la chaire Hamilton; il arrivera en août 2014 en provenance de l'Université Northwestern et sera à la tête de l'expansion de l'Institut Périclès en mathématiques et en physique mathématique.

Enfin, en février 2014, l'Institut Périclès a nommé Subir Sachdev titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique, à titre de chercheur invité. Il s'est joint à Xiao-Gang Wen, Davide Gaiotto, Kevin Costello et Neil Turok, pour devenir le 5^e titulaire d'une chaire de recherche de l'Institut Périclès.

Nouveaux titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périclès recrutés en 2013-2014

Kevin Costello (Ph.D., Université de Cambridge, 2003) se joindra à l'Institut en août 2014, en provenance de l'Université Northwestern, où il est professeur depuis 2006. Il sera le 1^{er} titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique de l'Institut. 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.

Subir Sachdev (Ph.D., Université Harvard, 1985) est devenu en février 2014 titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Périclès (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 Péricimètre de 2009 à 2014.

Professeurs

Le corps professoral à plein temps de l'Institut Péricimètre est formé d'éminents scientifiques d'expérience et de brillants jeunes chercheurs dans tous les domaines de la physique théorique. En plus des nouveaux titulaires de chaire de recherche, l'Institut Péricimètre a recruté en mars 2014 une professeure exceptionnelle en la personne d'Asimina Arvanitaki. L'Institut compte maintenant 22 professeurs à plein temps, conformément aux objectifs fixés.

Nouvelle professeure recrutée en 2013-2014

Asimina Arvanitaki (Ph.D., Université Stanford, 2008) est devenue professeure à l'Institut Péricimètre en mars 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. C'est une pionnière de l'utilisation d'objets diélectriques en lévitation optique pour détecter des ondes gravitationnelles. 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 ».

Professeurs associés

Grâce à son programme de professeurs associés, l'Institut Péricimètre cherche à attirer et à retenir des scientifiques exceptionnels dans le cadre de nominations conjointes avec des universités canadiennes partenaires. Chaque professeur associé passe jusqu'à 50 % de son temps à l'Institut Péricimètre, en plus d'enseigner et de faire de la recherche dans l'université partenaire.

Ce programme a permis d'amener au Canada des scientifiques jouissant d'une grande réputation à l'échelle internationale, en mettant en évidence les possibilités uniques offertes tant par l'Institut Péricimètre que par ses universités partenaires⁵. Chaque professeur ainsi recruté accroît la force de plus en plus grande du pays en physique fondamentale, tout en rendant l'Institut Péricimètre et ses partenaires institutionnels plus attrayants pour de jeunes professeurs, postdoctorants et étudiants diplômés exceptionnels.

En 2013-2014, conformément aux objectifs fixés, l'Institut Péricimètre a recruté 2 nouveaux professeurs associés, Raffi Budakian (avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo) et James Forrest (également à l'Université de Waterloo), tous deux physiciens de la matière condensée. L'Institut compte maintenant 14 professeurs associés⁶. De plus, l'Institut a recherché un candidat en vue d'un recrutement conjoint avec le Département de mathématiques de l'Université de Toronto. Ce serait la 1^{ère} nomination conjointe de l'Institut Péricimètre avec l'Université de Toronto, l'une des universités canadiennes les plus prestigieuses. L'Institut compte combler le poste en 2014-2015.

Nouveaux professeurs associés recrutés en 2013-2014

Raffi Budakian (Ph.D., Université de la Californie à Los Angeles, 2000) est devenu professeur associé à l'Institut Péricimètre en juin 2014, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, où il est titulaire de la chaire financée par un fonds de dotation de l'Institut de nanotechnologie de Waterloo (WIN) en supraconductivité. M. Budakian est arrivé à Waterloo en provenance de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. Auparavant, il a occupé des postes 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 de détection ultrasensibles 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.

James Forrest (Ph.D., Université de Guelph, 1994) s'est joint à l'Institut Péricimètre en février 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 corécipiendaire de la médaille Brockhouse 2013 de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes.

⁵ Au cours des dernières années, l'Institut Péricimètre a réussi à attirer certains chercheurs de premier plan qui avaient des postes permanents aux États-Unis, dont Luis Lehner (Université d'État de Louisiane), David Cory (Institut de technologie du Massachusetts) et, tout récemment, Raffi Budakian (Université de l'Illinois à Urbana-Champaign).

⁶ Les professeurs associés sont nommés pour des durées fixes de 3 à 7 ans. Aucun professeur associé n'a complété son terme en 2013-2014.

Boursier du directeur

Le poste de boursier du directeur est un nouveau poste qui vise à encourager de jeunes chercheurs innovateurs en début de carrière. Les boursiers du directeur bénéficient du mentorat de professeurs de l'Institut et d'une totale liberté de recherche. Zhengcheng Gu a été désigné à l'automne 2013 comme 1^{er} boursier du directeur.

Zhengcheng Gu (Ph.D., Centre d'études avancées de l'Université Tsinghua (CASTU), 2007) est arrivé à l'Institut Périètre à l'automne 2013 après avoir été chercheur invité pendant un an à l'Institut de technologie de la Californie. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara ainsi qu'à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT). Son domaine de recherche est l'étude théorique des états topologiques dans les systèmes quantiques fortement corrélés. Zhengcheng Gu a mis au point de nouvelles méthodes analytiques et numériques afin d'explorer et de comprendre l'émergence d'états topologiques dans de tels systèmes. Il s'intéresse également à la réalisation expérimentale d'états topologiques dans des systèmes d'atomes froids et à l'état solide. Il a récemment appliqué le concept de topologie à la physique des hautes énergies et à la gravitation quantique.

Objectif n° 3 : Devenir un incubateur des talents les plus prometteurs

Résumé des réalisations

- Recrutement de 16 postdoctorants en 2013-2014 et de 21 autres pour 2014-2015
- Obtention de postes de professeur menant à la permanence pour 7 finissants en postdoctorat
- Nomination de James Forrest comme nouveau directeur des programmes d'enseignement
- Succès de la 5^e année du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre) pour 31 étudiants de maîtrise
- Formation de 42 doctorants
- Séjour à l'Institut de 24 adjoints diplômés invités
- Formation à la recherche de 8 étudiants de 1^{er} cycle

Points saillants

Postdoctorants

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a embauché 16 postdoctorants et en a recruté 21 autres pour 2014-2015, dépassant les objectifs fixés. L'Institut a reçu 735 candidatures pour ses postes de postdoctorant en 2014-2015, soit le nombre le plus élevé de son histoire, ce qui témoigne de la réputation internationale de l'Institut.

L'Institut Périmètre est connu dans le monde entier pour son milieu exceptionnellement stimulant et le soutien qu'il apporte. Les postdoctorants y jouissent d'une indépendance totale dans leurs recherches et sont encouragés à explorer des voies innovatrices et ambitieuses. L'Institut offre des occasions inégalées de collaboration, grâce à de nombreux partenariats stratégiques, notamment avec des centres d'observation et d'expérimentation tels que le Laboratoire TRIUMF, le CERN, ainsi que l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (voir l'objectif n° 6). L'Institut Périmètre met en outre à profit ses partenariats pour offrir à certains candidats de premier plan des postes conjoints de postdoctorant⁷.

La formation à l'Institut Périmètre rapporte des dividendes. En 2013-2014, malgré un marché universitaire qui demeure très concurrentiel partout dans le monde, 7 finissants en postdoctorat ont obtenu des postes de professeur menant à la permanence : Eugenio Bianchi (Université d'État de la Pennsylvanie), Valentin Bonzom (Université Paris 13), Nikolay Bobev (Institut de physique théorique de l'Université catholique de Louvain), Alioscia Hama (Université Tsinghua), Chad Hanna (Université d'État de la Pennsylvanie), Chris Laumann (Université de l'État de Washington) et Amit Sever (Université

⁷ En 2013-2014, l'Institut Périmètre a offert 3 postes de ce type, tous avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo.

de Princeton). Plusieurs autres finissants en postdoctorat ont décroché des emplois prestigieux dans le milieu universitaire et l'industrie.⁸

Nouveau directeur des programmes d'enseignement

Après avoir dirigé pendant plus de 5 ans les programmes d'enseignement de l'Institut Périmètre, John Berlinsky a quitté son poste en juin 2014 pour devenir sous-directeur de l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara. James Forrest a été désigné en février 2014 pour lui succéder, ce qui a permis une période de transition de 5 mois.

James Forrest est un éminent physicien dans le domaine de la matière condensée. On s'attend à ce que sa nomination renforce les liens de l'Institut Périmètre avec un partenaire universitaire de première importance. En effet, tout en conservant son poste à l'Université de Waterloo, M. Forrest supervisera le programme de maîtrise PSI, le programme de doctorat, le programme d'adjoints diplômés invités et le programme pour étudiants de 1^{er} cycle. Il arrive à l'Institut Périmètre avec une riche expérience de l'enseignement supérieur, dont 4 ans comme directeur de l'Institut de physique de Guelph-Waterloo et 2 ans comme doyen adjoint responsable de la recherche à la Faculté des sciences de l'Université de Waterloo. James Forrest a également été nommé professeur associé à l'Institut Périmètre (voir l'objectif n° 2).

Programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre)

- En 2013-2014, formation de 31 étudiants, dont 9 femmes, provenant de 17 pays, dans le cadre du programme PSI

PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre) est un programme du niveau de la maîtrise qui attire des diplômés très doués venus du monde entier et les amène à la fine pointe de la physique théorique en une année universitaire. Ce programme innovateur comprend des modules de 3 semaines de cours donnés par des conférenciers de premier plan venus du monde entier⁹. Six assistants à plein temps de niveau postdoctoral et plusieurs assistants d'enseignement diplômés fournissent aide et conseils aux étudiants pendant toute l'année. Les finissants reçoivent un diplôme de maîtrise de l'Université de Waterloo.

Le programme PSI amène au Canada des diplômés qui ont un potentiel scientifique élevé, et l'Institut Périmètre choisit les meilleurs d'entre eux pour qu'ils poursuivent leur formation au niveau du doctorat. Onze étudiants – environ 35 % de la promotion 2013-2014 – restent au Canada pour poursuivre leurs études de doctorat, dont 8 à l'Institut Périmètre. De nombreux autres feront leurs études de doctorat

⁸ À titre d'exemple, Ajay Singh est devenu gestionnaire du risque chez Polar Securities à Toronto.

⁹ En 2013-2014, le corps professoral du programme PSI comprenait 13 professeurs de l'Institut Périmètre, 2 postdoctorants à l'Institut Périmètre et 8 autres scientifiques de calibre international.

dans des institutions de haut calibre à l'étranger, par exemple l'Université de Cambridge, l'Université de Princeton, l'Université Harvard et l'Université Stanford.

Le programme PSI consolide les liens entre l'Institut Périmètre et ses partenaires régionaux. Des professeurs d'universités voisines participent aux activités d'enseignement et à la supervision de projets de recherche. Cette année, tous les cours du programme PSI ont été ouverts aux étudiants diplômés de l'extérieur de l'Institut Périmètre qui avaient une autorisation spéciale, ce qui a enrichi d'autant l'offre de cours aux étudiants diplômés de toute la région¹⁰.

Le programme PSI continue de gagner en prestige, en compétitivité et en popularité. Pour la promotion 2014-2015, l'Institut Périmètre a reçu 366 candidatures de 63 pays, soit 5 % de plus que l'an dernier¹¹.

Doctorants

- L'Institut Périmètre comptait 42 doctorants en résidence en 2013-2014.
- Trois candidats ont complété leur doctorat, et tous ont obtenu par voie de concours des bourses postdoctorales.

Le programme de doctorat continue de croître comme prévu, en partie parce que l'Institut recrute les meilleurs diplômés de son programme PSI, qui poursuivent leurs études avec des professeurs de l'Institut. À la fin de l'exercice, l'Institut Périmètre comptait 42 doctorants en résidence, dont 25 avaient obtenu leur maîtrise dans le cadre du programme PSI. De plus, 6 étudiants en résidence dans nos universités partenaires étaient dirigés par des professeurs associés de l'Institut Périmètre.

Comme l'Institut Périmètre ne décerne pas de diplôme, son programme de doctorat amène des étudiants de premier plan non seulement à l'Institut, mais aussi dans les universités partenaires qui délivrent les diplômes, ce qui constitue un important gain de talents pour le Canada.

Trois doctorants travaillant sous la direction de professeurs de l'Institut ont obtenu leur doctorat d'universités partenaires en 2013-2014, et tous ont obtenu par voie de concours des bourses postdoctorales.

Adjoints diplômés invités

- Accueil de 24 adjoints diplômés invités, pour un total de 26 séjours en 2013-2014

Le programme d'adjoints diplômés invités offre à des doctorants avancés du monde entier la possibilité de passer plusieurs mois à l'Institut Périmètre. Cela leur permet de se joindre aux chercheurs de l'Institut et d'échanger avec des chercheurs de premier plan à un moment charnière de leur formation à

¹⁰ En 2013-2014, 18 étudiants d'universités environnantes se sont inscrits à des cours du programme PSI.

¹¹ 30 étudiants, dont 6 femmes, provenant de 16 pays, ont été acceptés dans le programme pour 2014-2015.

la recherche. Ce programme, qui en est maintenant à sa 3^e année d'existence, a atteint son objectif d'avoir en tout temps 3 ou 4 adjoints diplômés invités en résidence.

Étudiants de 1^{er} cycle

- Formation à la recherche de 8 étudiants exceptionnels de 1^{er} cycle, provenant d'institutions de premier plan

Dans le cadre de ce programme, des étudiants prometteurs de 1^{er} cycle réalisent des projets de recherche de 2 à 4 mois. Ils acquièrent ainsi une expérience de la recherche de haut niveau, tout en procurant à des postdoctorants de l'Institut Périmètre une précieuse expérience de mentorat. Ce programme contribue également à attirer des cerveaux à l'Institut – Emily Adlam, étudiante dans le programme PSI, le doctorant Dalimil Mazac et le postdoctorant Matteo Smerlak ont participé à ce programme dans le passé.

Objectif n° 4 : Devenir la seconde résidence de recherche de plusieurs grands théoriciens du monde

Résumé des réalisations

- Nomination de 11 scientifiques de premier plan comme titulaires de chaire de chercheur invité distingué, et renouvellement du mandat de 5 autres, portant leur nombre total à 42
- Nomination de 5 jeunes chercheurs accomplis comme adjoints invités, et renouvellement du mandat de 4 autres, portant leur nombre total à 14
- Accueil de 2 chercheuses en début de carrière, à titre de premières boursières Emmy-Noether, et recrutement de 5 autres
- Accueil de 424 chercheurs invités, pour un total de 465 séjours scientifiques

Points saillants

Chaires de chercheur invité distingué

- L'Institut Péricimètre a nommé 11 nouveaux titulaires de chaire de chercheur invité distingué et a renouvelé le mandat de 5 autres¹², portant leur nombre total à 42.
- En 2013-2014, 30 titulaires de chaire de chercheur invité distingué ont effectué en tout 46 séjours à l'Institut Péricimètre.

Unique au monde, le programme de chaires de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre est l'un des programmes les plus fructueux de l'Institut – un moyen stratégique et peu coûteux d'amener à l'Institut Péricimètre des scientifiques de premier plan, pour des séjours prolongés. Les titulaires de chaire de chercheur invité distingué sont nommés pour des termes renouvelables de 3 ou 4 ans et conservent leur poste dans leur établissement d'origine.

Les titulaires de chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre – dont des sommités comme Stephen Hawking, Yakir Aharonov, Renate Loll et Paul Steinhardt – couvrent une gamme extrêmement vaste de compétences (voir l'annexe B, *Titulaires de chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre*). Ils se rendent à l'Institut Péricimètre pour de longues périodes de recherche et de collaboration, et participent à tous les aspects de la vie à l'Institut. À titre d'exemple, S. James Gates fils a conclu par une conférence très bien accueillie la série de conférences publiques 2013-2014 de l'Institut Péricimètre.

¹² James Bardeen, Ganapathy Baskaran, Frans Pretorius, Gerard 't Hooft et Senthil Todadri ont vu leur mandat renouvelé jusqu'en 2017.

Pour les titulaires de chaire de chercheur invité distingué, le temps passé à l'Institut Péricimètre est très productif, puisqu'ils sont libérés de leurs tâches habituelles d'administration et d'enseignement. En échange, leur présence comme conférenciers à des séminaires et colloques, participants à des conférences, professeurs dans le cadre du programme PSI ainsi que collaborateurs est grandement bénéfique pour le milieu de recherche de l'Institut Péricimètre et inspirante pour la communauté des chercheurs résidants de l'Institut.

Avec 42 titulaires de chaire de chercheur invité distingué à la fin de l'exercice 2013-2014, l'Institut Péricimètre a dépassé l'objectif de croisière de ce programme. Les titulaires de ces chaires sont plus actifs que jamais, avec un total de 46 séjours scientifiques au cours de l'année écoulée. Quatre des nouveaux titulaires de chaire de chercheur invité distingué sont des femmes, ce qui témoigne de l'engagement de l'Institut à combattre même au plus haut niveau d'accomplissement le déséquilibre traditionnel des sexes dans ce domaine.

Nouveaux titulaires de chaire de chercheur invité distingué nommés en 2013-2014

Abhay Ashtekar (Ph.D., Université de Chicago, 1974) a le titre de professeur Eberly de physique et dirige l'Institut de la gravitation et du cosmos à l'Université d'État de la Pennsylvanie. En tant que créateur des variables d'Ashtekar, il est l'un des fondateurs de la théorie de la gravitation quantique à boucles. Ses nombreux domaines de recherche comprennent l'entropie des trous noirs, la cosmologie quantique et l'univers naissant, les généralisations de la mécanique quantique, les aspects mathématiques de la théorie quantique des champs, ainsi que de nombreux domaines de la gravitation quantique et de la relativité générale. Entre autres distinctions, Abhay Ashtekar a été boursier de recherche Sloan, et il est membre honoraire de l'Académie des sciences de l'Inde, président de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation, ainsi que membre élu de la Société américaine de physique et de l'Association américaine pour l'avancement de la science. En 2007, il a reçu le Prix de scientifique éminent de la section américaine de l'Association indienne de physique.

Leon Balents (Ph.D., Université Harvard, 1994) est professeur de physique et membre permanent de l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara. Ses recherches portent sur presque tous les domaines de la théorie de la matière condensée et contribuent à la théorie des nouveaux états topologiques des électrons. M. Balents travaille sur le magnétisme frustré (surtout quantique), les phénomènes de corrélation dans les hétérostructures d'oxyde, la dynamique des électrons couplés et les interactions hyperfines dans les boîtes quantiques, l'effet Hall quantique dans le graphène, les atomes ultrafroids piégés, les gaz électroniques unidimensionnels, ainsi que les aspects topologiques des isolants ayant de fortes interactions spin-orbite. Entre autres distinctions, Leon Balents a obtenu un prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis pour l'ensemble de sa carrière, une bourse de recherche Sloan et une bourse de la Fondation Packard. Il a été élu membre de la Société américaine de physique en 2013.

Patrick Brady (Ph.D., Université de l'Alberta, 1994) est professeur de physique et directeur du Centre Leonard-E.-Parker de gravitation, de cosmologie et d'astrophysique à l'Université du Wisconsin à Milwaukee. Ses recherches portent sur la dynamique de l'effondrement gravitationnel, les trous noirs, la

détection d'ondes gravitationnelles à l'aide de détecteurs à interféromètre, de même que sur la relativité numérique, y compris la simulation de la coalescence binaire. M. Brady a reçu une bourse universitaire Cottrell de Research Corporation et une bourse de recherche Sloan en 2002, et a été élu membre de la Société américaine de physique (APS) en 2010. Il a été secrétaire-trésorier et vice-président du groupe de l'APS sur la gravitation et membre du conseil de direction du projet scientifique international LIGO. Patrick Brady a également reçu 6 prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis.

Alessandra Buonanno (Ph.D., Université de Pise, 1996) est professeure de physique à l'Université du Maryland à College Park. Elle entrera en fonction en septembre 2014 comme directrice de la Division d'astrophysique et de cosmologie de l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) à Potsdam, en Allemagne. Mme Buonanno est également membre du Centre de physique fondamentale du Maryland, de l'Institut conjoint de la science et de l'espace, ainsi que du projet scientifique international LIGO. Ses recherches portent sur la physique des ondes gravitationnelles et la cosmologie de l'univers primitif, et plus précisément sur la modélisation analytique de la dynamique et de l'émission d'ondes gravitationnelles par des trous noirs qui fusionnent, sur l'interface entre la relativité analytique et la relativité numérique, de même que sur la recherche d'ondes gravitationnelles à l'aide de détecteurs au sol tels que LIGO, GEO600 et Virgo. Alessandra Buonanno a été boursière de recherche Sloan et boursière Radcliffe à l'Institut Radcliffe d'études avancées de l'Université Harvard. Elle est actuellement membre élue de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation ainsi que de la Société américaine de physique.

Savas Dimopoulos (Ph.D., Université de Chicago, 1978) est membre du corps professoral de l'Université Stanford depuis 1979. Il a également enseigné à l'Université de Boston, à l'Université Harvard ainsi qu'à l'Université de la Californie à Santa Barbara. Il a aussi fait partie du personnel du CERN de 1994 à 1997. M. Dimopoulos est un scientifique de premier plan dans le domaine de la physique des particules et il est bien connu pour ses travaux sur l'élaboration de théories au-delà du modèle standard. Avec ses collaborateurs, il a jeté les bases du modèle standard supersymétrique minimal (MSSM) et proposé le modèle ADD de grandes dimensions supplémentaires. Savas Dimopoulos a reçu de nombreuses distinctions, dont le prix Tommasoni de physique, le prix J.J.-Sakurai de physique théorique de la Société américaine de physique et un prix d'ancien étudiant éminent de l'Université de Houston. Il a été boursier de recherche Sloan et est actuellement membre élu de la Société japonaise pour la promotion de la science ainsi que de l'Académie américaine des arts et des sciences.

Lance Dixon (Ph.D., Université de Princeton, 1986) est professeur à l'Université Stanford. Physicien théoricien spécialisé en physique des particules, il est l'auteur de contributions révolutionnaires au calcul d'amplitudes de diffusion perturbatives. Ses travaux ont permis de mieux comprendre la théorie quantique des champs et ont donné naissance à de puissants nouveaux outils de calcul des processus de chromodynamique quantique. Les recherches actuelles de M. Dixon en phénoménologie portent sur les calculs de précision en chromodynamique quantique utilisés au grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN, où il a passé une année sabbatique en 2010 alors que le LHC entrait en exploitation complète. Lance Dixon étudie également la structure quantique de théories de jauge supersymétriques et de

théories de la gravitation. Il est membre élu de la Société américaine de physique (APS) et corécepteur du prix J.J.-Sakurai 2014 de l'APS.

Gabriela González (Ph.D. Université de Syracuse, 1995) est professeure de physique et d'astronomie à l'Université d'État de Louisiane, de même que porte-parole du projet scientifique international LIGO sur la recherche d'ondes gravitationnelles. Les travaux de Mme González mettent l'accent sur la détection d'ondes gravitationnelles. Elle a été scientifique au sein du groupe MIT-LIGO et professeure à l'Université d'État de Pennsylvanie, avant de se joindre à l'Université d'État de Louisiane en 2001. Elle a reçu en 2007 le prix Edward-A.-Bouchet de la Société américaine de physique.

Shamit Kachru (Ph.D., Université de Princeton, 1994) est professeur de physique à l'Université Stanford depuis 1999. C'est un expert de la théorie des cordes et de la théorie quantique des champs, ainsi que de leurs applications en cosmologie, en physique de la matière condensée et en théorie des particules élémentaires. Il est l'auteur de contributions centrales à l'étude des compactifications de théories des cordes de 10 à 4 dimensions, notamment dans l'exploration de mécanismes qui pourraient donner, grâce à la théorie des cordes, des modèles de l'énergie sombre ou de l'inflation cosmique. M. Kachru est également l'auteur de contributions notables à la découverte et à l'exploration de dualités en théorie des cordes, à l'étude de modèles de rupture de supersymétrie en théorie des cordes, de même qu'à la construction de descriptions duales calculables en physique des particules en régime de couplage fort et de systèmes de matière condensée à l'aide de la correspondance AdS/CFT. Shamit Kachru a reçu de nombreuses distinctions, dont un prix de jeune chercheur exceptionnel du Département américain de l'Énergie, une bourse de recherche Sloan, le prix commémoratif Bergmann, une bourse de la Fondation Packard et le prix de l'ACIPA remis à un jeune physicien exceptionnel.

Matilde Marcolli (Ph.D., Université de Chicago, 1997) est professeure de mathématiques à l'Institut de technologie de la Californie, chercheuse invitée à l'Université d'État de la Floride et professeure honoraire à l'Université de Bonn. C'est une physicienne mathématicienne dont les recherches portent sur les théories de jauge et la topologie dans un petit nombre de dimensions, sur les structures de géométrie algébrique en théorie quantique des champs, de même que sur la géométrie non commutative et ses applications à la théorie des nombres et à des modèles de physique des particules, de gravitation quantique et de cosmologie. Entre autres distinctions, Matilde Marcolli a remporté en 2001 le prix Heinz-Maier-Leibnitz et le prix Sofja-Kovalevskaya, et a occupé de nombreux postes de chercheuse invitée. Elle est l'auteure de 4 livres, dont le plus récent est *Feynman Motives* (Motifs de Feynman), publié en 2009. Elle a aussi dirigé la publication de plusieurs autres ouvrages.

Joel Moore (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2001) est professeur de physique à l'Université de la Californie à Berkeley, où il se consacre à l'étude de la matière condensée. Ses recherches portent sur la physique quantique collective des électrons et des atomes, dont les isolants topologiques et d'autres nouveaux états de la matière. En particulier, M. Moore étudie les matériaux et dispositifs fortement corrélés et se sert de concepts de la théorie de l'information quantique pour analyser des problèmes dans le domaine de la matière condensée. Ses travaux ont été reconnus par l'attribution d'une bourse de recherche Simons, des bourses Hellman et JSPS, ainsi qu'un prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis pour l'ensemble de sa carrière. Joel Moore est membre

du comité consultatif des revues *Physical Review B* et *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, et membre actif de la Division de la physique de la matière condensée de la Société américaine de physique.

Barbara Terhal (Ph.D., Université d'Amsterdam, 1999) est professeure de physique théorique à l'Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle depuis 2010. Auparavant, elle a été pendant 8 ans chercheuse au Centre de recherches Watson d'IBM à New York. Ses recherches portent sur la théorie de l'information quantique – de l'intrication quantique aux algorithmes quantiques, en passant par la cryptographie quantique. Mme Terhal travaille actuellement sur la correction d'erreurs quantiques et sa mise en œuvre dans des qubits à l'état solide, de même que sur la théorie de la complexité quantique. Barbara Terhal est membre élue de la Société américaine de physique et membre associée du programme de recherches en informatique quantique de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA).

Adjoints invités

- L'Institut Périclète a nommé 5 nouveaux adjoints invités et a renouvelé le mandat de 4 autres, portant leur nombre total à 14.
- En 2013-2014, 8 adjoints invités ont effectué en tout 9 séjours à l'Institut Périclète.

Le programme d'adjoints invités est un moyen important d'amener de façon régulière à l'Institut Périclète des chercheurs accomplis. De manière assez semblable aux titulaires de chaire de chercheur invité distingué, les adjoints invités couvrent une vaste gamme de domaines, sont nommés pour des termes renouvelables et conservent leur poste dans leur établissement d'origine tout en venant à l'Institut pour de longs séjours de recherche (jusqu'à 6 mois chaque année).

Ce programme a poursuivi sa croissance rapide en 2013-2014, dépassant les objectifs fixés avec la nomination de 5 nouveaux adjoints invités et le renouvellement du mandat de 4 autres¹³. Deux des nouveaux adjoints invités sont d'anciens postdoctorants de l'Institut Périclète, ce qui permet à l'Institut de maintenir des relations productives avec ses jeunes chercheurs prometteurs, tout en tissant des liens avec les institutions de haut calibre international où ils travaillent.

Nouveaux adjoints invités nommés en 2013-2014

Eugenio Bianchi (Ph.D., École normale supérieure de Pise, 2010) est professeur adjoint de physique à l'Université d'État de la Pennsylvanie. Auparavant, il a été titulaire d'une bourse postdoctorale Marie-Curie au Centre de physique théorique de Luminy, en France, ainsi que d'une bourse postdoctorale Banting à l'Institut Périclète. Dans ses recherches, M. Bianchi tente de comprendre la nature quantique de l'espace-temps. Ses travaux se situent à la jonction de la relativité générale, de la théorie quantique des champs et de la thermodynamique. En 2013, Eugenio Bianchi a été le 1^{er} récipiendaire du prix Bronstein pour ses travaux sur la gravitation quantique à boucles.

¹³ Jonathan Barrett, Ruth Gregory, Etera Livine et Kris Sigurdson ont vu leur mandat d'adjoint invité renouvelé.

Vitor Cardoso (Ph.D., Institut supérieur technique de Lisbonne, 2003) est professeur adjoint à l'Institut supérieur technique (IST) de Lisbonne, au Portugal, et professeur auxiliaire de physique à l'Université du Mississippi. Ses recherches portent sur la relativité générale et la physique des trous noirs. M. Cardoso dirige l'équipe de gravitation au Centre multidisciplinaire d'astrophysique (CENTRA) de l'IST. Cette équipe cherche à comprendre la dynamique des trous noirs dans des espaces-temps génériques et à départager diverses théories de la gravitation à l'aide d'observations d'ondes gravitationnelles. Entre autres distinctions, Vitor Cardoso a reçu des bourses Fulbright et Gulbenkian.

Zohar Komargodski (Ph.D., Institut Weizmann des sciences, 2008) est scientifique principal au Département de physique des particules et d'astrophysique de l'Institut Weizmann des sciences. Ses travaux portent sur les sujets suivants : théorie quantique des champs, symétrie conforme, supersymétrie, gravitation quantique et phénoménologie de la physique des particules. M. Komargodski est surtout connu pour sa démonstration, réalisée avec Adam Schwimmer, du « théorème A », conjecture longtemps non résolue de la théorie quantique des champs. Pour cette démonstration et pour d'autres travaux sur la dynamique des théories des champs quadridimensionnels, Zohar Komargodski a remporté un prestigieux prix *Nouveaux horizons en physique*, accordé par la Fondation des Prix de physique fondamentale. Il est également récipiendaire de la médaille Gribov de la Société européenne de physique et professeur auxiliaire de physique théorique à l'Académie internationale Niels-Bohr du Danemark.

Chris Laumann (Ph.D., Université de Princeton, 2010) est professeur adjoint au Département de physique de l'Université de l'État de Washington. Il a été auparavant postdoctorant à l'Institut Périclète et à l'Université Harvard. Il travaille principalement dans les domaines de la matière condensée, de l'information quantique et du calcul quantique, et s'intéresse particulièrement aux systèmes désordonnés, aux états topologiques de la matière quantique, de même qu'aux verres de spin.

Thomas Vidick (Ph.D., Université de la Californie à Berkeley, 2011) est professeur adjoint au Département d'informatique et de mathématiques de l'Institut de technologie de la Californie. M. Vidick travaille sur des problèmes qui se situent à la jonction du calcul quantique, de la théorie de la complexité et de la cryptographie. Il étudie les aspects liés à la théorie de la complexité de phénomènes quantiques tels que l'intrication, et il aime explorer les applications d'idées du calcul quantique à des domaines aussi divers que les séries pseudo-aléatoires, l'optimisation discrète ou l'analyse fonctionnelle. En 2011, Thomas Vidick a remporté le prix commémoratif Bernard-Friedman de mathématiques appliquées.

Boursières Emmy-Noether (nouvelle initiative)

En 2013, l'Institut Périclète a mis sur pied le programme de bourses Emmy-Noether, du nom d'Amalie (Emmy) Noether, mathématicienne allemande influente connue pour ses contributions révolutionnaires en algèbre abstraite et en physique théorique. Même si Albert Einstein l'a qualifiée de femme la plus importante de l'histoire des mathématiques, Emmy Noether a dû faire face à de nombreux obstacles en tant que femme dans une discipline dominée par les hommes. Ce programme vise à donner une impulsion à la carrière de chercheuses qui sont des étoiles montantes de la physique fondamentale.

Contrairement aux titulaires de chaire de chercheur invité distingué et aux adjoints invités, que l'on encourage à faire de multiples séjours au cours de mandats renouvelables, les boursières Emmy-Noether sont en congé de leur institution d'appartenance pour une période pouvant aller jusqu'à un an et poursuivent leurs recherches dans le milieu dynamique de l'Institut Péricètre. Ces boursières couvrent un vaste éventail de domaines de compétence. Elles participent à des conférences et ateliers, et ont généralement toute liberté de se concentrer sur leurs recherches à un moment crucial de leur jeune carrière.

En 2013-2014, l'Institut Péricètre a accueilli ses premières boursières Emmy-Noether, Claudia de Rham et Sara Pasquetti, et en a recruté 5 autres pour 2014-2015.

Boursières Emmy-Noether recrutées en 2013-2014

Alejandra Castro, professeure adjointe à l'Université d'Amsterdam, se spécialise dans les nouvelles approches de la gravitation classique et de la gravitation quantique. Ses travaux cherchent à expliquer l'origine microscopique de la thermodynamique des trous noirs et l'émergence de l'espace-temps en gravitation quantique.

Claudia de Rham est professeure adjointe de physique à l'Université Case Western Reserve. C'est une cosmologiste qui s'intéresse à la cosmologie de l'univers naissant et à l'énergie sombre. Dans ses travaux récents, elle a attribué une masse au graviton. Cela a conduit à de nouveaux développements de théories qui modifient la gravité à de grandes distances et qui pourraient jouer un rôle crucial dans la compréhension de la nature de l'énergie sombre et dans la résolution du problème de la constante cosmologique.

Belén Paredes est professeure adjointe à l'Institut de physique théorique (IFT) de Madrid, qui relève conjointement de l'Université autonome de Madrid et du Conseil national de recherches de l'Espagne. Elle s'intéresse aux nouveaux états de la matière, à l'intrication quantique et à l'ingénierie de matériaux quantiques pour l'informatique quantique.

Sara Pasquetti est chargée de cours à l'Université du Surrey. Ses recherches se situent à la jonction de la physique et des mathématiques. Elle s'intéresse notamment à la relation entre les théories de jauge, les théories conformes des champs et la géométrie. Au cours des dernières années, elle a combiné des méthodes de localisation supersymétrique et de la théorie des cordes topologiques pour élaborer de nouveaux outils d'étude de théories de jauge supersymétriques dans diverses dimensions, en présence d'opérateurs de défaut et de corrélateurs en théorie conforme des champs.

Catherine Pépin est chercheuse permanente à l'Institut de physique théorique du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) à Saclay. Elle s'intéresse particulièrement aux phénomènes quantiques émergents. Ses travaux récents ont notamment porté sur les transitions de phase à température nulle (appelées points critiques quantiques) dans les systèmes à fermions lourds et les supraconducteurs à haute température.

Silke Weinfurtner est titulaire d'une bourse de recherche de la Société royale de Londres et d'une bourse de recherche Nottingham à l'Université de Nottingham. Elle se spécialise dans les domaines de la gravitation quantique, de la gravité forte et de la physique de la matière condensée. Ses recherches portent en grande partie sur la conception d'expériences de laboratoire visant à explorer la gravitation quantique.

Kathryn Zurek, professeure agrégée au Département de physique de l'Université du Michigan, travaille à la jonction de la physique des particules, de la cosmologie et de l'astrophysique. Ses travaux portent sur l'examen de nouvelles données fournies par des collisionneurs de particules, sur la recherche de matière sombre en astrophysique et sur la physique au-delà du modèle standard.

Programme de chercheurs invités

- En 2013-2014, l'Institut Périmètre a accueilli 424 chercheurs invités, pour un total de 465 séjours scientifiques, dépassant les objectifs fixés¹⁴.
- Quelque 12 chercheurs invités ont fait de longs séjours à l'Institut Périmètre pendant des congés (p. ex. sabbatiques) accordés par leur établissement d'origine.

Le dynamique programme de chercheurs invités de l'Institut Périmètre permet à ses scientifiques résidents de se tenir au courant des derniers développements dans leur domaine, d'échanger des idées et de susciter de nouvelles collaborations. D'autre part, pendant leur séjour à l'Institut, les chercheurs invités ont le temps et l'espace voulus pour accomplir avec des collaborateurs le travail intense et soutenu souvent nécessaire pour résoudre des problèmes difficiles. Le programme contribue en outre au recrutement de scientifiques, en faisant connaître aux candidats potentiels un milieu de recherche dynamique et un excellent soutien administratif, qui permettent aux chercheurs d'atteindre une productivité maximale. L'année dernière, des séjours de recrues potentielles ont mené à de nouvelles nominations à tous les niveaux, notamment celles de Kevin Costello et Subir Sachdev, titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre, ainsi que de la professeure Asimina Arvanitaki.

¹⁴ Parmi ces chercheurs invités, il y a eu 374 visiteurs à court terme, 30 titulaires de chaire de chercheur invité distingué et 8 adjoints invités.

Objectif n° 5 : Constituer une plaque tournante d'un réseau mondial de centres de physique théorique et de mathématiques

Résumé des réalisations

- Assistance à l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI)
- Organisation à l'Institut Péricimètre de 8 conférences et ateliers conjoints avec des partenaires nationaux et internationaux, et parrainage de 12 autres conférences et ateliers à l'extérieur de l'Institut (voir l'objectif n° 7)
- Accueil du 1^{er} boursier postdoctoral africain des instituts Fields et Péricimètre
- Tenue de la conférence *Equinox Summit: Learning 2030* (Sommet Equinox : Formation 2030) pour définir l'école secondaire de l'avenir, et résumé de ses conclusions et recommandations dans le document *Equinox Blueprint* (Plan Equinox)

Points saillants

Collaborations et partenariats

L'Institut Péricimètre conclut des partenariats pertinents avec des instituts de premier plan au Canada et à l'étranger, afin de renforcer sa position de plaque tournante de la recherche à l'échelle mondiale et d'ouvrir des possibilités de collaboration pour ses scientifiques. Parmi les partenaires actuels de l'Institut, mentionnons le Centre de cosmologie théorique de l'Université de Cambridge, l'Institut Weizmann des sciences et le Laboratoire TRIUMF, centre national canadien pour la recherche en physique nucléaire et en physique des particules.

En 2013-2014, l'Institut Péricimètre a consolidé ses liens avec la communauté internationale de la physique, grâce à un certain nombre de partenariats officiels ou informels.

Bourse postdoctorale africaine des instituts Fields et Péricimètre

L'Institut Péricimètre a conclu un partenariat avec l'Institut Fields de recherche mathématique de l'Université de Toronto pour financer 4 bourses postdoctorales conjointes d'une durée d'un an, destinées à des Africains qui ont récemment obtenu leur doctorat. En 2013-2014, l'Institut Péricimètre a accueilli Dine Ousmane Samary, du Bénin, comme titulaire de la 1^{ère} de ces bourses. Il partage son temps entre Toronto et Waterloo pour faire des recherches en gravitation quantique. Le 2^e boursier, Cyril Batkam, du Cameroun, arrivera à l'automne 2014.

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

L'Institut Périmètre et les laboratoires canadiens TRIUMF et SNOLAB ont établi un partenariat pour créer l'École d'été tripartite sur les particules élémentaires (TRISEP), école d'été d'une durée de 2 semaines sur des sujets de l'heure en physique des particules, à l'intention d'étudiants diplômés et de postdoctorants. La 2^e édition de TRISEP a eu lieu du 1^{er} au 14 juin 2014, au laboratoire SNOLAB à Sudbury. On y a abordé divers sujets, de la physique au-delà du modèle standard à la matière sombre, en passant par la physique des neutrinos¹⁵.

Le partenariat WGSi (*Waterloo Global Science Initiative*)

WGSi est un partenariat à but non lucratif, financé de manière indépendante, mis en place par l'Institut Périmètre 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 élargie nécessaire pour faire progresser les idées, les possibilités et les stratégies favorisant un avenir sûr et durable. Les sommets Equinox, les plans Equinox qui en résultent et d'autres activités sont les moyens employés par WGSi pour remplir son mandat.

En 2013-2014, l'équipe du partenariat WGSi a atteint les objectifs fixés, en organisant la conférence *Equinox Summit: Learning 2030* (Sommet Equinox : Formation 2030) sur l'école secondaire de l'avenir, capable de permettre et d'encourager la pensée critique.

- Du 28 septembre au 3 octobre 2013, la conférence *Equinox Summit: Learning 2030* (Sommet Equinox : Formation 2030), tenue en parallèle avec le festival *BrainSTEM: Your Future is Now* (Votre avenir est déjà là), a réuni à l'Institut Périmètre des délégués de 6 continents pour discuter de l'évolution des besoins et des possibilités en matière d'enseignement secondaire.
- TVO, partenaire médiatique de la conférence, a diffusé à partir de l'Institut Périmètre 5 épisodes de son émission *The Agenda with Steve Paikin*, sous forme de tables rondes réunissant des participants au sommet Equinox.
- Au Sommet mondial sur l'alphabétisme tenu à Oxford en avril 2014, l'équipe du partenariat WGSi a fait paraître le document *Equinox Blueprint: Learning 2030* (Plan Equinox : Formation 2030), qui résume les conclusions et recommandations du sommet Equinox. Près de 1 000 exemplaires du document ont été distribués (en date de mai 2014) dans le monde entier à des médias, des décideurs et des influenceurs dans le domaine de l'éducation.
- Un site Web interactif (learning2030.org) a été mis sur pied pour permettre aux gens des milieux de l'éducation dans le monde entier d'échanger sur leurs expériences, leurs difficultés et leurs succès en matière de réforme de l'éducation.

En plus d'honorer ces accords officiels de collaboration, l'Institut Périmètre a été l'hôte de plusieurs importantes conférences internationales. Mentionnons en particulier *Implications of BICEP2* (Implications de l'expérience BICEP2), tenue le 4 avril 2014, première conférence majeure sur les

¹⁵ Art McDonald, membre du conseil d'administration de l'Institut Périmètre, a prononcé le discours d'ouverture, et Kendrick Smith, professeur à l'Institut Périmètre, a donné un cours dans le cadre de cette école d'été.

implications de la possible détection d'ondes gravitationnelles primordiales. L'Institut Périmètre a accueilli plus de 80 physiciens théoriciens et cosmologistes d'observation pour un atelier d'une journée sur les résultats de cette expérience¹⁶. Neil Turok, Latham Boyle, Kendrick Smith et David Marsh, chercheurs à l'Institut Périmètre, ont été parmi les premiers scientifiques à publier des articles en réaction aux résultats de l'expérience BICEP2, illustrant une fois de plus que l'Institut constitue une plaque tournante de la recherche de pointe.

Rayonnement international – AIMS-NEI

Par son programme de rayonnement international, l'Institut Périmètre partage ses compétences (mais non son financement), afin de stimuler la croissance de centres d'excellence scientifique dans le monde. Ce programme met actuellement l'accent sur l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI). Il s'agit d'un projet panafricain lancé en 2003 par Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, pour mettre sur pied un réseau de centres dispensant une formation mathématique et scientifique avancée à des diplômés africains exceptionnels.

En 2013-2014, l'Institut Périmètre 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.

- Plusieurs chercheurs de l'Institut Périmètre ont enseigné dans des centres de l'AIMS.
- Le personnel de l'Institut Périmètre a contribué à la préparation d'une demande de financement majeur à la Fondation MasterCard, et une décision à ce sujet est attendue à l'automne 2014.
- Des membres du personnel de l'Institut Périmètre ont fourni une expertise administrative pour la planification de l'ouverture de l'AIMS-Cameroun (qui a eu lieu en février 2014) et de l'AIMS-Tanzanie (prévue pour octobre 2014).
- Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a participé à l'inauguration de l'AIMS-Cameroun en février 2014, et l'Institut Périmètre a utilisé ses contacts pour contribuer à la présence de Cédric Villani, lauréat de la médaille Fields, de David Gross et Klaus von Klitzing, lauréats de prix Nobel, ainsi que de Michaëlle Jean, ancienne gouverneure générale du Canada.
- En mars 2014, étant donné la popularité du souhait qu'il avait formulé lors de l'acceptation de son prix TED en 2008, Neil Turok a été invité à faire un exposé sur les progrès de l'AIMS-NEI à la conférence TED 2014 tenue à Vancouver.
- L'Institut Périmètre a coparrainé une célébration du 10^e anniversaire de l'AIMS, organisée à Ottawa pour sensibiliser des membres de l'administration canadienne et d'autres bailleurs de fonds potentiels.

¹⁶ Nima Arkani-Hamed, James Bardeen et Eva Silverstein, titulaires de chaire de chercheur invité distingué à l'Institut Périmètre, étaient du nombre.

Objectif n° 6 : Renforcer le rôle de l'Institut PÉRIMÈTRE comme centre de convergence pour la recherche en physique fondamentale au Canada

Résumé des réalisations

- Nomination de 4 nouveaux membres affiliés et renouvellement du mandat de 16 autres, pour un nombre total de 120 membres affiliés de toutes les régions du Canada
- Poursuite du travail avec des partenaires régionaux, afin de soutenir l'écosystème de technologie quantique *Quantum Valley*
- Consolidation des liens avec des centres d'expérimentation et d'observation, au Canada et ailleurs dans le monde
- Nomination de 2 nouveaux professeurs associés, conjointement avec l'Université de Waterloo (voir l'objectif n° 2)
- Partenariat avec l'Université de Waterloo pour le programme de maîtrise PSI, avec la participation de professeurs d'universités canadiennes à titre de conférenciers et de superviseurs de projets de recherche¹⁷ (voir l'objectif n° 3)
- Organisation de 8 ateliers et conférences, conjointement avec des partenaires régionaux et nationaux, et parrainage de 12 autres conférences et ateliers (voir l'objectif n° 7)

¹⁷ Ce sont : Anton Burkow (Université de Waterloo); Andrew Childs (Université de Waterloo); Joseph Emerson (Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo); Robert Mann (Université de Waterloo).

Points saillants

Participation à la *Quantum Valley* à titre de catalyseur



L'informatique quantique est l'un des domaines de la science qui évolue le plus rapidement, et elle progresse rapidement de la théorie à la réalisation de composants prototypes et la construction d'appareils. On croit maintenant généralement que les technologies quantiques transformeront la société autant que l'a fait la première vague d'ordinateurs classiques. Des experts sont d'avis que, d'ici une vingtaine d'années, des appareils quantiques commenceront à révolutionner des domaines aussi divers que la monnaie numérique, l'exploration pétrolière et les diagnostics médicaux non effractifs.

L'Institut Péricimètre a contribué à placer le Canada dans le peloton de tête de la course quantique. La fondation de l'Institut a été un jalon important dans la formation de l'écosystème quantique – baptisé *Quantum Valley* – qui a émergé dans la région de Waterloo. Des chercheurs de l'Institut Péricimètre effectuent les travaux théoriques essentiels qui sous-tendent tout ce domaine, agissant comme catalyseurs d'une révolution quantique ayant des répercussions commerciales au Canada. Les scientifiques de l'Institut Péricimètre collaborent étroitement avec des expérimentateurs de l'IQC, et bon nombre des pionniers du domaine travaillent dans au moins l'un de ces deux centres.

En 2013-2014, l'Institut Péricimètre a continué de collaborer étroitement avec d'autres acteurs clés de la région de Waterloo¹⁸ pour faire en sorte que le Canada demeure dans le peloton de tête de la course

¹⁸ Ceux-ci comprennent la communauté universitaire environnante (dont le Centre Quantum-Nano, l'Institut de nanotechnologie de Waterloo et l'Université de Waterloo), un ensemble dynamique d'entreprises en démarrage dans la région, de même que des investisseurs en capital de risque (dont Quantum Valley Investments, la plus récente entreprise de Mike Lazaridis).

internationale pour la création d'une nouvelle industrie quantique qui se traduira par une forte création d'emplois et de valeur ajoutée. Les efforts de recrutement ont surtout visé des spécialistes de la physique quantique : Subir Sachdev, titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Périmètre; le professeur associé Raffi Budakian (voir l'objectif n° 2); Barbara Terhal, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué; les adjoints invités Chris Laumann et Thomas Vidick (voir l'objectif n° 4); de nombreux postdoctorants.

Engagement avec des centres d'expérimentation

L'expérimentation constitue le test ultime de toute théorie. C'est pour cela que l'Institut Périmètre a continué en 2013-2014 d'étendre et d'approfondir ses nombreux liens avec des centres d'expérimentation.

L'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo, que l'Institut Périmètre a contribué à mettre sur pied en 2002, demeure le principal partenaire d'expérimentation de l'Institut Périmètre. L'IQC est dirigé par Raymond Laflamme et Michele Mosca, tous deux professeurs associés à l'Institut Périmètre, et de nombreux autres chercheurs de l'Institut sont nommés conjointement avec l'IQC¹⁹.

Des scientifiques de l'Institut Périmètre sont également liés à de multiples projets d'expérimentation dans le monde. Le professeur associé Avery Broderick est membre du projet de télescope *Event Horizon* (EHT), qui vise à observer pour la première fois le voisinage immédiat d'un trou noir. Les professeurs Philip Schuster et Natalia Toro ont également des liens étroits avec des centres d'expérimentation, dont le grand collisionneur de hadrons (LHC) au CERN. Pour sa part, le professeur Kendrick Smith participe à un certain nombre de projets expérimentaux de mesure du rayonnement fossile, dont le projet du satellite Planck et le projet HSC (*Hyper-Suprime Cam*) au télescope Subaru d'Hawaii.

L'Institut Périmètre entretient également des liens avec plusieurs autres centres d'expérimentation, dont le Laboratoire national de l'accélérateur SLAC (accélérateur linéaire situé à l'Université Stanford), l'Observatoire de neutrinos de Sudbury (SNOLAB), le Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson (JLab) et le Laboratoire TRIUMF (voir l'annexe F, *Liens de l'Institut Périmètre avec le milieu de l'expérimentation*).

Enfin, l'Institut Périmètre entretient des liens avec les milieux de l'expérimentation grâce à son programme de conférences. En 2013-2014, plusieurs conférences ont porté directement sur des résultats expérimentaux et les défis qu'ils soulèvent²⁰.

¹⁹ Raffi Budakian et David Cory sont professeurs associés à l'Institut Périmètre dans le cadre de nominations conjointes avec l'IQC. Les postdoctorants Gus Gutoski, Zhengfeng Ji, Keith Lee, Zlatko Papic et Huan Yang travaillent aussi aux deux instituts. Le professeur Dmitry Abanin et l'associé principal de recherche Steve MacLean sont affiliés à l'IQC, et les deux instituts ont aussi en commun un certain nombre de chercheurs affiliés.

²⁰ Mentionnons notamment *Implications of BICEP2* (Implications de l'expérience BICEP2), le 4 avril 2014, *Low Energy Challenges for High Energy Physicists* (Défis des basses énergies pour physiciens des hautes énergies), du 26 au 30 mai 2014, et *International Workshop on Quantum LDPC Codes* (Atelier international sur les codes LDPC

Membres affiliés

Mis sur pied peu après la fondation de l'Institut Périmètre, le programme de membres affiliés constitue un moyen crucial de tisser des liens au sein de la communauté des chercheurs en physique fondamentale d'un bout à l'autre du Canada. Les membres affiliés sont des chercheurs choisis au sein d'universités et d'institutions de recherche canadiennes, qui sont invités à faire régulièrement des séjours informels à l'Institut Périmètre.

Les membres affiliés ont accès à une communauté active de chercheurs couvrant tout le spectre de la physique, ce qui leur permet d'explorer des idées auxquelles ils ne seraient pas nécessairement exposés dans leur établissement d'appartenance. Pour sa part, l'Institut Périmètre consolide ses liens avec plus de 25 centres de recherche canadiens de premier plan et offre à ses scientifiques résidents de nouvelles possibilités de collaboration. Toute la communauté des physiciens bénéficie de cette situation.

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a nommé 4 nouveaux membres affiliés et a renouvelé le mandat de 16 autres, faisant en sorte que cette communauté dynamique de chercheurs continue d'enrichir le milieu de recherche de l'Institut. L'Institut Périmètre compte maintenant 120 membres affiliés, ce qui dépasse les objectifs fixés (voir l'annexe C, *Membres affiliés de l'Institut Périmètre*).

quantiques), du 14 au 16 juillet 2014. Pour plus de détails, voir l'annexe F, *Liens de l'Institut Périmètre avec le milieu de l'expérimentation*.

Objectif n° 7 : Organiser des conférences, ateliers, cours et séminaires ciblés et opportuns

Résumé des réalisations

- Tenue de 17 conférences et ateliers, auxquels ont participé 844 scientifiques du monde entier
- Tenue de 286 rencontres scientifiques (247 séminaires et 39 colloques)
- Collaboration pour l'organisation de 8 conférences et ateliers à l'Institut Périmètre, et parrainage de 12 autres ateliers et conférences à l'extérieur de l'Institut (voir l'objectif n° 6)
- Lancement de journées de l'Institut Périmètre, ateliers internes conçus pour établir des liens de recherche au sein de la communauté de l'Institut
- Enseignement de 4 cours à des chercheurs et étudiants d'universités environnantes

Points saillants

Conférences et ateliers

- L'Institut Périmètre a organisé 17 conférences et ateliers ciblés, dépassant les objectifs fixés²¹.
- L'Institut a accueilli *Implications of BICEP2* (Implications de l'expérience BICEP2), 1^{ère} conférence internationale visant à examiner et à interpréter les résultats importants de l'expérience BICEP2.

L'Institut Périmètre a mis sur pied un programme de conférences de renommée internationale, en choisissant des sujets ayant un potentiel exceptionnel de résultats importants. En 2013-2014, 844 scientifiques ont participé aux conférences et ateliers de l'Institut, illustrant son rôle de forum majeur d'échanges en physique théorique. De plus, le programme de conférences consolide les liens de l'Institut Périmètre avec ses partenaires institutionnels. Cette année, l'Institut a également organisé

²¹ Ce sont : (1) *Newtonian Studies of Black Hole Stars Meet General Relativity Effects* (Les études newtoniennes des étoiles à trou noir rejoignent les effets de la relativité générale); (2) *Cosmology and Strong Gravity Workshop* (Atelier sur la cosmologie et la gravité forte); (3) *Physics Around Mirror Symmetry* (La physique autour de la symétrie bilatérale); (4) *PI-UIUC Joint Workshop on Strongly Correlated Quantum Many-Body Systems* (Atelier conjoint IP-UIUC sur les systèmes quantiques fortement corrélés à N corps); (5) *Waterloo Soft Matter Theory* (Théorie de Waterloo sur la matière molle); (6) *PI Day* (Journée de l'IP); (7) *Emergence in Complex Systems* (Émergence dans des systèmes complexes); (8) *Implications of BICEP2* (Implications de l'expérience BICEP2); (9) *Renormalization Group Approaches to Quantum Gravity* (Étude de la gravitation quantique par des méthodes de groupe de renormalisation); (10) *Supersymmetric Quantum Field Theories in Five and Six Dimensions* (Théories quantiques supersymétriques des champs dans des espaces à 5 et à 6 dimensions); (11) *4 Corner Southwest Ontario Condensed Matter Physics Symposium 2014* (Colloque des quatre coins du Sud-ouest ontarien sur la matière condensée 2014); (12) *Compute Ontario Research Day 2014* (Journée de la recherche de Calcul Ontario); (13) *Quantum Many-Body Dynamics* (Dynamique des systèmes quantiques à N corps); (14) *Quantum Gravity Day* (Journée de la gravitation quantique); (15) *Low Energy Challenges for High Energy Physicists* (Défis des basses énergies pour physiciens des hautes énergies); (16) *New Ideas in Low Energy Tests of Fundamental Physics* (Nouvelles idées sur les tests à basse énergie en physique fondamentale); (17) *International Workshop on Quantum LDPC Codes* (Atelier international sur les codes LDPC quantiques).

8 ateliers et conférences avec des partenaires canadiens et étrangers²². Il a aussi parrainé 12 autres ateliers et conférences à l'extérieur de l'Institut²³.

Voici quelques conférences dignes de mention parmi celles de l'année écoulée :

- **Implications of BICEP2** (Implications de l'expérience BICEP2), le 4 avril 2014 – En mars 2014, l'équipe de l'expérience BICEP2 (*Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization* – Représentation de la polarisation du rayonnement fossile extragalactique), télescope installé en Antarctique, annonçait avoir détecté ce qui semblait être le « mode B » primitif de polarisation de la lumière la plus ancienne de l'univers, le rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique). Seulement quelques semaines plus tard, l'Institut Périmètre accueillait la 1^{ère} conférence internationale sur le sujet. De fructueux échanges et discussions sur l'importance de facteurs techniques et de phénomènes survenant à l'avant-plan ont amené plusieurs scientifiques à appeler à la prudence dans l'interprétation des résultats. De fait, des données subséquentes du satellite Planck ont révélé en septembre que la poussière cosmique présente dans le milieu interstellaire pourrait être la cause d'effets d'abord attribués à des ondes gravitationnelles.
- **Low Energy Challenges for High Energy Physicists** (Défis des basses énergies pour physiciens des hautes énergies), du 26 au 30 mai 2014 – L'Institut Périmètre a organisé une conférence pour favoriser une collaboration fructueuse entre physiciens des hautes énergies et physiciens de la matière condensée. Cette conférence a réuni quelque 40 physiciens des hautes énergies et des théoriciens de premier plan de la matière condensée, avec pour objectif d'unifier, de

²² Voici la liste de ces activités, avec pour chacune le ou les organismes partenaires : (1) *Newtonian Studies of Black Hole Stars Meet General Relativity Effects* (Les études newtoniennes des étoiles à trou noir rejoignent les effets de la relativité générale), ICRA; (2) *PI-UIUC Joint Workshop on Strongly Correlated Quantum Many-Body Systems* (Atelier conjoint IP-UIUC sur les systèmes quantiques fortement corrélés à N corps), Université de l'Illinois; (3) *Waterloo Soft Matter Theory* (Théorie de la matière molle de Waterloo), Université de Waterloo; (4) *Implications of BICEP2* (Implications de l'expérience BICEP2), ICRA; (5) *Renormalization Group Approaches to Quantum Gravity* (Étude de la gravitation quantique par des méthodes de groupe de renormalisation), Fondation Templeton; (6) *Compute Ontario Research Day 2014* (Journée de la recherche de Calcul Ontario), SHARCNET; (7) *New Ideas in Low Energy Tests of Fundamental Physics* (Nouvelles idées sur les tests à basse énergie en physique fondamentale), Laboratoire TRIUMF; (8) *International Workshop on Quantum LDPC Codes* (Atelier international sur les codes LDPC quantiques), Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo et Fondation Templeton.

²³ Voici la liste de ces activités, avec pour chacune l'organisme partenaire : (1) *QCrypt 2013*, Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo; (2) Conférence des étudiants diplômés du Canada, des États-Unis et du Mexique, Université de Waterloo; (3) Conférence canadienne 2013 des étudiants de 1^{er} cycle en physique, Université McMaster; (4) Institut d'hiver du lac Louise 2014, Université de l'Alberta; (5) 15^e conférence canadienne sur la relativité générale et l'astrophysique relativiste, Université de Winnipeg; (6) *GAP 2014* (Géométrie et physique), Université de la Colombie-Britannique; (7) *String Math 2014*, Université de l'Alberta; (8) *Théorie Canada 9*, Université Wilfrid-Laurier; (9) 14^e École d'été canadienne sur l'information quantique et 11^e conférence canadienne des étudiants en information quantique, Université de Guelph; (10) Congrès 2014 de l'ACP, Université Laurentienne; (11) *Quantum Computing, Algebra, and Combinatorics* (Calcul quantique, algèbre et combinatoire), Université de Waterloo; (12) 13^e conférence internationale sur le calcul non conventionnel et le calcul naturel, Université Western.

concentrer et d'inspirer un nouveau groupe de chercheurs autour de certains des problèmes les plus intéressants de la physique moderne. Voici le témoignage d'un participant : « Les conférenciers avaient des connaissances impressionnantes, et les participants travaillaient avec enthousiasme à élaborer de nouvelles idées. Ce fut l'une des conférences les plus intéressantes et inspirantes auxquelles j'ai participé. » [traduction]

- **PI Day** (Journée de l'IP), le 30 janvier 2014 – Ce fut une conférence interne spéciale d'une journée, au cours de laquelle des chercheurs de l'Institut Périmètre ont fait part de leurs travaux les plus récents, se sont lancé des « défis » et ont entamé de nouvelles collaborations. Comme l'explique Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre : « Le but de cette journée est d'amener les gens à interagir les uns avec les autres et à se stimuler mutuellement. Les chercheurs dans une discipline peuvent lancer des défis à leurs collègues d'autres disciplines. C'est souvent dans ce genre de circonstances que surviennent les progrès les plus excitants en physique : lorsque des personnes ayant des perspectives différentes – souvent *très* différentes – échangent, se posent les uns aux autres des questions difficiles, et peut-être s'aident mutuellement à réaliser quelque chose d'encore plus intéressant. » [traduction]. Avec 98 participants, la journée a été un tel succès qu'il a été décidé de tenir dorénavant des journées de l'IP 2 fois par année.
- **New Ideas in Low Energy Tests of Fundamental Physics** (Nouvelles idées sur les tests à basse énergie en physique fondamentale), du 16 au 19 juin 2014 – Cet atelier avait pour but de réunir des chercheurs et des expérimentateurs intéressés par de nouvelles applications résultant des progrès constants de nouveaux outils de grande précision en physique nucléaire et atomique ainsi qu'en optique. Cette conférence a attiré 55 participants du monde entier. Ceux-ci ont unanimement estimé que la conférence avait été des plus éclairante et fructueuse.

Séminaires et colloques

Les séminaires et les colloques favorisent la collaboration et le partage de connaissances de la part de chercheurs de premier plan au monde, stimulant la communauté des chercheurs de l'Institut Périmètre. En 2013-2014, l'Institut a tenu 286 rencontres scientifiques (247 séminaires et 39 colloques), dépassant les objectifs fixés. Les exposés présentés par Gilles Brassard (de l'Université de Montréal, co-inventeur de la cryptographie quantique), S. James Gates fils (membre du Conseil consultatif du Président des États-Unis en matière de science et de technologie) et Robbert Dijkgraaf (Directeur de l'Institut d'études avancées de Princeton) sont notamment dignes de mention.

Cours

L'Institut Péricètre cherche autant que possible à diffuser les connaissances de ses scientifiques résidents et invités, en leur faisant donner des cours spécifiques sur des sujets à la fine pointe de la recherche. Les cours ouvrant droit à des crédits de niveau universitaire sont accessibles aux étudiants de toutes les universités ontariennes, alors que les mini-cours non crédités sont accessibles aux étudiants de l'Institut et des universités environnantes.

En 2013-2014, l'Institut Péricètre a dispensé 4 cours avancés ouvrant droit à des crédits : *Introduction to Effective Field Theories* (Introduction aux théories effectives des champs), donné par le professeur associé Cliff Burgess; *Quantum Field Theory for Cosmology* (Théorie quantique des champs en cosmologie) et *General Relativity for Cosmology* (Relativité générale en cosmologie), donnés par Achim Kempf, titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur la physique de l'information et membre affilié de l'Institut Péricètre; *Topics in QFT on Flat and Curved Spacetime* (Théorie quantique des champs, et espace-temps plat et incurvé), donné par Ugo Moschella, de l'Université de l'Insubrie à Côme. De plus, Ted Jacobson, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, a donné un mini-cours intitulé *Spacetime Approach for Force-Free Magnetospheres* (Espace-temps et magnétosphères dépourvues de forces).

Archives vidéo en ligne

- En 2013-2014, plus de 75 000 visiteurs distincts de plus de 170 pays ont accédé aux archives vidéo de l'Institut Péricètre, pour un total de 764 186 pages consultées, soit 4 % de plus qu'en 2012-2013.

Presque tous les exposés présentés à l'Institut Péricètre sont enregistrés et accessibles en ligne dans PIRSA, système d'archivage en ligne de l'Institut, à l'adresse www.pirsa.org. Ce système d'archives vidéo de séminaires, conférences, ateliers et cours, que l'on peut consulter et citer sans frais, a été mis au point par l'Institut afin de faciliter la diffusion des connaissances à la communauté scientifique internationale. Il est devenu une ressource scientifique importante dans le domaine, comme en témoigne la hausse continue du nombre d'accès année après année. Il est à noter qu'une grande partie des accès à ces vidéos vient maintenant de la section *Vidéotheque* du site Web de l'Institut Péricètre, nouveau portail d'accès mis à la disposition des utilisateurs en 2013-2014.

Objectif n° 8 : Mener une action de diffusion des connaissances à fort impact

Résumé des réalisations

- Programmes et ressources pédagogiques qui ont bénéficié à plus de 1 million d'élèves au cours de l'année, pour un total de plus de 4 millions d'élèves à ce jour
- Tenue de *BrainSTEM* – projet financé par FedDev Ontario et comprenant un festival de science, des ateliers pour enseignants et une ressource pédagogique – pour promouvoir les compétences en sciences, technologie, génie et mathématiques (STGM) au XXI^e siècle, touchant en tout près de 2 millions de personnes
- Tenue de la 12^e École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP) et organisation de 18 exposés *Physica Phantastica* – pour plus de 5 500 élèves de toutes les régions du Canada
- Présentation de plus de 90 ateliers à plus de 2 000 enseignants au Canada et à l'étranger, qui ont bénéficié au bout du compte à plus de 150 000 élèves
- Mise sur pied de partenariats internationaux de distribution des ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre au Royaume-Uni (avec l'Institut de physique du Royaume-Uni) et aux États-Unis (avec le programme *Physics Teacher Resource Agents*)
- Présentation à guichets fermés de 10 conférences publiques passionnantes, également suivies en ligne
- Attribution du prix Lane-Anderson d'écriture scientifique à Neil Turok pour son livre intitulé *The Universe Within: From Quantum to Cosmos* (L'univers vu de l'intérieur : du quantum au cosmos)

Points saillants

Programmes et produits destinés aux élèves

École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP)

- L'Institut Périmètre a tenu avec succès sa 12^e école d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP), réunissant 40 élèves canadiens et étrangers triés sur le volet²⁴.

L'école d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP) est un pilier des efforts de l'Institut Périmètre en matière de diffusion des connaissances. Ce programme consiste à sélectionner des élèves canadiens et étrangers qui ont fait la preuve de leur potentiel scientifique, et de les amener à l'Institut pour une immersion de 2 semaines dans le monde de la physique moderne, dont des séances de mentorat avec des chercheurs résidents et des visites de laboratoires de partenaires expérimentaux

²⁴ Le groupe comprenait 20 Canadiens de 7 provinces et 20 élèves étrangers provenant de 13 pays. On a mis l'accent sur une répartition égale des sexes – 20 garçons et 20 filles.

de l'Institut. En exposant directement ces élèves à la recherche de pointe, à un âge où ils songent sérieusement à leurs possibilités de carrière, l'Institut favorise l'éclosion de nouveaux talents en physique et pour le Canada. Des enquêtes de suivi montrent que plus de 70 % des participants disent que l'ISSYP les a incités à poursuivre une carrière en mathématiques ou en physique.

L'édition 2013-2014 a été rendue possible grâce au généreux soutien financier de la Fondation RBC (voir l'objectif n° 10).

BrainSTEM

- L'Institut Périmètre a mené avec succès l'initiative *BrainSTEM*, ensemble d'activités financées par FedDev Ontario, dépassant tous les objectifs fixés.

L'initiative *BrainSTEM*, financée par l'Agence fédérale de développement économique pour le Sud de l'Ontario (FedDev Ontario), a été mise sur pied pour promouvoir les compétences en STGM au XXI^e siècle et l'esprit d'entreprise chez les jeunes. Ce projet a été un succès complet, avec la participation de 400 000 élèves en classe, 5 000 enseignants, 25 000 parents et enfants, et 1,5 million de spectateurs à la télévision et en ligne. L'initiative *BrainSTEM* comprenait un ensemble intégré d'activités et de produits :

- *Destination carrière : les compétences pour réussir* : ressource pédagogique destinée aux élèves et aux enseignants, disponible en français et en anglais, comprenant 15 activités conçues pour les élèves, des vidéos et 200 Go de matériel pédagogique distribué dans tout le Sud de l'Ontario;
- une conférence collaborative réunissant en ligne des communicateurs, éducateurs et entrepreneurs scientifiques réputés et très respectés, qui ont échangé des idées sur la manière d'intéresser des publics partout dans le monde grâce aux communications numériques;
- des ateliers de formation : *BrainSTEM ICE*, camp de formation pour enseignants qui, avec la trousse *Destination carrière*, a procuré aux enseignants une formation sans égale pour intéresser les élèves aux compétences vitales en STGM;
- le festival *BrainSTEM: Your Future is Now* (Votre avenir est déjà là), célébration sur place et en ligne des compétences en STGM et de l'esprit d'entreprise, ingrédients essentiels pour réussir au XXI^e siècle.

Participation des Autochtones

- Plus de 1 000 jeunes Autochtones ont bénéficié des ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre.

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a poursuivi son partenariat avec Actua, le principal organisme canadien de diffusion des connaissances en sciences, technologie, génie et mathématiques (STGM) auprès des jeunes, et en particulier des Autochtones. Le personnel de diffusion des connaissances de

l'Institut Péricône 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.

Programmes et ressources destinés aux enseignants

Réseau des enseignants

- Les membres du réseau des enseignants de l'Institut Péricône ont animé 90 ateliers suivis par plus de 2 000 enseignants. Ces ateliers ont bénéficié ultimement à 150 000 élèves.

Constitué de plus de 50 enseignants de toutes les régions de l'Ontario et du reste du Canada, le réseau des enseignants de l'Institut Péricône a pour rôle d'initier des enseignants à l'utilisation des ressources pédagogiques de l'Institut en physique 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, renforçant la capacité des enseignants à faire connaître la physique moderne à leurs élèves. Les enseignants sont initiés à l'utilisation de toutes les troussees pédagogiques de l'Institut Péricône, dont les modules *Explorations*, *Inspirations* et *Investigations*, de même que le module de *BrainSTEM* intitulé *Destination carrière : les compétences pour réussir*.

Ateliers et exposés sur place

- L'équipe de diffusion des connaissances a donné 18 ateliers dans le cadre de conférences au Canada et à l'étranger, touchant plus de 1 000 enseignants et dépassant les objectifs fixés²⁵.

Les exposés à des conférences et rencontres éducatives importantes constituent des moyens efficaces d'accroître la visibilité des produits et programmes de diffusion des connaissances de l'Institut Péricône, au Canada comme à l'étranger. En particulier, étant donné l'augmentation de ses ressources au cours des dernières années pour le bénéfice des élèves plus jeunes, l'équipe de diffusion des connaissances a ciblé les enseignants de 9^e et de 10^e année.

²⁵ En 2013-2014, le personnel de l'Institut Péricône a notamment fait des exposés aux congrès annuels suivants : Association de professeurs de science de l'Ontario (Toronto, Canada); Association des conseillères et des conseillers d'orientation scolaire de l'Ontario (Toronto, Canada); réunion hivernale de l'Association américaine des enseignants de physique (Orlando, États-Unis); réunion estivale de l'Association américaine des enseignants de physique (Minneapolis, États-Unis); Association pour l'éducation scientifique (Birmingham, Royaume-Uni); Association nationale des enseignants de sciences (Boston, États-Unis); Association des enseignants en physique de l'Ontario (Hamilton, Canada); Agents de ressources pédagogiques en physique (Minneapolis, États-Unis); Programme du CERN pour les enseignants du secondaire (Genève, Suisse).

Ressources pédagogiques

Modules *Inspirations*, *Explorations* et *Investigations* de l'Institut Périmètre

- L'Institut a terminé un nouveau module *Inspirations*, intitulé *L'univers en expansion*, en vue d'un lancement à l'automne 2014.
- L'Institut a mis au point une version française de sa populaire trousse *BrainSTEM*.

Produits en tenant compte de l'opinion d'enseignants en physique et de scientifiques, les modules éducatifs destinés aux écoles constituent le principal moyen employé par l'Institut Périmètre pour initier les élèves du secondaire à la physique moderne. Les réactions montrent qu'ils sont utilisés et réutilisés dans les écoles, ce qui multiplie leur impact avec le temps.

L'Institut adopte une approche équilibrée de la création de produits éducatifs. Les modules *Inspirations* visent à piquer la curiosité des élèves du 1^{er} cycle du secondaire et à les motiver à continuer de suivre des cours de mathématiques et de sciences au 2^e cycle. Intitulé *L'univers en expansion*, le module *Inspirations* produit cette année présente à des élèves de la 7^e à la 12^e année des recherches et concepts de pointe en cosmologie (p. ex. le satellite Planck). Les modules *Explorations* présentent des idées et du contenu technique plus complexes aux élèves du 2^e cycle du secondaire, ce qui constitue une excellente préparation pour les cours de niveau postsecondaire en mathématiques, en sciences et en génie. Les modules *Investigations* sont des démonstrations ou des activités de laboratoire simples, prêtes à utiliser en classe.

Diffusion internationale

Toutes les ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre, tant les trousseaux physiques que les ressources en ligne, continueront d'être offertes gratuitement aux enseignants canadiens, mais elles sont aussi en vente à l'extérieur du Canada, par le truchement de la boutique en ligne de l'Institut, dans le cadre d'une stratégie de recouvrement de coûts.

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a intensifié ses efforts visant à diffuser ses ressources pédagogiques à l'étranger ainsi qu'à offrir la formation essentielle à l'utilisation de ces ressources. En plus de donner les sessions de formation sur place mentionnées plus haut, l'équipe de diffusion des connaissances de l'Institut Périmètre a mis sur pied des partenariats officiels de distribution, afin de diffuser les ressources de l'Institut partout au Royaume-Uni (avec l'Institut de physique et les centres d'éducation scientifique) et aux États-Unis (avec le programme *Physics Teacher Resource Agents*).

Enfin, l'Institut Périmètre et le ministère canadien des Affaires étrangères, du Commerce et du Développement préparent le terrain pour un engagement et un impact accrus à l'échelle internationale. Il y aura notamment des communications conjointes sur les possibilités de mobilité et de recrutement de talents au Canada, ainsi que des efforts de vente et de distribution à l'étranger de ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre.

Ressources en ligne

La publication en ligne de ressources de grande qualité permet à l'Institut Périmètre d'accroître sa portée et son impact. La plupart de ses productions de diffusion des connaissances sont accessibles en ligne, dont *Virtual ISSYP* (École d'été virtuelle), plus de 30 entrevues filmées de la série *Meet a Scientist* (Rencontre avec un scientifique), ainsi que des archives de conférences publiques présentées dans le passé.

Au cours de l'année écoulée, l'Institut Périmètre a entrepris un projet pour produire une version électronique plus accessible, destinée à être diffusée en ligne, de ses ressources pédagogiques. Conformément aux objectifs fixés, l'Institut a également créé, en partenariat avec TVO, 7 courtes vidéos intitulées *I Wonder Why* (Je me demande pourquoi), où des enfants posent des questions scientifiques à des experts dans le cadre des activités de *BrainSTEM* à l'automne 2013. Ces vidéos ont été diffusées à la télévision et en ligne, où elles ont fait l'objet de 500 000 visionnements.

Médias numériques et sociaux

L'Institut Périmètre cherche à être la première source d'un contenu en ligne fascinant, exact et diffusible dans le domaine de la physique. Les médias numériques et sociaux constituent des composantes cruciales de cette stratégie, car ils atteignent tous les publics de l'Institut : élèves, enseignants, journalistes, influenceurs, décideurs, chercheurs.

Au cours de l'exercice 2013-2014, l'Institut Périmètre a beaucoup intensifié ses efforts de diffusion dans les médias numériques et sociaux, en utilisant davantage ses canaux Facebook et Twitter, en augmentant considérablement la création de vidéos et leur diffusion par le truchement de son canal YouTube, et en mettant sur pied de nouvelles initiatives de diffusion par des médias numériques, dont la populaire série *Slice of PI* (Tranche d'IP), qui présente chaque mois un contenu scientifique amusant.

Slice of PI (Tranche d'IP)

Lancée en mars 2014 (à l'occasion de la journée de l'IP du 14 mars), la série mensuelle *Slice of PI* (Tranche d'IP) présente un contenu accessible à un nombre croissant d'abonnés en ligne, par l'intermédiaire d'influenceurs ciblés en physique et en sciences (*Physics Today*, *Physics is Awesome*, etc.) et par le truchement de médias sociaux (Facebook, Twitter, Google+, etc.).

- Voici 2 numéros de la série qui ont connu du succès :
 - ***What Great Scientists Did When They Weren't Doing Great Science*** (Ce que de grands scientifiques faisaient quand ils ne faisaient pas de la science), module d'infographie décrivant les loisirs de grands physiciens : 41 000 visionnements dans le site Web de l'Institut Périmètre, 1,3 million de visionnements dans le site Web de *CBC News*, 334 000 visionnements dans le site du *Huffington Post Canada* et 255 000 visionnements dans le site de *Yahoo! News Canada*.

- **Physics of Summer** (La physique de l'été), liste visuelle de phénomènes physiques liés à l'été : 136 000 visionnements dans le site de *Buzzfeed Science*, 144 000 abonnés de *Physics is Awesome*, 2 700 « J'aime » et suivis dans *It's Okay to be Smart*.

Vidéos

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a beaucoup enrichi le contenu de son canal YouTube. Cela s'est traduit par une augmentation considérable du nombre de visionnements et un nombre d'abonnés atteignant près de 4 000. Le canal YouTube de l'Institut a fait l'objet de 244 000 visionnements en 2013-2014, soit une hausse de 716 % par rapport à l'année précédente, et le nombre d'abonnés a augmenté de 1 673 en 2013-2014. La participation des utilisateurs a également connu une croissance, avec une croissance de 78 % du nombre de commentaires.

- Voici 3 vidéos qui ont connu du succès :
 - **Putting the Multiverse to the Test** (Mise à l'épreuve de la théorie du multivers), entrevue avec Matthew Johnson, professeur associé à l'Institut Périmètre : 124 700 visionnements;
 - **Schrodinger's Cat (Sort of) Explained** (Le « chat » de Schrödinger expliqué) : 17 700 visionnements;
 - **The Most Important Woman in the History of Mathematics** (La femme la plus importante de l'histoire des mathématiques), à propos d'Emmy Noether : 7 200 visionnements.

Médias sociaux

Le compte Twitter de l'Institut Périmètre a été suivi par quelque 1 900 personnes de plus en 2013-2014 par rapport à l'exercice précédent – soit la croissance la plus rapide depuis la création du compte. Cela est dû à la mise en ligne quotidienne de contenu, à la plus grande qualité de ce contenu, aux gazouillis en ligne transmis pendant les conférences publiques et d'autres activités, ainsi qu'à la diffusion auprès d'influenceurs ciblés.

- La page Facebook de l'Institut Périmètre a gagné quelque 2 100 nouveaux amis au cours de l'exercice 2013-2014 – soit la croissance la plus rapide depuis la création du compte.

Programmes destinés au grand public

Conférences publiques

La principale série de conférences publiques de l'Institut Périmètre, présentation de la Financière Sun Life, a continué d'être extrêmement populaire, les laisser-passers (gratuits) s'envolant chaque fois très rapidement.

En 2013-2014, conformément aux objectifs fixés, l'Institut Périmètre a présenté 10 conférences accessibles et intéressantes sur des sujets scientifiques – mécanique quantique, trous noirs, matière

sombre, lasers, etc. Cette série a également comporté une table ronde, présentée conjointement avec le magazine *Maclean's*, où de jeunes scientifiques ont discuté de l'avenir de la physique. Fait à souligner, la conférence donnée en juin 2014 par Sylvester James Gates fils a été webdiffusée en direct. Il s'agissait d'un projet pilote de diffusion en continu, qui a depuis lors été adoptée pour toutes les conférences subséquentes. La webdiffusion, ainsi que la présence de contenu interactif dont des séances de clavardage et des gazouillis en direct, permettent aux conférences d'atteindre un public plus vaste que jamais.

Festival *BrainSTEM: Your Future is Now* (Votre avenir est déjà là)

- Près de 25 000 personnes (élèves et familles) ont assisté au festival *BrainSTEM: Your Future is Now* (Votre avenir est déjà là).

À l'automne 2013 (du 30 septembre au 6 octobre), l'Institut Périmètre a accueilli le festival *BrainSTEM: Your Future is Now* (Votre avenir est déjà là). Cette activité organisée sur place et en ligne a été mise sur pied pour inciter les jeunes à s'intéresser aux sciences, à la technologie, au génie et aux mathématiques (STGM) et pour promouvoir l'esprit d'entreprise, essentiel pour réussir au XXI^e siècle. Le festival, qui comprenait entre autres des dizaines d'expositions interactives, des visites guidées, des conférences publiques et des spectacles scientifiques, a montré les liens entre les innovations technologiques et les percées scientifiques qui les ont rendues possibles.

Présence dans les médias

L'Institut Périmètre a continué de faire connaître les merveilles et les découvertes de la physique théorique par le truchement de médias importants. En 2013-2014, l'Institut a bénéficié d'une large couverture dans des médias canadiens et étrangers, dont *Nature*, Radio-Canada, *Discovery News* et bien d'autres. En voici quelques exemples dignes de mention :

- « Waterloo think tank gets even smarter », par Ivan Semeniuk, dans *The Globe and Mail*²⁶;
- « Waterloo Gets Physical », par Hannah Hoag, dans *Nature*²⁷;
- « Five people who are changing how we do physics: Nurturing the next Einsteins », par Hamish Johnston, dans *Physics World*²⁸;
- « Albert Einstein's hobbies and those of 9 other physicists revealed », par Emily Chung, dans *CBC.ca*²⁹;
- « Will science burst the multiverse's bubble? », par Ian O'Neill, dans *Discovery News*³⁰.

²⁶ Édition du 16 novembre 2013, <http://www.theglobeandmail.com/news/national/waterloo-think-tank-gets-even-smarter/article15474330/>

²⁷ Édition du 3 octobre 2013, <http://www.nature.com/naturejobs/2013/131003/pdf/nj7469-129a.pdf>

²⁸ Édition du 3 octobre 2013, <http://iopscience.iop.org/pwa/full/pwa-pdf/26/10/phwv26i10a42.pdf>

²⁹ Édition du 19 juillet 2014, <http://www.cbc.ca/news/technology/albert-einstein-s-hobbies-and-those-of-9-other-physicists-revealed-1.2711586>

³⁰ Édition du 18 juillet 2014, <http://news.discovery.com/space/will-science-burst-the-multiverses-bubble-140718.htm>

Objectif n° 9 : Créer le milieu et l'infrastructure les meilleurs au monde pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique

Résumé des réalisations

- Lancement d'une série de vitrines internes sur la recherche à l'Institut Périmètre, afin de renforcer la communauté des chercheurs et de susciter de nouvelles collaborations
- Amélioration continue du climat de travail pour les femmes à l'Institut Périmètre
- Expansion des collections de la bibliothèque et ajout de l'accès électronique à d'importantes revues spécialisées
- Amélioration des fonctions du site Web et mise sur pied d'un portail Intranet

Points saillants

Création d'un climat de collaboration et d'échange

Dans le passé, bon nombre des grandes percées scientifiques ont résulté de collaborations par-delà les frontières des disciplines. Jusque dans l'architecture de ses installations, l'Institut Périmètre a été conçu pour favoriser de telles collaborations. Avec la croissance de l'Institut, il est de plus en plus important de mettre en place des programmes qui nourrissent la collaboration et les échanges interdisciplinaires.

En janvier 2014, l'Institut Périmètre a organisé une journée de présentation informelle des programmes de recherche actuels et des projets en collaboration auxquels participent des chercheurs de l'Institut, dans le but de renforcer la communauté des chercheurs et de susciter de nouveaux échanges entre disciplines. Cette « journée de l'IP » comprenait des exposés dans chacun des domaines de recherche. Il y a eu 98 participants, professeurs titulaires aussi bien que postdoctorants et étudiants. Cette activité a connu un tel succès qu'il a été décidé de tenir des journées de l'IP 2 fois par année et d'organiser des ateliers sectoriels d'une journée, par exemple sur la gravitation quantique ou sur la cosmologie et la gravité forte.

Pour favoriser l'esprit de corps et la collaboration entre professeurs, l'Institut Périmètre a mis sur pied une série de déjeuners au cours desquels un professeur ou un professeur associé fait un bref exposé de ses travaux, puis anime une période de discussion et de questions. Présidés par Neil Turok, directeur de l'Institut, et tenus chaque mois d'octobre à juin, ces déjeuners comptent chaque fois de 15 à 20 participants.

Une autre série de déjeuners a également été mise sur pied pour permettre aux postdoctorants de discuter de leurs travaux, d'établir des liens en dehors de leur domaine et d'avoir une meilleure idée de

l'étendue des recherches menées à l'Institut. Il y eu 11 déjeuners de cette série en 2013-2014, avec chaque fois une trentaine de participants.

Promotion de l'équité entre les sexes

L'Institut Périmètre s'est engagé à lutter contre le déséquilibre traditionnel entre les hommes et les femmes en physique, tant à l'Institut qu'à l'extérieur.

À l'interne, l'Institut Périmètre est au milieu d'un processus pluriannuel qui vise à examiner – et à améliorer – le climat de travail pour les femmes en physique. En mai 2013, à la demande de l'Institut, une équipe formée de 4 femmes, scientifiques chevronnées membres du comité de la Société américaine de physique (APS) sur le statut de la femme en physique (CSWP), a passé 2 jours à l'Institut Périmètre. Cette équipe avait pour mandat d'examiner le climat de travail pour les femmes à l'Institut et de recommander des changements en vue d'une plus grande équité entre les sexes dans l'ensemble de l'Institut.

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a continué de travailler avec des experts pour préciser les recommandations du comité³¹ et élaborer des stratégies pour les mettre en œuvre. En particulier, l'Institut a consulté des experts des programmes ADVANCE et STRIDE de l'Université du Michigan, qui travaillent à la définition d'un ensemble de pratiques exemplaires concernant le recrutement, l'embauche et la rétention de femmes en sciences. Ce travail se poursuit.

Collections de la bibliothèque et accès électronique à des revues

Une bibliothèque interne est essentielle pour la communauté des chercheurs et étudiants de l'Institut Périmètre. En 2013-2014, l'Institut a poursuivi l'expansion de ses collections, conformément à un plan pluriannuel visant à fournir aux chercheurs résidants et invités des ressources de recherche complètes. La bibliothèque a acquis 64 nouveaux ouvrages, portant à 5 256 le nombre d'éléments de sa collection imprimée (5 719 en comptant tous les formats), en plus d'abonnements à 115 revues électroniques auxquelles les chercheurs et les étudiants ont accès sur place et à distance.

Mises à niveau des systèmes et autres initiatives en matière de TI

En 2012, l'Institut Périmètre a lancé un site Web remanié. En 2013-2014, l'Institut Périmètre a continué d'améliorer ce nouvel environnement, offrant des fonctions et services améliorés, dont les suivants :

- Version française d'une plus grande partie du site Web public
- Fonctions améliorées de commerce électronique, pour soutenir par l'intermédiaire du site Web les ventes à l'étranger des ressources pédagogiques de l'Institut (voir l'objectif n° 8)

³¹ Mentionnons entre autres les recommandations suivantes : favoriser des rétroactions et conseils plus réguliers et informels pour les doctorantes et les jeunes chercheuses; déterminer si, parmi les postdoctorants, des tendances inconscientes amènent les femmes à jouer dans une proportion plus élevée des rôles d'assistantat à l'enseignement dans le cadre du programme PSI; poursuivre la formation sur diverses méthodes d'embauche.

➤ Fonctions améliorées de soutien aux dons en ligne (voir l'objectif n° 10)

Les mises à niveau prévues de l'infrastructure de traitement de l'information (TI), afin d'optimiser la recherche et d'améliorer l'efficacité administrative de l'Institut, se sont poursuivies conformément aux objectifs fixés. Mentionnons entre autres la mise en place d'un nouveau système de gestion des collections de la bibliothèque, de nouveaux services d'appels conférence et la mise au point d'un nouveau système de gestion de ressources pour la réservation de salles et les services connexes. Au printemps 2014, l'Institut Périmètre a entrepris de réaliser un nouveau portail Intranet, qui devrait permettre de simplifier la reddition de comptes et de diminuer les redondances dans la saisie d'information.

Objectif n° 10 : Continuer d'exploiter le modèle de financement public-privé qui a fait ses preuves à l'Institut Péricimètre

Résumé des réalisations

- Plus de 5,1 millions de dollars en dons d'individus, d'entreprises et de fondations
- Obtention de promesses de nouveaux dons majeurs de Gluskin Sheff (2 millions de dollars) et de Peter Godsoe (500 000 \$); parachèvement de ces ententes en cours
- Expansion du Programme d'entreprises partenaires, du Cercle Emmy-Noether, ainsi que des programmes de financement annuel et des anciens de l'Institut Péricimètre
- Expansion du réseau des défenseurs et supporteurs de l'Institut Péricimètre dans les milieux financiers et philanthropiques partout au Canada et aux États-Unis
- Accomplissement réussi d'un ensemble d'activités dans le cadre du programme *BrainSTEM*, financé par FedDev Ontario avec le soutien d'entreprises privées
- Embauche d'une directrice responsable des dons majeurs

Points saillants

Partenaires publics

L'Institut Péricimètre est financé dans le cadre d'un partenariat public-privé innovateur, qui partage les possibilités et les bénéfices d'un investissement à long terme dans la recherche fondamentale. Des investissements de tous les paliers de gouvernement ont contribué à la mise sur pied de l'Institut Péricimètre, et le soutien du secteur public a été un élément crucial des succès de l'Institut jusqu'à ce jour. Ces partenariats jouent en outre un rôle central dans l'établissement du Canada comme siège mondial de la *Quantum Valley*, prêt à tirer les bénéfices de la prochaine grande révolution technologique.

L'exercice 2013-2014 a marqué la 2^e année d'une entente de financement de 50 millions de dollars avec le gouvernement du Canada et d'une entente de financement de 50 millions de dollars avec la Province de l'Ontario. L'Institut Péricimètre continue de suivre des pratiques exemplaires en matière de gestion financière, afin de satisfaire à toutes les exigences de reddition de comptes et d'atteindre ou de dépasser les objectifs fixés.

L'Institut Péricimètre a réalisé l'ensemble des activités du programme *BrainSTEM*, financé par FedDev Ontario avec le soutien d'entreprises privées. L'initiative *BrainSTEM*, mise sur pied pour promouvoir les compétences en sciences, technologie, génie et mathématiques (STGM) au XXI^e siècle et l'esprit d'entreprises chez les jeunes, a été un succès complet, avec la participation de 400 000 élèves en classe, 5 000 enseignants, 25 000 parents et enfants, et 1,5 million de spectateurs à la télévision et en ligne.

L'Institut Périmètre a continué de travailler avec des partenaires de tous les paliers de gouvernement, afin de leur fournir des idées et des conseils relatifs aux politiques publiques en matière scientifique. L'Institut a contribué substantiellement au processus de consultation intitulé *Un moment à saisir pour le Canada – Aller de l'avant dans le domaine des sciences, des technologies et de l'innovation*. Le personnel de l'Institut a animé des séances d'information pour des ministères, agences et dirigeants clés des gouvernements à Ottawa et à Toronto. Des dirigeants de l'Institut Périmètre, dont Michael Duschenes, directeur de l'exploitation, et Neil Turok, directeur de l'Institut, ont offert leur expertise par des exposés et des rencontres avec des fonctionnaires d'Industrie Canada (dans le cadre de son programme des conférenciers éminents), des sous-ministres (dans le cadre des séminaires pour sous-ministres de l' cole de la fonction publique du Canada) et des dirigeants de la région (  la réception et au dîner internationaux du Triangle technologique du Canada).

Partenaires privés

Les partenaires privés qui partagent la vision de l'Institut Périmètre et y investissent jouent un rôle crucial dans la capacité de l'Institut de devenir et demeurer à long terme un chef de file mondial de la recherche, de la formation et de la diffusion de connaissances en physique théorique. Par leur soutien, les donateurs privés témoignent que la science fondamentale est le moteur de la science, de la technologie, et ultimement du bien-être collectif, de la prochaine génération.

La stratégie de développement à long terme de l'Institut Périmètre repose à la fois sur des individus fortunés, des fondations dont la mission rejoint celle de l'Institut, des entreprises, ainsi que des personnes qui veulent jouer un rôle dans la joie et la passion de la découverte.   ce jour, l'Institut s'est principalement concentré sur les possibilités d'obtention de montants importants, mais il a aussi accru substantiellement en 2013-2014 ses efforts de sensibilisation et d'augmentation du nombre de donateurs.

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a reçu plus de 5,1 millions de dollars en dons du secteur privé, dont 4 millions de dollars de la Fondation Krembil pour la création de 2 chaires de recherche pour les scientifiques de premier plan Davide Gaiotto (chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique) et Kevin Costello (chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton de physique théorique). Fait à souligner, il s'agit du 1^{er} investissement de la Fondation Krembil à l'extérieur du domaine des soins de santé.

De plus, l'Institut Périmètre a obtenu le soutien de diverses entreprises, fondations et personnes, notamment pour les initiatives de financement suivantes :

- **Cercle et Conseil Emmy-Noether** – Les initiatives de l'Institut Périmètre visant à soutenir les femmes en physique se sont intensifiées et ont obtenu beaucoup d'appuis. Dans le cadre de la Journée internationale de la femme, l'Institut a organisé une activité à laquelle ont participé des membres du Conseil Emmy-Noether, des donateurs actuels et potentiels, ainsi qu'un panel de femmes influentes venant de différents milieux (physique, banques, mines, technologie, etc.).

Les initiatives Emmy-Noether ont suscité de nouveaux dons de Deloitte, de la banque Scotia, de la Fondation Beatrice-Snyder et de donateurs individuels.

- **Cercle du directeur** – Il est formé des personnes qui ont donné 1 000 \$ ou plus à l'Institut. Au cours de l'année écoulée, le Cercle du directeur a atteint les 34 membres, dont beaucoup se sont engagés pour plusieurs années.
- **BrainSTEM** – En plus du financement de FedDev Ontario, l'ensemble de ressources et d'activités *BrainSTEM* a bénéficié du soutien d'entreprises dont Linamar Corporation, Toyota Motor Manufacturing Canada inc., Drake Entertainment, Desire2Learn et Maplesoft.

La direction du développement de l'Institut Périmètre a poursuivi son travail de recherche et de contact auprès de donateurs privés potentiels. Cela s'est fait en grande partie au moyen d'activités spéciales, dont des conférences et des activités publiques tenues à l'Institut Périmètre, ailleurs au Canada et à l'étranger.

- Novembre 2013 – Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, a été l'orateur principal à une conférence Ramsay organisée à Toronto et à laquelle ont assisté des donateurs actuels et potentiels importants.
- Décembre 2013 – Michael Duschene, directeur de l'exploitation à l'Institut Périmètre, et Neil Turok, directeur de l'Institut, ont prononcé les discours principaux au dîner annuel du Triangle technologique du Canada, devant des centaines de dirigeants du secteur de la technologie de pointe et du milieu politique de l'Ontario.
- Novembre 2013 et avril 2014 – Des représentants de l'Institut Périmètre ont eu des rencontres avec des dirigeants de Goldman Sachs, d'IBM et de l'Académie des sciences de New York, à propos de collaborations possibles.
- Octobre 2013 et avril 2014 – Neil Turok a prononcé une conférence à une activité de METal International à Los Angeles, puis a eu des rencontres avec Elon Musk (PDG de SpaceX et de Tesla Motors) et David Fransen (consul général du Canada à Los Angeles).
- Mai 2014 – Conjointement avec Communitech, l'Institut Périmètre a accueilli 15 délégués de la Nouvelle-Écosse, représentant le bureau du Premier ministre et les principales institutions académiques de la province, ainsi que 10 dirigeants d'entreprises et d'universités de la région de Waterloo.

Programmes de financement annuel et des anciens de l'Institut Périmètre

L'Institut Périmètre a lancé cette année de nouveaux programmes de financement annuel et des anciens de l'Institut, qui visent à encourager les dons de particuliers. Pour cela, l'Institut a mis sur pied une campagne complète pour susciter l'engagement des diplômés de l'Institut partout dans le monde et motiver ses amis de la région à devenir des donateurs individuels.

Les efforts de sensibilisation et d'obtention de soutien financier ont comporté des capsules créatives diffusées dans les médias sociaux, par exemple la série *Slice of PI* (Tranche d'IP) (voir l'objectif n° 8), des

contacts accrus avec les anciens de l'Institut Péricimètre et de meilleures fonctions pour les dons en ligne, qui ont permis d'augmenter substantiellement le nombre de dons en ligne au cours de l'année écoulée.

Embauche d'une directrice responsable des dons majeurs

En mars 2014, l'Institut Péricimètre a recruté Andrea Grimm à titre de directrice responsable des dons majeurs. Mme Grimm a plus de 25 ans d'expérience dans le secteur du développement. Elle était récemment directrice générale du développement à la Société Alzheimer du Canada et a tenu des rôles clés dans la promotion de l'enseignement de la recherche et de la santé. Elle a été agente principale des dons pour la campagne de financement de 400 000 000 \$ de l'Université McMaster et a été directrice nationale, Développement des ressources et marketing, de l'organisme Déjeuner pour apprendre. Elle a aussi été active au sein de la Société canadienne du cancer et de Centraide de St. Croix.

Aperçu des états financiers, des dépenses, des critères d'évaluation et de la stratégie d'investissement

États financiers résumés de

L'INSTITUT PÉRIMÈTRE

pour l'exercice terminé le 31 juillet 2014



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 2014, 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 2014. Nous avons exprimé une opinion sans réserve sur ces états financiers dans notre rapport daté du 12 décembre 2014. 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 2014 constituent un résumé fidèle de ces états financiers, établi selon les normes comptables canadiennes pour les organismes à but non lucratif.

Zeifmans LLP

Toronto (Ontario)
Le 12 décembre 2014

Comptables agréés
Experts-comptables autorisés

INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé de la situation financière
au 31 juillet 2014

(en milliers de dollars)

	2014	2013
ACTIF		
Actif à court terme :		
Trésorerie et équivalents	15 958 \$	11 174 \$
Valeurs négociables	264 333	232 514
Subventions gouvernementales à recevoir	5 680	2 321
Autre actif à court terme	<u>809</u>	<u>1 599</u>
	286 780	248 208
Immobilisations	<u>49 457</u>	<u>52 808</u>
TOTAL DE L'ACTIF	<u>336 237 \$</u>	<u>301 016 \$</u>
PASSIF ET SOLDE DES FONDS		
Passif à court terme :		
Comptes créditeurs et autre passif à court terme	<u>1 692 \$</u>	<u>2 487 \$</u>
TOTAL DU PASSIF	<u>1 692</u>	<u>2 487</u>
Solde des fonds :		
Investis dans les immobilisations	49 974	52 319
Grevés d'affectations d'origine externe	121 873	126 801
Grevés d'affectations d'origine interne	78 840	78 840
Non grevés	<u>83 858</u>	<u>40 569</u>
SOLDE TOTAL DES FONDS	<u>334 545</u>	<u>298 529</u>
	<u>336 237 \$</u>	<u>301 016 \$</u>



INSTITUT PÉRIMÈTRE

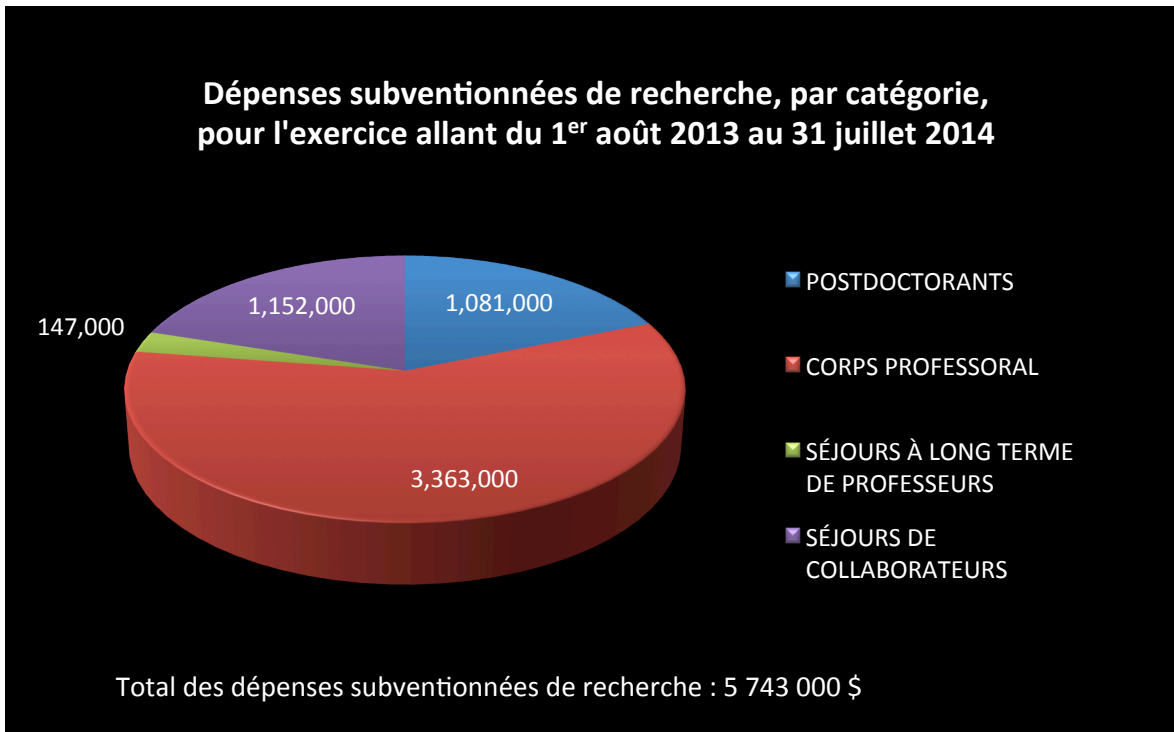
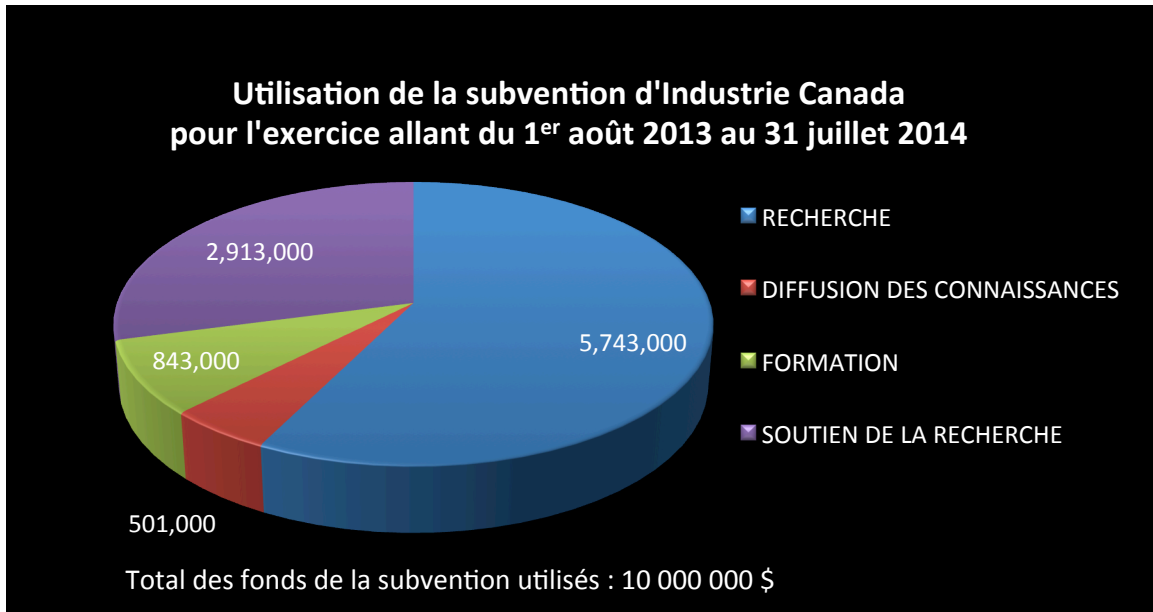
État résumé des résultats et du solde des fonds
pour l'exercice terminé le 31 juillet 2014

(en milliers de dollars)

	2014	2013
Produits		
Subventions gouvernementales	19 526 \$	23 837 \$
Autres produits	1 424	1 446
Dons	<u>761</u>	<u>909</u>
	<u>21 711</u>	<u>26 192</u>
Charges		
Recherche	12 517	11 913
Formation à la recherche	2 034	1 983
Diffusion des connaissances et communications scientifiques	3 171	3 080
Charges indirectes de recherche et de fonctionnement	<u>5 770</u>	<u>5 697</u>
	<u>23 492</u>	<u>22 673</u>
Excédent des produits par rapport aux charges (des charges par rapport aux produits) avant produits de placement, amortissement	(1 781)	3 519
Amortissement	(3 838)	(4 129)
Produits de placement	<u>41 635</u>	<u>29 372</u>
Excédent des produits par rapport aux charges	36 016	28 762
Solde des fonds au début de l'exercice	<u>298 529</u>	<u>269 767</u>
Solde des fonds à la fin de l'exercice	<u>334 545 \$</u>	<u>298 529 \$</u>



Utilisation de la subvention d'Industrie Canada



Stratégie d'évaluation du rendement

Rendement scientifique

L'Institut PÉRIMÈTRE possède un large éventail de politiques, systèmes et processus (internes et externes) de suivi et d'évaluation du rendement, qui ont été mis au point au fil des ans et sont régulièrement réévalués et mis à jour. Ces moyens de mesure des résultats et de l'impact sont présentés ci-dessous.

Suivi interne du rendement scientifique

- Rapports annuels d'activité de recherche remis pour évaluation au directeur général par tous les professeurs et professeurs associés
- Examen annuel du rendement de tout le personnel de recherche
- Suivi continu des publications et citations
- Rapports et évaluations après les conférences
- Rapports d'activité de recherche des chercheurs invités et suivi continu de toute leur production
- Comptes rendus et suivis périodiques des progrès de tous les programmes scientifiques
- Évaluation du rendement des chercheurs à mi-mandat
- Programme de mentorat des postdoctorants
- Suivi des postdoctorants qui ont obtenu un poste dans un autre établissement après leur départ de l'Institut
- Suivi de la présence et de l'impact des chercheurs dans le monde, par les collaborations et les invitations à donner des conférences
- Examen et évaluation internes de tous les programmes et produits de diffusion des connaissances

Suivi externe du rendement scientifique

- Rapports périodiques au comité consultatif scientifique international, suivi d'une évaluation du rendement et de recommandations (voir la liste des membres du comité à l'annexe E)
- Examen par le comité consultatif scientifique de toutes les embauches et promotions des membres du corps professoral
- Évaluation des publications par des pairs
- Audits opérationnels et examens, conformément aux accords de subvention
- Examen et évaluation externes de tous les programmes et produits de diffusion des connaissances

Stratégie d'investissement

Partenariat public-privé

L'Institut Péricimètre doit son existence à une approche de co-investissement public-privé très fructueuse qui pourvoit aux activités courantes tout en garantissant les possibilités futures.

Les partenaires publics contribuent aux activités de recherche, de formation et de diffusion des connaissances de l'Institut et, conformément aux règles d'attribution des différentes subventions, reçoivent régulièrement des comptes rendus, rapports et états financiers audités annuels pour s'assurer de l'usage optimal des ressources tout en restant informés de la productivité de la recherche et des effets des activités de diffusion des connaissances de l'Institut.

Les contributions privées, provenant d'un nombre croissant de donateurs, servent entre autres à financer les activités de l'Institut, mais une partie est placée dans un fonds de dotation conçu principalement pour recevoir des sommes d'argent et les faire fructifier en maximisant leur appréciation tout en minimisant les risques, de façon à contribuer au maximum à la santé financière à long terme de l'Institut.

L'Institut Péricimètre demeure un exemple innovateur de partenariat public-privé réunissant gouvernements et philanthropes dans le but commun de réaliser le potentiel transformateur de la recherche scientifique au Canada.

Gouvernance

L'Institut Péricimètre 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 (voir l'annexe D, *Membres du conseil d'administration de l'Institut Péricimètre*).

Le conseil d'administration est soutenu par 2 comités dans l'exécution de ses obligations fiduciaires relatives à la gestion financière. Le comité de gestion des investissements est chargé de superviser l'investissement et la gestion des sommes reçues, conformément à une politique d'investissement approuvée par le conseil d'administration, et qui définit les règles, normes et procédures prudentes à appliquer en la matière. Le comité des finances et de l'audit est chargé de superviser les politiques, processus et activités de l'Institut en matière de comptabilité, de contrôles internes, de gestion des risques, d'audit et d'information financière. Le conseil d'administration forme également d'autres comités en fonction des 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 de l'exploitation est responsable du fonctionnement quotidien de l'établissement et relève du directeur général. Il est soutenu dans sa tâche par une équipe de cadres administratifs. Les chercheurs résidents relèvent du directeur général et jouent un rôle actif dans la gestion opérationnelle des activités, en participant à différents comités chargés des programmes scientifiques.

Le comité consultatif scientifique, composé d'éminents scientifiques de renommée mondiale (voir l'annexe E, *Membres du comité consultatif scientifique de l'Institut Périmètre*), offre un contrôle et des conseils indépendants pour aider à faire en sorte que les activités de l'Institut répondent à des critères élevés d'excellence scientifique. Ses membres sont nommés pour 3 ans et participent à une réunion annuelle tenue à l'Institut pour examiner attentivement ses programmes de recherche scientifique, de formation et de diffusion des connaissances, après quoi son président rédige un rapport adressé au conseil d'administration et au directeur général.

Objectifs pour 2014-2015

Énoncé des objectifs pour 2014-2015

Les succès résumés dans les pages précédentes indiquent très clairement que la planification stratégique de l'Institut Périmètre est à la fois judicieuse et efficace, et que l'Institut est en bonne voie d'atteindre son objectif primordial à long terme : créer et pérenniser le plus grand centre mondial pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique, afin de promouvoir l'excellence scientifique et de favoriser des percées scientifiques qui transformeront notre avenir.

Dans l'exercice à venir, l'Institut poursuivra sa trajectoire actuelle, fondée sur les objectifs stratégiques ci-dessous, pour progresser dans la réalisation de sa mission et de ses buts essentiels.

- Objectif n° 1 : Réaliser des découvertes de classe mondiale.
- Objectif n° 2 : Devenir la résidence de recherche d'une masse critique des plus grands physiciens théoriciens au monde.
- Objectif n° 3 : Devenir un incubateur des talents les plus prometteurs.
- Objectif n° 4 : Devenir la seconde résidence de recherche de plusieurs grands théoriciens du monde.
- Objectif n° 5 : Constituer une plaque tournante d'un réseau mondial de centres de physique théorique et de mathématiques.
- Objectif n° 6 : Renforcer le rôle de l'Institut Périmètre comme centre de convergence pour la recherche en physique fondamentale au Canada.
- Objectif n° 7 : Organiser des conférences, ateliers, cours et séminaires ciblés et opportuns.
- Objectif n° 8 : Mener une action de diffusion des connaissances à fort impact.
- Objectif n° 9 : Créer l'environnement et l'infrastructure les meilleurs au monde pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique théorique.
- Objectif n° 10 : Continuer d'exploiter le modèle de financement public-privé qui a fait ses preuves à l'Institut Périmètre.

Annexes

Remarque : Le contenu des annexes correspond à la situation de l'Institut Périmètre au 31 juillet 2014.

Annexe A : Corps professoral de l'Institut Périmètre

Professeurs

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 Périmètre. 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 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 » (ou multiunivers), qui fait maintenant 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 1992 de l'Institut de physique du Royaume-Uni. Il est boursier principal du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) et membre principal du Collège Massey de l'Université de Toronto. En 2012, il a prononcé les conférences Massey de la radio anglaise de Radio-Canada. Ces conférences ont été également publiées dans le livre *The Universe Within* (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 de sciences mathématiques (AIMS) dans la ville du Cap en 2003. L'AIMS est depuis devenu un réseau de 4 centres situés en Afrique du Sud, au Sénégal, au Ghana et au Cameroun. C'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) et 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 Périmètre en 2012, en provenance de l'Université Harvard, où il était boursier postdoctoral depuis 2011. Auparavant, il a été boursier de recherche au Centre des sciences théoriques de l'Université de Princeton de 2008 à 2011. C'est un jeune théoricien de premier ordre 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 et d'autres établissements.

Asimina Arvanitaki (Ph.D., Université Stanford, 2008) est devenue professeure à l'Institut Périclète en mars 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. C'est une pionnière de l'utilisation d'objets diélectriques en lévitation optique pour détecter des ondes gravitationnelles. 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) est devenu professeur adjoint à l'Institut Périclète en 2010. De 2006 à 2009, il a été boursier postdoctoral à l'Institut canadien d'astrophysique théorique (ICAT). Il est également boursier junior de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA). 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 récemment 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.

Freddy Cachazo (Ph.D., Université Harvard, 2002) est professeur à l'Institut Périclète 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 en chromodynamique quantique (QCD) et dans les théories de Yang et Mills supersymétriques $N=4$. Il a reçu de nombreuses distinctions, dont une bourse de nouveau chercheur (2007), la médaille Gribov de la Société européenne de physique (2009), la médaille commémorative Rutherford de physique de la Société royale du Canada (2011) et la médaille Herzberg (2012).

Bianca Ditttrich (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. Bianca Ditttrich a reçu en 2007 la médaille Otto-Hahn, remise par la Société Max-Planck à de jeunes scientifiques d'exception.

Laurent Freidel (Ph.D., École normale supérieure de Lyon, 1994) est devenu professeur à l'Institut Péricimètre en septembre 2006. C'est un physicien mathématicien qui a fait de nombreuses contributions dignes de mention dans le domaine de la gravitation quantique. Il possède des connaissances très étendues dans bien des domaines, dont les systèmes intégrables, les théories des champs topologiques, les théories conformes bidimensionnelles et la chromodynamique quantique. M. Freidel a occupé des postes à l'Université d'État de la Pennsylvanie et à l'École normale supérieure de Lyon. Il est membre du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) de France depuis 1995. Il a reçu de nombreuses distinctions, dont 2 bourses ACI-Blanche en France.

Davide Gaiotto (Ph.D., Université de Princeton, 2004) est professeur à l'Institut Péricimètre depuis mai 2012. 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 qui pourraient avoir des conséquences révolutionnaires. 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 (2012).

Jaume Gomis (Ph.D., Université Rutgers, 1999) est devenu professeur à l'Institut Péricimètre en 2004, renonçant du même coup à une bourse EURYI (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 pour un projet visant à mettre au point de nouvelles techniques de description des phénomènes quantiques en physique nucléaire et en physique des particules.

Daniel Gottesman (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 1997) est professeur à l'Institut Péricimètre 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 la recherche sur la théorie de l'information quantique, grâce à son travail sur la correction d'erreurs quantiques et la cryptographie quantique. Il a publié plus de 40 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 (ICRA) et a été élu membre de la Société américaine de physique (APS).

Lucien Hardy (Ph.D., Université de Durham, 1992) est devenu professeur à l'Institut Péricimètre 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*. Son travail actuel vise à caractériser la physique quantique sous forme de postulats opérationnels et à appliquer les résultats obtenus au problème de la gravitation quantique.

Luis Lehner (Ph.D., Université de Pittsburgh, 1998) est devenu professeur associé à l'Institut Péricimètre en 2009, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph, puis professeur à plein temps à l'Institut Péricimètre 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 la 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 (ICAT), 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 (ICRA).

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 Péricimètre 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 (1999), le prix de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et du Centre de recherches mathématiques (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 (ICRA).

Subir Sachdev (Ph.D., Université Harvard, 1985) est devenu en février 2014 titulaire de la chaire James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Péricimètre (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 Péricimètre de 2009 à 2014.

Philip Schuster (Ph.D., Université Harvard, 2007) est devenu professeur à l'Institut Péricimètre 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.

Kendrick Smith (Ph.D., Université de Chicago, 2007) s'est joint à l'Institut Périmètre en septembre 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 boursier postdoctoral du Conseil de recherche en physique des particules et en astronomie du Royaume-Uni (PPARC) de 2007 à 2009. M. Smith est un cosmologiste actif dans les milieux de la théorie et de l'observation. Il est membre de plusieurs équipes d'expérimentateurs, dont celle de l'expérience WMAP, qui a reçu le prix Gruber 2012 de cosmologie, ainsi que des expériences QUIET et Planck. Il a obtenu plusieurs résultats importants, dont la première détection de l'effet lenticulaire gravitationnel dans le rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique). Il est actuellement en congé de l'Institut pour une période d'un an, afin de participer à la phase de démarrage du projet HSC (*Hyper-Suprime Cam*) au télescope Subaru d'Hawaii, après quoi il apportera à l'Institut Périmètre les pleins droits d'utilisation des données recueillies. 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 Périmètre. Auparavant, il a été chercheur à l'Institut d'études avancées de Princeton, à l'Institut de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara, à l'Institut Enrico-Fermi de l'Université de Chicago, à l'Université Yale, à l'Université de Syracuse et à l'Université d'État de la Pennsylvanie. Les recherches de M. Smolin portent surtout sur le problème de la gravitation quantique, notamment la gravitation quantique à boucles et la relativité restreinte déformée (ou relativité doublement restreinte), mais il est l'auteur de contributions dans beaucoup de domaines, ainsi que de 4 ouvrages non techniques. Ses articles ont fait l'objet de plus de 6 400 citations à ce jour. Lee Smolin a reçu de nombreuses distinctions, dont le prix Majorana (2007) et le prix commémoratif Klopsteg (2009). 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 Périmètre 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. Ses recherches portent principalement sur la définition des innovations conceptuelles qui distinguent les théories quantiques des théories classiques et sur la mise en lumière de leur importance pour l'axiomatisation, l'interprétation et la mise en œuvre de différentes tâches en théorie de l'information. M. Spekkens a reçu le prix Birkhoff-von-Neumann de l'Association internationale pour les structures quantiques.

Natalia Toro (Ph.D., Université Harvard, 2007) est devenue professeure à l'Institut Périmètre en 2010, après avoir été boursière postdoctorale à l'Institut de physique théorique de l'Université Stanford (SITP). 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 des recherches à venir dans le cadre de l'expérience de solénoïde compact pour muons (CMS) au grand collisionneur de hadrons (LHC) 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.

Guifre Vidal (Ph.D., Université de Barcelone, 1999) est devenu professeur à l'Institut Périclès en 2011, en provenance de l'Université du Queensland à Brisbane, où il était membre de la Fédération australienne des conseils de recherche et professeur à l'École de mathématiques et physique. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université d'Innsbruck, en Autriche, et à l'Institut d'informatique quantique de l'Institut de technologie de la Californie. M. Vidal travaille à la jonction entre la théorie de l'information quantique et la physique de la matière condensée, utilisant des réseaux de tenseurs pour calculer l'état fondamental de systèmes quantiques à N corps sur un treillis, ainsi que pour produire une classification des états possibles de la matière quantique ou des points fixes du flot de renormalisation. Guifre Vidal a reçu entre autres distinctions une bourse Marie-Curie de l'Union européenne et une bourse de la Fondation Sherman-Fairchild.

Pedro Vieira (Ph.D., École normale supérieure de Paris et Centre de physique de l'Université de Porto, 2008) a été chercheur associé à l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) en 2008 et 2009, avant de devenir professeur à l'Institut Périclès en 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, ainsi qu'au calcul théorique d'amplitudes de diffusion. *Y-system for scattering amplitudes*, de Pedro Vieira et de ses collaborateurs, a remporté le Prix 2012 du meilleur article, remis par l'Institut de physique (IOP) et le comité de rédaction du *Journal of Physics A*. M. Vieira s'est également mérité une bourse de nouveau chercheur en 2012.

Xiao-Gang Wen (Ph.D., Université de Princeton, 1987) est devenu professeur à l'Institut Périclès en mai 2012. 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, et il a 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, M. 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 Périclès. Il est également membre élu de la Société américaine de physique.

Professeurs associés

Niayesh 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 Périmètre en 2008 et 2009. Il est professeur associé à l'Institut depuis 2010. 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 (SAD) accordé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG).

Avery Broderick (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 2004) est devenu professeur associé à l'Institut Périmètre 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) ainsi qu'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 quelques 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 Périmètre depuis 2003, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Western. Auparavant, il a été chercheur à l'Institut 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 Périmètre en juin 2014, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, où il est titulaire de la chaire financée par un fonds de dotation de l'Institut de nanotechnologie de Waterloo (WIN) en supraconductivité. M. Budakian est arrivé à Waterloo en provenance de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. Auparavant, il a occupé des postes 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 de détection ultrasensibles 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 Péricimètre 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 les modèles d'expansion de l'univers qui constituent le cadre le plus prometteur pour la vérification expérimentale de la théorie des cordes. 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 de physique théorique et mathématique de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et du Centre de recherches mathématiques.

David Cory (Ph.D., Université Case Western Reserve, 1987), nommé conjointement avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, a été chercheur à l'Université de Nîmègue, aux Pays-Bas, au Laboratoire de recherches navales du Conseil national de recherches des États-Unis, à Washington (District de Columbia), ainsi qu'à l'Institut de technologie du Massachusetts. Il a également dirigé les activités de recherche-développement en résonance magnétique nucléaire chez Bruker Instruments. 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 (ICRA).

James Forrest (Ph.D., Université de Guelph, 1994) s'est joint à l'Institut Péricimètre en février 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 corécipiendaire 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 Péricimètre en août 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 Péricimètre. M. Johnson est un cosmologiste dont les recherches interdisciplinaires visent à comprendre comment l'univers a commencé, comment il a évolué et vers quoi il s'en va. Pour ce faire, il conçoit des algorithmes d'analyse de données pour confronter les théories fondamentales avec les observations du rayonnement fossile. En 2012, il a obtenu une subvention du programme *Nouvelles frontières en astronomie et cosmologie* de l'Université de Chicago et de la Fondation John-Templeton.

Raymond Laflamme (Ph.D., Université de Cambridge, 1988) est professeur à l'Institut Périmètre depuis sa fondation, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo. Il est aussi directeur fondateur de l'Institut d'informatique quantique. Il a été chercheur à l'Université de la Colombie-Britannique et au Collège Peterhouse de l'Université de Cambridge, avant de passer au Laboratoire national de Los Alamos en 1992, où il a réorienté 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 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 technologies quantiques.

Sung-Sik Lee (Ph.D., Université Pohang de sciences et technologie, 2000) est devenu professeur associé à l'Institut Périmètre en 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster, où il est professeur agrégé. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université Pohang de sciences et technologie, à l'Institut de technologie du Massachusetts, et 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 et à interaction forte à l'aide de la théorie quantique des champs, de même que sur les points de rencontre entre la physique de la matière condensée et la physique des hautes énergies. Dans de récents travaux, il a utilisé la théorie de jauge comme lentille d'observation du phénomène de fractionnalisation, entreprenant de transposer la correspondance AdS/CFT de la théorie des cordes à la chromodynamique quantique et à la matière condensée, et élaborant une approche non perturbatrice de la compréhension des états métalliques non conventionnels de la matière.

Roger Melko (Ph.D., Université de la Californie à Santa Barbara, 2005) est devenu professeur associé à l'Institut Périmètre en septembre 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, 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'Université de Waterloo, est membre fondateur de l'Institut Périmètre, ainsi que cofondateur et sous-directeur de l'Institut d'informatique quantique. 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 (ICRA) 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.

Maxim Pospelov (Ph.D., Institut Budker de physique nucléaire, Russie, 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, au Royaume-Uni. 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 Périmètre en 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université McMaster. Auparavant, il a été associé de recherche au Département de physique de 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, en particulier l'origine de la brisure de symétrie électrofaible et la nature de la matière sombre. Tout récemment, il a travaillé sur l'interprétation de données déconcertantes produites par des expériences de recherche de matière sombre en laboratoire.

Annexe B : Titulaires de chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricimètre

Yakir Aharonov est professeur de physique théorique de la matière condensée à l'Université Chapman et professeur émérite à l'Université de Tel Aviv. Il a apporté des contributions majeures à la mécanique quantique, aux théories quantiques des champs relativistes et aux interprétations de la mécanique quantique. En 1998, il a reçu le prestigieux prix Wolf pour avoir co-découvert l'effet Aharonov-Bohm en 1959. En 2010, M. Aharonov a reçu des mains du Président Barack Obama la Médaille nationale de la science, la plus haute distinction accordée à un scientifique par le gouvernement des États-Unis.

Nima Arkani-Hamed, de l'Institut d'études avancées de Princeton, est l'un des plus grands physiciens des particules au monde. Ancien chercheur invité à long terme de l'Institut Péricimètre, il fait partie du corps professoral du programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricimètre). M. Arkani-Hamed a mis au point des théories sur les dimensions supplémentaires émergentes, des théories du « petit Higgs », et a récemment proposé de nouveaux modèles pouvant être testés au moyen du grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN, en Suisse. En 2012, il a été l'un des premiers lauréats du Prix de physique fondamentale.

Abhay Ashtekar a le titre de professeur Eberly de physique et dirige l'Institut de la gravitation et du cosmos à l'Université d'État de la Pennsylvanie. En tant que créateur des variables d'Ashtekar, il est l'un des fondateurs de la théorie de la gravitation quantique à boucles. Ses nombreux domaines de recherche comprennent l'entropie des trous noirs, la cosmologie quantique et l'univers naissant, les généralisations de la mécanique quantique, les aspects mathématiques de la théorie quantique des champs, ainsi que de nombreux domaines de la gravitation quantique et de la relativité générale. Entre autres distinctions, Abhay Ashtekar a été boursier de recherche Sloan, et il est membre honoraire de l'Académie des sciences de l'Inde, président de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation, ainsi que membre élu de la Société américaine de physique et de l'Association américaine pour l'avancement de la science. En 2007, il a reçu le Prix de scientifique éminent de la section américaine de l'Association indienne de physique.

Leon Balents est professeur de physique et membre permanent de l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara. Ses recherches portent sur presque tous les domaines de la théorie de la matière condensée et contribuent à la théorie des nouveaux états topologiques des électrons. M. Balents travaille sur le magnétisme frustré (surtout quantique), les phénomènes de corrélation dans les hétérostructures d'oxyde, la dynamique des électrons couplés et les interactions hyperfines dans les boîtes quantiques, l'effet Hall quantique dans le graphène, les atomes ultrafroids piégés, les gaz électroniques unidimensionnels, ainsi que les aspects topologiques des isolants ayant de fortes interactions spin-orbite. Entre autres distinctions, Leon Balents a obtenu un prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis pour l'ensemble de sa carrière, une bourse de recherche Sloan et une bourse de la Fondation Packard. Il a été élu membre de la Société américaine de physique en 2013.

James Bardeen est professeur émérite de physique à l'Université de l'État de Washington à Seattle. Il est l'auteur de contributions importantes à la relativité générale et à la cosmologie. Il a notamment formulé, avec Stephen Hawking et Brandon Carter, les lois de la mécanique des trous noirs. Il a également élaboré une approche invariante de jauge des perturbations cosmologiques et de l'origine de la structure à grande échelle de l'univers actuel à partir de fluctuations quantiques au cours d'une ère primitive d'inflation. Ses recherches récentes mettent l'accent sur l'amélioration des calculs de la production de rayonnement gravitationnel par la fusion de trous noirs et d'étoiles doubles à neutrons, en formulant les équations d'Einstein sur des hypersurfaces à courbure moyenne constante asymptotiquement nulle. Cela permet de faire des calculs numériques avec une limite extérieure à l'infini nul futur, où les formes d'onde peuvent être connues directement sans extrapolation. James Bardeen a obtenu son doctorat à l'Institut de technologie de la Californie, sous la direction de Richard Feynman.

Ganapathy 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. Il 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, M. 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).

Patrick Brady est professeur de physique et directeur du Centre Leonard-E.-Parker de gravitation, de cosmologie et d'astrophysique à l'Université du Wisconsin à Milwaukee. Ses recherches portent sur la dynamique de l'effondrement gravitationnel, les trous noirs, la détection d'ondes gravitationnelles à l'aide de détecteurs à interféromètre, de même que sur la relativité numérique, y compris la simulation de la coalescence binaire. M. Brady a reçu une bourse universitaire Cottrell de Research Corporation et une bourse de recherche Sloan en 2002, et a été élu membre de la Société américaine de physique (APS) en 2010. Il a été secrétaire-trésorier et vice-président du groupe de l'APS sur la gravitation et membre du conseil de direction du projet scientifique international LIGO. Patrick Brady a également reçu 6 prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis.

Alessandra Buonanno est professeure de physique à l'Université du Maryland à College Park. Elle entrera en fonction en septembre 2014 comme directrice de la Division d'astrophysique et de cosmologie de l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) à Potsdam, en Allemagne. Mme Buonanno est également membre du Centre de physique fondamentale du Maryland,

de l'Institut conjoint de la science et de l'espace, ainsi que du projet scientifique international LIGO. Ses recherches portent sur la physique des ondes gravitationnelles et la cosmologie de l'univers primitif, et plus précisément sur la modélisation analytique de la dynamique et de l'émission d'ondes gravitationnelles par des trous noirs qui fusionnent, sur l'interface entre la relativité analytique et la relativité numérique, de même que sur la recherche d'ondes gravitationnelles à l'aide de détecteurs au sol tels que LIGO, GEO600 et Virgo. Alessandra Buonanno a été boursière de recherche Sloan et boursière Radcliffe à l'Institut Radcliffe d'études avancées de l'Université Harvard. Elle est actuellement membre élue de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation ainsi que de la Société américaine de physique.

Juan Ignacio Cirac, directeur de la division de théorie de l'Institut Max-Planck d'optique quantique, en Allemagne, est un théoricien de l'information quantique de premier plan dont le groupe a remporté le prix Carl-Zeiss de la recherche en 2009. Ses travaux visent à caractériser les phénomènes quantiques et à établir une nouvelle théorie de l'information fondée sur la mécanique quantique, qui pourrait conduire à la mise au point d'ordinateurs quantiques.

Savas Dimopoulos est membre du corps professoral de l'Université Stanford depuis 1979. Il a également enseigné à l'Université de Boston, à l'Université Harvard ainsi qu'à l'Université de la Californie à Santa Barbara. Il a aussi fait partie du personnel du CERN de 1994 à 1997. M. Dimopoulos est un scientifique de premier plan dans le domaine de la physique des particules et il est bien connu pour ses travaux sur l'élaboration de théories au-delà du modèle standard. Avec ses collaborateurs, il a jeté les bases du modèle standard supersymétrique minimal (MSSM) et proposé le modèle ADD de grandes dimensions supplémentaires. Savas Dimopoulos a reçu de nombreuses distinctions, dont le prix Tommasoni de physique, le prix J.J.-Sakurai de physique théorique de la Société américaine de physique et un prix d'ancien étudiant éminent de l'Université de Houston. Il a été boursier de recherche Sloan et est actuellement membre élu de la Société japonaise pour la promotion de la science ainsi que de l'Académie américaine des arts et des sciences.

Lance Dixon est professeur à l'Université Stanford. Physicien théoricien spécialisé en physique des particules, il est l'auteur de contributions révolutionnaires au calcul d'amplitudes de diffusion perturbatives. Ses travaux ont permis de mieux comprendre la théorie quantique des champs et ont donné naissance à de puissants nouveaux outils de calcul des processus de chromodynamique quantique. Les recherches actuelles de M. Dixon en phénoménologie portent sur les calculs de précision en chromodynamique quantique utilisés au grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN, où il a passé une année sabbatique en 2010 alors que le LHC entrait en exploitation complète. Lance Dixon étudie également la structure quantique de théories de jauge supersymétriques et de théories de la gravitation. Il est membre élu de la Société américaine de physique (APS) et corécepteur du prix J.J.-Sakurai 2014 de l'APS.

Matthew Fisher est physicien de la matière condensée à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara. Ses recherches portent sur les systèmes fortement corrélés, en particulier les systèmes à dimensionnalité réduite, les isolants de Mott, le magnétisme quantique et

l'effet Hall quantique. Aux États-Unis, il a reçu le prix Alan-T.-Waterman de la Fondation nationale des sciences en 1995, puis le prix des initiatives de recherche de l'Académie nationale des sciences en 1997. Matthew Fisher a été élu membre de l'Académie américaine des arts et des sciences en 2003 et de l'Académie nationale des États-Unis en 2012. Il a plus de 160 publications à son actif.

S. James Gates Jr. a le titre de professeur John-S.-Toll et dirige le Centre de théorie des cordes et de théorie des particules élémentaires de l'Université du Maryland à College Park. Ses recherches ont contribué de manière importante aux théories de la supersymétrie, de la supergravité et des supercordes. Il a notamment introduit les géométries complexes avec torsion (une contribution originale dans la littérature des mathématiques) et proposé des modèles de théorie des cordes qui sont tout simplement des constructions à 4 dimensions similaires au modèle standard de la physique des particules. Il a reçu le prix de l'Association américaine pour l'avancement de la science (AAAS) pour la compréhension de la science et de la technologie par le public, le prix Klopsteg de l'Association américaine des professeurs de physique (AAPT), ainsi que la Médaille nationale de la science des États-Unis. M. Gates est membre élu de l'AAAS et de la Société américaine de physique, et ancien président de la Société nationale des physiciens noirs. En 2011, il a été élu membre de l'Académie des arts et des sciences des États-Unis. Il est actuellement membre du Conseil consultatif du Président des États-Unis en matière de science et de technologie, du Conseil de l'éducation de l'État du Maryland, ainsi que des conseils d'administration du Laboratoire national de l'accélérateur Fermi et de la Société pour la science et le public (États-Unis).

Alexander Goncharov est professeur au Département de mathématiques de l'Université Yale. Avant d'occuper ce poste, il a été professeur à l'Université Brown, à l'Institut Max-Planck de mathématiques et à l'Institut de technologie du Massachusetts. Ses recherches portent principalement sur la physique mathématique, notamment la géométrie algébrique et arithmétique et la théorie des représentations. Il est connu pour la conjecture de Goncharov, selon laquelle la cohomologie de certains complexes motiviques coïncide avec des parties de groupes K. En 1992, M. Goncharov a obtenu le Prix de la Société européenne de mathématiques.

Gabriela González est professeure de physique et d'astronomie à l'Université d'État de Louisiane, de même que porte-parole du projet scientifique international LIGO, qui porte sur la recherche d'ondes gravitationnelles. Les travaux de Mme González mettent l'accent sur la détection d'ondes gravitationnelles. Elle a été scientifique au sein du groupe MIT-LIGO et professeure à l'Université d'État de Pennsylvanie, avant de se joindre à l'Université d'État de Louisiane en 2001. Elle a reçu en 2007 le prix Edward-A.-Bouchet de la Société américaine de physique.

F. Duncan M. Haldane a le titre de professeur Eugene-Higgins de physique à l'Université de Princeton. Ses recherches portent sur l'étude de systèmes quantiques de matière condensée à N corps en interaction forte, à l'aide de méthodes non perturbatrices. Il s'intéresse en particulier au spectre d'intrication d'états quantiques, aux isolants topologiques et aux isolants de Chern, ainsi qu'à la géométrie et aux fonctions d'onde modèles de l'effet Hall quantique fractionnaire. M. Haldane a été récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan et est actuellement membre élu de la Société royale de Londres, de l'Institut de physique du Royaume-Uni, de la Société américaine de physique, de

l'Association américaine pour l'avancement de la science et de l'Académie américaine des arts et des sciences. Il a reçu le prix Oliver-E.-Buckley de physique de la matière condensée, attribué par la Société américaine de physique (1993), et la médaille Dirac du Centre international de physique théorique (2012).

Stephen Hawking est le directeur de la recherche au Centre de cosmologie théorique de l'Université de Cambridge. De 1979 à 2009, il a été professeur lucasien de mathématiques au Département de mathématiques appliquées et de physique théorique de l'Université de Cambridge. Ses travaux visent à mieux comprendre les lois fondamentales qui régissent l'univers. Avec Roger Penrose, il a montré que la théorie de la relativité générale d'Einstein impliquait que l'espace et le temps commençaient avec le Big Bang et prenaient fin dans les trous noirs. Le professeur Hawking est connu pour ses ouvrages de renom sur la science, notamment *A Brief History of Time* (traduit en français sous le titre *Une brève histoire du temps*), le livre scientifique le plus populaire de tous les temps, vendu à plus de 30 millions d'exemplaires dans le monde. Titulaire de 12 doctorats honorifiques, il a été fait Compagnon de l'Empire britannique en 1982, puis Compagnon d'honneur en 1989. Il a reçu de nombreux autres prix, médailles et distinctions, et il est membre élu de la Société royale de Londres ainsi que de l'Académie nationale des sciences des États-Unis.

Patrick Hayden est professeur de physique à l'Université Stanford. Ce chef de file de la science de l'information quantique a grandement contribué à notre compréhension des limites absolues que la mécanique quantique impose au traitement de l'information, ainsi que des manières d'exploiter les effets quantiques pour le calcul et la communication. Il a aussi réalisé des percées importantes sur les relations entre les trous noirs et la théorie de l'information. Entre autres distinctions, M. Hayden a été récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan et d'une bourse Rhodes. Il a également été titulaire de la Chaire de recherche du Canada en physique de l'information à l'Université McGill, avant de se joindre à l'Université Stanford.

Theodore A. (Ted) Jacobson est professeur de physique à l'Université du Maryland à College Park. C'est un chef de file de la recherche dans le domaine de la physique gravitationnelle, de même qu'un éducateur passionné et accompli. Ses recherches portent sur la gravitation quantique, la mise à l'épreuve des fondements de la théorie de la relativité, la nature du rayonnement de Hawking et l'entropie des trous noirs. M. Jacobson est l'auteur de plus de 100 articles scientifiques, qui ont fait l'objet de plus de 6 800 citations. Il est membre élu de la Société américaine de physique et de l'Association américaine pour l'avancement de la science. Il est en outre membre du comité de rédaction de *Physical Review D* et rédacteur en chef d'une section des *Physical Review Letters*.

Shamit Kachru est professeur de physique à l'Université Stanford depuis 1999. C'est un expert de la théorie des cordes et de la théorie quantique des champs, ainsi que de leurs applications en cosmologie, en physique de la matière condensée et en théorie des particules élémentaires. Il est l'auteur de contributions centrales à l'étude des compactifications de théories des cordes de 10 à 4 dimensions, notamment dans l'exploration de mécanismes qui pourraient donner, grâce à la théorie des cordes, des modèles de l'énergie sombre ou de l'inflation cosmique. M. Kachru est également l'auteur de contributions notables à la découverte et à l'exploration de dualités en théorie des cordes, à l'étude de

modèles de rupture de supersymétrie en théorie des cordes, de même qu'à la construction de descriptions duales calculables en physique des particules en régime de couplage fort et de systèmes de matière condensée à l'aide de la correspondance AdS/CFT. Shamit Kachru a reçu de nombreuses distinctions, dont un prix de jeune chercheur exceptionnel du Département américain de l'Énergie, une bourse de recherche Sloan, le prix commémoratif Bergmann, une bourse de la Fondation Packard et le prix de l'ACIPA remis à un jeune physicien exceptionnel.

Leo Kadanoff est physicien théoricien et spécialiste des mathématiques appliquées à l'Institut James-Franck de l'Université de Chicago. Pionnier de la théorie de la complexité, il a apporté d'importantes contributions à la recherche sur les propriétés de la matière, le développement des zones urbaines, la modélisation statistique des systèmes physiques et l'apparition du chaos dans des systèmes de fluides et systèmes mécaniques simples. Il est surtout connu pour le développement des concepts d'invariance d'échelle et d'universalité appliqués aux transitions de phase. Plus récemment, il a contribué à la compréhension des singularités dans les mouvements de fluides. Entre autres distinctions, il a reçu la Médaille nationale des sciences des États-Unis, la Grande médaille d'or de l'Académie des sciences (Institut de France), le prix de la Fondation Wolf, la médaille Boltzmann de l'Union internationale de physique pure et appliquée, de même que la médaille du Centenaire de l'Université Harvard. Il a également été président de la Société américaine de physique.

Adrian Kent est maître de conférences en physique quantique à l'Université de Cambridge. Auparavant, il a été boursier postdoctoral Enrico-Fermi à l'Université de Chicago, membre de l'Institut des études avancées de Princeton et chercheur boursier de la Société royale de Londres à l'Université de Cambridge. Avant de devenir titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, Adrian Kent a été professeur associé à l'Institut Périmètre. Ses recherches portent sur les fondements de la physique, la cryptographie quantique et la théorie de l'information quantique, plus particulièrement sur la physique de la décohérence, les tests innovateurs de la physique quantique et d'autres théories possibles, ainsi que sur les nouvelles applications de l'information quantique.

Renate Loll est professeure de physique théorique à l'Institut de mathématiques, d'astrophysique et de physique des particules de l'Université Radboud à 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, et elle a reçu la prestigieuse subvention individuelle VICI de l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique.

Matilde Marcolli est professeure de mathématiques à l'Institut de technologie de la Californie, chercheuse invitée à l'Université d'État de la Floride et professeure honoraire à l'Université de Bonn. C'est une physicienne mathématicienne dont les recherches portent sur les théories de jauge et la topologie dans un petit nombre de dimensions, sur les structures de géométrie algébrique en théorie

quantique des champs, de même que sur la géométrie non commutative et ses applications à la théorie des nombres et à des modèles de physique des particules, de gravitation quantique et de cosmologie. Entre autres distinctions, Matilde Marcolli a remporté en 2001 le prix Heinz-Maier-Leibnitz et le prix Sofja-Kovalevskaya, et a occupé de nombreux postes de chercheuse invitée. Elle est l'auteure de 4 livres, dont le plus récent est *Feynman Motives* (Motifs de Feynman), publié en 2009. Elle a aussi dirigé la publication de plusieurs autres ouvrages.

Joel Moore est professeur de physique à l'Université de la Californie à Berkeley, où il se consacre à l'étude de la matière condensée. Ses recherches portent sur la physique quantique collective des électrons et des atomes, dont les isolants topologiques et d'autres nouveaux états de la matière. En particulier, M. Moore étudie les matériaux et dispositifs fortement corrélés et se sert de concepts de la théorie de l'information quantique pour analyser des problèmes dans le domaine de la matière condensée. Ses travaux ont été reconnus par l'attribution d'une bourse de recherche Simons, des bourses Hellman et JSPS, ainsi qu'un prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis pour l'ensemble de sa carrière. Joel Moore est membre du comité consultatif des revues *Physical Review B* et *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, et membre actif de la Division de la physique de la matière condensée de la Société américaine de physique.

Ramesh Narayan a le titre de professeur Thomas-Dudley-Cabot de sciences naturelles à l'Université Harvard. C'est un astrophysicien mondialement reconnu pour ses recherches sur les trous noirs. M. Narayan a également fait des recherches dans un certain nombre d'autres domaines de l'astrophysique théorique, dont les disques d'accrétion, l'effet lenticulaire gravitationnel, les bouffées de rayons gamma et les étoiles à neutrons. Il est membre élu de la Société royale de Londres, de l'Association américaine pour l'avancement de la science. Il est également membre de l'Union astronomique internationale et de la Société américaine d'astronomie.

Sandu Popescu est professeur de physique au Laboratoire de physique Henry-Herbert-Wills de l'Université de Bristol et membre du groupe information et calcul quantiques de Bristol. Il a apporté de nombreuses contributions à la physique quantique, qui vont de la théorie fondamentale aux applications industrielles brevetables, en passant par la conception d'expériences pratiques (comme la toute première expérience de téléportation). Ses recherches sur la nature du comportement quantique, et notamment sur la non-localité quantique, l'ont amené à découvrir quelques-uns des concepts fondamentaux du domaine émergent de l'information et du calcul quantiques. Il a été lauréat du prix Adams de Cambridge et du prix Clifford-Patterson de la Société royale de Londres.

Frans Pretorius est professeur de physique à l'Université de Princeton. Son principal domaine de recherche est la relativité générale, en particulier la résolution numérique des équations de champ. Il a notamment étudié l'effondrement gravitationnel, les fusions de trous noirs, les singularités cosmiques, la gravité dans les dimensions supérieures, les modèles d'évaporation des trous noirs, ainsi que l'utilisation d'observations des ondes gravitationnelles pour tester la relativité générale dans le cas d'un régime dynamique dans un champ fort. Il travaille aussi à la conception d'algorithmes permettant de résoudre de manière efficace et en parallèle des équations à l'aide de grappes de grands ordinateurs, et de logiciels de traitement et de visualisation des résultats de simulations. Entre autres distinctions,

M. Pretorius a reçu une bourse de recherche Sloan en 2007 et le prix Aneesur-Rahman 2010 de physique informatique de la Société américaine de physique. Il a également été nommé membre associé du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA).

Peter Shor a le titre de professeur Morss de mathématiques appliquées à l'Institut de technologie du Massachusetts. En 1994, il a formulé un algorithme quantique de factorisation, maintenant appelé *algorithme de Shor*, qui est exponentiellement plus rapide que le meilleur algorithme conçu pour un ordinateur classique que l'on connaisse à l'heure actuelle. Il a également démontré que la correction d'erreurs quantiques est possible et que l'on peut effectuer des calculs quantiques insensibles aux défaillances dans un ordinateur quantique. M. Shor continue de concentrer ses recherches sur l'informatique théorique, plus précisément sur l'algorithmique et le calcul quantique. Il a reçu de nombreux prix et distinctions, dont le prix Nevanlinna (1998), le Prix international de communication quantique (1998), le prix Gödel de l'ACM (1999) et une bourse de la Fondation MacArthur (1999). Il a en outre été élu membre de l'Académie nationale des sciences des États-Unis (2002) ainsi que de l'Académie américaine des arts et des sciences (2011).

Dam Thanh Son a le titre de professeur d'université en physique à l'Université de Chicago, poste prestigieux qui comporte des nominations aux instituts de recherche interdisciplinaire de l'université, à savoir l'Institut Enrico-Fermi et l'Institut James-Franck. Reconnu pour ses vastes intérêts en recherche, M. Son a acquis une renommée internationale pour son application des idées de la théorie des cordes à la physique du plasma quark-gluon. Ses travaux englobent plusieurs domaines de la physique théorique, dont la théorie des cordes, la physique nucléaire, la physique de la matière condensée, la physique des particules et la physique atomique. Entre autres distinctions, Dam Thanh Son a été élu membre de la Fondation Alfred-P.-Sloan (2001) et de la Société américaine de physique (2006).

Paul Steinhardt a le titre de professeur Albert-Einstein de sciences et dirige le Centre de sciences théoriques à l'Université de Princeton. Il est membre élu de la Société américaine de physique (APS) et de l'Académie nationale des sciences des États-Unis. Il a été corécepteur de la médaille P.A.M.-Dirac du Centre international de physique théorique, pour l'élaboration du modèle inflationnaire de l'univers, ainsi que du prix Oliver-E.-Buckley de l'APS, pour ses contributions à la théorie des quasi-cristaux. Ses domaines de recherche sont la physique des particules, l'astrophysique, la cosmologie et la physique de la matière condensée. Il a récemment élaboré avec Neil Turok un modèle cosmologique cyclique selon lequel le Big Bang serait le résultat d'une collision de deux « univers branaires » en théorie M (ou théorie des membranes). En plus de poursuivre ses recherches sur la cosmologie inflationnaire et cyclique, M. Steinhardt a participé à la mise au point d'une nouvelle classe de matériaux photoniques désordonnés « hyperuniformes » à largeur de bande interdite. Ses recherches systématiques ont mené à la découverte du 1^{er} exemple connu de quasi-cristal naturel. Il travaille actuellement à l'organisation d'une expédition dans l'Extrême-Orient russe pour rechercher d'autres échantillons et pour étudier la géologie des lieux où l'on en trouve.

Andrew Strominger a le titre de professeur Gwill-E.-York de physique à l'Université Harvard, où il est également directeur du Centre des lois fondamentales de la Nature. Dans ses recherches, il a recours à diverses méthodes pour étudier l'unification des forces et des particules, l'origine de l'univers, de même

que la structure quantique des trous noirs et de leur horizon (horizon des événements). Entre autres contributions majeures, M. Strominger est le codécouvreur des compactifications de Calabi-Yau et des solutions branaires de la théorie des cordes. Avec ses collaborateurs, il a fourni une démonstration à l'échelle microscopique de la manière dont les trous noirs peuvent stocker de l'information de façon holographique. Ses recherches récentes portent sur des aspects des trous noirs et de leur horizon qui sont universels et ne dépendent pas d'hypothèses microphysiques détaillées.

Raman Sundrum a le titre de professeur d'université distingué à l'Université du Maryland à College Park, où il est également directeur du Centre de physique fondamentale du Maryland. Son domaine de recherche est la physique théorique des particules, plus précisément les mécanismes théoriques et les implications observables des dimensions supplémentaires de l'espace-temps, de la supersymétrie et de la dynamique en régime de couplage fort. En 1999, avec Lisa Randall, il a proposé une classe de modèles, maintenant appelés *modèles de Randall-Sundrum*, selon lesquels le monde réel est un univers comportant des dimensions supplémentaires, décrit par une géométrie déformée. M. Sundrum a remporté un prix de jeune chercheur exceptionnel du Département américain de l'Énergie pour 2001-2002. Il a été élu membre de la Société américaine de physique (2003) et de l'Association américaine pour l'avancement de la science (2011).

Leonard Susskind a le titre de professeur Felix-Bloch de physique théorique à l'Université Stanford. Considéré comme l'un des pères de la théorie des cordes, il a également apporté des contributions majeures à la physique des particules, à la théorie des trous noirs et à la cosmologie. Ses recherches se concentrent actuellement sur des questions de physique théorique des particules, de physique gravitationnelle et de cosmologie quantique.

Gerard 't Hooft est professeur à l'Institut de physique théorique de l'Université d'Utrecht. En 1999, il a obtenu le prix Nobel de physique, conjointement avec Martinus J. G. Veltman, « pour avoir élucidé la structure quantique des interactions électrofaibles ». Ses travaux de recherche portent sur les théories de jauge en physique des particules élémentaires, sur la gravitation quantique et les trous noirs, de même que sur les aspects fondamentaux de la physique quantique. En plus du prix Nobel, M. 't Hooft a reçu entre autres distinctions le prix Wolf, la médaille Lorentz, la médaille Franklin, de même que le Prix de physique des hautes énergies de la Société européenne de physique. Il est membre de l'Académie royale des arts et des sciences des Pays-Bas (KNAW) et membre étranger de nombreuses autres académies des sciences, dont l'Académie des sciences de la France, l'Académie nationale des sciences des États-Unis et l'Institut de physique du Royaume-Uni. Gerard 't Hooft concentre actuellement ses recherches sur les degrés dynamiques de liberté de la nature aux plus petites échelles possibles. Dans son modèle le plus récent, l'invariance conforme locale est une symétrie spontanément brisée, ce qui pourrait avoir des conséquences très particulières sur les interactions entre particules élémentaires.

Barbara Terhal est professeure de physique théorique à l'Université technique de Rhénanie-Westphalie (RWTH) à Aix-la-Chapelle depuis 2010. Auparavant, elle a été pendant 8 ans chercheuse au Centre de recherches Watson d'IBM à New York. Ses recherches portent sur la théorie de l'information quantique – de l'intrication quantique aux algorithmes quantiques, en passant par la cryptographie quantique. Mme Terhal travaille actuellement sur la correction d'erreurs quantiques et sa mise en œuvre dans des

qubits à l'état solide, de même que sur la théorie de la complexité quantique. Barbara Terhal est membre élue de la Société américaine de physique et membre associée du programme de recherches en informatique quantique de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA).

Senthil Todadri est professeur agrégé de physique à l'Institut de technologie du Massachusetts. Son domaine de recherche est la théorie de la matière condensée. Plus précisément, il travaille à l'élaboration d'un cadre théorique pour décrire le comportement de la matière en électronique quantique dans des circonstances où les électrons individuels n'ont pas d'intégrité. Un exemple primordial est la recherche d'une théorie pouvant remplacer la théorie de Landau des liquides de Fermi, qui décrit de nombreux métaux avec beaucoup de succès, mais qui échoue dans un certain nombre de situations étudiées dans des expériences modernes en physique de la matière condensée. M. Todadri a été récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan et a reçu un prix d'innovation en recherche de la Société de recherche pour l'avancement de la science (RCSA).

William Unruh est professeur de physique à l'Université de la Colombie-Britannique. Il a apporté des contributions fondamentales à la compréhension de la gravité, des trous noirs, de la cosmologie, des champs quantiques dans des espaces courbes, ainsi que des fondements de la mécanique quantique, notamment avec la découverte de l'effet Unruh. Ses recherches sur les effets de la mécanique quantique aux premiers stades de l'univers ont apporté de nombreux éclairages, notamment en ce qui concerne ses répercussions en informatique. M. Unruh a été le 1^{er} directeur du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées (1985-1996). Il a reçu entre autres distinctions la médaille Rutherford de la Société royale du Canada (1982), la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (1983), le prix Steacie du Conseil national de recherches (1984), la médaille pour contributions exceptionnelles de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (1995) et le prix Killam décerné par le Conseil des Arts du Canada. Il a été élu membre de la Société royale du Canada, de la Société américaine de physique et de la Société royale de Londres, de même que membre honoraire étranger de l'Académie américaine des arts et sciences.

Ashvin Vishwanath est professeur agrégé au Département de physique de l'Université de la Californie à Berkeley. Son principal domaine de recherche est la théorie de la matière condensée, notamment le magnétisme, la supraconductivité et d'autres phénomènes quantiques connexes dans les solides et les gaz atomiques froids. M. Vishwanath s'intéresse particulièrement à des phénomènes nouveaux comme les états topologiques de la matière, les non-liquides de Fermi et les liquides de spin quantique. Plus récemment, il a commencé à s'intéresser à la production de fermions de Majorana et de fermions de Weyl dans des solides, en utilisant des concepts d'information quantique, par exemple l'entropie d'intrication, pour caractériser de nouveaux états de la matière. Entre autres distinctions, il a reçu une bourse de recherche Sloan (2004), un prix de la Fondation nationale des sciences des États-Unis pour l'ensemble de sa carrière (2007), le prix Jeune scientifique exceptionnel de la section américaine de l'Association des physiciens indiens (2010) et une bourse de congé sabbatique de la Fondation Simons (2012).

Zhenghan Wang est chercheur principal à la Station Q de Microsoft Research sur le campus de l'Université de la Californie à Santa Barbara (UCSB), ainsi que professeur de mathématiques à l'UCSB, en congé d'une durée indéterminée. Il s'intéresse principalement à la topologie quantique, aux modèles mathématiques des états topologiques de la matière, ainsi qu'à leur application à l'informatique quantique. M. Wang et ses collègues de Microsoft ont obtenu de nombreux résultats, y compris la démonstration qu'un ordinateur quantique anyonique est capable d'effectuer tout calcul qu'un ordinateur quantique plus traditionnel à qubits peut effectuer. Il travaille actuellement sur les fondements théoriques du domaine de l'anyonique, c'est-à-dire la science et la technologie de la mise au point, du comportement et des applications d'appareils anyoniques.

Steven White est professeur au Département de physique de l'Université de la Californie à Irvine. Ses recherches portent principalement sur la théorie de la matière condensée, notamment les approches numériques des systèmes magnétiques et supraconducteurs fortement corrélés. En 1992, M. White a inventé le groupe de renormalisation par la matrice de densité (DMRG), technique de variation numérique permettant de calculer avec une grande précision les propriétés physiques de faible énergie des systèmes quantiques à N corps. Ses travaux lui ont valu d'être élu membre de la Société américaine de physique (1998) et de l'Association américaine pour l'avancement de la science (2008). En 2003, il a remporté le prix Aneesur-Rahman, la plus haute distinction dans le domaine de la physique informatique attribuée par la Société américaine de physique.

Mark 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. Mark Wise a reçu une bourse de recherche Sloan. Il 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.

Annexe C : Membres affiliés de l'Institut Péricimètre

Nom	Institution	Domaines de recherche
Ian Affleck	Université de la Colombie-Britannique	Matière condensée
Arif Babul	Université de Victoria	Cosmologie
Leslie Ballentine	Université Simon-Fraser	Fondements quantiques
Richard Bond	Université de Toronto, Institut canadien d'astrophysique théorique (ICAT)	Cosmologie
Ivan Booth	Université Memorial	Gravité forte
Vincent Bouchard	Université de l'Alberta	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Robert Brandenberger	Université McGill	Cosmologie
Gilles Brassard	Université de Montréal	Information quantique
Anne Broadbent	Université de Waterloo, Institut d'informatique quantique (IQC)	Information quantique
Anton Burkov	Université de Waterloo	Matière condensée
Bruce Campbell	Université Carleton	Physique des particules
Benoit Charbonneau	Université St. Jerome's, Université de Waterloo	Physique mathématique
Gang Chen	Université de Toronto	Matière condensée
Jeffrey Chen	Université de Waterloo	Matière condensée
Andrew Childs	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
Kyung Soo Choi	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
Matthew Choptuik	Université de la Colombie-Britannique	Gravité forte
Dan Christensen	Université Western	Gravitation quantique
Aashish Clerk	Université McGill	Matière condensée
James Cline	Université McGill	Cosmologie, physique des particules
Alan Coley	Université Dalhousie	Gravité forte
Andrzej Czarnecki	Université de l'Alberta	Physique des particules
Saurya Das	Université de Lethbridge	Gravitation quantique
Arundhati Dasgupta	Université de Lethbridge	Gravitation quantique

Nom	Institution	Domaines de recherche
Keshav Dasgupta	Université McGill	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Rainer Dick	Université de la Saskatchewan	Physique des particules
Joseph Emerson	Université de Waterloo, IQC	Fondements quantiques
Valerio Faraoni	Université Bishop's	Cosmologie
Marcel Franz	Université de la Colombie-Britannique	Matière condensée
Doreen Fraser	Université de Waterloo	Philosophie
Andrew Frey	Université de Winnipeg	Cosmologie
Andrei Frolov	Université Simon-Fraser	Cosmologie
Valeri Frolov	Université de l'Alberta	Cosmologie, gravitation quantique
Jack Gegenberg	Université du Nouveau-Brunswick	Gravitation quantique
Ghazal Geshnizjani	Université de Waterloo	Cosmologie
Amir Masoud Ghezelbash	Université de la Saskatchewan	Gravitation quantique
Shohini Ghose	Université Wilfrid-Laurier	Information quantique, calcul quantique
Florian Girelli	Université de Waterloo	Gravitation quantique, mathématiques appliquées
Stephen Godfrey	Université Carleton	Physique des particules
Thomas Grégoire	Université Carleton	Physique des particules
John Harnad	Université Concordia	Physique mathématique
Jeremy Heyl	Université de la Colombie-Britannique	Astrophysique
Gilbert Patrick Holder	Université McGill	Astrophysique
Bob Holdom	Université de Toronto	Physique des particules
Michael Hudson	Université de Waterloo	Cosmologie
Viqar Husain	Université du Nouveau-Brunswick	Cosmologie, gravitation quantique
Thomas Jennewein	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
Catherine Kallin	Université McMaster	Matière condensée
Joanna Karczmarek	Université de la Colombie-Britannique	Théorie quantique des champs et théorie des cordes

Nom	Institution	Domaines de recherche
Spiro Karigiannis	Université de Waterloo	Physique mathématique, géométrie différentielle
Mikko Karttunen	Université de Waterloo	Matière condensée, biologie
Achim Kempf	Université de Waterloo	Information quantique
Yong-Baek Kim	Université de Toronto	Matière condensée
David Kribs	Université de Guelph	Information quantique
Hari Kunduri	Université Memorial	Gravité forte
Gabor Kunstatter	Université de Winnipeg	Gravitation quantique, mécanique quantique
Kayll Lake	Université Queen's	Gravité forte
Debbie Leung	Université de Waterloo	Information quantique
Randy Lewis	Université York	Physique des particules
Hoi-Kwong Lo	Université de Toronto	Information quantique
Michael Luke	Université de Toronto	Physique des particules
Adrian Lupascu	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
Norbert Lütkenhaus	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
A. Hamed Majedi	Université de Waterloo, IQC	Nanotechnologie
Alexander Maloney	Université McGill	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Robert Mann	Université de Waterloo	Théorie quantique des champs et théorie des cordes, gravitation quantique
Gerry McKeon	Université Western	Physique des particules
Brian McNamara	Université de Waterloo	Cosmologie
Volodya Miransky	Université Western	Information quantique
Guy Moore	Université McGill	Physique des particules
Ruxandra Moraru	Université de Waterloo	Physique mathématique, mathématiques pures
David Morrissey	Laboratoire TRIUMF	Physique des particules
Norman Murray	Université de Toronto, ICAT	Astrophysique
Wayne Myrvold	Université Western	Philosophie
Julio Navarro	Université de Victoria	Cosmologie

Nom	Institution	Domaines de recherche
Ashwin Nayak	Université de Waterloo	Information quantique
Elisabeth Nicol	Université de Guelph	Matière condensée
Don Page	Université de l'Alberta	Cosmologie
Prakash Panangaden	Université McGill	Fondements quantiques
Arun Paramekanti	Université de Toronto	Matière condensée
Manu Paranjape	Université de Montréal	Physique des particules
Amanda Peet	Université de Toronto	Fondements quantiques, théorie quantique des champs et théorie des cordes
Ue-Li Pen	Université de Toronto, ICAT	Cosmologie
Alexander Penin	Université de l'Alberta	Matière condensée, physique des particules
Tamar Pereg-Barnea	Université McGill	Matière condensée
Harald Pfeiffer	Université de Toronto, ICAT	Gravité forte
Marco Piani	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
Levon Pogosian	Université Simon-Fraser	Cosmologie
Dmitri Pogosyan	Université de l'Alberta	Cosmologie
Éric Poisson	Université de Guelph	Gravité forte
Erich Poppitz	Université de Toronto	Physique des particules
David Poulin	Université de Sherbrooke	Fondements quantiques
Robert Raussendorf	Université de la Colombie-Britannique	Information quantique
Ben Reichardt	Université de la Californie du Sud	Information quantique
Kevin Resch	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
Adam Ritz	Université de Victoria	Physique des particules
Moshe Rozali	Université de la Colombie-Britannique	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Barry Sanders	Université de Calgary	Information quantique
Veronica Sanz-Gonzalez	Université York	Physique des particules, physique des hautes énergies
Kristin Schleich	Université de la Colombie-Britannique	Gravité forte
Achim Schwenk	Université technique de Darmstadt	Physique des particules

Nom	Institution	Domaines de recherche
Douglas Scott	Université de la Colombie-Britannique	Cosmologie
Sanjeev Seahra	Université du Nouveau-Brunswick	Cosmologie, gravitation quantique
Peter Selinger	Université Dalhousie	Physique mathématique
Gordon Semenoff	Université de la Colombie-Britannique	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
John Sipe	Université de Toronto	Matière condensée, fondements quantiques
Philip Stamp	Université de la Colombie-Britannique	Cosmologie
Aephraim Steinberg	Université de Toronto	Information quantique
Alain Tapp	Université de Montréal	Information quantique
James Taylor	Université de Waterloo	Cosmologie
André-Marie Tremblay	Université de Sherbrooke	Matière condensée
Mark Van Raamsdonk	Université de la Colombie-Britannique	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Johannes Walcher	Université McGill	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Mark Walton	Université de Lethbridge	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
John Watrous	Université de Waterloo	Information quantique
Steve Weinstein	Université de Waterloo	Fondements quantiques
Lawrence Widrow	Université Queen's	Astrophysique
Frank Wilhelm-Mauch	Université de Waterloo, IQC	Matière condensée
Don Witt	Université de la Colombie-Britannique	Physique des particules, théorie quantique des champs et théorie des cordes
Bei Zeng	Université de Guelph	Information quantique

Annexe D : Membres du conseil d'administration de l'Institut Périmètre

Mike Lazaridis, O.C., O.Ont., président, est le fondateur de BlackBerry (auparavant Research In Motion Limited). Il a récemment fondé le fonds d'investissement Quantum Valley, qui vise à fournir du capital financier et intellectuel pour le développement et la commercialisation d'avancées dans les domaines de la physique quantique et de l'informatique quantique. Visionnaire, novateur et ingénieur de grand talent, il a transformé l'industrie des communications avec la mise au point du BlackBerry^{MD}. Il a reçu de nombreux prix et distinctions dans le monde de la technologie et des affaires. Il a été élu membre de la Société royale du Canada, et il a reçu l'Ordre de l'Ontario de même que l'Ordre du Canada.

Cosimo Fiorenza, vice-président, est vice-président et avocat-conseil chez Infinite Potential Group. 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 les finances, l'aspect juridique 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 à l'Université Lakehead et un diplôme en droit à l'Université d'Ottawa. Il est membre du Barreau de l'Ontario depuis 1991.

Joanne Cuthbertson, LL.D., a été la 1^{ère} présidente élue d'EducationMatters (la seule fiducie pour l'avancement de l'éducation de 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, directrice 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.

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.

Kevin Lynch, P.C., O.C., est un ancien haut fonctionnaire qui a été pendant 33 ans au service du gouvernement du Canada. Jusqu'à récemment, il était greffier du Conseil privé, secrétaire du Cabinet et chef de la fonction publique du Canada. Auparavant, il avait été entre autres sous-ministre des Finances, sous-ministre de l'Industrie, ainsi que directeur du Fonds monétaire international pour le Canada, l'Irlande et les Antilles. Il est actuellement vice-président du Groupe financier BMO.

Art McDonald est depuis plus de 20 ans directeur de l'Observatoire de neutrinos de Sudbury. Il est également titulaire de la chaire Gordon-et-Patricia-Gray d'astrophysique des particules à l'Université Queen's et travaille aux nouvelles expériences SNO+ et DEAP du laboratoire international SNOLAB, dont l'objectif est de mesurer avec précision la masse du neutrino et d'observer directement des particules de la matière sombre qui constitue une grande partie de l'univers. Les recherches de M. McDonald lui ont valu de nombreuses distinctions, dont la médaille Henry-Marshall-Tory 2011 de la Société royale du Canada, de même que la médaille Benjamin-Franklin de physique 2007, avec le chercheur Yoji Totsuka. Il a en outre été fait officier de l'Ordre du Canada en 2007.

John Reid est le 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 The Everlong Project, une nouvelle entreprise dans le domaine de la santé numérique, qui connaîtra son lancement en 2015. C'est un meneur connu comme entrepreneur visionnaire qui a construit plusieurs outils technologiques transformateurs 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 1^{ère} 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 B.Sc. en génie physique à l'Université Queen's et une maîtrise en génie industriel à l'Université de Toronto.

Annexe E : Membres du comité consultatif scientifique de l'Institut Péricimètre

Le comité consultatif scientifique de l'Institut Péricimètre 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 (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 Nijmègue, 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, et elle a reçu la prestigieuse subvention individuelle VICI de l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique.

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. Il 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, M. 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. Mark Wise a reçu une bourse de recherche Sloan. Il 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.

Annexe F : Liens de l'Institut Péricimètre avec le milieu de l'expérimentation

Des scientifiques de l'Institut Péricimètre sont liés à de nombreux projets d'expérimentation parmi les plus importants au monde. Voici un échantillon représentatif de tels liens dans le cas de professeurs et professeurs associés de l'Institut.

- **Dmitry Abanin** travaille directement avec plusieurs groupes importants d'expérimentateurs sur le graphène, dont ceux qui sont dirigés par Philip Kim et Amir Yacoby (groupe de Harvard³²) et par Alberto Morpurgo (groupe de Genève³³). Il travaille également avec un groupe d'expérimentateurs de Munich sur des questions liées aux atomes froids et à la dynamique des systèmes à N corps.
- **Asimina Arvanitaki** fait partie de la collaboration ARIADNE (*Axion Resonant InterAction DetectioN Experiment* – Expérience de détection d'interactions à résonance d'axions) qui recherche dans la matière des interactions à médiation par des axions.
- **Avery Broderick** est membre du projet de télescope *Event Horizon* (EHT) (<http://www.eventhorizontelescope.org>), qui vise à observer pour la première fois le voisinage immédiat d'un trou noir.
- **Raffi Budakian** travaille avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (<https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing>) à la mise au point d'une nouvelle classe d'outils ultrasensibles de détection de spins électroniques et nucléaires.
- **David Cory** travaille avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo à la mise au point de capteurs et d'actionneurs quantiques, qui sondent et commandent le monde subatomique avec une précision incroyable, et feront probablement partie des composantes de base des futurs ordinateurs quantiques.
- **Raymond Laflamme** est directeur de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo ou, entre autres travaux à la rencontre de la théorie et de l'expérience, il élabore des plans de processeurs quantiques d'information tels que des calculateurs quantiques à optique linéaire. M. Laflamme est aussi l'un des fondateurs de Universal Quantum Devices (<http://uqdevices.com>), nouvelle entreprise qui commercialise les sous-produits de la recherche sur l'information quantique.
- **Maxim Pospelov** est membre associé du groupe BaBar (<http://www.slac.stanford.edu/BFROOT>), qui étudie la physique des quarks b et d'autres particules intermédiaires qui possèdent une masse. Il collabore en outre directement avec des physiciens expérimentateurs des laboratoires TRIUMF (<http://www.triumf.ca>) et Fermilab (<http://www.fnal.gov>).

³² Voir les pages <http://kim.physics.harvard.edu> et <http://yacoby.physics.harvard.edu>.

³³ Voir la page http://dpmc.unige.ch/gr_morpurgo.

- **Philip Schuster et Natalia Toro** travaillent ensemble et ont de nombreux liens avec le milieu de l'expérimentation. Ils ont été les principaux instigateurs de la méthode des « modèles simplifiés », maintenant utilisée de manière standard pour le traitement des données au grand collisionneur de hadrons (<http://home.web.cern.ch/fr/about/accelerators/large-hadron-collider>) du CERN, à Genève, en Suisse. Ils sont aussi les pionniers de nouvelles expériences menées à l'aide de collisionneurs plus petits, dont 3 au Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson : l'expérience BDx (*Beam Dump eXperiment*), qui porte sur la recherche de matière sombre, de même que les expériences APEX (*A-Prime eXperiment*) et HPS (*Heavy Photon Search*), qui portent sur la recherche de forces inconnues³⁴. Ils sont les porte-parole de l'expérience APEX.
- **Kendrick Smith** est membre de plusieurs groupes importants d'expérimentateurs qui font des mesures du rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique). Mentionnons entre autres l'expérience WMAP et le satellite Planck³⁵, de même que les expériences au sol CAPMAP et QUIET³⁶. Il participe également au projet HSC (*Hyper-Suprime Cam*) (<http://subarutelescope.org/Projects/HSC/HSCProject.html>), nouvelle expérience menée à l'aide du télescope Subaru d'Hawaii pour l'observation de galaxies éloignées.
- **Robert Spekkens** collabore avec des expérimentateurs de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, pour démontrer l'avantage quantique de déduire des relations de cause à effet à partir de corrélations et pour mettre en œuvre des tests robustes du phénomène quantique de contextualité.
- **Itay Yavin** dirige les travaux de mise au point d'une nouvelle expérience au grand collisionneur de hadrons, pour la recherche de nouvelles particules dont la charge est mille fois plus petite que celle de l'électron. M. Yavin est également l'un des principaux auteurs du système RECAST (<http://recast.it>), cadre de calcul qui permet d'utiliser des données du grand collisionneur de hadrons pour tester de nouvelles hypothèses et rechercher de nouveaux phénomènes physiques. Le RECAST est hébergé à l'Institut Périmètre³⁷.

L'Institut Périmètre entretient aussi des liens avec le milieu de l'expérimentation grâce à son programme de conférences. En 2013-2014, plusieurs de ces conférences ont porté directement sur des résultats expérimentaux et les défis qu'ils posent. Mentionnons les conférences suivantes :

- **Implications of BICEP2** (Implications de l'expérience BICEP2) – En mars 2014, l'équipe de l'expérience BICEP2 sur le rayonnement fossile a annoncé qu'elle avait détecté des ondes gravitationnelles primordiales. En avril, l'Institut Périmètre a été l'hôte de la 1^{ère} conférence internationale sur le sujet, réunissant des membres de l'équipe BICEP2, d'autres expérimentateurs et des théoriciens³⁸.

³⁴ Pour de plus amples renseignements sur ces expériences, voir les articles <http://arxiv.org/abs/1406.3028>, <http://arxiv.org/abs/1301.2581> et <http://arxiv.org/abs/1310.2060>.

³⁵ Voir les pages <http://map.gsfc.nasa.gov> et <http://www.cosmos.esa.int/web/planck>.

³⁶ Voir les pages <http://cfcp.uchicago.edu/research/projects/capmap.html> et <http://quiet.uchicago.edu>.

³⁷ Pour plus de détails sur RECAST, voir l'article <http://arxiv.org/abs/1010.2506>.

³⁸ Pour plus de détails à ce sujet, voir la page <http://www.perimeterinstitute.ca/conferences/implications-bicep-2>.

- **Low Energy Challenges for High Energy Physicists** (Défis des basses énergies pour physiciens des hautes énergies) – Cette conférence tenue en mai 2014 a réuni des expérimentateurs dans les domaines des hautes énergies et de la matière condensée, ainsi que des théoriciens intéressés par ces deux domaines³⁹.
- **International Workshop on Quantum LDPC Codes** (Atelier international sur les codes LDPC quantiques) – Cet atelier de haut niveau a réuni des théoriciens, des physiciens expérimentateurs et des informaticiens intéressés par les problèmes de pointe dans le domaine de l'information quantique, en particulier la correction d'erreurs quantiques⁴⁰.

³⁹ Pour plus de détails à ce sujet, voir la page <http://www.perimeterinstitute.ca/conferences/low-energy-challenges-high-energy-physicists>.

⁴⁰ Pour plus de détails à ce sujet, voir la page <http://www.perimeterinstitute.ca/conferences/international-workshop-quantum-ldpc-codes>.

Annexe G : Présence de l'Institut Périmètre dans les médias

En 2013-2014, l'Institut Périmètre a été présent dans des médias canadiens et étrangers, entre autres *The Globe and Mail*, *Wired.com*, *Maclean's*, TVO, Radio-Canada, *BBC News*, *Nature* et *Scientific American*. Voici quelques points saillants de la présence de l'Institut Périmètre dans les médias.

Médias	Titre	Date	Résumé
GlobeAdvisor.com, Report on Business – The Globe and Mail	<i>How can Canada produce more creative business thinkers?</i>	8 août 2013	Neil Turok est interviewé dans le cadre du projet <i>Canada Competes</i> . Ce projet vise à approfondir le débat à propos de la capacité concurrentielle du Canada sur la scène mondiale en demandant à des Canadiens influents de proposer des solutions à plusieurs des obstacles qui nous empêchent de réaliser notre plein potentiel.
Wired Science – Wired.com	<i>Is That Quantum Computer for Real? There May Finally Be a Test</i>	23 août 2013	Cet article aborde l'état actuel du calcul quantique. Il cite Daniel Gottesman, de l'Institut Périmètre, à propos du calcul par téléportation, mis au point en 1999.
Maclean's	<i>Jacob Barnett, boy genius</i>	1 ^{er} septembre 2013	Suite à une visite de 3 jours effectuée par Paul Wells à l'Institut Périmètre, <i>Maclean's</i> publie un article de 5 pages sur Jacob Barnett et son histoire fascinante : son diagnostic d'autisme, les encouragements de sa mère à exploiter ses talents, et comment il a abouti dans le programme PSI (<i>Perimeter Scholars International</i> – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre). L'article est complété par des suppléments multimédias en ligne et une conversation en direct de Paul Wells avec Jacob et Kristine Barnett.
Maclean's	<i>Perimeter Institute and the crisis in modern physics</i>	5 septembre 2013	Suite à l'article de Paul Wells sur Jacob Barnett, ce blogue du site Web de <i>Maclean's</i> est centré sur une entrevue de Neil Turok à propos de l'avenir de la physique théorique et de la position enviable de l'Institut Périmètre dans le domaine de la recherche en physique théorique.
Nature	<i>Did a hyper-black hole spawn the Universe?</i>	13 septembre 2013	Cet article parle de la conjecture selon laquelle l'univers s'est formé à partir des débris produits lorsqu'une étoile quadridimensionnelle s'est écrasée dans un trou noir. L'article mentionne Niayesh Afshordi, astrophysicien à l'Institut Périmètre.
Nature	<i>Rethinking Particle Dynamics</i>	1 ^{er} octobre 2013	Cet article parle des scientifiques qui travaillent à améliorer les outils mis au point par Richard Feynman pour représenter les interactions entre particules. Il mentionne Freddy Cachazo, de l'Institut Périmètre, et ses recherches sur les amplitudes de diffusion dans un contexte de « supergravité ».

CTV National News	<i>15-year-old Jacob Barnett: One of the world's most promising physicists</i>	1 ^{er} octobre 2013	CTV National News a produit un reportage télévisé, puis un autre en ligne, sur Jacob Barnett et sa fascinante histoire.
The Agenda with Steve Paikin	<u>Scientific Literacy for All</u>	2 octobre 2013	En direct de l'Institut Périmètre, cette émission parle de la science qui ne craint pas l'échec. La table ronde comprend Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre.
Physics World	<i>Five People Who Are Changing How We Do Physics: Nurturing the next Einsteins</i>	3 octobre 2013	L'édition du 25 ^e anniversaire de <i>Physics World</i> mentionne Neil Turok comme l'un des plus grands innovateurs au monde en éducation et en physique.
The Agenda with Steve Paikin	<u>The Challenge of Big Science</u>	29 octobre 2013	Qu'il s'agisse de l'effort massif consenti après la Deuxième Guerre mondiale pour envoyer un homme sur la Lune, ou de la cartographie du génome humain, de grands efforts d'envergure nationale ou internationale ont entraîné des progrès scientifiques incroyables. Mais à l'ère des dettes des États et des compressions budgétaires, avons-nous la volonté politique et sociale de continuer de construire des collisionneurs de particules et de résoudre les mystères restants de la science? La table ronde comprend Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre.
Globe and Mail	<i>Waterloo think tank gets even smarter</i>	16 novembre 2013	Écrit par Ivan Semeniuk, cet article du <i>Globe and Mail</i> situe les chaires de recherche mises sur pied grâce à un don de 4 millions de dollars de la Fondation Krembil dans le contexte d'une série d'embauches de haut niveau effectuées par l'Institut Périmètre. La version en ligne de cet article a été en vedette dans la page d'accueil du <i>Globe and Mail</i> et dans la page <i>Canada News</i> .
Globe and Mail – supplément	<i>New model encourages scientists to communicate, work together</i>	29 novembre 2013	Le rapport spécial de la FCI sur l'innovation met en vedette des commentaires de Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, sur l'encouragement à la recherche et la stimulation de la communication scientifique entre les chercheurs, les parties prenantes et le public.
Science News (i09)	<i>Slow, cold start to universe suggested</i>	31 janvier 2014	Niayesh Afshordi, de l'Institut Périmètre, commente la proposition de Christof Wetterich selon laquelle les particules deviennent plus lourdes dans le temps alors que la gravité diminue, laissant entendre qu'il y a eu dans la formation de l'univers une période d'inflation sans expansion.

BuzzFeed	<i>If famous physicists had logos</i>	3 février 2014	Ensemble de 20 logos de physique crédités à Prateek Lala et à l'Institut Périmètre.
Fast Company Design	<i>50 rock star logos for physicists</i>	5 février 2014	Galerie de 50 logos de physique crédités à Prateek Lala et à l'Institut Périmètre.
The Wall Street Journal	<i>Discovery Bolsters Big-Bang Theory</i>	17 mars 2014	Le <i>Wall Street Journal</i> interviewe Neil Turok à propos de l'expérience BICEP2, ses conséquences pour les modèles cycliques et le besoin de considérer ses résultats avec précaution.
BBC News	<i>Stephen Hawking 'wins inflation debate'</i>	18 mars 2014	La 4 ^e chaîne radiophonique de la BBC rapporte que Stephen Hawking a dit avoir gagné son pari avec Neil Turok. Les deux scientifiques sont interviewés, et Neil Turok donne des détails sur un pari qui n'est pas encore terminé.
BuzzFeed	<i>14 Science Facts To Make You Smarter This Summer</i>	23 juin 2014	Cette liste énumère des faits scientifiques amusants à propos de l'été, dont certains sont tirés du numéro de juin de la série <i>Slice of PI</i> (Tranche d'IP), intitulé <i>The Physics of Summer</i> (La physique de l'été). L'Institut Périmètre est cité à la fin de la liste.
CBC.ca Souscrit par Yahoo! Canada, Huffington Post Canada et e! Science News	<i>Albert Einstein's hobbies and those of 9 other physicists revealed</i>	19 juillet 2014	Cet article met en vedette le numéro de juillet de la série <i>Slice of PI</i> (Tranche d'IP), intitulé <i>What Great Scientists Did When They Weren't Doing Great Science</i> (Ce que de grands scientifiques faisaient quand ils ne faisaient pas de la science). L'article aborde avec Colin Hunter, de l'Institut Périmètre, ce numéro et l'idée qui sous-tend la série.