



Rapport annuel 2015-2016
à Innovation, Sciences et Développement économique Canada

Objectifs, activités et états financiers
pour l'exercice du 1^{er} août 2015 au 31 juillet 2016
et énoncé des objectifs pour le prochain exercice et pour l'avenir

Soumis par Neil Turok, directeur,
à l'honorable Navdeep Bains, ministre de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique
et à l'honorable Kirsty Duncan, ministre des Sciences

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 a réussi à positionner le Canada comme un chef de file mondial de la recherche en physique théorique »

– Traduit de l'audit de KPMG, juin 2016

Situé à Waterloo, en Ontario, l'Institut Péricimètre de physique théorique a été fondé en 1999 pour favoriser des percées dans notre compréhension de l'univers, des plus infimes particules au cosmos tout entier. Ce domaine est si fondamental qu'une seule découverte majeure peut littéralement changer notre monde. La physique théorique d'aujourd'hui est la technologie de demain. Par exemple, la mécanique quantique a mené directement aux semi-conducteurs, aux ordinateurs, aux lasers et à un ensemble presque sans fin d'appareils électroniques modernes.

En seulement 17 ans, l'Institut Péricimètre est devenu l'un des plus grands succès du Canada en matière de recherche depuis des décennies : un centre innovateur de classe mondiale pour la recherche, la formation et la diffusion des connaissances en physique fondamentale, discipline scientifique la moins coûteuse et dont les impacts sont les plus grands.

L'Institut a attiré certains des chercheurs les plus brillants au monde et s'est acquis une réputation de pôle majeur de la recherche. Quelque 1 000 scientifiques viennent chaque année assister à des conférences ou faire de la recherche, suscitant de nouvelles collaborations et des découvertes. Dans ce milieu dynamique, l'Institut Péricimètre offre des programmes d'études supérieures qui forment la prochaine génération de pionniers des sciences, et il accueille le groupe le plus important de postdoctorants dans le domaine.

Il est plus important que jamais de comprendre le rôle de la science dans notre vie. C'est pourquoi la diffusion des 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 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.

L'Institut Péricimètre est une institution indépendante à but non lucratif qui bénéficie d'un modèle de financement original. Il réunit des partenaires des secteurs public et privé, et certains des plus grands esprits scientifiques de la planète, qui ont en commun le désir de réaliser des découvertes importantes. Avec le soutien constant de ses partenaires, l'Institut contribue à catalyser un écosystème d'innovation, source de bienfaits et de prospérité pour les générations à venir.

Au 31 juillet 2016, l'Institut Périmètre comptait :

- 22 professeurs à plein temps, dont 6 titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre;
- 20 professeurs associés, dont 3 titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre à titre de chercheur invité;
- 49 titulaires de chaire de chercheur invité distingué;
- 27 adjoints invités;
- 58 postdoctorants¹;
- 78 étudiants diplômés².

¹ Ce nombre comprend les postdoctorants à temps plein, les postdoctorants nommés conjointement avec d'autres institutions, ainsi que les assistants dans le programme PSI.

² Ce nombre comprend 49 doctorants et 29 étudiants de maîtrise dans le cadre du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre).

AN ACCELERATOR OF DISCOVERY



RESEARCH

160+ SCIENTISTS IN RESIDENCE
conducting research

12 MAJOR PRIZES AND HONOURS
awarded to Perimeter scientists in 2015/16

1,000+ VISITING INTERNATIONAL
SCIENTISTS annually

4,000+ PAPERS appearing
in 170 journals
with 150,000+ citations since 2001

10,000+ ONLINE TALKS and
lectures accessed by viewers
in 175 COUNTRIES

17 YEARS after its creation, Perimeter is now
ranked among the TOP THEORETICAL
PHYSICS institutes in the world

OUTREACH

20 MILLION
STUDENT INTERACTIONS
since 2001

20,000+ EDUCATORS trained
through Perimeter workshops
since 2005

619 TOP HIGH SCHOOL STUDENTS
from 50 COUNTRIES have attended
the International Summer School
for Young Physicists since 2003

65 COUNTRIES have used Perimeter's
educational resources

TRAINING

In 2015/16, Perimeter was home to

58 POSTDOCTORAL RESEARCHERS

49 PHD STUDENTS and

29 PSI MASTER'S STUDENTS
from 18 COUNTRIES

Tables des matières

Préface du directeur.....	1
Sommaire	3
Énoncé des objectifs pour 2015-2016	8
Objectif n° 1 : Réaliser des découvertes de classe mondiale	9
Points saillants de la recherche	10
À la frontière du monde quantique.....	10
Étude de la matière exotique	13
Une nouvelle fenêtre ouverte sur le cosmos	16
Une révolution holographique	20
Prix, distinctions et subventions majeures.....	23
Objectif n° 2 : Devenir la résidence de recherche d'une masse critique des plus grands physiciens théoriciens.....	27
Nomination d'une 9 ^e titulaire de chaire de recherche de l'Institut Périmètre.....	27
Nouveau professeur en physique de la matière condensée	28
Recrutement de 2 nouveaux professeurs associés	29
Nouveau boursier du directeur	30
Objectif n° 3 : Devenir un incubateur des talents les plus prometteurs	31
Postdoctorants	31
Programme de maîtrise PSI (<i>Perimeter Scholars International</i> – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre).....	32
Programme de doctorat	34
Programme d'adjoints diplômés invités.....	34
Programme pour étudiants de 1 ^{er} cycle	35
Objectif n° 4 : Devenir la seconde résidence de recherche de plusieurs grands théoriciens du monde ...	36
Chaires de chercheur invité distingué	36
Adjoints invités	38
Boursières invitées Emmy-Noether.....	40
Programme de chercheurs invités.....	41
Objectif n° 5 : Constituer une plaque tournante d'un réseau mondial de centres de physique théorique et de mathématiques.....	42
Collaborations et partenariats.....	42

Rayonnement international	44
Objectif n° 6 : Renforcer le rôle de l’Institut Périmètre comme centre de convergence pour la recherche en physique fondamentale au Canada	46
Engagement avec des centres d’expérimentation	46
Participation à la <i>Quantum Valley</i> à titre de catalyseur	48
Membres affiliés : Réunir la communauté canadienne de la physique	49
Objectif n° 7 : Organiser des conférences, ateliers, cours et séminaires ciblés et opportuns	50
Conférences et ateliers.....	50
Séminaires et colloques.....	52
Cours	53
Diffusion des exposés et cours tenus à l’Institut Périmètre	53
Objectif n° 8 : Mener une action de diffusion des connaissances à fort impact	54
Programmes et produits destinés aux élèves.....	54
Programmes et ressources destinés aux enseignants.....	56
Ressources pédagogiques	57
Programmes destinés au grand public	58
Présence dans les médias.....	60
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	63
Initiatives Emmy-Noether	63
Mise à niveau des systèmes et autres initiatives en matière de TI	64
Technologie de la recherche	64
Expansion des collections de la bibliothèque.....	64
Canada 150.....	65
Objectif n° 10 : Continuer d’exploiter le modèle de financement public-privé qui a fait ses preuves à l’Institut Périmètre	66
Partenaires publics	66
Partenaires privés.....	69
Aperçu des états financiers, des dépenses, des critères d’évaluation et de la stratégie d’investissement	72
Utilisation de la subvention d’Innovation, Sciences et Développement économique Canada	76
Stratégie d’évaluation du rendement	77
Stratégie d’investissement	78

Objectifs pour 2016-2017.....	80
Annexes	81
Annexe A : Corps professoral	81
Annexe B : Titulaires de chaire de chercheur invité distingué	94
Annexe C : Adjointes invités	107
Annexe D : Membres affiliés	112
Annexe E : Membres du conseil d'administration.....	117
Annexe F : Membres du comité consultatif scientifique.....	120
Annexe G : Liens de l'Institut Périmètre avec le milieu de l'expérimentation	123
Annexe H : Présence de l'Institut Périmètre dans les médias	126

Préface du directeur

Quelle année extraordinaire ce fut – pour la physique et pour l’Institut Périmètre! En février 2016, l’Équipe du projet LIGO a annoncé avoir détecté des ondes gravitationnelles, faibles ondulations de l’espace-temps produites par la fusion de deux trous noirs. Avant la fin du mois de mars, nous avons appris que les gouvernements du Canada et de l’Ontario avaient renouvelé jusqu’en 2022 leur investissement dans l’Institut Périmètre. Et en novembre, nous avons été ravis d’apprendre que l’un de nos **titulaires de chaire de chercheur invité distingué, Duncan Haldane, professeur à l’Université de Princeton, était colauréat du prix Nobel de physique 2016.**

Ces magnifiques nouvelles témoignent du pouvoir et du potentiel incroyables de la physique théorique, et de notre capacité commune à façonner l’avenir par la science, pour le bénéfice de l’humanité.

L’existence des ondes gravitationnelles avait été prédite par Einstein – exemple spectaculaire du pouvoir qu’a l’esprit humain d’étudier et de comprendre notre monde. Le projet LIGO était, comme la conquête de la Lune, difficile, risqué et follement ambitieux. Au bout du compte, ce fut un immense succès pour la science, pour les technologies qui en ont résulté et pour la connaissance humaine. Cette merveilleuse découverte montre ce qui est possible avec une vision, des efforts soutenus et l’engagement des gouvernements.

De la même manière, les travaux qui ont valu le prix Nobel à Duncan Haldane et à ses collègues ont commencé par de la théorie pure. Mais leurs résultats ont un potentiel extraordinaire – et pourraient permettre la création d’ordinateurs quantiques.

À l’Institut Périmètre, nous cherchons à réaliser des percées scientifiques du même ordre et à les faire connaître pour le bénéfice de tous. Nous sommes tout aussi déterminés à encourager et à inspirer la prochaine génération de scientifiques et de technologues, qui contribueront à la santé et à la vitalité de notre économie et de notre société.

Nous ne pourrions avoir de telles ambitions sans la vision, l’engagement et le soutien de nos partenaires des secteurs public et privé. La confiance que les gouvernements du Canada et de l’Ontario ont manifestée envers l’Institut Périmètre en renouvelant son financement pour cinq autres années appuie avec force notre conviction que les progrès de la physique fondamentale seront cruciaux pour notre avenir collectif.

Nous sommes très heureux de notre partenariat avec la population de l’Ontario et du Canada ainsi qu’avec les gouvernements qui la représentent. En avril, nous avons été ravis d’accueillir le premier ministre Justin Trudeau, qui a annoncé le nouvel investissement du gouvernement fédéral. Sa passion pour la physique a été bien illustrée par son explication succincte de l’informatique quantique, dont la vidéo est devenue virale et a eu des répercussions dans le monde entier. Quelques semaines plus tard, nous avons eu la joie de recevoir la première ministre Kathleen Wynne, qui a rencontré de nombreux membres de notre communauté.

Les découvertes réalisées en physique sont source de progrès, et beaucoup de choses attendent d'être découvertes aujourd'hui. Comme vous le verrez en lisant ce rapport, la recherche à l'Institut Périmètre est plus passionnante que jamais. Les occasions qu'elle suscite sont appréciées à l'échelle mondiale. L'automne dernier, notre comité consultatif scientifique, formé de neuf éminents scientifiques du monde entier, a procédé à un examen approfondi de l'Institut. Dans un rapport louangeur, il affirmait : « Il est difficile d'imaginer un institut de recherche de cette portée et de cette ampleur ayant autant de visibilité et d'impact que l'Institut Périmètre... En offrant son appui à l'Institut Périmètre, le gouvernement canadien prend l'initiative de promouvoir la science fondamentale et de faciliter l'innovation. » [traduction] Dans un audit exhaustif portant sur une période de cinq ans, KPMG en arrive à une conclusion semblable : « L'Institut Périmètre a réussi à positionner le Canada comme un chef de file mondial de la recherche en physique théorique. » [traduction]

En visant l'excellence, et en soutenant les recherches les plus ambitieuses, l'Institut Périmètre est devenu un pôle d'attraction pour les meilleurs cerveaux de la planète. En avril, nous avons nommé Asimina Arvanitaki, grande théoricienne des particules, titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de l'Institut Périmètre. Financée par des partenaires privés qui apprécient les possibilités uniques de l'Institut, cette chaire est la neuvième à avoir été mise sur pied depuis 2011. Cette année, nous avons aussi recruté un nouveau professeur, Max Metlitski, et deux professeurs associés, Huan Yang (avec l'Université de Guelph) et Jon Yard (avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo). De telles nominations conjointes nous permettent d'unir nos forces à celles de la communauté universitaire canadienne, pour le bénéfice de tous.

Le nombre de candidatures à la maîtrise, au doctorat ou à des bourses postdoctorales et le taux d'acceptation de nos offres sont parmi les plus élevés de toutes les institutions au monde. Dans tous nos programmes de formation, nous cherchons à attirer des esprits exceptionnels, et à leur donner les compétences et les connaissances nécessaires à l'émergence de nouvelles idées et de découvertes. Par-dessus tout, nous espérons susciter chez eux l'excellence scientifique comme notre principal moyen de contribuer de manière unique au progrès de l'humanité.

La diffusion des connaissances auprès des élèves, des enseignants et du grand public continue d'occuper une place importante dans l'action de l'Institut Périmètre. Cette année, plus d'un million d'élèves – en grande majorité au Canada – ont bénéficié de nos nombreux projets pédagogiques. Pour l'Institut, il demeure très important de susciter et d'exploiter la curiosité qui nous anime tous, de rejoindre des publics toujours plus nombreux et d'offrir à tous des expériences de qualité ayant des effets durables.

À cet égard, l'année qui vient sera très particulière, avec les célébrations du 150^e anniversaire du Canada. L'Institut Périmètre est honoré d'avoir été choisi comme partenaire principal du volet innovation de Canada 150. Avec nos partenaires, nous offrirons une gamme considérable d'activités partout au pays. Nous espérons en faire une année mémorable, au cours de laquelle le Canada se manifestera comme une société avant-gardiste, inclusive, ayant à cœur le savoir et sa diffusion.

– Neil Turok

Sommaire

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

Les objectifs énoncés dans le plan d'activité de l'an dernier font partie de la stratégie globale à long terme de l'Institut visant ce but très ambitieux. En 2015-2016, 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 sa vision à long terme est en bonne voie de se concrétiser.

Deux examens exhaustifs portant sur plusieurs années d'activité de l'Institut Péricètre ont été effectués en 2015-2016, conformément à l'accord de financement de l'Institut avec Innovation, Sciences et Développement économique Canada. Les deux ont donné des évaluations extraordinairement positives du fonctionnement de l'Institut à tous les niveaux.

Le rapport du comité consultatif scientifique de l'Institut Péricètre conclut en ces termes : « Il est difficile d'imaginer un institut de recherche de cette portée et de cette ampleur ayant autant de visibilité et d'impact par dollar investi que l'Institut Péricètre. » [traduction]

Au terme de son audit indépendant, KPMG en est arrivé à la conclusion suivante : « L'Institut Péricètre a réussi à positionner le Canada comme un chef de file mondial de la recherche en physique théorique. » [traduction]

Principales réalisations en 2015-2016

Soulignons qu'en novembre 2016, Duncan Haldane, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Péricètre, a été colauréat du prix Nobel de physique 2016 pour ses travaux révolutionnaires sur les états exotiques de la matière.

Progrès de la recherche fondamentale

- ✓ L'Institut Périmètre a fait des découvertes ayant une importance et des répercussions internationales.

- ✓ Voici quelques points saillants de la recherche effectuée :
 - démonstration de la manière de créer une porte hautement souhaitable de traitement de l'information en informatique quantique optique, alors que l'on s'attendait à ce que cela soit impossible;
 - élaboration de nouvelles propositions d'utilisation des données existantes du projet LIGO pour rechercher une particule, appelée axion, dont l'existence est supposée depuis longtemps;
 - en collaboration avec l'équipe du télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements), démonstration de l'existence de structures magnétiques très ordonnées au voisinage des trous noirs – ce qui aidera les chercheurs à étudier comment les trous noirs grandissent et projettent de puissants jets de rayonnement de particules chargées;
 - combinaison de réseaux neuronaux et de simulations de Monte Carlo pour montrer la puissance de l'apprentissage automatique pour la recherche sur la matière condensée et en physique statistique, ce qui pourrait avoir des répercussions majeures pour la découverte de nouvelles formes de matière.

- ✓ Des chercheurs de l'Institut Périmètre ont obtenu de nombreux prix et distinctions d'envergure nationale ou internationale, notamment les suivants :
 - Neil Turok, directeur de l'Institut, a reçu de l'Institut américain de physique le prix John-Torrence-Tate 2016 pour son action déterminante en physique à l'échelle internationale.
 - Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Périmètre, a obtenu le prix de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques.
 - Le professeur associé Roger Melko a reçu la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes.
 - Le professeur associé Markus Mueller a reçu le prix Birkhoff-von-Neumann 2016 de l'Association internationale pour les structures quantiques.
 - Le professeur Robert Myers a été inclus dans la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée en 2015 par Thomson Reuters.
 - Neil Turok, directeur de l'Institut, a prononcé à Londres la conférence Gerald-Whitrow 2016 devant la Société royale d'astronomie.
 - Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Périmètre (à titre de chercheur invité), a obtenu la médaille Dirac

pour l'avancement de la physique théorique remise par l'Université de Nouvelle-Galles du Sud et l'Institut australien de physique.

- Le professeur associé Markus Mueller a été nommé titulaire de la chaire de recherche du Canada (de niveau 2) sur les fondements de la physique.
- Le postdoctorant Flavio Mercati et ses collaborateurs ont obtenu le prix Buchalter de cosmologie 2015 de la Société américaine d'astronomie.
- Le professeur associé David Cory a été élu membre de la Société royale du Canada et de la Société américaine de physique.
- Les scientifiques de l'Institut Péricimètre ont totalisé 4,7 millions de dollars en subventions de recherche.

Recrutement des meilleurs talents

- ✓ Asimina Arvanitaki, jeune spécialiste exceptionnelle de la physique des particules, a été nommée titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique, 9^e chaire de recherche de l'Institut Péricimètre.
- ✓ L'Institut a recruté 1 nouveau professeur à plein temps, 2 professeurs associés à temps partiel et 1 boursier du directeur à plein temps.
- ✓ L'Institut Péricimètre a attribué des chaires de chercheur invité distingué à 5 scientifiques de renommée mondiale, portant leur nombre à 49; il a aussi recruté 7 chercheurs accomplis comme adjoints invités, portant leur nombre à 27.
- ✓ L'Institut a accueilli 5 scientifiques exceptionnelles à titre de boursières invitées Emmy-Noether.
- ✓ L'Institut Péricimètre a embauché 19 postdoctorants en 2015-2016 et en a recruté 19 autres pour 2016-2017.

Formation des scientifiques de l'avenir

- ✓ L'Institut Péricimètre a formé 29 étudiants, provenant de 18 pays (et choisis parmi 472 candidats), dans le cadre du programme de maîtrise PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Péricimètre).
- ✓ L'Institut a donné une formation avancée à 49 doctorants, en collaboration avec des universités environnantes.
- ✓ Six anciens postdoctorants de l'Institut 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 935 scientifiques du monde entier
- ✓ Collaboration pour l'organisation de 8 conférences et ateliers conjoints tenus à l'Institut Périmètre, et parrainage conjoint de 16 autres rencontres scientifiques à l'extérieur de l'Institut
- ✓ Présentation de 322 exposés scientifiques
- ✓ Accueil de 430 scientifiques invités pour des recherches en collaboration et individuelles
- ✓ Diffusion par Internet des activités scientifiques de l'Institut : plus de 108 000 visiteurs de 170 pays
- ✓ Organisation de la conférence *OpenAccess Energy* (Énergie accessible à tous), 3^e sommet du partenariat WGSJ (*Waterloo Global Science Initiative*)
- ✓ Assistance et conseils pour l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI), de même qu'à l'Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique (ICTP-SAIFR)

Une source d'inspiration par la diffusion des connaissances

- ✓ Programmes et ressources pédagogiques qui ont suscité plus de 9,5 millions d'interactions avec des élèves, portant leur total à plus de 20 millions à ce jour
- ✓ Partenariat avec le ministère de l'Éducation de l'Ontario pour produire un ensemble intégré de ressources pédagogiques en mathématiques, sciences et technologie pour les élèves de la 5^e à la 8^e année
- ✓ Direction de la planification et de la mise sur pied d'Innovation150, initiative phare des célébrations de Canada 150 qui se dérouleront durant toute l'année 2017
- ✓ Tenue de la 14^e École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP) et organisation de 15 exposés *Physica Phantastica* – pour plus de 4 200 élèves de toutes les régions du Canada

- ✓ Tenue d'un atelier intensif *EinsteinPlus* pour 40 enseignants du monde entier; camps de formation et ateliers bénéficiant à plus de 3 000 enseignants par le truchement du réseau des enseignants de l'Institut
- ✓ Présentation de 135 ateliers à plus de 4 000 enseignants au Canada et à l'étranger
- ✓ Présence importante dans des médias canadiens et étrangers, dont *Scientific American*, *The Globe and Mail*, *Wired*, *The Guardian*, *The Economist*, *Maclean's*, et bien d'autres
- ✓ Présentation à guichets fermés de 8 conférences publiques captivantes également suivies par un auditoire en ligne de plus en plus nombreux
- ✓ Prix des communications scientifiques dans la société pour la série mensuelle *Slice of PI* (Tranche d'IP) et augmentation sensible de la présence de l'Institut dans les médias sociaux

Un milieu de recherche optimal

- ✓ Mise sur pied d'un comité ADVANCE pour promouvoir l'équilibre des sexes et la diversité
- ✓ Soutien à la visualisation des données liées aux initiatives de réseau de tenseur et du télescope EHT

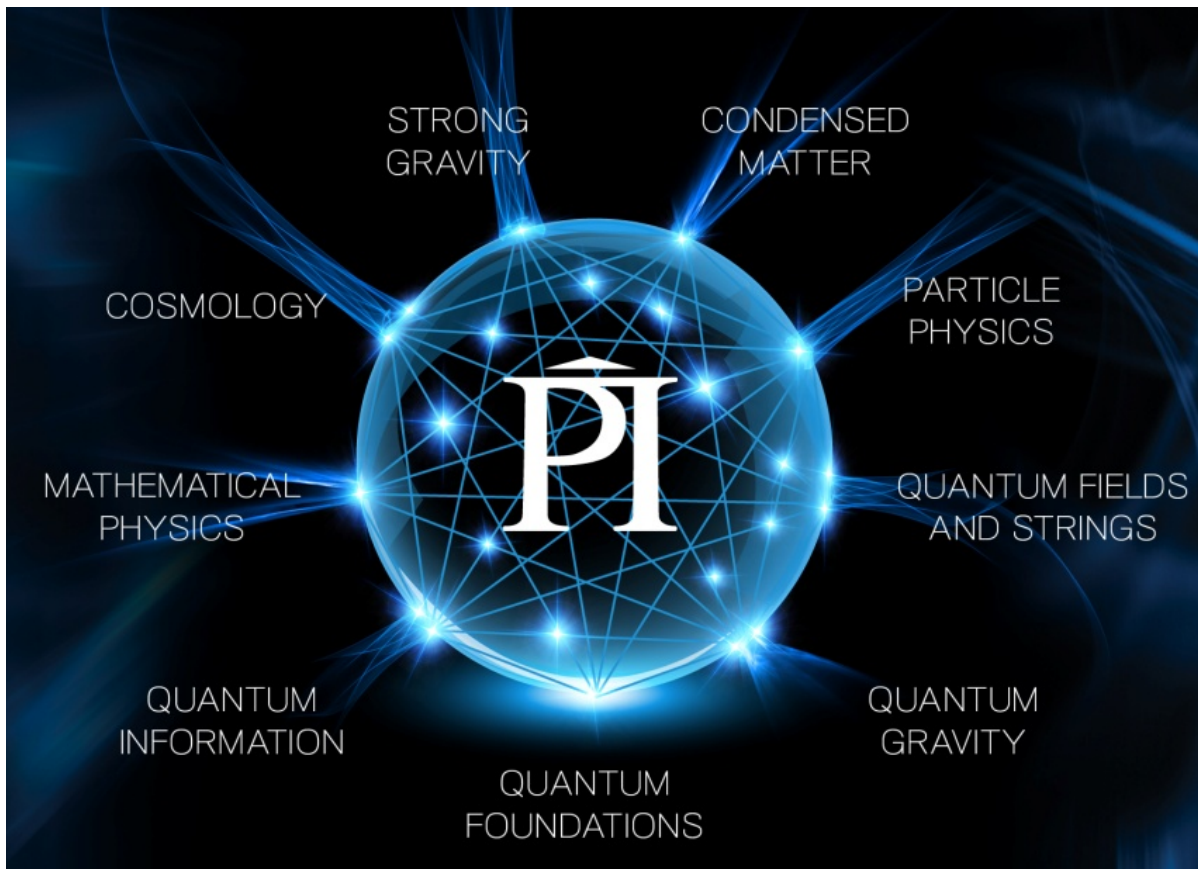
Un partenariat public-privé en croissance

- ✓ Obtention d'un financement de 50 millions de dollars (sur 5 ans) du gouvernement du Canada et d'un financement identique de la Province de l'Ontario
- ✓ Conclusion d'un investissement de 4 millions de dollars de la Fondation Stavros-Niarchos, d'un financement de 300 000 \$ de la Fondation de la famille Daniel et d'un financement de 300 000 \$ de Cenovus Energy, dans chaque cas pour une chaire de recherche de l'Institut Périphère
- ✓ Conclusions positives des examens indépendants effectués par le comité consultatif scientifique de l'Institut et par KPMG

Énoncé des objectifs pour 2015-2016

- 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

- La recherche fondamentale de pointe effectuée à l'Institut Périmètre s'est traduite par la publication de 453 articles de haut calibre³.
- Les chercheurs de l'Institut Périmètre ont produit depuis sa création plus de 4 000 articles, parus dans plus de 170 revues spécialisées et qui ont fait à ce jour l'objet de plus de 150 000 citations. Cela témoigne de l'importance et de l'impact à long terme de la recherche effectuée à l'Institut⁴.

³ Ces chiffres correspondent à la période allant du 1^{er} août 2015 au 31 juillet 2016. Chaque publication n'a été comptée qu'une seule fois, quel que soit le nombre de chercheurs de l'Institut Périmètre qui y ont collaboré.

⁴ Ces données sont tirées des bases de données *Google Scholar* et *Spines*.

Points saillants de la recherche

À la frontière du monde quantique

Les premières recherches en mécanique quantique menées au XX^e siècle ont lancé la première révolution quantique – une cascade de découvertes et de technologies qui ont donné les transistors, les circuits intégrés, les ordinateurs, les supraconducteurs, l'IRM, les caméras numériques, la chimie moderne, etc.

Beaucoup sont d'avis qu'une deuxième révolution quantique s'est amorcée, avec l'exploitation de propriétés subtiles et puissantes de la mécanique quantique telles que la superposition, selon laquelle des particules peuvent être dans plus d'un état en même temps, et l'intrication, qui relie des particules de telle sorte qu'elles se comportent de manière synchrone même si de grandes distances les séparent.

L'objectif ultime du domaine de l'informatique quantique est la réalisation d'un ordinateur quantique qui permettrait de déchiffrer des codes inviolables, de modéliser des phénomènes complexes et de résoudre des problèmes auparavant réputés insolubles. Beaucoup de recherches théoriques doivent toutefois être menées avant que les technologies de l'informatique quantique puissent être pleinement déployées.

L'Institut Périmètre, et son voisin et partenaire expérimental l'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo, ont contribué à faire de la région de Waterloo la première *Quantum Valley*, pôle mondial de l'informatique quantique englobant la théorie, l'expérimentation et le développement technologique.

Par exemple, **Daniel Gottesman**, professeur à l'Institut Périmètre, est un chef de file reconnu à l'échelle mondiale en correction d'erreurs quantiques, ensemble de techniques nécessaires pour protéger et vérifier l'information en dépit des erreurs inhérentes au calcul quantique. Le professeur **Lucien Hardy** est l'auteur de contributions telles que le paradoxe de Hardy, fondamentales dans le domaine. Les professeurs associés **David Cory** et **Raymond Laflamme**, et le nouveau venu **Jon Yard** – tous recrutés dans le cadre de nominations conjointes avec l'IQC –, élaborent et mettent à l'épreuve de nouvelles idées pour le contrôle quantique, la correction d'erreurs quantiques et les cadres du calcul quantique.

Avec les progrès de notre compréhension du monde quantique, nous trouverons de nouvelles manières d'appliquer ces connaissances, nous approchant de la concrétisation de la prochaine révolution quantique.

Le médium est le passage

Une voie d'accès théorique à l'informatique quantique, que l'on croyait depuis longtemps fermée, vient d'être rouverte par **Daniel Brod** et **Joshua Combes**, **postdoctorants à l'Institut Périmètre**. Dans deux articles publiés dans les revues *Physical Review Letters* et *Physical Review A*, ils ont ravivé l'idée de créer un type de porte informatique qui constitue une priorité en informatique quantique optique.

Avec leur collaborateur Julio Gea-Banacloche, de l'Université de l'Arkansas, les chercheurs donnent un exemple concret de la manière de construire une porte à phase contrôlée (CPHASE) à l'aide d'un milieu de Kerr avec modulation de phase croisée (type de milieu particulier qui permet de manière passive une interaction entre photons produisant une modulation de phase).

Les tentatives actuelles de création de portes CPHASE exigent beaucoup de gestion à chaque étape : impulsions de contrôle et exécution de séquences complexes, prise en considération de la correction d'erreurs. C'est ce qui rend un milieu de Kerr particulièrement intéressant, car il n'exige pas d'intenses manipulations à chaque étape.

Les chercheurs ont montré comment une porte CPHASE peut être construite à partir d'une chaîne de milieux de Kerr avec modulation de phase croisée. Ces milieux constituent des « sites d'interaction » contenant 1 ou 2 atomes qui interagissent avec les photons et catalysent une interaction effective entre eux. Avec une chaîne formée de nombreux sites de ce type, et des photons qui se propagent dans des directions opposées dans la chaîne, on peut créer une porte CPHASE parfaite. Avec une douzaine de sites d'interaction, la porte atteint un taux de fidélité très élevé.

Des travaux précédents laissaient entendre qu'un tel montage ne pourrait pas résister aux effets des conditions réelles et que, de l'avis de plusieurs, il était donc impossible. Ces nouvelles recherches ne contestent pas les constatations antérieures. Elles sont plutôt fondées sur un ensemble d'hypothèses différent – et s'avèrent ici fructueuses.

Que la proposition fonctionne avec une si petite quantité de ressources est encourageant. Elle dépasse encore les capacités expérimentales actuelles et ne peut donc pas être mise à l'épreuve, mais elle est beaucoup plus près d'une réalisation concrète que des propositions semblables qui exigent des milliers d'éléments optiques. En montrant que ce schéma est possible en principe, MM. Brod et Combes espèrent donner une nouvelle vie à une avenue de recherche depuis longtemps dormante.

Références

BROD, D.J. (IP), et J. COMBES (IP et IQC). « Passive CPHASE Gate via Cross-Kerr Nonlinearities », *Physical Review Letters*, vol. 117, 2016, article n° 080502.

BROD, D.J. (IP), J. COMBES (IP et IQC) et J. GEA-BANACLOCHE (Université de l'Arkansas). « Two photons co- and counterpropogating through N cross-Kerr sites », *Physical Review A*, vol. 94, 2016, article n° 023833.

Si quelque chose marche comme un canard (quantique)...

Si deux systèmes sont si semblables qu'il est impossible de les distinguer – que ce soit de manière expérimentale ou en principe –, peut-on considérer qu'ils sont physiquement identiques? Il se trouve que si l'on adopte la notion habituelle d'identité physique, alors, dans l'univers quantique, la réponse est non.

Selon la notion de « non-contextualité », si une chose marche comme un canard et cancale comme un canard, et que, peu importe l'expérience, on ne peut la distinguer d'un canard, alors ce doit être un canard. Mais de récents travaux conçus à l'Institut Périmètre et mis en œuvre à l'Institut d'informatique quantique ont montré que, en mécanique quantique, la non-contextualité peut échouer.

Ces travaux, dirigés par **Robert Spekkens**, professeur à l'Institut Périmètre, et par **Kevin Resch**, professeur à l'Université de Waterloo et à l'Institut d'informatique quantique, ainsi que membre affilié de l'Institut Périmètre, aident à clarifier quels principes de la physique classique échouent dans un monde quantique et confirment de manière expérimentale ce caractère non classique.

En physique quantique, deux réalisations différentes d'un système peuvent donner des résultats identiques avec tous les tests concevables. Mais tout modèle expérimental qui attribue à des systèmes des propriétés bien définies *exige* que ces systèmes soient différents. Cette différence inhérente viole le principe de non-contextualité.

Robert Spekkens, **Matthew Pusey**, postdoctorant à l'Institut Périmètre, et Ravi Kunjwal, doctorant invité à l'Institut Périmètre, ont contribué à définir à quoi un test de non-contextualité pourrait ressembler. Kevin Resch et Michael Mazurek, doctorant à l'Université de Waterloo, ont construit le montage expérimental complexe et effectué les tests.

Fait important, cette expérience ne supposait pas la présence de conditions idéales. Alors que les tentatives précédentes de tester l'échec de la non-contextualité prédit par la théorie exigeaient de supposer des idéalizations telles que des mesures sans bruit, les équipes de l'Institut Périmètre et de l'IQC voulaient éviter de telles hypothèses irréalistes. Elles ont conçu une expérience permettant de réaliser des tests de non-contextualité significatifs même en présence de bruit, en combattant l'erreur statistique par l'inférence statistique.

Les résultats, publiés dans *Nature Communications*, sont importants parce que, pour certains types de tâches de cryptographie et de calcul, l'échec de la non-contextualité est la propriété à l'origine des avantages du monde quantique par rapport au monde classique. Le fait de savoir comment composer avec le bruit ouvre une gamme nouvelle de possibilités pour trouver – et bien comprendre – les avantages technologiques offerts par la physique quantique.

Référence

MAZUREK, M.D. (IQC), M.F. PUSEY (IP), R. KUNJWAL (Institut de mathématiques de Chennai), K.J. RESCH (IQC) et R.W. SPEKKENS (IP). « An experimental test of noncontextuality without unphysical idealizations », *Nature Communications*, vol. 7, 2016, article n° 11780.

Étude de la matière exotique

Il est difficile d'exagérer les promesses de la matière quantique.

Au XX^e siècle, nos connaissances sur les matériaux ont connu une révolution lorsqu'elles ont été unifiées par le domaine nouveau de la mécanique quantique. Cette première révolution quantique a donné une grande partie de la technologie actuelle, des transistors aux piles solaires, en passant par les écrans tactiles des iPad.

Le prix Nobel de physique 2016 a été attribué à 3 chercheurs – dont **Duncan Haldane, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre**. Leurs découvertes d'états topologiques de la matière dans les années 1970 et 1980 ont contribué à jeter les bases d'une deuxième révolution quantique en révélant des états exotiques de la matière aux propriétés puissantes.

Les états conventionnels de la matière sont décrits par la disposition et les propriétés de symétrie des atomes. Par contre, la matière quantique ne peut être décrite qu'en tenant compte des corrélations entre atomes ou électrons. C'est comme de décrire une ville non par ses bâtiments, mais plutôt par les flux d'information qui circulent dans ses câbles à fibres optiques. **Xiao-Gang Wen, titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton**, est l'auteur de contributions majeures dans ce domaine.

L'étude de la matière quantique exige de nouveaux outils mathématiques et de nouvelles bases théoriques. Dans l'un comme l'autre cas, il y a eu des progrès rapides au cours de la dernière décennie. Le gain immédiat est une meilleure compréhension de phénomènes comme la supraconductivité, mais certains des outils et idées élaborés à propos de la matière quantique ont des effets étonnamment étendus. À titre d'exemple, les réseaux de tenseurs, outils mathématiques développés par **Guifre Vidal, professeur à l'Institut Périmètre**, ouvrent de nouveaux axes de recherche en gravitation quantique, en physique des hautes énergies, et aussi en mathématiques.

Même si elle a commencé seulement sur le plan de la théorie pure, la deuxième révolution quantique transformera probablement la science et la technologie des matériaux, avec des effets étendus sur l'informatique, les communications, la transmission d'énergie et les technologies médicales.

C'est à qui parviendra le premier à réaliser cette révolution. Voici quelques progrès accomplis en ce sens au cours de l'année par des chercheurs de l'Institut Périmètre.

Apprentissage automatique quantique

L'étude des systèmes quantiques à N corps fait intervenir ce qui pourrait être l'objet le plus complexe existant dans la nature : la fonction d'onde de l'électron. Si l'on voulait utiliser un ordinateur pour représenter sous forme mathématique la fonction d'onde d'une boule de poussière de taille nanométrique, il faudrait un disque contenant plus de bits magnétiques qu'il y a d'atomes dans l'univers.

Afin de contourner ce problème, les physiciens utilisent des trucs pour extraire les propriétés utiles de certaines fonctions d'onde à l'aide des modestes moyens informatiques actuellement disponibles. Mais le professeur associé **Roger Melko** ouvre une nouvelle voie. Il applique les acquis de l'apprentissage automatique à de nouvelles fins en physique des systèmes quantiques à N corps.

L'apprentissage automatique comporte un ensemble d'algorithmes servant à extraire des propriétés de jeux de données extrêmement volumineux ou complexes. Il est déjà présent dans notre vie quotidienne, dans des fonctions telles que la reconnaissance faciale, les jeux automatisés et d'autres tâches d'intelligence artificielle.

Roger Melko et **Juan Carrasquilla**, postdoctorant à l'Institut Périmètre, viennent de combiner la technologie très moderne des réseaux neuronaux (une classe d'algorithmes d'apprentissage automatique) et des simulations de Monte Carlo d'hamiltoniens modèles qui ont un intérêt en physique conventionnelle de la matière condensée. Cette combinaison de simulations de Monte-Carlo et d'apprentissage automatique a été introduite en prépublication dans un article, intitulé *Machine Learning Phases of Matter* (États de la matière et apprentissage automatique), soumis à la revue *Nature Physics*.

Les chercheurs montrent que des réseaux neuronaux standard peuvent détecter des états conventionnels de la matière, ainsi que des transitions de phase, dans des configurations produites par des simulations de Monte Carlo. Ces réseaux neuronaux peuvent aussi reconnaître des états topologiques sans paramètre d'ordre conventionnel. Les chercheurs explorent également les liens entre apprentissage automatique et réseaux de tenseurs.

Ces travaux sont les premiers à avoir permis de démontrer la puissance de l'apprentissage automatique comme outil de recherche fondamentale dans les domaines de la matière condensée et de la physique statistique. Ils ont amené l'Institut Périmètre à organiser au mois d'août la première conférence sur l'apprentissage automatique quantique, à laquelle ont participé près de 100 chercheurs et représentants de l'industrie.

Références

BROECKER, P. (Université de Cologne), J. CARRASQUILLA (IP), R.G. MELKO (IP et Université de Waterloo) et S. TREBST (Université de Cologne). « Machine learning quantum phases of matter beyond the fermion sign problem », arXiv:1608.07848.

CH'NG, K. (Université d'État de San Jose), J. CARRASQUILLA (IP), R.G. MELKO (IP et Université de Waterloo) et E. KHATAMI (Université d'État de San Jose). « Machine Learning Phases of Strongly Correlated Fermions », arXiv:1609.02552.

CARRASQUILLA, J. (IP), et R.G. MELKO (IP et Université de Waterloo). « Machine learning phases of matter », arXiv:1605.01735.

Progrès de la théorie des isolants topologiques

Les isolants topologiques sont des matériaux exotiques qui agissent comme un fil électrique à l'envers : ils sont isolants à l'intérieur et conducteurs d'électricité à l'extérieur. Il y a toutefois une différence cruciale : les isolants topologiques sont faits partout du même matériau, à l'intérieur comme à l'extérieur.

Constituant l'un des très rares états exotiques de la matière dont l'existence a été décrite en théorie avant d'être confirmée par l'expérience, les isolants topologiques sont considérés comme très prometteurs pour l'informatique quantique et la transmission d'énergie sans perte. Il est donc pressant et d'un intérêt pratique de mieux comprendre les isolants topologiques.

Max Metlitski, professeur à l'Institut Périmètre, a réalisé des progrès importants dans ce sens. La théorie existante des isolants topologiques décrit ceux-ci à partir de leurs électrons. M. Metlitski a élaboré une théorie duale – ou équivalente – qui décrit plutôt les isolants topologiques à partir de tourbillons de charges tournant à leur surface. Dans de récents travaux, il a réussi à étendre cette théorie au-delà de la surface des isolants topologiques et à décrire aussi le comportement de l'intérieur de ces matériaux.

Cette nouvelle description des isolants topologiques est plus puissante que l'ancienne. La théorie précédente ne fonctionnait que là où les électrons de la surface sont en interaction faible. La nouvelle théorie des tourbillons peut aussi décrire le comportement des électrons en interaction forte.

Les travaux de M. Metlitski ont également résolu un problème qui se posait depuis longtemps en physique de la matière condensée. Ce problème concerne un système de matière condensée appelé liquide quantique de Hall. Dans un tel liquide, une pellicule d'électrons plongée dans un fort champ magnétique possède certains états qui sont supraconducteurs. La meilleure théorie existante décrivant les états particuliers d'un liquide quantique de Hall n'incluait pas l'une des symétries prédites par la mécanique quantique, de sorte qu'elle était considérée comme incomplète.

Max Metlitski et ses collaborateurs ont découvert un lien inattendu entre les isolants topologiques et les liquides quantiques de Hall dans leurs états particuliers supraconducteurs : la description de ces états fondée sur des tourbillons résout le problème de la symétrie manquante. Ces travaux constituent donc une étape majeure vers la compréhension théorique des isolants topologiques et des supraconducteurs, et annoncent d'autres progrès à venir.

Référence

METLITSKI, M.A. (IP et Institut Kavli de physique théorique). « S-duality of $u(1)$ gauge theory with $\vartheta=\pi$ on non-orientable manifolds: Applications to topological insulators and superconductors », arXiv:1510.05663.

Une nouvelle fenêtre ouverte sur le cosmos

Nous avons de nouveaux yeux pour voir l'univers.

Depuis les débuts de la science, l'astronomie a été définie par la lumière. Il y a eu d'abord ce que nous pouvions voir à l'œil nu – les mouvements de la Lune, des étoiles et des planètes –, puis ce que nous pouvions voir à l'aide de télescopes, tout d'abord dans les longueurs d'onde de la lumière visible, puis des formes plus exotiques de lumière : les rayons X, les ondes radio et les micro-ondes. Chaque gamme de longueurs d'onde a amené des découvertes nouvelles et étonnantes, depuis la révélation des trous noirs jusqu'à la cartographie des dernières lueurs du Big Bang.

Mais nous étions toujours contraints de travailler avec la lumière. Cela change enfin, alors que nous commençons à regarder l'univers à travers la lentille de la gravité.

Notre théorie actuelle de la gravitation est la théorie de la relativité générale d'Einstein, qui définit comment les masses étirent et déforment l'espace-temps. Alors que la plupart des objets ordinaires créent de simples petits creux dans l'espace-temps, des objets très massifs ou denses, par exemple les trous noirs, ont des effets plus spectaculaires. Et une modification rapide d'un système très massif ou très dense, comme la collision de deux trous noirs, peut créer un tsunami qui se propage dans l'univers sous la forme d'ondes gravitationnelles. En se déplaçant sur des distances cosmiques, le tsunami se dilue pour devenir des ondulations incroyablement faibles.

En 2015, après des décennies d'efforts, une équipe de scientifiques travaillant au LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* – Observatoire d'ondes gravitationnelles par interféromètre laser) a détecté des ondulations de l'espace-temps produites par la fusion de deux trous noirs survenue il y a 1,3 milliard d'années. À son plus fort, la fusion a dégagé plus de puissance que toute la lumière émise par toutes les étoiles de l'univers observable. Pourtant, son effet sur la Terre, après une propagation sur plus d'un milliard d'années-lumière, a été infime : les ondes ont modifié la longueur des bras du LIGO (qui font 4 km) d'un millième du diamètre d'un proton. La réussite de cette détection a véritablement été un grand moment de la science, équivalent à celui où Galilée a pour la première fois pointé vers le ciel un télescope, il y a 400 ans.

La collecte de données est la tâche de machines perfectionnées; la compréhension des données et la conception d'observations futures revient aux plus grands théoriciens du monde. Les chercheurs de l'Institut Périmètre mettent à profit la théorie pour maximiser l'acquisition de connaissances à cette nouvelle ère de découvertes, qu'il s'agisse de rassembler les pièces de l'« astronomie multimessage », qui combine la détection d'ondes gravitationnelles et les signaux électromagnétiques, ou d'explorer la lentille gravitationnelle de l'intérieur pour tester les prédictions de la relativité générale.

Surprise : On peut étudier la physique des particules à l'aide des ondes gravitationnelles

Les prochaines années d'observations du projet LIGO nous apprendront probablement beaucoup de choses sur les trous noirs et la relativité générale. Mais ce n'est pas tout ce que nous pouvons tirer d'un

ensemble aussi considérable de données. **Asimina Arvanitaki**, professeure à l'Institut Périmètre et première titulaire de la **chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque**, fait partie de ceux qui examinent d'autres possibilités de découverte.

Mme Arvanitaki est un chef de file d'une nouvelle génération de physiciens qui recherchent des manières innovatrices de tester les fondements de la physique des particules sans l'aide de grands collisionneurs.

Afin d'étudier ce que les données du projet LIGO peuvent nous apprendre, Mme Arvanitaki a travaillé avec **Masha Baryakhtar** et **Robert Lasenby**, postdoctorants à l'Institut Périmètre, **Savas Dimopoulos**, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, et **Sergei Dubovsky**, adjoint invité, pour considérer les trous noirs comme des détecteurs naturels de particules. Ils utilisent ces « détecteurs » pour élaborer une manière inédite de rechercher de nouveaux types de particules.

La masse énorme d'un trou noir peut produire de nombreux effets étranges sur l'espace-temps qui l'entoure. L'un de ces effets est la superradiance – processus par lequel l'énergie et le moment angulaire du trou noir lui-même créent et expulsent des nuages de particules de matière.

Ces particules demeurent ensuite en orbite autour du trou noir en étant liées à celui-ci, comme des électrons en orbite autour du noyau atomique. Tout comme les électrons, les particules en orbite peuvent sauter d'un niveau d'énergie à un autre. Et tout comme les électrons sautant d'un niveau d'énergie à un autre dans un atome ordinaire émettent un rayonnement électromagnétique, c'est-à-dire de la lumière, les particules en orbite autour d'un trou noir pourraient créer, en sautant d'un niveau d'énergie à un autre, des « rayons » d'ondes gravitationnelles qui pourraient être perçus par un détecteur d'ondes gravitationnelles situé sur terre, par exemple le LIGO avancé.

L'étude attentive de ces ondes gravitationnelles pourrait révéler toutes sortes de détails sur les nuages de particules qui ont émis ces ondes. Asimina Arvanitaki et Masha Baryakhtar s'intéressent en particulier au potentiel qu'a le LIGO avancé de détecter l'axion de la chromodynamique quantique, particule dont l'existence a été proposée dans les années 1970 pour expliquer la faible valeur du moment dipolaire du neutron. Depuis une trentaine d'années, on a consacré sans succès beaucoup d'efforts à la détection sur terre de cette particule. De nombreux chercheurs considèrent l'axion comme un candidat idéal pour aider à résoudre le mystère de la matière sombre.

Comme bien souvent à l'Institut Périmètre, les travaux de ces chercheurs font le pont entre plusieurs domaines de la physique qui sont rarement en interaction : dans ce cas-ci, ce sont la physique des particules, l'astrophysique des trous noirs et la détection d'ondes gravitationnelles. C'est en construisant de tels ponts que l'Institut Périmètre peut vraiment être à l'avant-garde de la recherche.

Référence

ARVANITAKI, A. (IP), M. BARYAKHTAR (IP), S. DIMOPOULOS (Université Stanford), S. DUBOVSKY (Université de New York) et R. LASENBY (IP). « Black Hole Mergers and the QCD Axion at Advanced LIGO », arXiv:1604.03958.

L'histoire en marche : Les premières images des trous noirs sont pour bientôt

Fait extraordinaire, la détection d'ondes gravitationnelles par le LIGO n'a pas été la seule percée réalisée en 2015-2016 dans l'étude de la gravité forte. Dans un projet totalement distinct, l'un des télescopes les plus perfectionnés au monde, le télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements), a commencé à construire l'une des premières véritables « images » d'un trou noir – montrant l'ombre de l'horizon des événements lui-même qui se détache en silhouette sur fond de la matière brillante tombant vers lui.

Avery Broderick, professeur associé à l'Institut Périmètre et membre de l'équipe du télescope EHT, joue un rôle clé dans ces travaux historiques. Les images obtenues par lui et ses collaborateurs confirmeront – ou peut-être même infirmeront – une grande partie de nos connaissances sur la nature des trous noirs et éventuellement de la gravité elle-même.

M. Broderick est un chef de file mondial de l'analyse de données brutes. Il a mis au point des modèles et des techniques d'analyse maintenant largement utilisés pour extraire de l'information pertinente à partir des masses de données fournies par les radiotélescopes sur les trous noirs.

Pour soutenir ces travaux cruciaux, l'Institut Périmètre a mis sur pied l'**initiative de recherche EHT**, afin de réunir les talents nécessaires pour mener l'effort mondial d'analyse et d'interprétation des énormes flux de données venant du télescope EHT. Cette année, 3 postdoctorants et 1 étudiant ont été recrutés dans le cadre de cette initiative, pour réaliser de rapides progrès dans des projets liés au télescope EHT.

Avec l'arrivée des données du télescope EHT, ces chercheurs de l'Institut, ainsi que d'autres du monde entier, ont enfin pu examiner en détail un vrai trou noir, et commencer à valider certaines des théories formulées depuis longtemps sur ces objets étranges.

Résultat historique, l'équipe a mesuré la polarisation de la lumière tout juste à l'extérieur de l'horizon des événements de Sagittaire A*, le trou noir supermassif situé au centre de notre galaxie, la Voie lactée.

Des décennies de travaux théoriques, y compris de gigantesques simulations informatiques, avaient permis de décrire comment les champs magnétiques au voisinage de l'horizon d'un trou noir contribuent aux processus qui permettent à ce trou noir de croître. Dans ces modèles, les trous noirs sont entourés de tourbillons magnétiques forts et stables, analogues aux tourbillons que l'on observe autour de l'orifice d'évacuation d'une baignoire.

Les données recueillies par le télescope EHT sur la polarisation de la lumière ont confirmé que ces structures magnétiques fortement ordonnées existent réellement et ont fourni une première mesure de leur taille. Cela permettra aux chercheurs de réaliser d'importants progrès en astrophysique des trous noirs, en étudiant leur croissance ainsi que l'émission de jets de rayonnement et de particules chargées qui se déplacent à une vitesse voisine de celle de la lumière.

Il s'agit là d'un premier résultat majeur du projet de télescope EHT, qui fait avancer nos connaissances en astrophysique des trous noirs. Étant donné la richesse des données recueillies, ce résultat ne sera pas le dernier.

Référence

JOHNSON, M.D. (Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique), A.E. BRODERICK (IP et Université de Waterloo), *et al.* « Resolved magnetic-field structure and variability near the event horizon of Sagittarius A* », *Science*, vol. 350, 2015, p. 1242, arXiv:1512.01220.

Une révolution holographique

Les trous noirs sont omniprésents. Si vous examinez des modèles théoriques, vous trouverez des trous noirs en physique nucléaire, en supraconductivité à haute température, en mécanique des fluides, et même à l'extérieur de la physique, dans le monde des mathématiques pures.

Évidemment, ce ne sont pas des trous noirs au sens concret, mais plutôt d'utiles abstractions qui tirent leur origine d'une « dualité » élaborée par les théoriciens des cordes. Dans une dualité, on démontre que deux théories qui peuvent sembler très différentes sont interchangeables, ce qui permet aux physiciens d'utiliser les outils et les idées d'un domaine pour les appliquer à un autre.

La dualité particulière qui amène les trous noirs dans ces modèles est appelée *holographie*. Tout comme un hologramme est une image bidimensionnelle qui contient une information tridimensionnelle, les dualités holographiques ajoutent ou enlèvent une dimension. Grâce à l'holographie, les physiciens peuvent traduire des problèmes difficiles sur la gravitation en des problèmes plus simples sur des particules et des champs – ou, beaucoup plus souvent, des problèmes difficiles sur des particules et des champs en des problèmes plus simples sur la gravitation. C'est là qu'interviennent les trous noirs.

L'holographie est un outil puissant, et depuis une dizaine d'années elle s'est frayé un chemin partout en physique. Pour passer d'une théorie à une autre et augmenter ou diminuer le nombre de dimensions, il faut de la créativité et des compétences dans plusieurs disciplines. Il n'est donc peut-être pas surprenant que l'holographie prospère à l'Institut Périclète.

De nombreux chercheurs de l'Institut Périclète utilisent l'holographie pour son but principal : mieux comprendre la théorie quantique des champs. **Pedro Vieira, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac**, s'est servi de techniques d'holographie et de la théorie des cordes pour trouver les premières solutions exactes de théories quantiques des champs (TQC) quadridimensionnelles, alors que les travaux de **Davide Gaiotto, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée**, sur les TQC et l'holographie ont menés à des avancées surprenantes en mathématiques pures.

Plus encore, certains chercheurs de l'Institut Périclète poussent l'holographie bien plus loin que la résolution de problèmes de TQC.

Une avancée étrange pour des métaux étranges

Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell (à titre de chercheur invité) de l'Institut Périclète, a été le premier à appliquer l'holographie à des problèmes de matière condensée.

M. Sachdev s'intéresse tout particulièrement aux états quantiques de la matière. Alors que les états normaux de la matière peuvent être décrits par le type et l'emplacement de particules, les états quantiques de la matière doivent, quant à eux, être décrits par l'intrication entre particules. Passer

d'une description à l'autre revient à décrire une ville non par ses bâtiments et ses rues, mais plutôt par ses flux de téléphonie cellulaire.

La tâche peut sembler accablante. C'est une chose que d'étudier deux particules intriquées – les théoriciens de la physique quantique sont maintenant experts en la matière – mais un système de matière condensée peut comprendre un nombre immense de particules : de l'ordre de 10^{23} dans un échantillon de quelques grammes.

Subir Sachdev a réalisé il y a quelques années une percée en utilisant l'holographie pour transformer le problème de l'intrication en un problème de gravitation, résolvant du coup plusieurs problèmes qui se posaient depuis longtemps à propos de la matière condensée quantique.

Cette année, il a réalisé des progrès majeurs en décrivant la physique quantique des « métaux étranges », état de la matière qui déconcerte les physiciens depuis quelque temps – d'où son nom.

Dans un article publié dans *Physical Review X*, M. Sachdev a montré qu'une nouvelle catégorie de théorie quantique des champs a un comportement holographique, démontrant que la description complexe des métaux étranges en termes de particules est duale sur le plan holographique d'une description d'un certain type de trou noir chargé. Fait remarquable, cette TQC donne aussi des indices sur l'entropie des trous noirs – résultat surprenant si l'on considère que les deux domaines semblent appartenir à des univers totalement différents.

Passer des métaux étranges aux trous noirs peut sembler un pas de côté. Mais Subir Sachdev prouve que c'est aussi un grand pas en avant.

Référence

SACHDEV, S. (Université Harvard, IP et Institut Kavli de physique théorique). « Bekenstein-Hawking Entropy and Strange Metals », *Physical Review X*, vol. 5, 2015, article n° 041025, arXiv:1506.05111.

À la recherche des pixels de l'espace-temps

L'holographie est généralement utilisée pour transformer un problème difficile sur des particules en un problème plus simple sur la gravitation. Mais **Bianca Dittrich**, professeure à l'Institut Périclès se sert de l'holographie en sens inverse.

Mme Dittrich est l'une des nombreux scientifiques qui recherchent de nouveaux liens entre la relativité générale et la théorie quantique des champs. Ces deux grandes théories de la physique moderne sont élégantes et fructueuses – et notoirement incompatibles.

Selon la relativité générale, l'espace-temps est lisse. Il est aussi continu. Cela signifie que si vous faisiez un zoom avec un microscope infiniment puissant, l'espace-temps aurait le même aspect lisse. Par contre, selon la théorie quantique des champs, les particules et les forces se présentent sous forme de « paquets » discrets, et l'espace-temps doit lui aussi avoir un aspect granulaire. Une théorie de la

gravitation quantique devrait faire le lien entre les deux aspects – lisse sur de grandes distances, mais granulaire sur des distances très petites, comme une photo numérique formée de pixels.

Bianca Dittrich utilise une méthode appelée *gravitation quantique à boucles*, qui représente l'espace-temps sous forme d'un fin réseau de « pixels » d'espace-temps reliés entre eux. Elle espère définir les propriétés qu'un « pixel » d'espace-temps devrait posséder pour être distinct des autres à l'échelle individuelle et avoir un aspect lisse lorsqu'il interagit avec de nombreux autres pixels semblables.

Un défi majeur consiste à simuler les liens entre un grand nombre de ces « pixels » d'espace-temps. Les pixels sont si minuscules que même un tout petit morceau d'espace-temps en contiendrait un nombre ahurissant, rendant rapidement les calculs impossibles.

L'innovation de Mme Dittrich est la suivante : au lieu d'étudier chaque « pixel » d'un morceau d'espace-temps donné, elle utilise l'holographie pour étudier uniquement la surface de ce morceau d'espace-temps – soustrayant ainsi une dimension et simplifiant d'autant le problème.

Normalement, l'holographie s'applique dans un type particulier d'espace-temps appelé espace anti-de Sitter (AdS). On sait aussi qu'elle fonctionne pour des surfaces infiniment grandes. Bianca Dittrich et Valentin Bonzom (professeur à l'Université Paris 13, après avoir été postdoctorant à l'Institut Périclète) ont repoussé les limites de la théorie sous les deux aspects, montrant qu'elle peut aussi s'appliquer à des espaces-temps tridimensionnels plus généraux ayant une étendue finie.

Leurs efforts ont résulté en une construction beaucoup plus simple d'une théorie de la gravitation quantique. Il s'agit d'une nouvelle voie que Bianca Dittrich et d'autres chercheurs voudront explorer. La prochaine – et difficile – étape logique consiste à ajouter une dimension au modèle de Mme Dittrich pour l'étendre aux espaces 4D exigés par de nombreuses autres théories de la gravitation quantique.

Référence

BONZOM, V. (Université Paris 13), et B. DITTRICH (IP). « 3D holography: from discretum to continuum », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2016, n° 3, article n° 208, arXiv:1511.05441.

Prix, distinctions et subventions majeures

De nombreux chercheurs de l'Institut Périmètre ont obtenu en 2015-2016 des prix et distinctions d'envergure nationale ou internationale soulignant leurs travaux. Mentionnons entre autres les suivants.

Prix et distinctions

- Neil Turok, directeur de l'Institut, a reçu de l'Institut américain de physique le prix John-Torrence-Tate 2016 pour son action déterminante en physique à l'échelle internationale.
- Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Périmètre, a obtenu le prix de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques.
- Le professeur associé Roger Melko a reçu la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes, qui récompense les réalisations exceptionnelles d'un physicien en début de carrière.
- Le professeur associé Markus Mueller a reçu le prix Birkhoff-von-Neumann 2016 de l'Association internationale pour les structures quantiques, remis tous les 2 ans pour des réalisations scientifiques exceptionnelles dans le domaine des structures quantiques.
- Le professeur Robert Myers a été inclus dans la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée en 2015 par Thomson Reuters.
- Neil Turok, directeur de l'Institut, a prononcé à Londres la conférence Gerald-Whitrow 2016 devant la Société royale d'astronomie.
- Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique de l'Institut Périmètre (à titre de chercheur invité), a obtenu la médaille Dirac pour l'avancement de la physique théorique remise par l'Université de Nouvelle-Galles du Sud et l'Institut australien de physique.
- Le professeur associé Markus Mueller a été nommé titulaire de la chaire de recherche du Canada (de niveau 2) sur les fondements de la physique.
- Le postdoctorant Flavio Mercati, et ses collaborateurs Julian Barbour et Tim Koslowski (ancien postdoctorant à l'Institut Périmètre), ont obtenu le prix Buchalter de cosmologie 2015 de la Société américaine d'astronomie pour leur article intitulé *Identification of a gravitational arrow of time* (Identification d'une flèche gravitationnelle du temps). Le professeur associé Niayesh Afshordi et le postdoctorant Elliot Nelson se sont classés au 3^e rang.

- Le professeur associé David Cory a été élu membre de la Société royale du Canada.
- Le professeur associé David Cory a été élu membre de la Société américaine de physique.
- Le professeur Lee Smolin et le co-auteur Roberto Mangabeira Unger ont remporté le prix PROSE 2016 de l'Association des éditeurs américains dans la catégorie cosmologie et astronomie pour leur livre intitulé *The Singular Universe and the Reality of Time* (L'univers singulier et la réalité du temps).
- Cinq articles écrits par des chercheurs de l'Institut Périmètre ont été choisis parmi les points saillants de 2015 par le *New Journal of Physics*⁵.
- Quatre articles écrits par des chercheurs de l'Institut Périmètre ont été choisis parmi les points saillants de 2015 par le comité de rédaction de *Classical and Quantum Gravity*⁶.

En plus des prix et distinctions accordés à des chercheurs résidants de l'Institut Périmètre, de nombreux membres de la communauté élargie de l'Institut – titulaires de chaire de chercheur invité distingué et membres du conseil d'administration – ont reçu des distinctions majeures cette année.

- Art McDonald, membre du conseil d'administration, a été colauréat du prix Nobel de physique 2015.
- Art McDonald, membre du conseil d'administration, a remporté le prix du progrès scientifique 2016 en physique fondamentale.
- Duncan Haldane, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, a été colauréat du prix Nobel de physique 2016.

⁵ Ce sont : *Rethinking Connes' approach to the standard model of particle physics via non-commutative geometry*, par le professeur Latham Boyle et le doctorant Shane Farnsworth; *Quantum bootstrapping via compressed quantum Hamiltonian learning*, par le professeur associé David Cory et ses co-auteurs; *Quantifying spatial correlations of general quantum dynamics*, par le professeur associé Markus Mueller et son co-auteur; *Transfer matrices and excitations with matrix product states*, par le titulaire de chaire de chercheur invité distingué Frank Verstraete, l'adjoint invité Jutho Haegeman et leurs co-auteurs; *Exact parent Hamiltonians of bosonic and fermionic Moore-Read states on lattices and local models*, par le titulaire de chaire de chercheur invité distingué Juan Ignacio Cirac et ses co-auteurs.

⁶ Ce sont : *Advanced LIGO*, par Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell (à titre de chercheur invité), par les titulaires de chaire de chercheur invité distingué Patrick Brady, Alessandra Buonanno et Gabriela Gonzalez, ainsi que leurs co-auteurs; *Testing general relativity with present and future astrophysical observations*, par le professeur associé Cliff Burgess, l'adjoint invité Vitor Cardoso et leurs co-auteurs; *Characterization of the LIGO detectors during their sixth science run*, par les titulaires de chaire de chercheur invité distingué Patrick Brady, Alessandra Buonanno et Gabriela Gonzalez, ainsi que leurs co-auteurs; *Asymptotics with a positive cosmological constant: I. Basic framework*, par le titulaire de chaire de chercheur invité distingué Abhay Ashtekar et ses co-auteurs.

- Sandu Popescu, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, a remporté la médaille Dirac 2016 en physique, attribuée par l'Institut de physique du Royaume-Uni.
- Andrew Strominger, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, a reçu le prix Dannie-Heineman 2016 de physique mathématique de la Société américaine de physique.
- Juan Ignacio Cirac, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, a été inclus dans la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée en 2015 par Thomson Reuters.
- Abhay Ashtekar et Stephen Hawking, titulaires de chaire de chercheur invité distingué, ont été élus membres de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation.
- Renate Loll, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué, a été reçue membre de l'Académie royale des arts et des sciences des Pays-Bas.
- L'adjoint invité Giulio Chiribella a été choisi parmi les premiers bénéficiaires du programme *Chercheurs mondiaux ICRA-Azrieli* de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA), qui reconnaît des chercheurs exceptionnels en début de carrière.

Subventions majeures

- Le postdoctorant Michal Heller a obtenu la bourse Sofja-Kovalevskaja, d'une valeur de 1,65 million d'euros, de la Fondation Alexander-von-Humboldt.
- Asimina Arvanitaki, titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque Stavros de l'Institut Périmètre, a obtenu une bourse de nouveau chercheur, d'une valeur de 140 000 \$, du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario.
- Le professeur associé Markus Mueller a reçu une subvention de 101 000 \$ US de l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*) pour son projet intitulé *Emergent objective reality – from observers to physics via Solomonoff induction* (Réalité objective émergente – des observateurs à la physique via l'induction de Solomonoff).
- Matthew Pusey, postdoctorant pour une période de 5 ans, a été corécepteur d'une subvention de 60 000 \$ US de l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*) pour son projet intitulé *Observers in Foil Theories* (Observateurs dans des théories de remplacement de la mécanique quantique).

- Huit chercheurs de l'Institut Périmètre ont obtenu du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada des subventions à la découverte totalisant 1 997 000 \$ (pour des périodes allant jusqu'à 5 ans) :
 - Kevin Costello, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton : 375 000 \$ (51 000 \$ par année pendant 5 ans, plus un supplément d'accélération à la découverte de 40 000 \$ par année pendant 3 ans);
 - le professeur Laurent Freidel : 240 000 \$ (48 000 \$ par année pendant 5 ans);
 - le professeur Max Metlitski : 165 000 \$ (33 000 \$ par année pendant 5 ans, dont un supplément pour chercheur en début de carrière);
 - le professeur associé Alexander Braverman : 150 000 \$ (30 000 \$ par année pendant 5 ans);
 - le professeur associé Raymond Laflamme : 455 000 \$ (91 000 \$ par année pendant 5 ans);
 - le professeur associé Markus Mueller : 145 000 \$ (29 000 \$ par année pendant 5 ans);
 - le professeur associé Maxim Pospelov: 342 000 \$ (68 400 \$ par année pendant 5 ans);
 - Agata Branczyk, assistante dans le programme PSI : 125 000 \$ (25 000 \$ par année pendant 5 ans, dont un supplément pour chercheur en début de carrière).

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

Résumé des réalisations

- Nomination d'Asimina Arvanitaki comme titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique, 9^e chaire de recherche de l'Institut Périclès
- Obtention d'un investissement de 4 millions de dollars de la Fondation Stavros-Niarchos, ainsi que d'investissements de 300 000 \$ chacun de la Fondation de la famille Daniel et de Cenovus Energy, pour compléter le financement des 9 chaires de recherche de l'Institut Périclès
- Entrée en fonction de Max Metlitski comme professeur, portant à 22 le nombre de professeurs à plein temps de l'Institut
- Recrutement conjoint de 2 nouveaux professeurs associés – Huan Yang (avec l'Université de Guelph) et Jon Yard (avec l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo) – et renouvellement du mandat de 3 autres, portant leur nombre à 22
- Recrutement de William East comme 2^e boursier du directeur

Points saillants

Nomination d'une 9^e titulaire de chaire de recherche de l'Institut Périclès

Le programme de chaires de recherche de l'Institut Périclès a été conçu pour attirer et conserver des chercheurs de premier plan à l'échelle mondiale dans des domaines choisis de manière stratégique. L'Institut offre aux titulaires de ces chaires une occasion unique de maximiser leur productivité et la possibilité de réaliser des percées majeures, en leur fournissant les ressources et le soutien administratif nécessaires pour faire des progrès rapides sur des problèmes clés. Les titulaires de ces chaires peuvent se consacrer totalement à leurs recherches, puisqu'ils n'ont aucune obligation d'enseignement.

Portant les noms de scientifiques légendaires dont les idées ont contribué à définir la physique moderne, les chaires de recherche de l'Institut Périclès se veulent les chaires les plus prestigieuses au monde en physique théorique. Elles sont financées grâce à des dons majeurs allant jusqu'à 4 millions de dollars, qui appuient des talents émergents exceptionnels, des jeunes professeurs qui arrivent à leur période de plus grande productivité, ainsi que des pionniers reconnus de la physique. Non seulement le programme attire des scientifiques de premier plan venant d'autres institutions prestigieuses à l'échelle mondiale, mais il permet de garder à l'Institut Périclès ses professeurs, qui sont très en demande et reçoivent régulièrement des offres d'autres institutions.

Le programme de chaires de recherche de l'Institut Périclès a poursuivi son expansion pendant l'année écoulée. En avril 2016, l'Institut Périclès a nommé **Asimina Arvanitaki titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique**, avec le soutien d'un investissement de

4 millions de dollars de la Fondation Stavros-Niarchos. Mme Arvanitaki est la 9^e titulaire d'une chaire de recherche de l'Institut Périclète à avoir été nommée depuis la création de ce programme il y a 5 ans⁷.

Asimina Arvanitaki est une jeune spécialiste exceptionnelle de la physique des particules, connue pour ses travaux potentiellement révolutionnaires de conception d'expérience innovatrices pour tester des théories fondamentales au-delà du modèle standard. Ces expériences font appel aux développements les plus récents en métrologie, dont les horloges atomiques, ainsi qu'au piégeage et au refroidissement optiques d'objets macroscopiques. Elle a récemment inventé une expérience qui permet de rechercher dans la nature de nouvelles forces dépendant du spin, avec une précision sans précédent.

Mme 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 ». Sa nomination à ce poste visible et prestigieux constitue une réalisation importante, alors que l'Institut Périclète cherche à corriger le déséquilibre des sexes en physique, comme l'a fait remarquer Kirsty Duncan, ministre des Sciences, lors de la cérémonie de nomination de Mme Arvanitaki.

En 2015-2016, l'Institut a également obtenu des dons de 300 000 \$ chacun, l'un de la Fondation de la famille Daniel – pour soutenir la **chaire Famille-Daniel-Richard-P.-Feynman de physique théorique (pour un chercheur invité)**, dont le titulaire est le réputé cosmologiste **Paul Steinhardt** –, et l'autre de Cenovus Energy – pour soutenir la **chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (pour un chercheur invité)**, dont le titulaire est **Subir Sachdev**, pionnier de la physique de la matière condensée. Les 9 chaires de recherche de l'Institut Périclète sont maintenant toutes financées.

Nouveau professeur en physique de la matière condensée

Les professeurs résidents de l'Institut Périclète constituent le noyau de sa communauté de chercheurs. En plus des titulaires de chaire de recherche de l'Institut, le corps professoral compte des jeunes chercheurs prometteurs et d'éminents scientifiques établis qui couvrent tout le spectre de la physique théorique.

En octobre 2015, l'Institut Périclète a accueilli au sein de son corps professoral **Max Metlitski**, jeune chef de file de la recherche sur la matière condensée quantique. Il a été recruté à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara, où il a été postdoctorant de 2011 à 2015. M. Metlitski est l'auteur de contributions importantes à la théorie des états critiques quantiques dans les métaux et à la compréhension des états topologiques de la matière en présence d'interactions. Depuis 2013, il a remporté le prix Hermann-Kummel pour réalisation exceptionnelle par un jeune

⁷ Les autres sont : Neil Turok, titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr; Xiao-Gang Wen, titulaire de la chaire Groupe-financier-BMO-Isaac-Newton (à titre de chercheur invité); Davide Gaiotto, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée; Kevin Costello, titulaire de la chaire Fondation-Krembil-William-Rowan-Hamilton; Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson; Pedro Vieira, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac; Subir Sachdev, titulaire de la chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell (à titre de chercheur invité); Paul Steinhardt, titulaire de la chaire Famille-Daniel-Richard-P.-Feynman (à titre de chercheur invité).

chercheur en physique des systèmes à N corps, le prix Nevill-F.-Mott, de la Conférence internationale sur les systèmes électroniques fortement corrélés, pour un chercheur en début de carrière, ainsi que le prix William-L.-McMillan, qui reconnaît les contributions exceptionnelles d'un jeune physicien de la matière condensée.

L'Institut compte maintenant 22 professeurs à plein temps, conformément aux objectifs fixés.

Recrutement de 2 nouveaux professeurs associés

Grâce à son programme de professeurs associés, l'Institut Périmètre forme des partenariats avec des universités canadiennes de premier ordre, afin d'amener au Canada des scientifiques de renommée mondiale, en mettant en évidence les possibilités uniques offertes tant par l'Institut Périmètre que par ses institutions partenaires⁸. Chaque professeur associé passe jusqu'à 50 % de son temps à l'Institut Périmètre, en plus d'enseigner et de faire de la recherche dans une université partenaire.

Le programme de professeurs associés a contribué à rehausser la stature du Canada dans la recherche en physique fondamentale, tout en renforçant la position de l'Institut comme plaque tournante nationale en physique. En combinant ses atouts avec ceux de ses institutions partenaires, l'Institut Périmètre arrive souvent à présenter des offres plus convaincantes aux recrues potentielles. D'autre part, chaque recrutement réussi rend le Canada plus attrayant pour des jeunes professeurs, des postdoctorants et des étudiants diplômés exceptionnels.

En 2015-2016, conformément aux objectifs fixés, l'Institut Périmètre a recruté 2 nouveaux professeurs associés : **Huan Yang**, conjointement avec l'Université de Guelph, et **Jon Yard**, conjointement avec l'Institut d'informatique quantique et le Département de combinatoire et d'optimisation de l'Université de Waterloo. Dans les deux cas, le Canada accueillera des scientifiques talentueux actuellement en poste aux États-Unis.

Brillant jeune théoricien, Huan Yang se joindra à l'Institut Périmètre à l'automne 2017, renforçant l'expertise actuelle de l'Institut sur les trous noirs, les ondes gravitationnelles et autres sujets. Il sera de retour en Ontario en provenance de l'Université de Princeton, où il est postdoctorant associé de recherche après avoir été boursier postdoctoral à l'Institut Périmètre (2013-2016). Ses travaux de recherche portent sur la science des ondes gravitationnelles, l'astrophysique des trous noirs, l'optomécanique quantique, la théorie de la mesure quantique, de même que sur le bruit quantique et le bruit classique dans les détecteurs avancés d'ondes gravitationnelles.

De son côté, Jon Yard apportera ses compétences dans un certain nombre de domaines prioritaires pour l'Institut, dont l'information quantique, les champs mathématiques, les champs quantiques et la matière condensée. Il se joindra à l'Institut Périmètre à l'automne 2016, après avoir occupé des postes de

⁸ Au cours des dernières années, l'Institut Périmètre a attiré certains chercheurs de premier plan qui avaient des postes permanents aux États-Unis, dont David Cory (Institut de technologie du Massachusetts), Raffi Budakian (Université de l'Illinois à Urbana-Champaign) et Alexander Braverman (Université Brown).

chercheur à l'Université McGill (2005), à l'Institut de technologie de la Californie (2005-2007), au Laboratoire national de Los Alamos (2007-2012) et à la division de la recherche de Microsoft (2012-2016). Avec Graeme Smith, Jon Yard a reçu en 2009 le prix commémoratif Pat-Goldberg du meilleur article, remis par IBM Research, pour avoir prouvé que la capacité quantique ne caractérise pas complètement l'utilité d'un canal de transmission d'information quantique.

Pendant l'année écoulée, l'Institut Périmètre a également renouvelé le mandat de 3 professeurs associés⁹. L'Institut compte maintenant 20 professeurs associés.

Nouveau boursier du directeur

En 2013, l'Institut Périmètre a créé la bourse du directeur, afin de soutenir de jeunes chercheurs innovateurs au début de leur carrière. Les boursiers du directeur bénéficient du mentorat de professeurs de l'Institut tout en ayant une totale liberté dans leurs travaux de recherche.

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a recruté William East à titre de 2^e boursier du directeur. Pour se joindre à l'Institut Périmètre, il a renoncé à la bourse Einstein, qui vient au sommet des postes de postdoctorat en astrophysique aux États-Unis. Il se joindra à l'Institut Périmètre à l'automne 2016, après avoir été pendant 3 ans postdoctorant à l'Institut Kavli d'astrophysique des particules et de cosmologie à l'Université Stanford.

William East contribuera aux atouts croissants de l'Institut en matière de recherche dans des domaines tels que la physique des trous noirs, les ondes gravitationnelles, l'astrophysique et la cosmologie. Ses travaux portent principalement sur la gravité forte et l'astrophysique relativiste, dont les simulations numériques de fusions d'objets compacts, les contreparties électromagnétiques des sources d'ondes gravitationnelles, ainsi que la physique des plasmas relativistes et ses applications à l'astrophysique des hautes énergies, aux cosmologies inhomogènes, à la dynamique des trous noirs et aux collisions ultrarelativistes.

⁹ Les professeurs associés sont nommés pour des durées fixes de 3 à 7 ans. Niayesh Afshordi (Université de Waterloo), Cliff Burgess (Université McMaster) et Maxim Pospelov (Université de Victoria) ont vu leur mandat renouvelé jusqu'en 2023.

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

Résumé des réalisations

- Embauche de 19 postdoctorants en 2015-2016 et recrutement de 19 autres pour 2016-2017
- Obtention de postes de professeur menant à la permanence pour 6 finissants en postdoctorat
- Succès de la 7^e année du programme PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l’Institut Périmètre) pour 29 étudiants de maîtrise, et formation de 49 doctorants
- Accueil de 27 adjoints diplômés invités
- Formation à la recherche de 7 étudiants exceptionnels de 1^{er} cycle

Points saillants

Postdoctorants

- L’Institut Périmètre a continué d’accueillir le groupe le plus nombreux de chercheurs postdoctoraux indépendants en physique théorique au monde, avec un total de 58 (en juillet 2016)¹⁰.
- L’Institut a accueilli 19 postdoctorants en 2015-2016, dépassant les objectifs fixés.
- L’Institut a recruté 19 postdoctorants sur 630 candidats pour 2016-2017.

L’Institut Périmètre est l’une des destinations les plus attrayantes (et les plus compétitives) pour les postdoctorants, parce qu’il leur offre des possibilités uniques. Mentionnons en premier lieu une totale liberté dans leurs travaux de recherche – la chance de poursuivre leurs propres recherches ambitieuses, au sein d’une communauté scientifique d’élite. Les postdoctorants peuvent aussi organiser des conférences et accueillir des collaborateurs, et mettre sur pied des projets en collaboration avec des installations partenaires d’expérimentation et d’observation, telles que TRIUMF, SNOLAB et l’Institut d’informatique quantique de l’Université de Waterloo (voir l’objectif n° 6).

Les possibilités offertes sont stratégiquement fondées : ces scientifiques en début de carrière sont généralement très productifs et motivés par le désir de « faire leur marque » avec des travaux qui définiront leur carrière. De fait, une grande partie des excellentes recherches produites par l’Institut Périmètre sont l’œuvre de postdoctorants, souvent en collaboration avec des professeurs résidents.

La formation à l’Institut Périmètre rapporte des dividendes. De 2011 à 2015, après avoir terminé leur stage à l’Institut, 42 % des postdoctorants ont obtenu des postes de professeur ou de chargé de cours,

¹⁰ Ce nombre comprend les postdoctorants à plein temps, les postdoctorants nommés conjointement avec d’autres institutions, ainsi que les assistants du programme PSI. Il ne comprend pas les postdoctorants associés ou ceux qui se financent eux-mêmes; ces chercheurs font partie de la communauté scientifique de l’Institut Périmètre, mais leur salaire n’est pas payé par l’Institut.

54 % ont obtenu d'autres postes de chercheur, et 4 % ont poursuivi leur carrière à l'extérieur du milieu universitaire¹¹. La dernière année n'a pas été différente des autres. Malgré un marché universitaire très concurrentiel partout dans le monde, 6 finissants en postdoctorat ont obtenu des postes de professeur menant à la permanence :

- Wolfgang Altmannshofer, Université de Cincinnati;
- Tudor Dimofte, Université de la Californie à Davis;
- Stefania Gori, Université de Cincinnati;
- Song He, Institut de physique théorique de l'Académie chinoise des sciences;
- Matthew Leifer, Université Chapman;
- William Witczak-Krempa, Université de Montréal.

La plupart des autres finissants en postdoctorat ont décroché des emplois prestigieux dans des institutions de premier plan à l'échelle internationale – dont le Laboratoire national de l'accélérateur SLAC, l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, l'Université du Queensland et l'Université de la Californie à Irvine –, et 2 autres ont entrepris une carrière passionnante dans l'industrie¹².

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

- L'Institut Périmètre a formé 29 étudiants, dont 9 femmes, provenant de 18 pays, conformément aux objectifs fixés.
- L'Institut a reçu un nombre de candidatures en augmentation de 19 % pour la promotion 2016-2017 du programme PSI, ce qui en fait l'un des programmes de maîtrise les plus sélectifs au monde.

PSI (*Perimeter Scholars International* – Boursiers internationaux de l'Institut Périmètre) est un programme de maîtrise unique en son genre, qui attire des diplômés universitaires très doués venus de partout au Canada et du monde entier, et les amène à la fine pointe de la physique théorique en une année universitaire. Son contenu, qui constitue une immersion dans tout le spectre de la physique théorique, est assuré par des scientifiques résidants et invités de l'Institut¹³. Conçu pour former des étudiants prometteurs afin qu'ils deviennent des chercheurs émergents, le programme PSI met continuellement l'accent sur la résolution de problèmes plutôt que la simple acquisition de

¹¹ Au cours de cette période de 4 ans, 69 postdoctorants ont complété leur stage à l'Institut Périmètre : 29 occupent actuellement des postes de professeur ou de chargé de cours, 37 ont d'autres postes de chercheur, et 3 travaillent dans l'industrie.

¹² Gus Gutoski est chercheur chez ISARA Corporation, jeune entreprise de Waterloo dans le domaine de l'informatique quantique, et Isaac Kim est chercheur chez IBM.

¹³ En 2015-2016, le corps professoral du programme PSI comprenait 21 conférenciers, dont 12 chercheurs de l'Institut Périmètre, 1 titulaire de chaire de chercheur invité distingué, 2 adjoints invités et 6 autres scientifiques de calibre international.

connaissances, et sur la collaboration plutôt que la compétition. Les finissants reçoivent un diplôme de maîtrise de l'Université de Waterloo (car l'Institut Périmètre ne décerne pas de diplôme).

Une innovation digne de mention cette année a été la classe de neige du programme PSI, une retraite d'une semaine qui a initié les étudiants (dont beaucoup sont étrangers) aux joies de l'hiver canadien et à la recherche en collaboration. Au moins 2 groupes d'étudiants ont obtenu des résultats publiables.

Cette année, le programme PSI a renouvelé sa stratégie de recrutement, en améliorant sa publicité et en hâtant l'envoi d'offres d'admission aux meilleurs candidats. Les candidatures pour 2016-2017 ont connu une augmentation de 19 %, et un groupe exceptionnel de 28 étudiants, dont 7 femmes, provenant de 20 pays a été choisi. PSI est maintenant l'un des programmes d'études supérieures les plus concurrentiels au monde; l'an dernier, il était plus difficile d'être accepté dans le programme PSI qu'à l'Université Harvard, à l'Université Stanford ou à l'Université de Princeton¹⁴.

Le programme PSI consolide en outre les liens entre l'Institut Périmètre et ses partenaires régionaux, en y amenant d'excellents étudiants et en invitant des professeurs à superviser des projets de recherche¹⁵. Les cours du programme PSI sont accessibles aux étudiants de l'extérieur de l'Institut Périmètre qui obtiennent une autorisation spéciale, ce qui enrichit d'autant l'offre de cours aux étudiants diplômés de toute la région.

Non seulement le programme PSI attire au Canada des étudiants de premier ordre, mais ceux-ci restent au Canada par la suite. En 2015-2016, 11 des 29 diplômés du programme sont restés au Canada pour leurs études de doctorat, dont 5 à l'Institut Périmètre. D'autres seront doctorants dans des institutions d'envergure internationale, notamment l'Université de Princeton, l'Université Stanford et l'Université d'Oxford. Si l'expérience passée est garante de l'avenir, d'autres mettront sur pied des entreprises ou travailleront dans le secteur public, en médecine ou dans des entreprises de technologie¹⁶.

¹⁴ Pour la promotion de 2016-2017, il y a eu 561 candidatures provenant de 79 pays. Le taux d'acceptation des offres d'admission a été extrêmement élevé à 64 %, soit supérieur à celui d'institutions américaines prestigieuses comme l'Université Harvard, l'Université Stanford et l'Université de Princeton.

¹⁵ Voici les professeurs de l'extérieur de l'Institut Périmètre qui ont supervisé des projets de recherche en 2015-2016 : Michel Gingras, Université de Waterloo; Achim Kempf, Université de Waterloo; Yong Baek Kim, Université de Toronto; Eduardo Martin-Martinez, Université de Waterloo.

¹⁶ Voici quelques exemples d'anciens du programme PSI qui ont réussi à l'extérieur du milieu universitaire : Arthur Lee (ingénieur chercheur, Institute for Infocomm Research, Singapour); Saurabh Madaan (scientifique spécialiste des données, Google, San Francisco, États-Unis); Henry Reich (créateur de la série *MinutePhysics*, Montana, États-Unis); Anabelle Spinoulas (analyste et spécialiste de la modélisation des transports, TransPosition, Brisbane, Australie); Imogen Wright (cofondatrice et conceptrice d'algorithmes, Hyrax Biosciences, Le Cap, Afrique du Sud); An Zhou (concepteur de recherches quantitatives, Global Risk Institute in Financial Services, Toronto, Canada).

Programme de doctorat

- L'Institut Péricimètre a donné une formation avancée à 49 doctorants, conformément aux objectifs fixés¹⁷.

Le programme de doctorat de l'Institut Péricimètre amène des étudiants de fort calibre non seulement à l'Institut, mais aussi dans les universités partenaires où ils obtiennent leur diplôme, ce qui procure au Canada un important gain de talents. Les doctorants reçoivent une formation de premier ordre dans un milieu de recherche de classe mondiale. Ils développent un ensemble unique de compétences en analyse, en résolution de problèmes et en études quantitatives. Les finissants de l'Institut poursuivent leur carrière dans de nombreux domaines de la science, de l'administration publique, de la technologie et de la finance¹⁸.

En 2015-2016, le programme de doctorat de l'Institut Péricimètre a poursuivi sa croissance selon les prévisions, en parallèle avec l'augmentation du nombre de professeurs à l'Institut et bénéficiant du bassin de diplômés de haut niveau issus du programme PSI. À l'heure actuelle, plus de 70 % des doctorants à l'Institut Péricimètre sont des diplômés du programme PSI.

Les doctorants à l'Institut Péricimètre profitent de la formation intensive qu'ils reçoivent. En 2015-2016, 6 étudiants travaillant sous la direction de professeurs de l'Institut ont obtenu leur doctorat d'universités partenaires : Ross Diener a été embauché comme scientifique de la défense à Recherche et développement pour la défense Canada, alors que les 5 autres ont obtenu des bourses postdoctorales par voie de concours¹⁹.

Programme d'adjoints diplômés invités

- L'Institut Péricimètre a accueilli 27 adjoints diplômés invités, pour un total de 31 séjours, dépassant les objectifs fixés.

Le programme d'adjoints diplômés invités permet à des doctorants avancés du monde entier de passer plusieurs mois à l'Institut Péricimètre. Ils bénéficient ainsi du milieu dynamique de recherche de l'Institut – et y contribuent – à un moment charnière de leur formation. Ce programme constitue pour les

¹⁷ Ce nombre correspond uniquement aux doctorants qui étaient résidents à l'Institut Péricimètre. Trois autres doctorants résidant dans des universités partenaires ont étudié sous la direction de professeurs associés à l'Institut Péricimètre.

¹⁸ Voici quelques exemples d'anciens de l'Institut Péricimètre qui ont connu du succès à l'extérieur du milieu universitaire : Siavesh Aslanbeigi (gestionnaire de l'analyse des risques, Banque Scotia, Toronto); Jorge Escobedo (directeur de la technologie, Canopy Labs, Toronto); Cozmin Ududec (cofondateur et directeur de la gestion des risques, Invenia Technical Computing, Winnipeg); Alexandre Yale (analyste principal de données, Alchemy Worx, Montréal).

¹⁹ Ces stages postdoctoraux auront lieu à l'Institut de physique théorique de l'Université d'Innsbruck, à l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein), à l'Université de Cambridge, à l'Université de Nottingham et à l'Institut d'études avancées de Princeton.

participants une occasion d'échanger avec des chercheurs reconnus et d'assister à des réunions scientifiques auxquelles ils n'auraient pas accès dans leur institution d'appartenance.

Programme pour étudiants de 1^{er} cycle

- L'Institut Périmètre a donné une formation à la recherche à 7 étudiants exceptionnels de 1^{er} cycle, dépassant les objectifs fixés²⁰.

Le programme pour étudiants de 1^{er} cycle de l'Institut Périmètre permet à des étudiants exceptionnels de 1^{er} cycle, venant du Canada et de l'étranger, de vivre l'expérience de la recherche de haut niveau, en menant à l'Institut des projets de recherche de 2 à 4 mois avec des postdoctorants de l'Institut, qui acquièrent ainsi une précieuse expérience de mentorat. Ce programme agit aussi comme premier contact avec des étudiants extrêmement prometteurs, ce qui donne à l'Institut Périmètre un avantage pour leur recrutement pendant qu'ils progressent dans leurs études. Les anciens de ce programme qui sont actuellement à l'Institut sont Matteo Smerlak, postdoctorant pour une période de 5 ans, de même que les doctorants Dalimil Mazac, Sebastian Mizera et Nitica Sakharwade. De nombreux autres anciens du programme sont revenus à titre de scientifiques invités.

²⁰ Ces étudiants sont venus de l'Institut de technologie du Massachusetts, de l'Université de Waterloo, de l'Université de la Colombie-Britannique, de l'Université Federico II de Naples, de l'Université Yale et de l'Université de la Californie à Berkeley.

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

Résumé des réalisations

- Nomination de 5 scientifiques de premier plan comme titulaires de chaire de chercheur invité distingué, et renouvellement du mandat de 6 autres, portant leur nombre total à 49
- Nomination de 7 chercheurs accomplis comme adjoints invités, portant leur nombre total à 27
- Accueil de 5 chercheuses en début de carrière, à titre de boursières Emmy-Noether, et recrutement de 7 autres pour 2016-2017
- Accueil de 430 chercheurs invités, pour un total de 485 séjours scientifiques

Points saillants

Chaires de chercheur invité distingué

- L'Institut Périmètre a nommé 5 nouveaux titulaires de chaire de chercheur invité distingué et a renouvelé le mandat de 6 autres²¹. À la fin de l'année écoulée, il comptait ainsi 49 titulaires de chaire de chercheur invité distingué, dépassant les objectifs fixés.
- L'Institut a accueilli 25 titulaires de chaire de chercheur invité distingué, pour un total de 36 séjours.

Unique au monde, le programme de chaires de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre continue de connaître du succès. C'est un moyen stratégique et peu coûteux d'amener à l'Institut 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 ans et conservent leur poste dans leur établissement d'origine.

Collectivement, les titulaires de chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre – dont des sommités comme Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, Gabriela Gonzalez et Stephen Hawking – couvrent une gamme extrêmement vaste de compétences (voir l'annexe B, *Titulaires de chaire de chercheur invité distingué*). Ils viennent à l'Institut Périmètre faire de la recherche, collaborer avec d'autres scientifiques et participer à tous les aspects de la vie de l'Institut. À titre d'exemple, en mars 2016, Katherine Freese, nouvellement nommée titulaire de l'une de ces chaires, a donné une conférence publique populaire sur « le côté sombre de l'univers ».

Pour les titulaires de chaire de chercheur invité distingué, le temps passé à l'Institut Périmètre est très productif, puisqu'ils peuvent se consacrer exclusivement à leurs recherches en étant libérés de leurs

²¹ Duncan Haldane, S. James Gates Jr., Sandu Popescu, Peter Shor et Steven White ont vu leur mandat renouvelé jusqu'en 2018, alors que le mandat de Stephen Hawking a été renouvelé jusqu'en 2019.

tâches d'enseignement et d'administration. En montrant les avantages de l'Institut Périmètre, ce programme facilite également le recrutement : le professeur Guifre Vidal et les titulaires de chaire de recherche de l'Institut Périmètre Subir Sachdev et Paul Steinhardt ont tous été titulaires de chaire de chercheur invité distingué avant de jouer un rôle plus important à l'Institut.

La présence de ces scientifiques de haut niveau, qui donnent des conférences, animent des séminaires et font de la recherche, stimule et inspire les chercheurs résidants de l'Institut, bonifie son milieu de recherche et contribue à catalyser de nouvelles découvertes. En 2015-2016, 15 titulaires différents de chaire de chercheur invité distingué ont participé chacun à au moins une conférence de l'Institut Périmètre.

Nouveaux titulaires de chaire de chercheur invité distingué nommés en 2015-2016

Dan Freed (Ph.D., Université de la Californie à Berkeley, 1985) a le titre de professeur Mildred-Caldwell-et-Baine-Perkins-Kerr du centenaire au Département de mathématiques de l'Université du Texas à Austin. Ses travaux portent sur des problèmes généraux de géométrie, de topologie et d'analyse globale, souvent liés à des questions de théorie quantique des champs, de théorie des cordes et de théorie de la matière condensée. Parmi ses nombreuses distinctions, M. Freed a été boursier de recherche Sloan, boursier Guggenheim, boursier Simons en mathématiques, ainsi que boursier Einstein d'IBM à l'Institut d'études avancées (IAS) de Princeton. Il a fait partie en 2012 des premiers membres élus de la Société américaine de mathématiques et a reçu en 2014 le prix Senior Berwick de la Société mathématique de Londres. Dan Freed est l'un des fondateurs de l'Institut de mathématiques de l'IAS à Park City, membre du comité consultatif scientifique du Centre Simons de géométrie et de physique de l'Université d'État de New York à Stony Brook, ainsi que membre du conseil d'administration de l'Institut de recherches en sciences mathématiques de l'Université de la Californie à Berkeley.

Katherine Freese (Ph.D., Université de Chicago, 1984) a le titre de professeure George-E.-Uhlenbeck de physique à l'Université du Michigan. Elle est aussi professeure invitée à l'Université de Stockholm. Ses recherches portent sur une grande variété de sujets en cosmologie théorique et en physique des astroparticules. Elle tente de repérer la matière sombre et l'énergie sombre qui imprègnent l'univers, et de construire un modèle expliquant avec succès l'univers primitif immédiatement après le Big Bang. Mme Freese a été boursière de la Fondation Sloan et boursière de la Fondation Simons en physique théorique, et elle est membre élue de la Société américaine de physique depuis 2009. En 2014, elle a publié son premier livre de vulgarisation scientifique, intitulé *The Cosmic Cocktail: Three Parts Dark Matter* (Le cocktail cosmique : trois parts de matière sombre).

Anton Kapustin (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 1997) a le titre de professeur Earle-C.-Anthony de physique théorique et de mathématiques à l'Institut de technologie de la Californie. Son principal domaine de recherche est la théorie quantique des champs, avec ses applications à la physique des particules et à la théorie de la matière condensée. En 2007, Anton Kapustin et Edward Witten ont publié un article révolutionnaire à propos de la conjecture de Langlands géométrique.

Nathan Seiberg (Ph.D., Institut Weizmann des sciences, 1982) est professeur à l'Institut d'études avancées de Princeton. Ses recherches portent principalement sur divers aspects de la théorie des

cordes, de la théorie quantique des champs, ainsi que de la physique des particules. Avec ses collaborateurs, il a trouvé des solutions exactes de théories quantiques des champs et de théories des cordes supersymétriques, avec des applications aux mathématiques. M. Seiberg a reçu de nombreux prix et distinctions, dont une bourse MacArthur (1996), le prix Dannie-Heineman de physique mathématique de la Société américaine de physique et de l'Institut américain de physique (1998), le Prix du progrès scientifique en physique fondamentale (2012) et la médaille Dirac du Centre international de physique théorique (2016). Nathan Sieberg est membre de l'Académie nationale des sciences des États-Unis, ainsi que membre élu de la Société américaine de physique et de l'Académie américaine des arts et des sciences.

Alexander Zamolodchikov (Ph.D., Institut de physique théorique et expérimentale de Moscou, 1978) est devenu en 2016 le premier titulaire de la chaire C.N.-Yang-et-Wei-Deng de physique et d'astronomie de l'Université d'État de New York à Stony Brook. Auparavant, il a été pendant 15 ans professeur à l'Université Rutgers. C'est un physicien théoricien et mathématicien connu pour ses contributions à la physique de la matière condensée, à la théorie conforme des champs et à la théorie des cordes. Plus précisément, M. Zamolodchikov est l'auteur de contributions importantes sur les sujets suivants : théories quantiques des champs intégrables; théories conformes des champs dans 2 dimensions d'espace-temps; groupe de renormalisation dans des théories quantiques des champs bidimensionnelles. Avec ses collaborateurs, il a reçu en 1999 le prix Dannie-Heineman de physique mathématique de la Société américaine de physique (APS) et de l'Institut américain de physique, ainsi que le prix Lars-Onsager de l'APS en 2011. Alexander Zamolodchikov a été élu membre de l'APS en 1999 et intronisé à l'Académie nationale des sciences des États-Unis en 2016.

Adjoints invités

- L'Institut Périmètre a nommé 7 nouveaux adjoints invités, portant leur nombre total à 27 et dépassant les objectifs fixés.
- L'Institut a accueilli 10 adjoints invités, pour un total de 11 séjours scientifiques allant de plusieurs jours à plusieurs mois.

Le programme d'adjoints invités est un autre moyen par lequel l'Institut Périmètre tisse des liens avec la communauté scientifique élargie tout en diversifiant son propre milieu. Comme les titulaires de chaire de chercheur invité distingué, les adjoints invités sont des chercheurs accomplis qui couvrent une vaste gamme de domaines. Ils sont nommés pour un mandat renouvelable et font à l'Institut de longs séjours de recherche tout en conservant leur poste dans leur institution d'appartenance.

Nouveaux adjoints invités nommés en 2015-2016

Neal Dalal (Ph.D., Université de la Californie à San Diego, 2002) est professeur adjoint d'astronomie et de physique à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. Il a été auparavant boursier à l'Institut d'études avancées de Princeton et à l'Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto. M. Dalal est un cosmologiste dont les travaux portent notamment sur l'astronomie, afin de

sonder la physique fondamentale de l'univers primitif et la formation de structures cosmiques aux échelles grande et petite. Neal Dalal étudie également la physique de la matière sombre à l'aide d'instruments à ondes millimétriques, afin de détecter l'effet lenticulaire gravitationnel.

Sergei Dubovsky (Ph.D., Institut de recherche nucléaire de Moscou, 2001) est professeur agrégé à l'Université de New York. Ses travaux se situent à la jonction de la théorie des particules, de la cosmologie et de la théorie des cordes. Il s'intéresse plus précisément à la physique des trous noirs, aux axions et au confinement de cordes. En 2014, M. Dubovsky a reçu un prix CAREER de la Fondation nationale des sciences des États-Unis pour son article intitulé *From the QCD Flux Tubes to Black Holes and Back* (Des tubes de flux en chromodynamique quantique aux trous noirs, et inversement).

Maïté Dupuis (Ph.D., École normale supérieure de Lyon, 2010) est professeure-chercheuse adjointe à l'Université de Waterloo, où elle a été auparavant boursière postdoctorale Banting. C'est une physicienne mathématicienne qui s'intéresse à la gravitation quantique à boucles, aux modèles de mousse de spin et à la géométrie non commutative.

Tobias Fritz (Ph.D., Institut Max-Planck de mathématiques, 2010) est chercheur à l'Institut Max-Planck de mathématiques des sciences. Il a été auparavant boursier postdoctoral à l'Institut Périclète dans le cadre du programme *Frontières Templeton*. Ses recherches portent sur les structures mathématiques en physique mathématique et au-delà, et il établit souvent des ponts entre différents domaines.

Alejandro Perez (Ph.D., Université de Pittsburgh, 2001) est membre permanent du groupe de gravitation quantique au Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille, ainsi que membre honoraire de l'Institut universitaire de France. Ses recherches portent sur la gravitation quantique à boucles. Il s'intéresse aussi aux trous noirs, à la physique quantique et à la physique mathématique.

Rachel A. Rosen (Ph.D., Université de New York, 2009) est professeure adjointe à l'Université Columbia. Ses recherches portent sur la théorie quantique des champs et ses applications à la cosmologie, à l'astrophysique, à la physique des particules et aux systèmes de matière condensée. Elle est surtout connue pour ses contributions à la théorie de la gravitation massive, dont la résolution d'un problème datant de 40 ans. Avec Gregory Gabadadze, Mme Rosen a aussi étudié les naines blanches à cœur d'hélium, a prédit un nouvel état possible de la matière dans ces étoiles (condensats chargés) et a fait des prédictions vérifiables sur le refroidissement de telles étoiles.

Sarah Shandera (Ph.D., Université Cornell, 2006) est professeure adjointe à l'Université d'État de Pennsylvanie, où elle étudie la physique des particules à haute énergie et la gravité au tout début de l'univers. Ses recherches visent à élaborer des modèles cohérents de l'univers primitif et à prédire des observations permettant de faire la distinction entre divers scénarios. Mme Shandera travaille souvent avec des astrophysiciens, afin de comprendre comment utiliser des données d'observation pour imposer des limites aux théories cosmologiques.

Boursières invitées Emmy-Noether

- L'Institut Périmètre a nommé 5 boursières invitées Emmy-Noether en 2015-2016, conformément aux objectifs fixés.

Dans le cadre des initiatives Emmy-Noether de l'Institut Périmètre (voir l'objectif n° 9), le programme de boursières invitées Emmy-Noether vise à donner une impulsion décisive à des physiciennes prometteuses. En congé de leur institution d'appartenance, les boursières passent un an à l'Institut pour se concentrer sur leurs recherches à un stade crucial de leur jeune carrière. On les encourage à collaborer avec des chercheurs, à participer à des conférences et ateliers, à diriger des étudiants, et de manière générale à profiter du milieu dynamique de l'Institut. Le programme est conçu pour être souple et adapté aux besoins des boursières. Il offre un soutien personnalisé comportant un logement convenant aux familles, de l'aide pour s'occuper des enfants, ainsi que des reports de bourse si nécessaire.

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a accueilli 5 boursières invitées Emmy-Noether et en a recruté 7 autres pour 2016-2017²². L'Institut continue de promouvoir ce programme, dans le but de devenir la destination de choix pour les meilleures physiciennes.

Nominations de boursières invitées Emmy-Noether en 2015-2016

Deux boursières invitées Emmy-Noether de 2015-2016, **Rachel Rosen** et **Sarah Shandera**, ont été nommées adjointes invitées à la fin de leur séjour en tant que boursières Emmy-Noether (voir plus haut leur notice biographique). Les 3 autres sont présentées ci-après.

Fiona Burnell est professeure adjointe à l'Université du Minnesota et travaille sur les états exotiques de la matière. Ses recherches portent sur les états topologiquement ordonnés, tels que les états de Hall quantiques fractionnaires, et les phases topologiques conservant la symétrie, par exemple les isolants topologiques.

Barbara Drossel est professeure à l'Institut de la physique du solide à l'Université technologique de Darmstadt. Elle se spécialise en physique statistique et dans l'étude des systèmes complexes. Elle s'intéresse aux systèmes physiques (p. ex. matière molle, chaos, formation de motifs) et biologiques (p. ex. modélisation de réseaux génétiques, écosystèmes, processus évolutifs).

Katarzyna Rejzner est chargée de cours en mathématiques à l'Université d'York. Ses recherches portent sur les structures mathématiques de la théorie quantique des champs – et en particulier son cadre algébrique. Elle travaille dans de nombreux domaines : algèbre des opérateurs; géométrie différentielle en dimension infinie; analyse microlocale; géométrie non commutative; renormalisation; gravitation quantique.

²² Les boursières invitées Emmy-Noether recrutées pour 2016-2017 sont : Celine Boehm (Université Durham); Radja Boughezal (Laboratoire national d'Argonne); Gemma De las Cuevas (Institut de physique théorique de l'Université d'Innsbruck); Mairi Sakellariadou (Collège royal de Londres); Didina Serban (Institut de physique théorique de Saclay); Sumati Surya (Institut de recherches Raman); Bei Zeng (Université de Guelph).

Programme de chercheurs invités

- L'Institut Périmètre a accueilli 430 chercheurs invités, dont 25 titulaires de chaire de chercheur invité distingué et 10 adjoints invités, pour un total de 485 séjours scientifiques, dépassant les objectifs fixés.

Le programme de chercheurs invités de l'Institut Périmètre amène à l'Institut des scientifiques de premier plan pour animer des séminaires et des colloques, et collaborer avec les chercheurs résidents. Les scientifiques résidents profitent des échanges qu'ils ont avec les chercheurs invités, et ceux-ci bénéficient du temps et de l'espace voulus pour se concentrer sur leurs recherches, souvent en collaboration avec des chercheurs résidents de l'Institut. Le programme de chercheurs invités contribue en outre au recrutement de scientifiques, en faisant connaître le milieu de recherche dynamique de l'Institut. L'année dernière, des séjours de recrues potentielles ont mené à de nouvelles nominations à tous les niveaux, dont celles du professeur associé Jon Yard et du boursier du directeur William East.

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

Résumé des réalisations

- Organisation de la conférence *OpenAccess Energy* (Énergie accessible à tous), 3^e sommet du partenariat WGSJ (*Waterloo Global Science Initiative*)
- Sélection de H.-Praise-Adeyemo, du Nigeria, comme 4^e boursier postdoctoral africain des instituts Fields et Périmètre
- Préparation du renouvellement des partenariats avec les laboratoires TRIUMF et SNOLAB, afin de poursuivre l'École d'été tripartite sur les particules élémentaires (TRISEP)
- Renforcement des liens de partenariat avec l'Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique (ICTP-SAIFR), au Brésil
- Poursuite de l'assistance à l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI), avec l'ouverture d'un 5^e centre de l'AIMS et la mise sur pied d'un 6^e centre
- Organisation à l'Institut Périmètre de 8 conférences et ateliers conjoints avec des partenaires nationaux et internationaux, et parrainage de 16 autres conférences et ateliers à l'extérieur de l'Institut (voir l'objectif n° 7)

Points saillants

Collaborations et partenariats

Le rayonnement international fait partie de presque tous les aspects de l'activité de l'Institut Périmètre et contribue de manière cruciale à son succès. En concluant des partenariats avec des centres de premier plan au Canada et à l'étranger, l'Institut offre des possibilités de collaboration à ses scientifiques tout en renforçant sa position de plaque tournante mondiale de la recherche.

En plus de partenariats officiels avec des institutions, l'Institut Périmètre profite, grâce à des membres de son corps professoral, de nombreux partenariats informels avec des organismes tels que le Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson, le projet CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène), le télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements), le télescope SKA (*Square Kilometre Array* – Réseau d'un kilomètre carré), le Laboratoire TRIUMF et le grand collisionneur de hadrons du CERN.

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a renforcé un certain nombre de partenariats aussi bien officiels qu'informels.

- L'Institut a travaillé avec les laboratoires TRIUMF et SNOLAB au renouvellement d'accords de partenariat permettant de tenir des Écoles d'été tripartites sur les particules élémentaires (TRISEP).
- L'Institut a organisé 8 conférences et ateliers conjoints avec des partenaires canadiens et étrangers²³.

Le partenariat WGSJ : Énergie accessible à tous

WGSJ (*Waterloo Global Science Initiative*) est un partenariat à but non lucratif, financé de manière indépendante, mis sur pied par l'Institut Péricône et l'Université de Waterloo pour promouvoir le dialogue et élaborer des solutions à des problèmes complexes d'envergure mondiale.

En avril 2016, l'Institut Péricône a accueilli le 3^e sommet de WGSJ, intitulé *OpenAccess Energy* (Énergie accessible à tous). Des participants de 24 pays et de 5 collectivités des Premières Nations ont discuté des manières d'améliorer l'accès à une énergie renouvelable dans les régions en pénurie d'énergie. Une programmation destinée au public et l'enregistrement de 3 épisodes de l'émission *The Agenda* de TVO ont complété le sommet principal. Un document de suivi exposant en détail les recommandations du sommet et des idées de mise en œuvre suivra au début de 2017.

Bourse postdoctorale africaine des instituts Fields et Péricône

L'Institut Péricône et l'Institut Fields de recherche mathématique de l'Université de Toronto ont conclu un partenariat pour financer 4 bourses postdoctorales conjoints d'une durée d'un an, destinées à des Africains qui ont récemment obtenu leur doctorat. Le mathématicien H. Praise Adeyemo, du Nigeria, a récemment été choisi comme 4^e boursier; il séjournera à l'Institut Fields en 2016-2017. Il s'intéresse principalement à la géométrie algébrique et à la topologie.

Le boursier de 2015-2016, Prince Osei, passera une 2^e année à l'Institut Péricône, cette fois comme postdoctorant ordinaire.

²³ Ce sont : (1) *Cosmic Flows and Other Novelities on Large Scales* (Flux cosmiques et autres nouveautés à grande échelle), avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique; (2) *PI-UIUC Joint Workshop on Strongly Correlated Quantum Many-Body Systems 2015* (Atelier conjoint IP-UIUC 2015 sur les systèmes quantiques à N corps fortement corrélés), avec l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign; (3) *Cosmological Frontiers in Fundamental Physics 2016* (Frontières cosmologiques en physique fondamentale 2016), avec le Laboratoire APC de l'Université Paris 7 et les Instituts internationaux Solvay; (4) l'École d'été *It From Qubit*, avec la Fondation Simons; (5) *Condensed Matter Physics and Topological Field Theory* (Physique de la matière condensée et théorie des champs topologiques), (6) *Symplectic Duality and Gauge Theory* (Dualité symplectique et théorie de jauge) et (7) *Concepts and Paradoxes in a Quantum Universe* (Concepts et paradoxes dans un univers quantique), tous trois avec la Fondation John-Templeton.

Rayonnement international

AIMS-NEI

Jusqu'à ce jour, les efforts de rayonnement international de l'Institut Péricimètre ont largement mis l'accent sur l'initiative *Next Einstein* (le prochain Einstein) de l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS-NEI). Ce projet a été lancé en 2003 par Neil Turok, actuellement directeur de l'Institut Péricimètre, pour mettre sur pied un réseau panafricain de centres dispensant une formation mathématique et scientifique avancée à des diplômés africains exceptionnels. Inauguré avec un premier centre en Afrique du Sud, le réseau de l'AIMS a grandi et compte maintenant 6 centres répartis sur le continent. Depuis son ouverture, 1 200 étudiants ont obtenu un diplôme de l'AIMS.

En 2015-2016, l'Institut Péricimètre a continué de mettre à profit les compétences de ses chercheurs et de son personnel administratif pour soutenir le réseau de l'AIMS-NEI.

- L'AIMS-NEI a organisé le forum *Next Einstein* (Le prochain Einstein) à Dakar, au Sénégal, en mars 2016. Avec plus de 1 000 participants, dont les présidents du Sénégal et du Rwanda, ce fut la plus grande rencontre scientifique jamais tenue en Afrique.
- Le secrétariat général de l'AIMS-NEI a déménagé du Cap, en Afrique du Sud, à Kigali, au Rwanda.
- Des membres du personnel de l'Institut Péricimètre ont fourni une expertise administrative pour préparer l'ouverture du 5^e centre de l'AIMS – AIMS-Tanzanie – et ont aidé à préparer le lancement de l'AIMS-Rwanda, pour une ouverture en août 2016.
- Des chercheurs de l'Institut Péricimètre continuent d'enseigner dans des centres de l'AIMS.

Intensification du partenariat avec l'Amérique du Sud

L'Amérique du Sud est la deuxième région sur laquelle portent les efforts de rayonnement international de l'Institut Péricimètre. C'est pour cela que l'Institut a signé en 2015 un accord de partenariat avec l'Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique (ICTP-SAIFR). Situé à l'Université de l'État de São Paulo (UNESP), au Brésil, l'ICTP-SAIFR a été fondé en 2010 comme centre régional de physique théorique en Amérique du Sud. Ce jeune institut a de nombreux points communs avec l'Institut Péricimètre, dont un certain nombre de domaines de recherche – notamment la matière condensée, la cosmologie, la physique mathématique, la physique des particules et la théorie des cordes. À l'instar de l'Institut Péricimètre, l'ICTP-SAIFR met en œuvre un programme actif de chercheurs invités et organise des séminaires, des mini-cours, des écoles thématiques et des ateliers.

En 2015-2016, ce partenariat international entre l'UNESP-SAIFR et l'Institut Péricimètre s'est intensifié considérablement.

- Pedro Vieira, titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique de l'Institut Péricimètre, a accepté de passer 6 mois par année au Brésil, où il aidera à mettre sur pied le

centre et à favoriser des échanges d'étudiants et de chercheurs entre l'ICTP-SAIFR et l'Institut Péricône.

- D'autres professeurs de l'Institut Péricône contribuent aussi à l'ICTP-SAIFR. Freddy Cachazo, titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique, a été conférencier invité, et Luis Lehner, vice-président du corps professoral, est membre du conseil scientifique de l'ICTP-SAIFR.
- L'accord encourage l'organisation conjointe d'écoles thématiques et d'ateliers, de même que les échanges scientifiques par des visites de professeurs, de postdoctorants et d'étudiants des deux instituts. Cette année, Thiago Fleury, de l'UNESP, et Shota Komatsu, postdoctorant à l'Institut Péricône, se sont rendu visite à plusieurs reprises et préparent un article commun.
- Les partenaires préparent des programmes de formation pour des étudiants diplômés et postdoctorants en Amérique du Sud. Trois étudiants ont déjà été repérés et se préparent à participer au programme PSI en 2017-2018.
- Des membres du personnel et des chercheurs de l'Institut Péricône sont allés au Brésil et ont aidé à la mise sur pied de programmes de diffusion des connaissances. Pedro Vieira a donné un mini-cours à des élèves du secondaire et a lancé une série de conférences de vulgarisation scientifique pour le grand public. Pour sa part, le personnel de diffusion des connaissances a animé des programmes pour enseignants du secondaire.
- Une cérémonie officielle aura lieu à São Paulo en novembre 2016, en présence de l'ambassadeur du Canada au Brésil, pour célébrer ce partenariat. Une cérémonie semblable aura lieu au Canada à une date ultérieure.

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

Résumé des réalisations

- Approfondissement des liens avec des centres d'expérimentation et d'observation, au Canada et ailleurs dans le monde, grâce entre autres au lancement du programme Xpéricimètre, qui vise à soutenir des collaborations avec des expérimentateurs
- Poursuite du travail en collaboration étroite avec des partenaires régionaux, afin de soutenir l'écosystème de technologie quantique *Quantum Valley*
- Nomination de 7 nouveaux membres affiliés et renouvellement du mandat de 3 autres, pour un nombre total de 118 membres affiliés
- Recrutement de 2 professeurs associés, conjointement avec l'Université de Guelph et l'Institut d'informatique quantique de 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 recherche²⁴ (voir l'objectif n° 3)
- Organisation de 8 ateliers et conférences, conjointement avec des partenaires universitaires régionaux et nationaux, et parrainage de 16 autres conférences et ateliers (voir l'objectif n° 7)

Points saillants

Engagement avec des centres d'expérimentation

Pour que des percées scientifiques se réalisent, il faut des liens entre la théorie et l'expérience. Reconnaissant cela, l'Institut Péricimètre a créé des liens avec des centres d'expérimentation et d'observation du monde entier, et a continué d'intensifier ces liens durant l'année écoulée.

En 2015-2016, l'Institut a lancé le programme Xpéricimètre, afin de permettre des visites de chercheurs à destination et en provenance d'installations d'expérimentation telles que le grand collisionneur de hadrons du CERN, le Laboratoire national de l'accélérateur Thomas-Jefferson, le LIGO avancé, de même que les laboratoires TRIUMF et SNOLAB. Le programme s'est avéré populaire jusqu'à maintenant et permettra probablement l'expansion des collaborations avec des expérimentateurs.

L'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo est le partenaire d'expérimentation le plus proche de l'Institut Péricimètre. Le directeur général de l'IQC est Raymond Laflamme, et ses directeurs adjoints sont David Cory et Kevin Resch. MM. Laflamme et Cory sont

²⁴ Les conférenciers ont été : Maïté Dupuis, Université de Waterloo; Joseph Emerson, Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo; David Morrissey, Laboratoire TRIUMF; Sean Tulin, Université York. Les superviseurs de projets de recherche ont été : Michel Gingras, Université de Waterloo; Achim Kempf, Université de Waterloo; Yong Baek Kim, Université de Toronto; Eduardo Martin-Martinez, Université de Waterloo.

professeurs associés à l'Institut Périmètre, alors que M. Resch est membre affilié. Michele Mosca, cofondateur de l'IQC avec Raymond Laflamme et membre important de son corps professoral, est également professeur associé à l'Institut Périmètre, et de nombreux autres chercheurs de l'Institut Périmètre sont aussi membres de l'IQC²⁵.

Voici quelques exemples récents de recherches à la jonction de la théorie et de l'expérimentation.

- Le télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements) est un projet international majeur qui vise à construire directement pour la première fois une image de l'horizon des événements d'un trou noir. L'Institut Périmètre est étroitement lié à ce projet grâce au professeur associé Avery Broderick. L'initiative de recherche EHT de l'Institut²⁶ consiste à mettre sur pied une équipe de professeurs, postdoctorants et étudiants diplômés, chargée d'analyser les données du télescope EHT. Cette année, M. Broderick et ses collaborateurs ont obtenu plusieurs résultats scientifiques importants résultant de ces efforts (voir l'objectif n° 1).
- Le professeur Kendrick Smith participe à un certain nombre de projets expérimentaux visant à mesurer le rayonnement fossile, notamment le satellite Planck et le projet CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène).
- Asimina Arvanitaki, titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique de l'Institut Périmètre, utilise le détecteur d'ondes gravitationnelles AURIGA, situé en Italie, pour analyser des données existantes à la recherche de la matière sombre.
- Le professeur Robert Spekkens et le postdoctorant Matthew Pusey ont récemment collaboré avec des chercheurs de l'IQC pour prouver en laboratoire l'échec de la non-contextualité, résultat important dans la quête de technologies quantiques (voir l'objectif n° 1).

Alors que des scientifiques de l'Institut Périmètre intensifient leurs liens avec de nombreux projets majeurs d'expérimentation partout dans le monde, de tels exemples vont continuer de se multiplier. (L'annexe G donne une liste plus complète des liens de l'Institut Périmètre avec des centres d'expérimentation.)

Enfin, l'Institut Périmètre maintient des liens avec le monde de l'expérimentation par le truchement de son programme de conférences, et plusieurs conférences données pendant l'année écoulée portaient directement sur des constatations et défis expérimentaux²⁷. L'Institut a poursuivi son partenariat avec

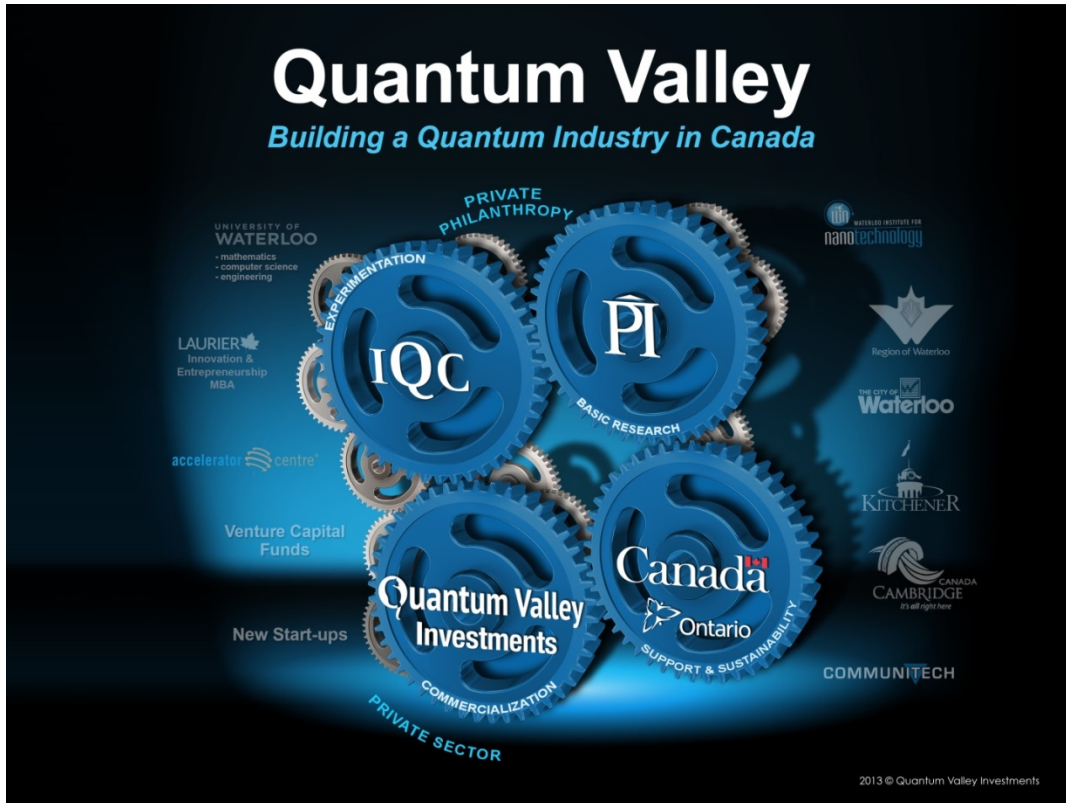
²⁵ Le professeur associé Raffi Budakian est également membre de l'IQC, tout comme l'adjoint invité Eduardo Martin-Martinez, le postdoctorant Dave Touchette, ainsi que les doctorantes Maryam Mirkamali et Paulina Ugalde. Le professeur Dmitry Abanin et le chercheur affilié principal Steve MacLean sont membres associés de l'IQC, et les deux instituts ont aussi un certain nombre de membres affiliés en commun.

²⁶ L'initiative de recherche EHT est dirigée par le professeur associé Avery Broderick ainsi que par les professeurs Luis Lehner et Guifre Vidal.

²⁷ Ce sont : *Cosmic Flows and Other Novelties on Large Scales* (Flux cosmiques et autres nouveautés à grande échelle), du 10 au 12 août 2015; *Condensed Matter Physics and Topological Field Theory* (Physique de la matière condensée et théorie des champs topologiques), du 21 au 24 octobre 2015; *Feedback over 44 Orders of Magnitude: From Gamma-Rays to the Universe* (Réactions sur 44 ordres de grandeur : des rayons gamma à l'univers), du 14 au 16 mars 2016; *Cosmological Frontiers in Fundamental Physics 2016* (Frontières cosmologiques

les laboratoires TRIUMF et SNOLAB pour l'organisation de l'École d'été tripartite sur les particules élémentaires (TRISEP), dont la 4^e mouture a eu lieu en juillet 2016 à TRIUMF.

Participation à la *Quantum Valley* à titre de catalyseur



Au XX^e siècle, des percées en physique fondamentale – transistors, ordinateurs, IRM, GPS, communications sans fil, téléphones multifonctions, etc. – ont entraîné des milliers de milliards de dollars de nouvelle richesse, ainsi que la création de millions d’emplois.

La recherche en physique quantique pourrait fort bien donner lieu à une révolution scientifique et technologique aussi – sinon plus – importante que la révolution de l’information qui a façonné le XX^e siècle. L’économie du XXI^e siècle reposera probablement sur des innovations résultant de progrès en physique quantique, telles qu’ordinateurs, capteurs et dispositifs de communication quantiques, ainsi que nouveaux supraconducteurs.

L’Institut Périmètre est la source d’un écosystème quantique en émergence. En 2002, l’Institut a catalysé la création de son partenaire expérimental, l’Institut d’informatique quantique de l’Université de Waterloo. Maintenant, une nouvelle *Quantum Valley* établie dans la région couvre tous les aspects

en physique fondamentale 2016), du 14 au 17 juin 2016; *Concepts and Paradoxes in a Quantum Universe* (Concepts et paradoxes dans un univers quantique), du 20 au 24 juin 2016.

de la mise en œuvre de la physique quantique : science fondamentale et formation; laboratoires d'expérimentation; développement technologique; investissement de capital de risque; culture de démarrage d'entreprises technologiques; abondance de jeunes talents scientifiques. Cette combinaison n'a pas d'équivalent ailleurs dans le monde, mais la concurrence augmente. Partout sur la planète, des pays et des entreprises investissent beaucoup, créent des centres de recherche et des pôles d'activité, s'efforçant de créer des *Quantum Valley*. Des dirigeants d'administrations gouvernementales et d'entreprises privées de plus de 20 pays ont exprimé leur désir d'imiter le modèle de Waterloo.

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a continué de collaborer étroitement avec des expérimentateurs de l'IQC et d'autres acteurs clés de la région de Waterloo²⁸ pour faire en sorte que le Canada demeure à l'avant-garde de la recherche en physique quantique, qui se traduira au bout du compte par de nouvelles technologies, des emplois et la création de richesse.

L'Institut Périmètre a de plus recruté un certain nombre de spécialistes de la physique quantique et de la matière condensée : le professeur Max Metlitski; le professeur associé Jon Yard; les titulaires de chaire de chercheur invité distingué Anton Kapustin et Alexander Zamolodchikov; les boursières invitées Emmy-Noether Fiona Burnell et Barbara Drossel; de nombreux postdoctorants.

Membres affiliés : Réunir la communauté canadienne de la physique

- L'Institut Périmètre a nommé 7 nouveaux membres affiliés et renouvelé le mandat de 3 autres, pour un nombre total de 118 membres affiliés, conformément aux objectifs fixés (voir l'annexe D, *Membres affiliés*).

Le programme de membres affiliés de l'Institut Périmètre constitue un moyen de tisser des liens au sein de la communauté des chercheurs en physique fondamentale au pays, en encourageant des chercheurs choisis au sein d'universités et d'institutions de recherche canadiennes à faire régulièrement des séjours de collaboration à l'Institut.

Ce programme est bénéfique à la fois pour l'Institut Périmètre et pour la communauté canadienne de la physique. Les membres affiliés ont accès à une communauté 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.

²⁸ 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 (dont Communtech et Universal Quantum Devices), ainsi que des investisseurs en capital de risque (dont Quantum Valley Investments).

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

Résumé des réalisations

- Organisation de 17 conférences et ateliers, auxquels ont participé 935 scientifiques du monde entier
- Présentation de 322 exposés scientifiques (294 séminaires et 28 colloques)
- Collaboration pour l'organisation de 8 conférences et ateliers conjoints tenus à l'Institut Périmètre, et parrainage de 16 autres rencontres scientifiques à l'extérieur 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, auxquels ont participé 935 scientifiques, dépassant les objectifs fixés²⁹.
- L'Institut a accueilli plus de 180 scientifiques pour *It From Qubit*, atelier et école d'été d'une durée de 2 semaines portant sur les liens entre l'information quantique et la physique des hautes énergies.

Le programme de conférences de l'Institut Périmètre est reconnu mondialement pour sa souplesse et son adaptabilité, ainsi que le choix de sujets ayant un fort potentiel de résultats importants. En 2015-2016, 935 scientifiques du monde entier ont participé aux conférences et ateliers de l'Institut, illustrant

²⁹ Ce sont : (1) *Cosmic Flows and Other Novelties on Large Scales* (Flux cosmiques et autres nouveautés à grande échelle); (2) *The Unruh Fest: A Celebration in Honour of Bill Unruh's 70th Birthday* (La fête de Bill Unruh, célébration en l'honneur de son 70^e anniversaire); (3) *Quantum Information in Quantum Gravity II* (Information quantique et gravitation quantique II); (4) École d'été *Mathematica 2015*; (5) *Noncommutative Geometry and Physics* (Géométrie non commutative et physique); (6) *Renormalization in Background Independent Theories: Foundations and Techniques* (Renormalisation dans les théories indépendantes du fond : fondements et techniques); (7) *Condensed Matter Physics and Topological Field Theory* (Physique de la matière condensée et théorie des champs topologiques); (8) *PI-UIUC Joint Workshop on Strongly Correlated Quantum Many-Body Systems 2015* (Atelier conjoint IP-UIUC 2015 sur les systèmes quantiques à N corps fortement corrélés); (9) *PI Day* (Journée de l'IP), novembre 2015; (10) *Feedback over 44 Orders of Magnitude: From Gamma-Rays to the Universe* (Réactions sur 44 ordres de grandeur : des rayons gamma à l'univers); (11) *Symplectic Duality and Gauge Theory* (Dualité symplectique et théorie de jauge); (12) *Deformation Quantization of Shifted Poisson Structures* (Quantification de la déformation de structures de Poisson décalées); (13) *4 Corners Southwest Ontario Condensed Matter Physics Symposium 2016* (Colloque des quatre coins du Sud-ouest ontarien sur la matière condensée 2016); (14) *Cosmological Frontiers in Fundamental Physics 2016* (Frontières cosmologiques en physique fondamentale 2016); (15) *Concepts and Paradoxes in a Quantum Universe* (Concepts et paradoxes dans un univers quantique); (16) *Time in Cosmology* (Le temps en cosmologie); (17) École d'été *It From Qubit*.

son rôle de forum majeur d'échanges en physique théorique de pointe. De plus, le programme de conférences consolide les liens de l'Institut Périmètre avec ses partenaires. Cette année, l'Institut a organisé 8 ateliers et conférences avec des partenaires canadiens et étrangers³⁰. Il a aussi parrainé 16 autres ateliers et conférences à l'extérieur de l'Institut, dépassant les objectifs fixés³¹.

Voici quelques conférences choisies parmi celles de l'année écoulée :

- ***Cosmological Frontiers in Fundamental Physics 2016*** (Frontières cosmologiques en physique fondamentale 2016), du 14 au 17 juin 2016 – Cet atelier, le 10^e d'une série organisée conjointement par les Instituts internationaux Solvay, le Laboratoire APC de l'Université Paris 7 et l'Institut Périmètre, a mis l'accent sur la prochaine génération de théories, d'expériences et d'observations en cosmologie et gravité forte. En plus de théoriciens, les 64 participants comprenaient des physiciens d'expérimentation et d'observation appartenant à des centres majeurs d'expérimentation. Cet atelier a permis d'encourager de nouvelles collaborations.
- ***Concepts and Paradoxes in a Quantum Universe*** (Concepts et paradoxes dans un univers quantique), du 20 au 24 juin 2016 – Animée par Yakir Aharonov, pionnier de la physique quantique (et titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre), cette conférence a amené plus de 50 chercheurs du monde entier à discuter des principaux paradoxes et développements de la mécanique quantique, d'un double point de vue théorique et expérimental. Près de 20 participants ont passé un mois complet à l'Institut.

³⁰ Ce sont : (1) *Cosmic Flows and Other Novelties on Large Scales* (Flux cosmiques et autres nouveautés à grande échelle), avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique; (2) *PI-UIUC Joint Workshop on Strongly Correlated Quantum Many-Body Systems 2015* (Atelier conjoint IP-UIUC 2015 sur les systèmes quantiques à N corps fortement corrélés), avec l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign; (3) *Cosmological Frontiers in Fundamental Physics 2016* (Frontières cosmologiques en physique fondamentale 2016), avec le Laboratoire APC de l'Université Paris 7 et les Instituts internationaux Solvay; (4) *École d'été It From Qubit*, avec la Fondation Simons; (5) *Condensed Matter Physics and Topological Field Theory* (Physique de la matière condensée et théorie des champs topologiques), (6) *Symplectic Duality and Gauge Theory* (Dualité symplectique et théorie de jauge), (7) *Concepts and Paradoxes in a Quantum Universe* (Concepts et paradoxes dans un univers quantique) et (8) *Time in Cosmology* (Le temps en cosmologie), tous quatre avec la Fondation John-Templeton.

³¹ Ce sont : (1) 15^e École d'été canadienne sur l'information quantique (CSSQI 2015), Institut Fields de recherche mathématique de l'Université de Toronto; (2) atelier sur les marges quantiques et les intervalles numériques, Université de Guelph; (3) *Discoveries at the Dawn of the LHC Run 2* (Découvertes à l'aube de la 2^e phase du LHC), Laboratoire TRIUMF; (4) *INTRIQ 2015*, Université de Sherbrooke; (5) *Mann Fest*, Université de Waterloo; (6) *QIP 2015*, Institut de science et technologie quantiques de l'Université de Calgary; (7) Institut d'hiver 2016 du lac Louise, Université de l'Alberta; (8) atelier sur les groupes quantiques en gravitation quantique, Université de Waterloo; (9) *Théorie Canada 11*, Université Carleton; (10) *Information-Theoretic Interpretations of Quantum Mechanics* (Interprétations de la mécanique quantique en théorie de l'information), Université Western; (11) *11th Great Lakes Cosmology Workshop: Cosmology and Galaxies* (11^e atelier de cosmologie des Grands Lacs : Cosmologie et galaxies), Université McMaster; (12) *Relativistic Quantum Information – North 2016* (Information quantique relativiste – Nord 2016), Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo; (13) 16^e conférence canadienne sur la relativité générale et l'astrophysique relativiste (CCGRR 16), Université Simon-Fraser; (14) 41^e symposium international sur le calcul symbolique et algébrique (ISSAC 2016), Université Wilfrid-Laurier; (15) *Women in Physics Canada 2016* (Les femmes et la physique au Canada 2016), Université de la Saskatchewan; (16) *Fundamental Science and Society* (Science fondamentale et société), Centre international de science et d'éducation interdisciplinaires (ICISE), Vietnam.

- ***Time in Cosmology*** (Le temps en cosmologie), du 27 au 30 juin 2016 – Cette conférence a réuni près de 60 penseurs influents pour des discussions cruciales et ciblées sur des questions clés relatives au temps. De brefs exposés, des tables rondes et des interactions informelles ont suscité de nouvelles collaborations.

- **École d'été *It From Qubit***, du 18 au 29 juillet 2016 – Dans le cadre d'un partenariat de 5 ans financé par la Fondation Simons, cette activité comprenant une école d'été et un atelier a duré 2 semaines et amené à l'Institut Péricètre 188 scientifiques et étudiants, dont beaucoup des chercheurs parmi les plus respectés en physique. Ils sont venus à l'Institut pour promouvoir la communication et la collaboration entre les communautés scientifiques de l'information quantique et de la physique des hautes énergies. À cause du très grand intérêt suscité par *It From Qubit*, l'Institut Péricètre a mis sur pied 6 écoles satellites tenues simultanément à l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein), à l'Université d'Amsterdam, à l'Université Ludwig-Maximilian de Munich, à l'Université de Tel Aviv, à l'Institut de technologie du Massachusetts et à l'Université de la Californie à Berkeley. Cette importante activité illustre de manière éloquente comment l'Institut Péricètre est un pôle international en physique théorique de pointe.

Séminaires et colloques

- L'Institut Péricètre a présenté 322 exposés scientifiques (294 séminaires et 28 colloques), dépassant les objectifs fixés.

Les séminaires et les colloques favorisent la collaboration et le partage de connaissances, permettant aux scientifiques de l'Institut Péricètre de demeurer à la fine pointe de la recherche dans tout le spectre de la physique théorique. L'Institut propose à des scientifiques résidents et invités – dont des titulaires de chaire de chercheur invité distingué, des adjoints invités et des recrues potentielles – de faire part de leurs travaux les plus récents, ce qui enrichit le milieu de recherche de l'Institut. En 2015-2016, la communauté de l'Institut Péricètre a bénéficié d'exposés présentés par des sommités dans tous les domaines de recherche de l'Institut, notamment par les titulaires de chaire de chercheur invité distingué Nima Arkani-Hamed, Iakov Soibelman, Zhenghan Wang et Alexander Zamolodchikov.

Cours

- L'Institut Péricètre a offert 3 cours avancés donnant droit à des crédits d'études supérieures et 1 mini-cours non crédité, conformément aux objectifs fixés³².

L'Institut Péricètre partage les connaissances de ses scientifiques résidants et invités, en leur demandant de donner des cours avancés donnant droit à des crédits d'études supérieures et des mini-cours non crédités sur des sujets à la fine pointe de la recherche. En plus de bénéficier aux chercheurs résidants de l'Institut, ces cours sont ouverts aux étudiants des universités environnantes, ce qui améliore d'autant l'offre de cours de ces universités. L'Institut Péricètre a également ouvert des cours du programme PSI aux étudiants de l'extérieur de l'Institut (avec autorisation spéciale), sous forme de mini-cours non crédités de 3 semaines.

Diffusion des exposés et cours tenus à l'Institut Péricètre

- En 2015-2016, 108 401 visiteurs distincts de plus de 170 pays ont accédé aux archives vidéo de l'Institut Péricètre, pour un total de 776 692 pages consultées.

Presque tous les exposés présentés à l'Institut Péricètre sont enregistrés et accessibles par le truchement du site Web de l'Institut ou dans son système d'archivage en ligne (PIRSA), 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, et est devenu une source importante et largement utilisée dans le domaine.

³² Les cours avancés donnant droit à des crédits d'études supérieures ont été les suivants : *General Relativity for Cosmology* (Relativité générale pour la cosmologie), donné par le professeur affilié Achim Kempf de septembre à novembre 2015; *Quantum Many-Body Physics* (Physique des systèmes quantiques à N corps), donné par le professeur associé Roger Melko de janvier à mars 2016; *Quantum Field Theory for Cosmology* (Théorie quantique des champs pour la cosmologie), donné par le professeur affilié Achim Kempf de janvier à avril 2016. Le mini-cours non crédité a été *An Introduction to Julia* (Introduction à Julia), donné par Erik Schnetter, chef du groupe de technologie de la recherche, d'octobre à décembre 2015.

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

Résumé des réalisations

- Programmes et ressources pédagogiques qui ont suscité plus de 9,5 millions d'interactions avec des élèves, portant leur total à plus de 20 millions à ce jour³³
- Tenue de la 14^e École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP), et organisation de 15 exposés *Physica Phantastica* – pour plus de 4 200 élèves de toutes les régions du Canada
- Présentation de 135 ateliers à plus de 4 000 enseignants au Canada et à l'étranger
- Partenariat avec le ministère de l'Éducation de l'Ontario pour produire un ensemble intégré de ressources pédagogiques en mathématiques, sciences et technologie pour les élèves de la 5^e à la 8^e année
- Présentation de 8 conférences publiques captivantes également suivies par un auditoire en ligne de plus en plus nombreux
- Direction de la planification et de la mise sur pied d'Innovation150, initiative phare des célébrations de Canada 150, avec 4 organismes partenaires
- Prix des communications scientifiques dans la société pour la série mensuelle *Slice of PI* (Tranche d'IP) et augmentation sensible de la présence de l'Institut dans les médias sociaux

Points saillants

Programmes et produits destinés aux élèves

Rassemblement de jeunes talents à l'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP)

- L'Institut Périmètre a tenu la 14^e ISSYP pour 40 élèves doués – 20 Canadiens de 7 provinces et 20 étrangers de 15 pays –, également répartis entre garçons et filles.

³³ L'Institut Périmètre cherche à offrir aux élèves de multiples occasions d'interagir avec ses ressources pédagogiques au cours de leur formation à la fin du primaire et au secondaire. Ces chiffres présentent les interactions d'élèves avec des programmes et ressources de l'Institut, plutôt que le nombre d'élèves distincts. En 2016, KPMG a mené un audit et constaté une augmentation importante de l'utilisation des ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre par des enseignants partout dans le monde. Les chiffres ci-dessus reflètent cette augmentation (par rapport aux années précédentes). La méthode employée par l'Institut pour calculer les interactions d'élèves avec ses produits a été mise à jour en fonction des nouvelles données de KPMG; d'autres augmentations sont dues à des améliorations dans les méthodes de livraison des ressources – dont un meilleur centre de ressources dans le Web, la livraison de leçons individuelles plutôt que de trousse volumineuses, la croissance du réseau des enseignants de l'Institut Périmètre, ainsi que la suppression des coûts pour les enseignants étrangers.

L'École d'été internationale pour jeunes physiciens et physiciennes (ISSYP), commanditée par la Fondation RBC, constitue une importante action de diffusion des connaissances de l'Institut Périmètre. Ce programme consiste à amener à l'Institut des élèves doués, canadiens et étrangers, de niveau secondaire, pour 2 semaines de formation intensive comprenant des exposés par des professeurs de l'Institut Périmètre, des séances de mentorat et des visites d'installations d'expérimentation. Ce programme satisfait la curiosité des élèves et développe des aptitudes cruciales au travail en collaboration, tout en exposant les participants – souvent pour la première fois – à un groupe de pairs qui ont la même passion pour les sciences. Une évaluation continue assure que le programme est fondé sur une saine pédagogie, et des sondages de suivi menés auprès d'anciens de l'ISSYP montrent que, pour plus de 70 % d'entre eux, le programme les a incités à poursuivre une carrière en mathématiques ou en physique.

Inspirer les futures scientifiques

- L'Institut Périmètre a accueilli plus de 200 jeunes filles d'écoles secondaires de l'Ontario, pour la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques).

Dans le cadre de ses initiatives Emmy-Noether, qui visent à attirer et à retenir davantage de femmes en physique, l'Institut Périmètre organise depuis plusieurs années la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques), pour présenter à des centaines d'élèves du secondaire des femmes qui en sont à divers stades de leur carrière et qui connaissent du succès. Cette année, la conférence a réuni plus de 200 jeunes filles d'écoles secondaires de l'Ontario pour une journée d'exposés et de réseautage – ainsi qu'une allocution surprise du premier ministre Justin Trudeau.

Partager les joies de la science avec *Physica Phantastica*

- L'Institut Périmètre a présenté 15 exposés *Physica Phantastica* devant plus de 4 200 élèves, dépassant les objectifs fixés.

Les exposés *Physica Phantastica* constituent une introduction divertissante et accessible à la physique moderne. Ces exposés à grande échelle sont généralement présentés à des auditoriums de 50 à 200 personnes. Ils sont conçus pour faire connaître les merveilles, les mystères et les joies de la science à des élèves, à des enseignants et au grand public.

Les exposés *Physica Phantastica* étaient traditionnellement destinés à des élèves avancés du secondaire, mais le personnel de l'Institut a commencé l'an dernier à en présenter à des élèves du primaire, dans le cadre d'un effort plus vaste visant à intéresser des élèves plus jeunes aux sciences (voir plus loin). Cette année, la plupart des exposés *Physica Phantastica* ont été présentés en Ontario, pour permettre au personnel de consacrer du temps à l'élaboration d'une exposition scientifique itinérante. Il y a eu toutefois une séance pour des élèves de Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest.

Rejoindre des collectivités mal desservies, avec la participation des Autochtones

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

Au cours de la dernière année, l'Institut Péricimètre a poursuivi son partenariat avec Actua, l'un des principaux organismes canadiens de diffusion des connaissances en sciences, technologie, génie et mathématiques (STGM) auprès des jeunes, et en particulier des Autochtones. Le personnel de l'Institut Péricimètre a formé à l'utilisation des ressources de l'Institut des membres d'Actua de partout au pays, qui ont à leur tour transmis ce contenu à des élèves autochtones pendant les mois d'été. L'Institut Péricimètre a également défini une stratégie pour atteindre davantage de collectivités autochtones et isolées, dans le cadre des activités à venir d'Innovation150.

Programmes et ressources destinés aux enseignants

Des enseignants devenus élèves à *EinsteinPlus*

- L'Institut Péricimètre a organisé en 2016 un atelier intensif *EinsteinPlus* pour 40 enseignants – 20 Canadiens de 7 provinces et 20 étrangers de 15 pays –, conformément aux objectifs fixés.

Le camp *EinsteinPlus* pour enseignants constitue un pôle majeur de l'engagement de l'Institut Péricimètre auprès d'enseignants de sciences compétents et très motivés qui œuvrent au secondaire. Pendant l'été, cet atelier d'une semaine donne aux enseignants des méthodes efficaces d'enseignement des concepts clés de la physique moderne, leur présente les ressources pédagogiques de l'Institut Péricimètre et les aide à trouver des manières originales de susciter la passion de la physique chez leurs élèves. Les sondages menés auprès des participants de moutures antérieures montrent qu'ils considèrent cette expérience comme une occasion de perfectionnement professionnel de toute première qualité.

Le réseau des enseignants de l'Institut Péricimètre

- L'Institut Péricimètre a animé 67 ateliers pour plus de 1 400 enseignants – au Canada, aux États-Unis, en Écosse, en Estonie, en Guyane et ailleurs – par le truchement de son réseau des enseignants.
- L'Institut a organisé 7 camps de formation du réseau des enseignants à Durham, Ottawa, Thunder Bay, Waterloo, Saskatoon, Winnipeg et Vancouver, pour un total de 667 enseignants.

D'anciens participants à *EinsteinPlus* forment le noyau du réseau des enseignants de l'Institut Péricimètre, réseau de pairs constitué d'enseignants compétents et très motivés, formés à faire connaître aux enseignants de leur région les ressources et stratégies pédagogiques éprouvées de l'Institut. Le réseau des enseignants de l'Institut compte plus de 50 personnes de toutes les régions de l'Ontario et du Canada, qui augmentent la portée des ressources pédagogiques de l'Institut Péricimètre et font en sorte qu'un nombre beaucoup plus grand d'enseignants et d'élèves bénéficient de ces ressources.

Ateliers et exposés sur place pour enseignants

- L'Institut Périmètre a animé, dans le cadre de conférences d'enseignants au Canada, aux États-Unis, en Angleterre et ailleurs, 68 ateliers qui ont bénéficié à plus de 2 700 enseignants³⁴.

Des membres du personnel de l'Institut Périmètre animent des ateliers sur les ressources pédagogiques de l'Institut lors de réunions d'enseignants, en particulier dans le cadre de grandes conférences qui augmentent de manière extrêmement rentable la diffusion de ces ressources. L'Institut Périmètre choisit de manière stratégique des rencontres ciblées pour les enseignants de la 5^e à la 12^e année de scolarité, au Canada et à l'étranger.

Ressources pédagogiques

Création de modules éducatifs

- L'Institut Périmètre a produit un ensemble intégré de ressources pédagogiques en sciences, mathématiques et technologie pour les élèves de la 5^e à la 8^e année, avec l'aide d'un financement du ministère de l'Éducation de l'Ontario.
- L'Institut a produit un nouveau module intitulé *Contemporary Physics* (Physique contemporaine), qui aborde des sujets de pointe comme la physique des neutrinos, la science des trous noirs et les ondes gravitationnelles.

Les programmes et ressources pédagogiques de l'Institut Périmètre ont suscité à ce jour plus de 20 millions d'interactions avec des élèves – dont plus de 9,5 millions au cours de la dernière année seulement. L'Institut a créé un vaste ensemble de ressources pédagogiques pour les élèves avancés du secondaire et, au cours des dernières années, a commencé à augmenter sa gamme de produits pour les élèves de la 5^e à la 8^e année. Ce processus s'est accéléré grâce à un partenariat de 4 ans, annoncé officiellement en novembre 2015, conclu avec le ministère de l'Éducation de l'Ontario.

Produits avec les intrants de scientifiques en exercice et rigoureusement testés en classe, les modules éducatifs de l'Institut Périmètre constituent le principal moyen employé par l'Institut pour rejoindre les élèves. Même si ces modules visent en premier lieu les élèves canadiens, ils ont été distribués dans plus de 60 pays. Les réactions montrent qu'ils sont utilisés et réutilisés dans les écoles, ce qui multiplie leur impact avec le temps.

³⁴ Il y a eu entre autres des ateliers aux congrès annuels des organismes suivants : Association de professeurs de science de l'Ontario (Toronto, Canada); Association américaine des enseignants de physique (Sacramento, États-Unis); Association pour l'éducation scientifique (Birmingham, Royaume-Uni); Association nationale des enseignants de sciences (Nashville, États-Unis); Association des enseignants en physique de l'Ontario (Waterloo, Canada); Agents de ressources pédagogiques en physique (Sacramento, États-Unis); Programme du CERN pour les enseignants du secondaire (Genève, Suisse).

L'Institut adopte une approche équilibrée de la création de produits éducatifs. Les modules *Inspirations* visent à piquer la curiosité des élèves plus jeunes et à les motiver à continuer de suivre plus tard des cours de mathématiques et de sciences, alors que 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.

Ressources en ligne

- L'Institut Périmètre a continué d'offrir une variété de ressources en ligne de grande qualité.
- L'Institut a produit 2 cours électroniques, intitulés *Quantum Nature* (Nature quantique) et *Quantum World* (Monde quantique), pour les élèves avancés du secondaire en mathématiques et physique, afin de les aider à se préparer aux cours de physique de niveau universitaire.

La publication en ligne de ressources de grande qualité permet à l'Institut Périmètre d'accroître sa portée et son impact dans le monde entier. L'Institut diffuse beaucoup de contenu dans son site Web : modules éducatifs, contenu de l'ISSYP virtuelle, vidéos *Meet A Scientist* (Rencontre avec un scientifique), conférences publiques, etc.

Les modules électroniques de l'Institut Périmètre fournissent aux enseignants, par l'intermédiaire d'un environnement de partage numérique, des leçons prêtes à utiliser en classe, avec du matériel d'appoint, des animations, des séquences vidéo et des conseils pédagogiques. L'Institut a en outre mis au point des cours électroniques qui permettent aux meilleurs élèves en mathématiques et en physique, au Canada et à l'étranger, d'enrichir par eux-mêmes leurs connaissances.

Programmes destinés au grand public

Augmentation des visionnements des conférences publiques de l'Institut Périmètre

- Conformément aux objectifs fixés, l'Institut Périmètre a présenté à guichets fermés 8 conférences publiques qui ont fait l'objet de 320 000 visionnements en ligne.

La principale série de conférences publiques de l'Institut Périmètre demeure l'un des programmes les plus populaires de l'Institut. Pendant l'année écoulée, l'Institut a présenté à guichets fermés dans l'amphithéâtre des idées Mike-Lazaridis 8 conférences scientifiques captivantes. Ces conférences ont été webdiffusées à des publics en ligne partout dans le monde.

Les sujets présentés allaient de la matière sombre à la médecine nucléaire, en passant par les horloges atomiques et les changements climatiques. Mentionnons notamment la conférence du prix Nobel Art McDonald, qui a expliqué comment l'Observatoire de neutrinos de Sudbury a résolu le mystère des neutrinos, celle de Victoria Kaspi sur le cadeau cosmique des étoiles à neutrons, ainsi que celle de Neil Turok sur la « simplicité étonnante de tout ».

Les conférences publiques sont accessibles en ligne par l'intermédiaire du site Web de l'Institut, de YouTube, ainsi que par le truchement de partenaires médiatiques tels que *Maclean's*, CBC, *Scientific American*, *The Guardian* et *Motherboard*. Les visionnements en ligne continuent d'augmenter et ont atteint le nombre de 320 000 à ce jour pour la saison 2015-2016.

Direction du partenariat Innovation150

Grâce à ses succès antérieurs dans la production de grands festivals de sciences, l'Institut Périmètre a été choisi par le ministère du Patrimoine canadien pour diriger Innovation150, initiative phare dans le cadre des célébrations du 150^e anniversaire du Canada qui se poursuivront pendant toute l'année 2017.

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a coordonné cette célébration nationale de l'ingéniosité canadienne, avec des partenaires scientifiques nationaux de premier plan : Actua, l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo, l'Association canadienne des centres de sciences, ainsi que la Société des musées de sciences et technologies du Canada. La planification et la réalisation sont en grande partie terminées, et les activités se déploieront pendant tout l'exercice 2016-2017.

Innovation150 fera connaître les innovations canadiennes du passé et cherchera à inspirer la prochaine génération de penseurs créatifs. Voici quels seront les éléments de son programme.

- **Tournée nationale *Le pouvoir des idées*** – Comprenant une exposition immersive avec manipulations et une présentation interactive conçues par l'Institut Périmètre, elle s'arrêtera dans 60 collectivités des 13 provinces et territoires, et touchera plus de 100 000 jeunes.
- Exposé de Neil Turok intitulé ***We Are Innovators*** (Nous sommes des innovateurs) – Cette exploration très visuelle des rôles de la curiosité, de la collaboration, de la créativité et du courage dans l'innovation sera présentée dans des villes choisies du Canada pendant toute l'année 2017.
- **Atelier mobile** – Mis au point par Actua et comprenant des dispositifs de pointe comme des imprimantes 3D, il s'arrêtera surtout dans des collectivités isolées et autochtones pour permettre aux jeunes de faire des expériences et créer leurs propres innovations.
- **Exposition *Quantum*** – Cette exposition itinérante interactive et bilingue, produite par l'IQC et présentée dans des centres de sciences d'un bout à l'autre du pays, fera connaître les merveilles du monde quantique et les nouvelles technologies quantiques qui façonneront notre avenir.
- **Festivals de l'innovation** – Au nombre d'une demi-douzaine environ, ils combineront les composantes itinérantes d'Innovation150 et des activités locales mettant en valeur l'innovation à l'intention de tous.
- **Pôle numérique d'Innovation150** – Mis au point par l'Institut Périmètre et la Société des musées de sciences et technologies du Canada, il permettra d'explorer en ligne des récits d'innovation, d'échanger des idées pour un avenir meilleur et de participer à des concours passionnants.

- **Campagne de sensibilisation du public** – Elle amènera les jeunes, les familles et les collectivités à s'intéresser à Innovation150, grâce à des promotions intégrées, dont des vidéos d'intérêt public diffusées en français et en anglais.

Collaboration artistique et scientifique avec le Festival de Stratford

L'Institut Péricône est constamment à la recherche d'occasions intéressantes d'atteindre de nouveaux publics. En septembre 2015, l'Institut et le Festival de Stratford ont tenu ensemble une activité visant à célébrer les liens entre l'art et la science. Cette activité comprenait la lecture d'extraits de la pièce *Copenhagen* de Michael Frayn, qui évoque une rencontre entre Niels Bohr et Werner Heisenberg, puis une discussion entre Lucien Hardy, professeur à l'Institut Péricône, et Antoni Cimolino, directeur artistique du Festival de Stratford, sur les aspects scientifiques et dramatiques de cette œuvre.

Présence dans les médias

L'Institut Péricône s'efforce de faire du Canada un chef de file mondial de la culture scientifique. C'est pourquoi il fait connaître activement les merveilles et les découvertes de la physique théorique par le truchement de médias importants, traditionnels et en ligne.

En 2015-2016, l'Institut a bénéficié d'une large couverture dans des médias canadiens et étrangers, dont des articles de fond sur la recherche, les membres et les activités de l'Institut, dans des médias tels que *Scientific American*, *The Globe and Mail*, *Wired*, les nouvelles nationales de CTV, *The Guardian*, l'émission *The National* de CBC, *The Economist*, *The Washington Post*, *Maclean's*, et bien d'autres. En voici quelques exemples dignes de mention.

- « General relativity: 100 years old and still full of surprises » (La relativité générale : 100 ans et encore pleine de surprises), par Corey S. Powell, dans *Popular Science* (20 octobre 2015)³⁵
 - Cet article de fond sur l'importance constante de la relativité générale en physique théorique met en vedette Lee Smolin, professeur à l'Institut Péricône.
- « Scientists detect the magnetic field that powers our galaxy's supermassive black hole » (Des scientifiques détectent le champ magnétique qui alimente le trou noir supermassif de notre galaxie), par Rachel Feltman, dans *The Washington Post* (4 décembre 2015)³⁶
 - Avery Broderick, professeur associé à l'Institut Péricône, est cité tout au long de cet article sur la détection par le télescope EHT du champ magnétique qui entoure le trou noir supermassif situé au centre de notre galaxie.

³⁵ <http://www.popsci.com/einsteins-theory-general-relativity-turns-100-and-is-still-full-surprises>

³⁶ <https://www.washingtonpost.com/news/speaking-of-science/wp/2015/12/04/scientists-detect-the-magnetic-field-that-powers-our-galaxys-supermassive-black-hole>

- « The death of general relativity lurks in a black hole's shadow » (La mort de la relativité générale se cache dans l'ombre d'un trou noir), par Lizzie Wade, dans *Wired* (27 janvier 2016)³⁷
 - Cet article présente des recherches récemment publiées par le postdoctorant Tim Johannsen et le professeur associé Avery Broderick, de l'Institut Périmètre, sur la capacité du télescope EHT d'aider les physiciens à mettre à l'épreuve la relativité générale dans un contexte de gravité forte.
- « Gravitational waves: discovery hailed as the breakthrough of the century » (Ondes gravitationnelles : une découverte acclamée comme la percée du siècle), par Tim Radford, dans *The Guardian* (11 février 2016)³⁸
 - Il s'agit d'un article vedette sur l'annonce historique, faite en février 2016 par l'équipe du projet LIGO, de la détection d'ondes gravitationnelles. Neil Turok, directeur de l'Institut Périmètre, y est abondamment cité.
- « "Brilliant" physicist to hold \$8-million research chair at Perimeter Institute » (Une physicienne brillante sera titulaire d'une chaire de recherche dotée de 8 millions de dollars à l'Institut Périmètre), par Ivan Semeniuk, dans *The Globe and Mail* (28 avril 2016)³⁹
 - Cet article porte sur l'annonce de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique de l'Institut Périmètre, dotée de 8 millions de dollars et dont la professeure Asimina Arvanitaki est titulaire.

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, passionnés de sciences et chercheurs. Cette année, les efforts de diffusion des connaissances de l'Institut dans les médias numériques et sociaux ont donné d'excellents résultats.

Slice of PI (Tranche d'IP)

- L'Institut Périmètre s'est mérité le Prix des communications scientifiques dans la société, attribué par l'Association canadienne des rédacteurs scientifiques, pour sa série *Slice of PI* (Tranche d'IP).

La série *Slice of PI* (Tranche d'IP) présente chaque mois un contenu amusant et accessible à un nombre croissant d'abonnés en ligne et d'influenceurs scientifiques. Ce contenu est aussi rediffusé dans les médias sociaux. Cette année, la série a valu à l'Institut Périmètre le Prix des communications

³⁷ <https://www.wired.com/2016/01/the-death-of-general-relativity-lurks-in-a-black-holes-shadow>

³⁸ <https://www.theguardian.com/science/2016/feb/11/gravitational-waves-discovery-hailed-as-breakthrough-of-the-century>

³⁹ <http://www.theglobeandmail.com/news/national/brilliant-physicist-to-hold-8-million-research-chair-at-perimeter-institute/article29795467>

scientifiques dans la société, attribué par l'Association canadienne des rédacteurs scientifiques, et est demeurée très populaire. Mentionnons notamment *The Ultimate Science Playlist* (La liste ultime de jeux scientifiques), avec 13 283 consultations, et *Gravitational Waves 101* (Ondes gravitationnelles 101, avec 11 753 consultations et 40 322 visionnements de la vidéo).

Facebook, Twitter et YouTube

- L'Institut Périmètre a cumulé plus de 1,3 million de visionnements dans YouTube.

En 2015-2016, l'Institut a continué d'accroître sa présence dans les médias sociaux en diffusant un contenu intéressant et de qualité. Le compte YouTube de l'Institut a connu la plus forte augmentation, avec 14 578 nouveaux abonnés (pour un total de 23 447), soit une hausse de 160 %. Au cours de la dernière année, les vidéos de l'Institut Périmètre ont cumulé plus de 1,3 million de visionnements dans YouTube, soit davantage qu'au cours de toutes les années précédentes réunies⁴⁰. La page Facebook de l'Institut a gagné environ 8 000 nouveaux amis (pour un total de 21 751), soit une hausse de 58 %, alors que son compte Twitter a attiré 4 275 nouveaux abonnés (pour un total de 15 083), soit une hausse de 40 %.

⁴⁰ Parmi les vidéos particulièrement populaires, mentionnons la conférence publique de Neil Turok (213 338 visionnements), le forum de l'Institut Périmètre sur les ondes gravitationnelles (44 385 visionnements) et l'explication donnée par le premier ministre canadien Justin Trudeau sur l'informatique quantique (443 928 visionnements).

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

- Promotion des initiatives Emmy-Noether, ensemble de programmes qui visent à attirer des femmes en physique et à leur fournir le soutien approprié pour qu'elles réussissent
- Mise sur pied d'un comité ADVANCE pour promouvoir l'équilibre des sexes et la diversité
- Soutien à la visualisation des données liées aux initiatives de réseau de tenseur et du télescope EHT
- Création d'une nouvelle collection d'ouvrages de référence pour le programme de maîtrise PSI

Points saillants

Initiatives Emmy-Noether

Les femmes sont traditionnellement sous-représentées en physique, en particulier dans les postes de haut niveau. Reconnaissant que les problèmes les plus difficiles du monde ne seront pas résolus sans la participation des esprits les plus brillants de la moitié de l'humanité, l'Institut Périclès cherche à devenir un chef de file mondial de la lutte contre ce déséquilibre traditionnel des sexes.

Les initiatives Emmy-Noether de l'Institut sont un ensemble de programmes visant à augmenter de manière significative le nombre de femmes qui entreprennent une carrière en physique et qui réussissent dans ce domaine. Portant le nom d'une mathématicienne du XX^e siècle qui a surmonté de nombreux obstacles pour faire des contributions cruciales en mathématiques et en physique modernes, les initiatives Emmy-Noether ciblent les femmes, de l'école secondaire jusqu'aux postes de niveau supérieur, avec le soutien du Cercle Emmy-Noether, groupe de bailleurs de fonds et de défenseurs des femmes en sciences. Le Conseil Emmy-Noether fournit l'expertise stratégique qui aide à orienter et à promouvoir cette mission (voir l'objectif n° 10).

Voici quelques points saillants des initiatives Emmy-Noether en 2015-2016 :

- l'Institut Périclès a organisé la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques), qui a réuni plus de 200 jeunes filles du secondaire pour les renseigner sur les carrières en sciences, technologie, génie et mathématiques (voir l'objectif n° 8);
- l'Institut Périclès a mis sur pied un comité ADVANCE pour promouvoir l'équilibre des sexes et la diversité dans le recrutement, la rétention, la direction et le climat d'ensemble au sein de l'Institut;

- L'Institut a accueilli 5 scientifiques en début de carrière à titre de boursières Emmy-Noether et en a recruté 7 autres pour 2016-2017 (voir l'objectif n° 4).

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

L'Institut Périmètre revoit constamment son infrastructure physique et ses systèmes de TI, afin qu'ils soient à la fine pointe du progrès et qu'ils aident les chercheurs à avoir une productivité maximale. Pour rester à jour et le plus efficace possible sur le plan administratif, l'Institut a mis à niveau ses systèmes de comptabilité, poursuivi la migration de services dans le nuage informatique, redessiné son réseau étendu, mis à niveau ses équipements de réseau et installé un nouveau système de commerce électronique pour mieux gérer la vente et la livraison de produits éducatifs.

Technologie de la recherche

- Des experts en informatique scientifique ont contribué à de nombreux projets de recherche, notamment les initiatives des réseaux de tenseurs et du télescope EHT.
- L'Institut Périmètre a choisi un nouveau système de gestion des activités scientifiques et a commencé à le mettre en place.

Le Groupe de technologie de la recherche de l'Institut Périmètre comprend 2 physiciens qui ont pour mandat de fournir aux chercheurs de l'Institut des outils spécialisés d'informatique scientifique. En 2015-2016, ce groupe a travaillé avec des scientifiques de l'Institut pour soutenir la visualisation des données liées à des projets majeurs, dont l'initiative des réseaux de tenseurs, celle du télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – télescope horizon des événements) et le projet yt, initiative de science ouverte en astrophysique. Il a aussi inauguré un cours sur le langage de programmation Julia. Ce cours offert aux chercheurs vise à répondre aux besoins en matière de calcul et d'informatique scientifique à haute performance. Le personnel du Groupe de technologie de la recherche a fait des exposés à l'Institut et ailleurs, et a participé à l'organisation de la Journée de la recherche 2015 de Calcul Ontario, tenue au collège Conestoga.

Expansion des collections de la bibliothèque

Une bibliothèque interne est essentielle pour la communauté des chercheurs et étudiants de l'Institut Périmètre. En 2015-2016, l'Institut a poursuivi l'expansion de ses collections, conformément à un plan pluriannuel visant à fournir aux chercheurs résidents et invités des ressources de recherche complètes. La bibliothèque a ajouté 87 ouvrages à sa collection principale. Il a aussi créé pour le programme de maîtrise PSI une nouvelle collection d'ouvrages de référence comprenant 215 manuels. Le personnel de la bibliothèque a produit 3 vidéos didactiques sur les processus de la bibliothèque. La bibliothèque compte maintenant 5 582 livres (4 287 titres distincts) et 5 900 éléments tous formats confondus.

Canada 150

Avec la Société des musées de sciences et technologies du Canada, l'Institut Périmètre a terminé la planification et la conception technique du pôle numérique d'Innovation150. Pendant l'année écoulée, les processus de sélection pour la conception, la réalisation et l'hébergement du site Web ainsi que pour la gestion des relations avec la clientèle ont été complétés, de même que la définition des exigences fonctionnelles du site, puis la réalisation du site a été entreprise.

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

Résumé des réalisations

- Obtention d’un financement de 50 millions de dollars (sur 5 ans) du gouvernement du Canada et d’un financement identique de la Province de l’Ontario
- Conclusions très positives d’un audit indépendant, portant sur une période de 5 ans, effectué par KPMG
- Conclusions très positives d’un examen indépendant, portant sur une période de 4 ans, effectué par le comité consultatif scientifique de l’Institut
- Consolidation d’un partenariat de 11 millions de dollars avec le ministère du Patrimoine canadien, pour diriger le volet innovation des célébrations de Canada 150, avec la participation de 4 organismes scientifiques partenaires
- Obtention de 6,65 millions de dollars de fonds du secteur privé
- Nouvelles promesses de financement totalisant 5,06 millions de dollars, notamment de la part de la Fondation Stavros-Niarchos, de la Fondation de la famille Daniel et de Cenovus Energy, pour le soutien de chaires de recherche de l’Institut Périmètre

Points saillants

Partenaires publics

L’Institut Périmètre 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. Les partenaires publics de l’Institut Périmètre comprennent que des investissements stratégiques continus en physique théorique fondamentale mettent le Canada et l’Ontario sur la voie du succès dans un domaine extrêmement rentable, qui a démontré son excellente capacité d’attirer des talents, de faire avancer le savoir humain et d’engendrer l’innovation.

En 2015-2016, l’Institut Périmètre a accueilli avec satisfaction le renouvellement du financement accordé par le gouvernement du Canada et la Province de l’Ontario. De plus, des examens et audits indépendants ont continué de démontrer que les investissements consentis dans l’Institut Périmètre donnent un excellent rendement.

Renouvellement du financement accordé par les gouvernements du Canada et de l’Ontario

Le soutien constant du secteur public a joué jusqu’à ce jour un rôle crucial dans les succès de l’Institut, et les gouvernements du Canada et de l’Ontario peuvent à juste titre s’attribuer le crédit d’une bonne

part des réalisations considérables de l'Institut Périmètre. L'exercice 2015-2016 a marqué la 4^e année d'ententes de financement de 50 millions de dollars chacune avec les gouvernements fédéral et provincial, qui expireront à la fin de l'exercice 2016-2017.

Reconnaissant que l'Institut Périmètre constitue un actif stratégique pour le Canada et l'Ontario, dans leurs budgets présentés respectivement en février et en mars, la Province de l'Ontario et le gouvernement du Canada ont chacun annoncé un financement supplémentaire de 50 millions de dollars sur 5 ans à compter de 2017-2018. Dans les mois qui ont suivi, l'Institut a reçu la visite des premiers ministres Justin Trudeau et Kathleen Wynne pour célébrer le renouvellement de ces investissements et la vision de l'avenir qu'ils représentent. Les deux chefs de gouvernement, des ministres importants et des membres de leur personnel ont eu l'occasion de visiter l'Institut Périmètre et de rencontrer des étudiants, des chercheurs et des cadres supérieurs de l'Institut pour discuter du travail qui y est accompli.

En renouvelant leur appui, les partenaires publics de l'Institut Périmètre reconnaissent et renforcent la position de l'Institut comme chef de file de la communauté scientifique internationale à une époque charnière de la physique fondamentale, où des découvertes majeures sont probables. Ces investissements rentables et à fort impact jouent un rôle vital pour conforter le partenariat public-privé exemplaire de l'Institut et soutenir le premier maillon de l'écosystème de recherche et d'innovation, connu sous le nom de *Quantum Valley*, qui a été mis sur pied dans la région de Waterloo.

Conformément aux objectifs fixés, l'Institut Périmètre continue de gérer de manière responsable toutes les sommes investies par le secteur public, en suivant des pratiques exemplaires en matière de gestion financière et en satisfaisant aux exigences de reddition de comptes aux gouvernements.

Autres points saillants

En plus de conclure les accords de financement ci-dessus, l'Institut Périmètre a continué de collaborer avec ses partenaires publics afin de conforter la place du Canada à l'avant-garde de la science et de la physique théorique. Voici les points saillants de ces activités :

- séances d'information pour des dirigeants clés de ministères et d'agences des divers paliers de gouvernement – dont le Bureau du premier ministre et le Bureau du Conseil privé – et pour plusieurs ministres concernés (Navdeep Bains, ministre de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique; Kirsty Duncan, ministre des Sciences; Bardish Chagger, députée fédérale de Waterloo, ministre de la Petite entreprise et du Tourisme; etc.);
- conclusion d'une entente de partenariat avec le ministère du Patrimoine canadien pour diriger Innovation150, initiative liée aux célébrations du 150^e anniversaire au Canada (voir l'objectif n° 8);
- accueil en novembre 2015 de Liz Sandals, ministre de l'Éducation de l'Ontario, pour souligner l'obtention d'une subvention de 2,95 millions sur 4 ans appuyant la diffusion de ressources pédagogiques de l'Institut auprès d'un plus grand nombre d'enseignants et d'élèves partout en Ontario, en particulier dans les collectivités isolées (voir l'objectif n° 8);

- désignation de l'Institut comme « partenaire parrain » des prix annuels du Gouverneur général pour l'innovation;
- participation à des discussions sur des questions d'intérêt national – p. ex. science et technologie, jeunesse, égalité, développement international, etc. – avec des partenaires d'Innovation, Sciences, et Développement économique (ISDE), d'Affaires mondiales Canada (AMC), du Conseil des sciences, de la technologie et de l'innovation Council (CSTI), de la Conférence sur les politiques scientifiques canadiennes (CPSC), du Forum des politiques publiques (FPP), de Communittech et d'autres organismes.

Examens indépendants louangeurs pour l'Institut Périmètre

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a continué de démontrer à ses partenaires que leurs investissements rapportent des dividendes, avec les conclusions positives d'examens indépendants effectués par des pairs scientifiques et par des auditeurs professionnels.

Examen du comité consultatif scientifique

En octobre 2015, le comité consultatif scientifique de l'Institut Périmètre a procédé à un examen scientifique de l'Institut, évaluant ses réalisations des 4 années précédentes et ses perspectives d'avenir. Composé d'éminents scientifiques de renommée mondiale, le comité consultatif scientifique 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 (voir l'annexe F, *Membres du comité consultatif scientifique*). Les conclusions de cet examen ont été extrêmement positives et constituent une excellente validation de la qualité et de l'efficacité de l'action de l'Institut :

*L'Institut Périmètre est un endroit extraordinaire qui a une histoire extraordinaire : le projet visionnaire d'un petit groupe de personnes est devenu en à peine 15 ans un chef de file mondial de la physique théorique. Il est aussi devenu un modèle de partenariat public-privé pour le financement de la recherche, un pôle de la formation d'enseignants, ainsi qu'un ardent promoteur de la valeur et des bénéfices à long terme de la science fondamentale, au Canada et ailleurs dans le monde. Les recherches effectuées à l'Institut ont des répercussions importantes à l'échelle de la planète, et la qualité exceptionnelle de ses professeurs est reconnue par de nombreux prix internationaux importants et autres distinctions. Les programmes de conférences et de scientifiques invités de l'Institut Périmètre attirent nombre d'excellents scientifiques du monde entier. Des centaines de jeunes soumettent chaque année leur candidature au programme de maîtrise PSI et aux postes de postdoctorant à l'Institut. Sur le plan organisationnel, l'Institut Périmètre peut compter, pour accomplir sa mission, sur une administration dévouée et efficace, de même que sur un programme de diffusion des connaissances sans égal. Qu'une institution de recherche fondamentale soit parvenue à accomplir tout cela en si peu de temps constitue une réussite formidable et un exemple pour le reste du monde. **Il est difficile d'imaginer un institut de recherche de cette portée et de***

cette ampleur ayant autant de visibilité et d'impact par dollar investi que l'Institut Périmètre⁴¹.

Audit de KPMG

Dans le cadre de la reddition de comptes continue de l'Institut Périmètre au ministère canadien de l'Innovation, des Sciences et du Développement économique, KPMG a mené un audit des activités de recherche, de formation et de diffusion des connaissances de l'Institut sur une période de 5 ans. KPMG a évalué les données sur le rendement, mené des discussions avec d'éminents physiciens, et examiné les commentaires de chercheurs, étudiants, institutions partenaires, donateurs et bénéficiaires des activités de diffusion des connaissances. Les conclusions de cet audit ont été extraordinairement positives, félicitant l'Institut pour son efficacité et son rapport coûts-avantages :

*L'Institut Périmètre remplit son mandat et accomplit sa mission avec beaucoup de succès. Il jouit d'une très bonne réputation auprès de tous les groupes de répondants et a un impact important sur la science et la société. Dans bien des domaines, les résultats de cet examen sont meilleurs que ceux de l'évaluation effectuée en 2011. L'Institut Périmètre a réussi à positionner le Canada comme un chef de file mondial de la recherche en physique théorique, et son influence sur la réputation du Canada en physique théorique fondamentale est sensiblement plus grande qu'il y a seulement cinq ans... L'Institut Périmètre vient spontanément à l'esprit des chercheurs étrangers lorsqu'ils pensent à la physique théorique fondamentale au Canada*⁴².

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 d'être à long terme un chef de file mondial de la recherche, de la formation et de la diffusion des connaissances en physique théorique. Les efforts de développement de l'Institut Périmètre sont largement centrés sur des philanthropes, des entreprises et des fondations dont la mission rejoint celle de l'Institut – qu'ils aient le même esprit d'innovation et de découverte, qu'ils croient au pouvoir transformateur de la physique, ou qu'ils croient en la capacité du Canada d'être un chef de file mondiale de la recherche fondamentale.

En 2015-2016, conformément aux objectifs fixés, l'Institut a augmenté le nombre de ses donateurs privés partout en Ontario, dans toutes les régions du Canada et ailleurs dans le monde, comme en témoignent les paragraphes qui suivent.

⁴¹ Traduit de COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT PÉRIMÈTRE, *Scientific Review of the Perimeter Institute for Theoretical Physics 2015*, 13 janvier 2016.

⁴² Traduit de KPMG, *The Perimeter Institute for Theoretical Physics: Final Evaluation Report*, 7 juin 2016.

Financement des chaires de recherche de l'Institut Périmètre

Le programme de chaires de recherche de l'Institut Périmètre est une composante clé de la stratégie de l'Institut pour réaliser des percées scientifiques importantes (voir l'objectif n° 2). Ces chaires sont soutenues par des dons majeurs allant jusqu'à 4 millions de dollars. Ces investissements sont cruciaux pour attirer et conserver des chercheurs de tout premier calibre agissant comme points d'ancrage pour la communauté scientifique de l'Institut.

En avril 2016, l'Institut Périmètre a annoncé la nomination d'**Asimina Arvanitaki** comme **titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique**. Cette chaire a été créée grâce à un financement de 4 millions de dollars de la Fondation Stavros-Niarchos, l'une des plus grandes organisations philanthropiques au monde. Ces fonds appuieront le programme de recherche de Mme Arvanitaki et favoriseront les liens entre l'Institut Périmètre et la Grèce sur les plans de la recherche et de la formation. La nomination de Mme Arvanitaki à ce poste prestigieux témoigne de l'engagement de l'Institut à attirer et à conserver des femmes aux niveaux les plus élevés dans le domaine.

Également en 2015-2016, l'Institut Périmètre a obtenu des investissements de 300 000 \$ chacun (sur une période de 3 ans à compter de 2015-2016) de la Fondation de la famille Daniel et de Cenovus Energy. Ces fonds appuieront la **chaire Famille-Daniel-Richard-P.-Feynman de physique théorique (pour un chercheur invité)**, dont le titulaire est le réputé cosmologiste **Paul Steinhardt**, et la **chaire Cenovus-Energy-James-Clerk-Maxwell de physique théorique (pour un chercheur invité)**, dont le titulaire est **Subir Sachdev**, pionnier de la physique de la matière condensée. L'Institut Périmètre a jusqu'à maintenant mis sur pied et financé 9 chaires de recherche depuis la création de ce programme il y a tout juste 5 ans.

Initiatives et cercle de financement Emmy-Noether

Les initiatives Emmy-Noether de l'Institut Périmètre visent à soutenir les femmes en sciences à tous les stades de leur carrière (voir l'objectif n° 9). Elles sont appuyées par le Cercle Emmy-Noether, groupe de bailleurs de fonds et de défenseurs des femmes en sciences. Le Conseil Emmy-Noether fournit l'expertise stratégique qui aide à orienter et à promouvoir cette mission.

Les diverses initiatives Emmy-Noether ont continué d'occuper une place stratégique importante en 2015-2016. Voici les points saillants de ces activités :

- le programme de boursières invitées Emmy-Noether, qui a permis d'accueillir à l'Institut Périmètre 5 chercheuses en début de carrière et d'en recruter 7 autres pour 2016-2017 (voir l'objectif n° 4);
- la conférence *Inspiring Future Women in Science* (Inspirer les futures scientifiques), qui a réuni plus de 200 jeunes filles du secondaire pour les renseigner sur les carrières en sciences, technologie, génie et mathématiques (voir l'objectif n° 8).

Autres activités

Au-delà des chaires de recherche de l'Institut Périmètre et des initiatives Emmy-Noether, l'Institut continue de solliciter des dons pour ses programmes renommés de recherche, de formation et de diffusions des connaissances. Voici les points saillants des activités de collecte de fonds de l'Institut pendant l'année écoulée.

- L'Institut Périmètre a retenu les services de KCI pour la planification d'une campagne de financement de 100 millions de dollars, dont un objectif de 25 millions de dollars pour la première phase. La stratégie retenue vise notamment à bonifier le Conseil d'orientation de l'Institut, à susciter un apport continu de dons majeurs, à renforcer le programme de gestion des dons et à approfondir la culture de la philanthropie au sein de l'Institut.
- L'Institut a mené une étude sur sa stratégie de collecte de fonds aux États-Unis. L'étude a conclu sur une recommandation de donner en 2017 un statut public à la Fondation privée *Friends of PI* (Amis de l'IP). Entre autres avantages, cela permettra à l'Institut Périmètre d'accepter des dons de fonds de dotation nommés, qui connaissent une croissance phénoménale aux États-Unis.
- Le conseil d'orientation de l'Institut Périmètre, formé d'éminents bénévoles qui agissent comme ambassadeurs de l'Institut dans les milieux d'affaires et de la philanthropie, a accueilli 4 nouveaux membres : Donald Campbell, conseiller stratégique principal au sein du cabinet juridique DLA Piper; Harbir Chhina, vice-président directeur, Développement des sables bitumineux, de Cenovus Energy; Brad Marsland, vice-président de Marsland Centre Limited; Alfredo Tan, directeur de groupe, Solutions globales de mise en marché, Facebook Canada.
- Pendant l'année écoulée, l'Institut Périmètre a tenu plusieurs activités couronnées de succès, dont des conférences et rencontres prestigieuses à l'Institut, ailleurs au Canada et à l'étranger⁴³. Ces activités ont contribué à faire connaître l'Institut auprès de ses bailleurs de fonds et à en recruter davantage. L'Institut compte maintenant sur un réseau de donateurs potentiels dans un certain nombre de grandes villes canadiennes – où des activités liées à Innovation150 se dérouleront durant la prochaine année –, de même qu'à New York et dans la *Silicon Valley*.

⁴³ Mentionnons les activités suivantes : visite guidée de l'Institut Périmètre, à l'intention de donateurs potentiels venus de Toronto, animée par Michael Serbinis, membre du conseil d'administration de l'Institut (novembre 2015); dîner de gala à Calgary, en l'honneur d'Art McDonald, lauréat du prix Nobel de physique 2015, organisé par Joanne Cuthbertson, Charlie Fischer et Clay Riddell, donateurs de l'Institut Périmètre (mars 2016); annonce officielle de l'investissement de 4 millions de dollars consenti par la Fondation Stavros-Niarchos pour soutenir la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique, dont Asimina Arvanitaki est titulaire (avril 2016).

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 2016

Zeifmans



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 2016, 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 2016. Nous avons exprimé une opinion sans réserve sur ces états financiers dans notre rapport daté du 2 décembre 2016. 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 2016 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 2 décembre 2016

Comptables agréés
Experts-comptables autorisés

INSTITUT PÉRIMÈTRE

État résumé de la situation financière
au 31 juillet 2016

(en milliers de dollars)

	2016	2015
ACTIF		
Actif à court terme :		
Trésorerie et équivalents	7 127 \$	9 230 \$
Investissements	306 393	302 796
Subventions à recevoir	4 170	4 671
Autre actif à court terme	<u>1 807</u>	<u>706</u>
	319 417	317 403
Immobilisations	<u>44 607</u>	<u>46 412</u>
TOTAL DE L'ACTIF	<u>364 104 \$</u>	<u>363 815 \$</u>
PASSIF ET SOLDE DES FONDS		
Passif à court terme :		
Comptes créditeurs et autre passif à court terme	<u>1 315 \$</u>	<u>1 095 \$</u>
TOTAL DU PASSIF	<u>1 315</u>	<u>1 095</u>
Solde des fonds :		
Investis dans les immobilisations	44 576	46 399
Grevés d'affectations d'origine externe	123 050	117 866
Grevés d'affectations d'origine interne	188 840	188 840
Non grevés	<u>6 323</u>	<u>9 615</u>
SOLDE TOTAL DES FONDS	<u>362 789</u>	<u>362 720</u>
	<u>364 104 \$</u>	<u>363 815 \$</u>

INSTITUT PÉRIMÈTRE

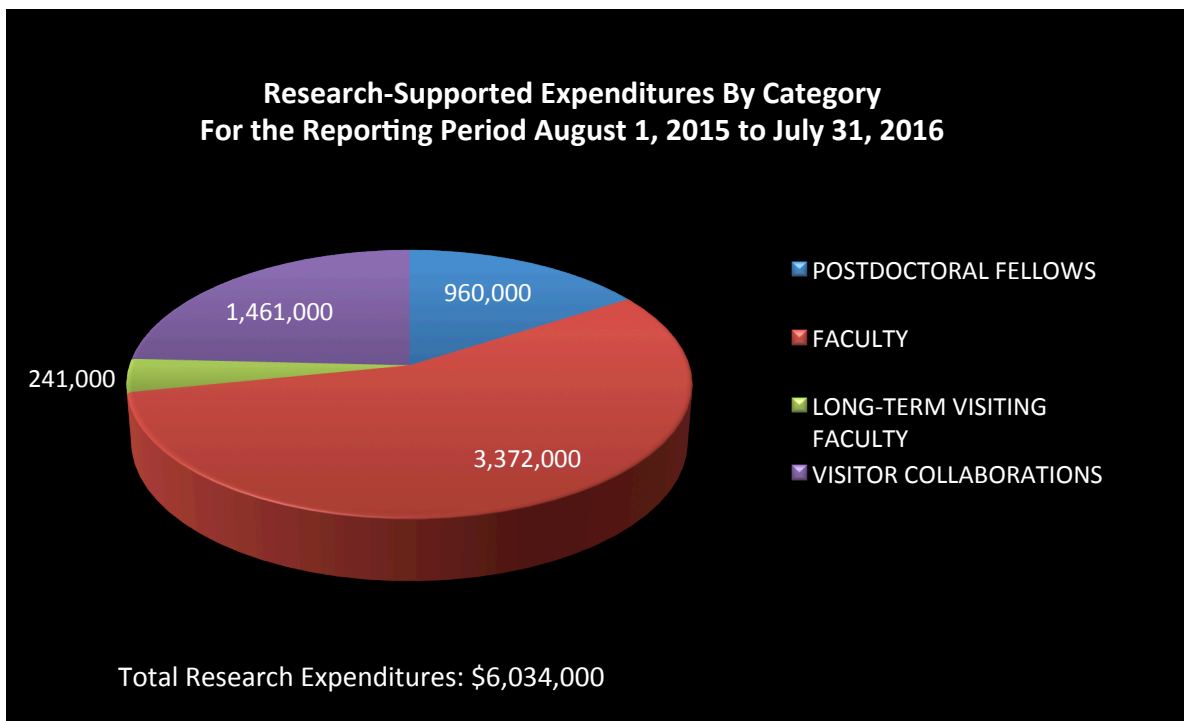
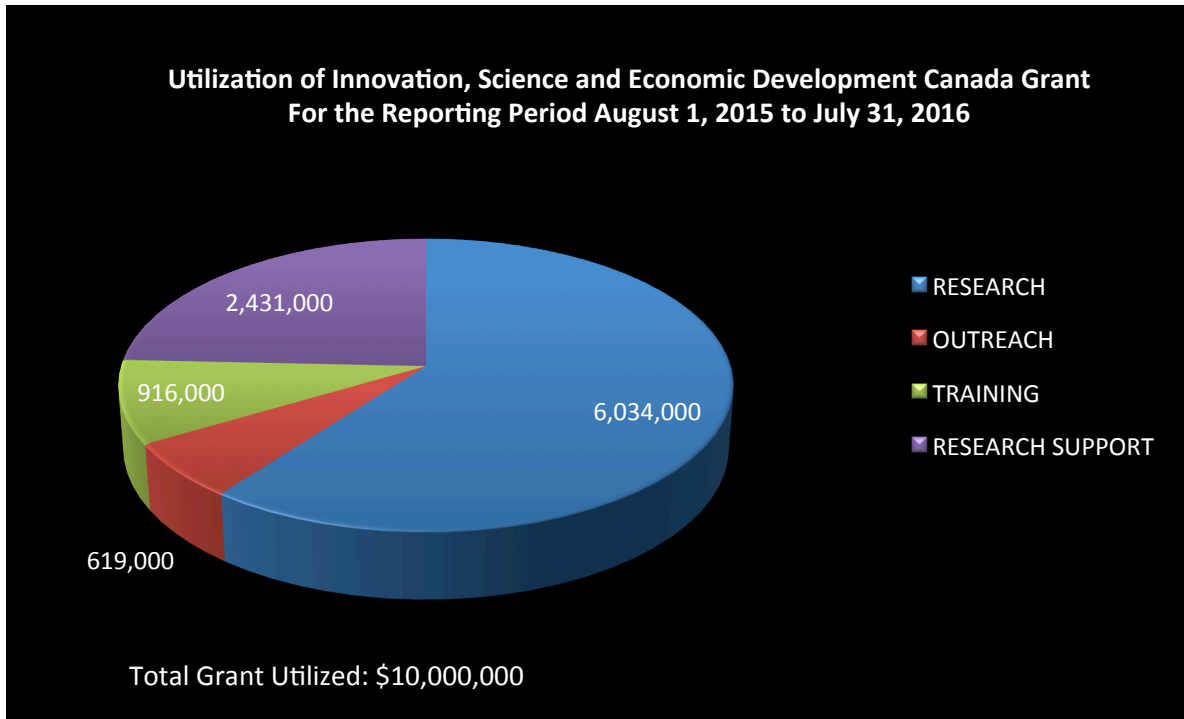
État résumé des résultats et du solde des fonds
pour l'exercice terminé le 31 juillet 2016

(en milliers de dollars)

	2016	2015
Produits		
Subventions gouvernementales	22 794 \$	21 548 \$
Autres produits	1 855	3 073
Dons	<u>6 479</u>	<u>2 691</u>
	<u>31 128</u>	<u>27 312</u>
Charges		
Recherche	15 403	14 635
Formation à la recherche	2 145	1 799
Diffusion des connaissances et communications scientifiques	4 203	2 694
Charges indirectes de recherche et de fonctionnement	<u>6 617</u>	<u>6 313</u>
	<u>28 368</u>	<u>25 441</u>
Excédent des produits par rapport aux charges avant amortissement, gain sur la disposition d'immobilisations et produits (perte) de placement	2 760	1 871
Amortissement	(2 581)	(2 941)
Gain sur la disposition d'immobilisations	—	111
Produits (perte) de placement	<u>(110)</u>	<u>29 134</u>
Excédent des produits par rapport aux charges	69	28 175
Solde des fonds au début de l'exercice	<u>362 720</u>	<u>334 545</u>
Solde des fonds à la fin de l'exercice	<u>362 789 \$</u>	<u>362 720 \$</u>

The logo for Zeifmans, featuring the name in a bold, sans-serif font. The letter 'i' is stylized with a vertical bar through it, and the 'f' has a small yellow square above its top bar.

Utilisation de la subvention d’Innovation, Sciences et Développement économique Canada



Stratégie d'évaluation du rendement

Rendement scientifique

L'Institut Péricimètre 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

- Rapports annuels d'activité de recherche remis pour évaluation au directeur de l'Institut par tous les professeurs et professeurs associés
- Examen annuel du rendement de tout le personnel
- 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

- 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 F)
- Examen par le comité consultatif scientifique de toutes les embauches et promotions des membres du corps professoral
- Évaluation des publications par des pairs
- Audit annuel des états financiers par un auditeur indépendant
- Autres 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 Périmètre 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 Périmètre 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 Périmètre 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 E, *Membres du conseil d'administration*).

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 de l'Institut est un scientifique éminent chargé d'établir et de mettre en œuvre l'orientation stratégique globale de l'Institut. Le directeur administratif et chef de l'exploitation est responsable du fonctionnement quotidien de l'établissement et relève du directeur. Il est soutenu dans sa tâche par une équipe de cadres administratifs. Les chercheurs résidents jouent un rôle actif dans la gestion opérationnelle des activités, en participant à différents comités chargés des programmes scientifiques. Les présidents de comité relèvent du président et du vice-président du corps professoral, qui assistent le directeur de l'Institut sur des questions telles que le recrutement, l'octroi de la permanence et la révision des programmes.

Le comité consultatif scientifique, composé d'éminents scientifiques de renommée mondiale (voir l'annexe F, *Membres du comité consultatif scientifique*), offre un contrôle et des conseils indépendants pour aider à faire en sorte que les activités de l'Institut Périmètre répondent à des critères élevés d'excellence scientifique. Ses membres participent à des examens attentifs des programmes de recherche scientifique, de formation et de diffusion des connaissances de l'Institut, après quoi son président rédige un rapport adressé au conseil d'administration et au directeur.

Objectifs pour 2016-2017

Énoncé des objectifs pour 2016-2017

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.

Après un examen approfondi, et en tenant compte des années de croissance qu'il a connues, l'Institut Périmètre a établi un ensemble d'objectifs légèrement modifié pour orienter la poursuite de son développement. La mission essentielle de l'Institut continuera de guider toutes les facettes de ses efforts de recherche, de formation et de diffusion des connaissances.

Objectif n° 1 : Réaliser des percées dans notre compréhension de l'univers.

Objectif n° 2 : Créer la communauté la plus solide au monde de chercheurs en physique théorique.

Objectif n° 3 : Attirer et former la prochaine génération de brillants chercheurs.

Objectif n° 4 : Attirer des scientifiques invités exceptionnels.

Objectif n° 5 : Constituer le pôle canadien de la recherche en physique fondamentale.

Objectif n° 6 : Catalyser et appuyer la création de centres d'excellence.

Objectif n° 7 : Faire connaître le pouvoir transformateur de la physique théorique.

Objectif n° 8 : Continuer de renforcer le partenariat public-privé visionnaire qui sous-tend l'Institut Périmètre.

Annexes

Remarque : Le contenu des annexes correspond à la situation de l'Institut Périmètre au 31 juillet 2016.

Annexe A : Corps professoral

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, où il est également titulaire de la chaire Mike-et-Ophelia-Lazaridis-Niels-Bohr de physique théorique. Les recherches de M. Turok mettent l'accent sur l'élaboration de théories fondamentales en cosmologie et de nouveaux tests d'observation. Ses prédictions concernant les corrélations entre la polarisation et la température du rayonnement fossile (ou fonds diffus cosmologique) et du rayonnement de fond produit par l'énergie sombre ont été récemment confirmées. Avec Stephen Hawking, Neil Turok a découvert les solutions instanton qui décrivent la naissance d'univers inflationnaires. Ses travaux sur l'inflation ouverte constituent le fondement du modèle de multivers, qui fait actuellement l'objet de nombreuses discussions. Avec Paul Steinhardt, il a élaboré un nouveau modèle cosmologique cyclique, dont les prédictions concordent jusqu'à maintenant avec tous les tests d'observation. M. Turok a reçu de nombreuses distinctions, dont des bourses Sloan et Packard, de même que la médaille James-Clerk-Maxwell de l'Institut de physique du Royaume-Uni. Il est membre du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées, membre élu de la Société royale du Canada et membre principal du Collège Massey de l'Université de Toronto. En 2012, il a prononcé les conférences Massey. Ces conférences ont été également publiées dans le livre *The Universe Within* (traduit en français sous le titre *L'univers vu de l'intérieur*), bestseller qui a valu à son auteur le prix Lane-Anderson 2013, prix de vulgarisation scientifique le plus important au Canada. Né en Afrique du Sud, M. Turok a fondé l'Institut africain des sciences mathématiques (AIMS) dans la ville du Cap en 2003. L'AIMS est depuis devenu un réseau de 6 centres – situés en Afrique du Sud, au Sénégal, au Ghana, au Cameroun, en Tanzanie et au Rwanda – qui est maintenant l'institution de formation supérieure en sciences mathématiques la plus renommée de l'Afrique. Pour ses découvertes scientifiques et son œuvre de fondation et de développement de l'AIMS, Neil Turok s'est vu décerner un prix TED en 2008. Il a également reçu des prix du Sommet mondial sur l'innovation et l'esprit d'entreprise, du Sommet mondial de l'innovation en éducation, ainsi que le prix John-Torrence-Tate de l'Institut américain de physique pour son action déterminante en physique à l'échelle internationale.

Dmitry Abanin (Ph.D., Institut de technologie du Massachusetts, 2008) s'est joint à l'Institut Périmètre en 2012, après avoir été postdoctorant à l'Université Harvard et au Centre de sciences théoriques de Princeton. M. Abanin est un jeune théoricien de premier plan dans le domaine de la matière condensée. Ses recherches portent principalement sur l'élaboration d'une compréhension théorique des matériaux de Dirac, en mettant l'accent sur le transport quantique de charge et de spin, et sur la recherche de

nouvelles manières de contrôler leurs propriétés électroniques. Certains de ses résultats théoriques ont été confirmés par des groupes d'expérimentateurs des universités Harvard et Columbia, de l'Université de Manchester, de l'Université de la Californie à Riverside, de l'Institut Max-Planck, ainsi que d'autres établissements. Dmitry Abanin a reçu une bourse de recherche Sloan en 2014.

Asimina Arvanitaki (Ph.D., Université Stanford, 2008) est titulaire de la chaire Fondation-Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique de l'Institut Périmètre, où elle est professeure depuis 2014. Elle a été auparavant chercheuse au Laboratoire national Lawrence-Berkeley de l'Université de la Californie à Berkeley (2008-2011) et à l'Institut de physique théorique de l'Université Stanford (2011-2014). Mme Arvanitaki est physicienne des particules et se spécialise dans la conception de nouvelles expériences pour mettre à l'épreuve des théories fondamentales au-delà du modèle standard. Ces expériences font appel aux développements les plus récents en métrologie, dont les horloges atomiques, ainsi qu'au piégeage et au refroidissement optiques d'objets macroscopiques. Elle a récemment inventé une expérience qui permet de rechercher dans la nature de nouvelles forces dépendant du spin, avec une précision sans précédent. Asimina Arvanitaki travaille également sur les défis théoriques soulevés par des résultats expérimentaux, par exemple sur un modèle de physique des particules influencé par une théorie des cordes dite de « supersymétrie (SUSY) avec scalaires découplés ». En 2016, elle a obtenu une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario.

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

Freddy Cachazo (Ph.D., Université Harvard, 2002) est titulaire de la chaire Gluskin-Sheff-Freeman-Dyson de physique théorique de l'Institut Périmètre, où il est professeur depuis 2005. De 2002 à 2005, il a été membre de l'École de sciences naturelles de l'Institut d'études avancées de Princeton. M. Cachazo est l'un des plus grands experts mondiaux de l'étude et du calcul des amplitudes de diffusion dans les théories de jauge telles que les théories de Yang-Mills supersymétriques $N=4$, ainsi que de la théorie de la gravitation d'Einstein. Il a reçu de nombreuses distinctions, dont la médaille Gribov de la Société

européenne de physique (2009), la médaille commémorative Rutherford de physique de la Société royale du Canada (2011), la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (2012), un prix *Nouveaux horizons en physique* de la Fondation des Prix de physique fondamentale (2014), ainsi que le prix de physique théorique et mathématique remis par l'Association canadienne des physiciens et physiciennes et le Centre de recherches mathématiques (2016).

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

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

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

Davide Gaiotto (Ph.D., Université de Princeton, 2004) est professeur à l'Institut Périmètre depuis 2012 et titulaire de la chaire Fondation-Krembil-Galilée de physique théorique. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université Harvard de 2004 à 2007, puis membre à long terme de l'Institut d'études avancées de Princeton de 2007 à 2012. M. Gaiotto travaille dans le domaine des champs quantiques à

couplage fort et a réalisé plusieurs percées conceptuelles importantes. Il a obtenu la médaille Gribov de la Société européenne de physique (2011) et un prix *Nouveaux horizons en physique* de la Fondation des Prix de physique fondamentale (2013).

Jaume Gomis (Ph.D., Université Rutgers, 1999) est devenu professeur à l'Institut Périmètre en 2004, renonçant du même coup à une bourse de jeune chercheur européen qui lui avait été attribuée par la Fondation européenne de la science. Auparavant, il a travaillé à l'Institut de technologie de la Californie à titre de postdoctorant et de boursier principal Sherman-Fairchild. Ses domaines privilégiés de recherche sont la théorie des cordes et la théorie quantique des champs. En 2009, M. Gomis a obtenu une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario, pour un projet visant à mettre au point de nouvelles techniques de description des phénomènes quantiques en physique nucléaire et corpusculaire.

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

Lucien Hardy (Ph.D., Université de Durham, 1992) est devenu professeur à l'Institut Périmètre en 2002, après avoir occupé des postes de chercheur et d'enseignant dans diverses universités européennes, dont l'Université d'Oxford, l'Université *La Sapienza* de Rome, l'Université de Durham, l'Université d'Innsbruck et l'Université nationale d'Irlande. En 1992, il a trouvé une preuve très simple de la non-localité en physique quantique, aujourd'hui appelée *théorème de Hardy*. Il s'est intéressé à la caractérisation de la physique quantique sous forme de postulats opérationnels et à sa reformulation opérationnelle. Il a récemment montré comment reformuler la relativité générale en termes opérationnels. Cela est considéré comme un tremplin en vue de trouver une théorie de la gravitation quantique.

Luis Lehner (Ph.D., Université de Pittsburgh, 1998) a d'abord été professeur associé à l'Institut Périmètre en 2009, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Guelph. Il est devenu professeur à plein temps à l'Institut Périmètre en 2012, puis vice-président du corps professoral de l'Institut en 2014. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Université du Texas à Austin et à l'Université de la Colombie-Britannique, puis professeur à l'Université d'État de Louisiane de 2002 à 2009. M. Lehner a reçu de nombreuses distinctions, dont le Prix d'honneur de l'Université nationale de Córdoba, en Argentine, une bourse de doctorat de la Fondation Mellon, le prix CGS/UMI pour une thèse exceptionnelle, de même que le prix Nicholas-Metropolis. Il a été boursier de l'Institut du Pacifique pour les sciences mathématiques (PIMS), boursier national de l'Institut canadien d'astrophysique théorique, ainsi que récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan. Luis Lehner est actuellement membre élu de l'Institut de

physique du Royaume-Uni et de la Société américaine de physique. Il est également membre de la Société internationale de la relativité générale et de la gravitation, ainsi que boursier principal du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées. Il est membre du conseil scientifique de l'Institut sud-américain de recherche fondamentale du Centre international de physique théorique, ainsi que du conseil consultatif de l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara.

Max Metlitski (Ph.D., Université Harvard, 2011) est devenu professeur à l'Institut Périclète en octobre 2015. Il a été recruté à l'Institut Kavli de physique théorique de l'Université de la Californie à Santa Barbara, où il a été postdoctorant de 2011 à 2015. M. Metlitski est un physicien de la matière condensée dont les travaux ont contribué au développement de la théorie des points critiques quantiques dans les métaux ainsi qu'à la compréhension des phases topologiques en présence d'interactions. Depuis 2013, il a remporté le prix Hermann-Kummel pour réalisation exceptionnelle par un jeune chercheur en physique des systèmes à N corps, le prix Nevill-F.-Mott, de la Conférence internationale sur les systèmes électroniques fortement corrélés, pour un chercheur en début de carrière, ainsi que le prix William-L.-McMillan, qui reconnaît les contributions exceptionnelles d'un jeune physicien de la matière condensée.

Robert Myers (Ph.D., Université de Princeton, 1986) est l'un des principaux physiciens théoriciens travaillant sur la théorie des cordes et la gravitation quantique 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 devenir l'un des professeurs fondateurs de l'Institut Périclète en 2001. Il a été élu en 2010 président du corps professoral de l'Institut. M. Myers est l'auteur de contributions majeures à la compréhension de la microphysique des trous noirs, des d-branes et de l'application de l'entropie d'intrication à l'holographie et aux flux du groupe de renormalisation. Il a reçu de nombreuses distinctions, dont la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes (1999), le prix ACP-CRM (2005) et la médaille Vogt (2012). Il est en outre membre élu de la Société royale du Canada et boursier principal du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées. En 2014 et 2015, Robert Myers a fait partie de la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée par Thomson Reuters.

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

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

Lee Smolin (Ph.D., Université Harvard, 1979) est l'un des membres fondateurs du corps professoral de l'Institut Périclète. Auparavant, il a été professeur à l'Université Yale, à l'Université de Syracuse et à l'Université d'État de Pennsylvanie. Ses recherches portent surtout sur le problème de la gravitation quantique, où il a contribué à l'élaboration de la gravitation quantique à boucles. Ses contributions s'étendent toutefois sur de nombreux domaines, dont les fondements quantiques, la cosmologie, la physique des particules, la philosophie de la physique et l'économie. Il a publié plus de 195 articles qui ont fait l'objet de plus de 19 400 citations à ce jour. Il a écrit 4 ouvrages non techniques et est co-auteur d'un livre sur la philosophie du temps. Entre autres distinctions, Lee Smolin a reçu le prix Majorana (2007), le prix commémoratif Klopsteg (2009) et le prix Buchalter de cosmologie (2014). Il a aussi été élu membre de la Société américaine de physique et de la Société royale du Canada.

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

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

national de l'accélérateur Thomas-Jefferson, en Virginie. Elle a reçu avec Philip Schuster un prix *Nouveaux horizons en physique* 2015 de la Fondation des Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize Foundation*).

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

Pedro Vieira (Ph.D., École normale supérieure de Paris et Centre de physique théorique de l'Université de Porto, 2008) est titulaire de la chaire Clay-Riddell-Paul-Dirac de physique théorique de l'Institut Périmètre, où il est professeur depuis 2009. Auparavant, il a été chercheur associé à l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) en 2008 et 2009. Ses recherches portent sur la mise au point de nouveaux outils mathématiques pour les théories de jauge et des cordes. Elles visent ultimement la résolution d'une théorie de jauge quadridimensionnelle réaliste. M. Vieira s'intéresse également à la correspondance AdS/CFT, au calcul théorique d'amplitudes de diffusion, ainsi qu'aux fonctions de corrélation dans des théories quantiques des champs en interaction. En 2015, il s'est mérité une bourse de recherche Sloan et la médaille Gribov de la Société européenne de physique.

Professeurs associés

Niyesh Afshordi (Ph.D., Université de Princeton, 2004), nommé conjointement avec l'Université de Waterloo, a été de 2004 à 2007 boursier de l'Institut de théorie et de calcul du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique, puis boursier de recherche distingué à l'Institut Péricimètre en 2008 et 2009. Il est professeur associé à l'Institut depuis 2009. M. Afshordi se spécialise dans les problèmes interdisciplinaires de la physique fondamentale, de l'astrophysique et de la cosmologie. En 2010, il a reçu un supplément d'accélération à la découverte accordé par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. En 2011, il a reçu la médaille d'or Vainu-Bappu de la Société d'astronomie de l'Inde, ainsi qu'une bourse de nouveau chercheur du ministère de la Recherche et de l'Innovation de l'Ontario.

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

Avery Broderick (Ph.D., Institut de technologie de la Californie, 2004) est devenu professeur associé à l'Institut Péricimètre en septembre 2011, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo. Auparavant, il a été postdoctorant à l'Institut de théorie et de calcul du Centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique (2004-2007) et à l'Institut canadien d'astrophysique théorique (2007-2011). M. Broderick est un astrophysicien aux intérêts de recherche variés, depuis la formation des étoiles jusqu'à la physique des extrêmes au voisinage des naines blanches, des étoiles à neutrons et des trous noirs. Il a récemment participé à un projet international visant à produire et à interpréter des images témoignant de l'horizon de trous noirs supermassifs – afin d'étudier comment les trous noirs accumulent de la matière et projettent les rayonnements ultrarelativistes observés – et il sonde la nature de la gravité au voisinage de ces trous noirs.

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

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 (IQC). Il est également titulaire de la chaire de supraconductivité financée par un fonds de dotation à l'IQC et à l'Institut de nanotechnologie de Waterloo. Auparavant, M. Budakian a été professeur à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, et chercheur à l'Université de la Californie à Los Angeles et au Centre de recherches Almaden d'IBM à San Jose. C'est un physicien expérimentateur de la matière condensée, dont les recherches portent sur la mise au point de techniques ultrasensibles de détection de spin pour visualiser des spins uniques et faire des mesures quantiques. En 2005, Raffi Budakian a remporté un *World Technology Award* pour ses travaux sur la détection et la manipulation de spins quantiques.

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

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

James Forrest (Ph.D., Université de Guelph, 1994) s'est joint à l'Institut Périmètre en 2014 à titre de directeur des programmes d'enseignement et professeur associé, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est professeur depuis 2000. Ses recherches portent sur la physique de la matière souple à l'échelle nanométrique, notamment les polymères et les protéines, sur la transition vitreuse en géométrie confinée, de même que sur les propriétés de surface et d'interface des polymères. Entre autres distinctions, James Forrest est membre élu de la Société américaine de physique et 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 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 théoricien dont les recherches interdisciplinaires visent à comprendre comment l'univers a commencé, comment il a évolué et vers quoi il s'en va. Il est l'auteur de contributions dans des domaines allant de la théorie de l'inflation cosmique à la théorie des cordes, en passant par la relativité numérique et l'analyse de données sur le rayonnement fossile. Matthew Johnson a obtenu par voie de concours des subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, de l'Institut FQXi (*Foundational Questions Institute*), ainsi que du programme *New Frontiers in Astronomy and Cosmology* (Nouvelles frontières en astronomie et cosmologie) administré par l'Université de Chicago.

Raymond Laflamme (Ph.D., Université de Cambridge, 1988) est membre fondateur du corps professoral de l'Institut Péricimètre et directeur fondateur de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo (IQC). Il est professeur associé à l'Institut Péricimètre dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'IQC. Il a été chercheur à l'Université de la Colombie-Britannique et au Collège Peterhouse de l'Université de Cambridge, avant de passer au Laboratoire national de Los Alamos en 1992, où il a réorienté sa recherche de la cosmologie à l'informatique quantique. Depuis le milieu des années 1990, M. Laflamme a élaboré des méthodes théoriques de correction d'erreurs quantiques et en a mis certaines en œuvre dans des expériences. Il est directeur du programme *Information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA) depuis 2003. Il est boursier principal de l'ICRA, ainsi que membre élu de la Société américaine de physique, de la Société royale du Canada et de l'Association américaine pour l'avancement de la science. Raymond Laflamme est également titulaire de la chaire de recherche du Canada sur l'information quantique. Avec des collègues, il a fondé l'entreprise Universal Quantum Devices, qui commercialise certaines retombées des recherches en physique quantique.

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

Roger Melko (Ph.D., Université de la Californie à Santa Barbara, 2005) est devenu professeur associé à l'Institut Péricimètre en 2012, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université de Waterloo, où il est professeur depuis 2007. Auparavant, il a été boursier postdoctoral Wigner au Laboratoire national d'Oak Ridge (2005-2007). 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, Roger Melko a reçu la médaille Herzberg de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes, 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 du Canada (de niveau 2) en physique informatique quantique à N corps.

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

Markus Mueller (Ph.D., Université technique de Berlin, 2007) s'est joint à l'Institut Périètre en juillet 2015, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Université Western, où il est titulaire de la chaire de recherche du Canada (de niveau 2) sur les fondements de la physique. Auparavant, il a été chef de groupe de recherche débutant à l'Institut de physique théorique de l'Université de Heidelberg, ainsi que postdoctorant à l'Institut Périètre, à l'Université de Potsdam et à l'Institut de mathématiques des sciences. Ce physicien mathématicien travaille dans les domaines de l'information quantique et des fondements quantiques. M. Mueller s'intéresse plus particulièrement à la physique statistique, aux théories probabilistes généralisées et à la théorie algorithmique de l'information. En 2016, il a reçu le prix Birkhoff-von-Neumann de l'Association internationale pour les structures quantiques, pour ses réalisations scientifiques exceptionnelles dans le domaine des structures quantiques.

Ue-Li Pen (Ph.D., Université de Princeton, 1995) s'est joint à l'Institut Périètre en 2014, dans le cadre d'une nomination conjointe avec l'Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto, où il est professeur depuis 1998 et directeur adjoint depuis 2009. Auparavant, il a été boursier à l'Université de Princeton (1994-1995) et à l'Université Harvard (1995-1998). M. Pen est un astrophysicien théoricien qui étudie des systèmes où les effets physiques fondamentaux peuvent être isolés des complexités astronomiques. Ses domaines de recherche comprennent la cosmologie de la raie à 21 cm, les simulations en informatique de haute performance, les ondes gravitationnelles, les pulsars et l'interférométrie radio. Entre autres distinctions, Ue-Li Pen est boursier principal du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées et professeur associé à l'Institut Tata de recherche fondamentale en Inde.

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

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

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

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

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 à l'Université de Princeton et titulaire d'une bourse postdoctorale James-Arthur à l'Université de New York. Ses travaux en physique des particules mettent l'accent sur la recherche allant au-delà du modèle standard. Il a entre autres proposé récemment une nouvelle expérience visant à rechercher de nouvelles particules ayant des charges fractionnaires au grand collisionneur de hadrons. Il dirige maintenant une équipe en vue de réaliser cette expérience.

Annexe B : Titulaires de chaire de chercheur invité distingué

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 et un ancien chercheur invité à long terme de l'Institut Périclète. Il 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, M. Arkani-Hamed 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 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 sujets liés à la gravitation quantique et à la relativité générale. Entre autres distinctions, M. 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 (ISGRG), ainsi que membre élu de l'ISGRG, 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 CAREER de la Fondation nationale des sciences des États-Unis, 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 fondé le Centre de sciences quantiques. Il est l'auteur d'importantes contributions dans le domaine de la matière quantique fortement corrélée. Il s'intéresse principalement aux nouveaux phénomènes quantiques émergents dans la matière, y compris des phénomènes biologiques. M. Baskaran est bien connu pour sa contribution à la théorie de la supraconductivité à haute température et pour la découverte de champs de jauge émergents dans des systèmes d'électrons fortement corrélés. Il a prédit la supraconductivité d'onde P dans Sr_2RuO_4 , un système que l'on croit compatible avec la présence de fermions de Majorana, qubits populaires en informatique quantique topologique. Il a récemment prédit la supraconductivité à la température ambiante du graphène dopé de manière optimale. De 1976 à 2006, Ganapathy Baskaran a apporté une contribution substantielle au Centre international Abdus-Salam de physique théorique (ICTP), situé à Trieste, en Italie. Il a reçu le prix S.S.-Bhatnagar du Conseil indien de la recherche scientifique et industrielle (1990) et le prix Alfred-Kasler de l'ICTP (1983). Il a été élu membre de l'Académie des sciences de l'Inde (1988), de l'Académie scientifique nationale de l'Inde (1991) et de l'Académie des sciences du Tiers-Monde (2008). Il a également été nommé « Ancien distingué » de l'Institut indien des sciences à Bangalore (2008).

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 directrice de la Division d'astrophysique et de cosmologie de l'Institut Max-Planck de physique gravitationnelle (Institut Albert-Einstein) à Potsdam, en Allemagne. Elle a aussi le titre de « professeure de College Park » à l'Université du Maryland à College Park. 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. Mme 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 ultimement conduire à la mise au point d'ordinateurs quantiques. En 2015, M. Cirac a été inclus dans la liste des « esprits scientifiques les plus influents au monde » dressée par Thomson Reuters.

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 Tommassoni 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. M. 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. En 2015, il a été l'un des lauréats du prix Oliver-E.-Buckley de physique de la matière condensée de la Société américaine de physique. Il a plus de 170 publications à son actif.

Dan Freed a le titre de professeur Mildred-Caldwell-et-Baine-Perkins-Kerr du centenaire au Département de mathématiques de l'Université du Texas à Austin. Ses travaux portent sur des problèmes généraux de géométrie, de topologie et d'analyse globale, souvent liés à des questions de théorie quantique des champs, de théorie des cordes et de théorie de la matière condensée. Parmi ses nombreuses distinctions, M. Freed a été boursier de recherche Sloan, boursier Guggenheim, boursier Simons en mathématiques, ainsi que boursier Einstein d'IBM à l'Institut d'études avancées (IAS) de Princeton. Il a fait partie en 2012 des premiers membres élus de la Société américaine de mathématiques et a reçu en 2014 le prix Senior Berwick de la Société mathématique de Londres. Dan Freed est l'un des fondateurs de l'Institut de mathématiques de l'IAS à Park City, membre du comité consultatif scientifique du Centre Simons de géométrie et de physique de l'Université d'État de New York à Stony Brook, ainsi que membre du conseil d'administration de l'Institut de recherches en sciences mathématiques de l'Université de la Californie à Berkeley.

Katherine Freese a le titre de professeure George-E.-Uhlenbeck de physique à l'Université du Michigan. Elle est aussi professeure invitée à l'Université de Stockholm. Ses recherches portent sur une grande variété de sujets en cosmologie théorique et en physique des astroparticules. Elle tente de repérer la matière sombre et l'énergie sombre qui imprègnent l'univers, et de construire un modèle expliquant avec succès l'univers primitif immédiatement après le Big Bang. Mme Freese a été boursière de la Fondation Sloan et boursière de la Fondation Simons en physique théorique, et elle est membre élue de la Société américaine de physique depuis 2009. En 2014, elle a publié son premier livre de vulgarisation scientifique, intitulé *The Cosmic Cocktail: Three Parts Dark Matter* (Le cocktail cosmique : trois parts de matière sombre).

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, 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. Elle est aussi la porte-parole du projet scientifique international LIGO, qui vise 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 ainsi que 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. M. 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.

Joseph Incandela est titulaire de la chaire Pat-et-Joe-Yzurdiaga de sciences expérimentales et professeur de physique à l'Université de la Californie à Santa Barbara. Il se spécialise en physique expérimentale des hautes énergies et a travaillé à plusieurs expériences au cours de sa carrière. Mentionnons l'expérience UA2 au CERN, où il a étudié les bosons W et Z et cherché des bosons de Higgs chargés, ainsi que l'expérience CDF au Laboratoire national de l'accélérateur Fermi (Fermilab), où il a dirigé la conception et la construction de détecteurs au silicium de même que codirigé la recherche fructueuse du quark t (*top*) à l'aide du marquage de jets de quarks b (*bottom*). Plus récemment, M. Incandela a assumé des rôles de direction dans le cadre de l'expérience de solénoïde compact pour muons (CMS) au grand collisionneur de hadrons du CERN. À titre de porte-parole de l'expérience CMS, il a annoncé en juillet 2012 la découverte historique du boson de Higgs. En 2013, la Fondation des Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize Foundation*) lui a accordé un prix spécial en physique fondamentale pour son rôle dans l'expérience CMS. Joseph Incandela a été élu en 2015 membre de l'Académie nationale des sciences des États-Unis.

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 enseignant 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.

Anton Kapustin a le titre de professeur Earle-C.-Anthony de physique théorique et de mathématiques à l'Institut de technologie de la Californie. Son principal domaine de recherche est la théorie quantique des champs, avec ses applications à la physique des particules et à la théorie de la matière condensée.

En 2007, Anton Kapustin et Edward Witten ont publié un article révolutionnaire à propos de la conjecture de Langlands géométrique.

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, M. 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. En 2015, elle a été reçue membre de l'Académie royale des arts et des sciences des Pays-Bas.

Matilde Marcolli est professeure de mathématiques à l'Institut de technologie de la Californie, chercheuse invitée à l'Université d'État de 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, Mme 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. M. 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. M. Narayan 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. M. Popescu a reçu le prix Adams de l'Université de Cambridge, la médaille Clifford-Patterson de la Société royale de Londres, le prix John-Stewart-Bell, de même que la médaille Dirac en physique de l'Institut de physique du Royaume-Uni.

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. M. Pretorius travaille aussi à la conception d'algorithmes permettant de résoudre de manière efficace et en parallèle des équations à l'aide de grappes de nombreux ordinateurs, et de logiciels de traitement et de visualisation des résultats de simulations. Entre autres distinctions, Frans Pretorius a reçu une bourse de recherche Sloan (2007) et le prix Aneesur-Rahman de physique informatique de la Société américaine de physique (2010). Il a également été nommé membre associé du programme *Cosmologie et gravité* de l'Institut canadien de recherches avancées.

Nathan Seiberg est professeur à l'Institut d'études avancées de Princeton. Ses recherches portent principalement sur divers aspects de la théorie des cordes, de la théorie quantique des champs, ainsi que de la physique des particules. Avec ses collaborateurs, il a trouvé des solutions exactes de théories quantiques des champs et de théories des cordes supersymétriques, avec des applications aux mathématiques. M. Seiberg a reçu de nombreux prix et distinctions, dont une bourse MacArthur (1996), le prix Dannie-Heineman de physique mathématique de la Société américaine de physique et de l'Institut américain de physique (1998), le Prix du progrès scientifique en physique fondamentale (2012) et la médaille Dirac du Centre international de physique théorique (2016). Nathan Seiberg est membre

de l'Académie nationale des sciences des États-Unis, ainsi que membre élu de la Société américaine de physique et de l'Académie américaine des arts et des sciences.

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). Peter Shor est en outre membre de l'Académie nationale des sciences des États-Unis (2002) et membre élu de l'Académie américaine des arts et des sciences (2011).

Iakov (Yan) Soibelman est professeur de mathématiques à l'Université d'État du Kansas. Ses domaines de recherche comprennent les groupes quantiques, la théorie des déformations, la géométrie algébrique, la topologie, la géométrie symplectique, la théorie des représentations, la géométrie non commutative, les équations différentielles, la physique mathématique et la théorie des cordes. En collaboration avec Maxim Kontsevich, M. Soibelman a mis au point de nouvelles méthodes algébriques et géométriques pour l'étude de la symétrie miroir homologique. Plus récemment, les deux chercheurs ont introduit une notion d'invariants de Donaldson-Thomas motiviques et proposé un nouveau type de formules de croisement de murs pour de tels invariants. Yan Soibelman est membre de la Société américaine de mathématiques et de la Société mathématique de Kiev, et fondateur des olympiades mathématiques de Manhattan. Il a été boursier de la Fondation Sloan et de l'Institut de mathématiques Clay, ainsi que professeur invité dans de nombreuses institutions prestigieuses, dont l'Université Harvard, l'Institut de technologie du Massachusetts et l'Université de Cambridge.

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).

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 *Traitement de l'information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées.

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, en particulier 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 premier 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 (1996). William Unruh 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.

Frank Verstraete est professeur de physique à l'Université de Vienne, où il dirige le groupe de physique quantique qui se consacre à l'étude de l'intrication dans des systèmes quantiques à N corps. Ses autres domaines de recherche comprennent la théorie de l'information quantique, les systèmes quantiques fortement corrélés et leur simulation numérique, de même que l'algèbre linéaire et multilinéaire. M. Verstraete est également professeur à l'Université de Gand. Il a travaillé dans le passé avec Ignacio Cirac à l'Institut Max-Planck d'optique quantique et avec John Preskill à l'Institut de technologie de la Californie. Il a remporté en 2009 le prix Lieben remis annuellement par l'Académie autrichienne des 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, Ashvin Vishwanath 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 la division de la recherche de Microsoft, sur le campus de l'Université de la Californie à Santa Barbara (UCSB), ainsi que professeur de mathématiques à l'UCSB. 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 méthodes numériques pour les 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, Steven White 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 John-Alexander-McCone de physique des hautes énergies à l'Institut de technologie de la Californie. Il a mené des recherches en physique des particules élémentaires et en cosmologie. M. Wise est colauréat du prix J.J.-Sakurai de physique théorique des particules 2001 pour l'élaboration de la théorie effective des quarks lourds (HQET), formalisme mathématique qui permet aux physiciens de faire des prédictions au sujet de problèmes autrement insolubles dans la théorie des interactions fortes entre quarks. Il a également publié des travaux sur les modèles mathématiques d'évaluation des risques financiers. Ancien récipiendaire d'une bourse de recherche Sloan, Mark Wise est actuellement membre élu de la Société américaine de physique, de l'Académie américaine des arts et sciences, ainsi que de l'Académie nationale des sciences des États-Unis.

Matias Zaldarriaga est professeur d'astrophysique à l'Institut d'études avancées de Princeton. Il est l'auteur de nombreuses contributions influentes et originales sur l'univers primitif, en astrophysique des particules, et sur la cosmologie comme outil d'exploration de la physique fondamentale. Ses travaux portent en grande partie sur la compréhension des indices relatifs aux premiers moments de notre univers contenus dans le rayonnement fossile issu du Big Bang. Au début de sa carrière, M. Zaldarriaga a été l'un des auteurs du logiciel CMBFAST, devenu un outil standard pour les astronomes qui interprètent des observations du rayonnement fossile. Matias Zaldarriaga a reçu de nombreuses distinctions, dont des bourses de recherche Sloan et McArthur, le prix Helen-B.-Warner de l'Union américaine d'astronomie et la médaille Gribov de la Société européenne de physique.

Alexander Zamolodchikov est devenu en 2016 le premier titulaire de la chaire C.N.-Yang-et-Wei-Deng de physique et d'astronomie de l'Université d'État de New York à Stony Brook. Auparavant, il a été pendant 15 ans professeur à l'Université Rutgers. C'est un physicien théoricien et mathématicien connu pour ses contributions à la physique de la matière condensée, à la théorie conforme des champs et à la théorie des cordes. Plus précisément, M. Zamolodchikov est l'auteur de contributions importantes sur les sujets suivants : théories quantiques des champs intégrables; théories conformes des champs dans 2 dimensions d'espace-temps; groupe de renormalisation dans des théories quantiques des champs bidimensionnelles. Avec ses collaborateurs, il a reçu en 1999 le prix Dannie-Heineman de physique mathématique de la Société américaine de physique (APS) et de l'Institut américain de physique, ainsi que le prix Lars-Onsager de l'APS en 2011. Alexander Zamolodchikov a été élu membre de l'APS en 1999 et intronisé à l'Académie nationale des sciences des États-Unis en 2016.

Annexe C : Adjoints invités

Jonathan Barrett est professeur agrégé à l'Université d'Oxford. Ses recherches portent sur les fondements, l'information et le calcul quantiques, en particulier la cryptographie et divers aspects de la non-localité quantique. Il a récemment travaillé sur le traitement de l'information dans des formalismes plus généraux que celui de la physique quantique.

Eugenio Bianchi est professeur adjoint de physique à l'Université d'État de 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 Périmètre. Ses recherches, qui se situent à la jonction de la relativité générale, de la théorie quantique des champs et de la thermodynamique, visent la compréhension de la nature quantique de l'espace-temps. En 2013, M. Bianchi a été le premier récipiendaire du prix Bronstein pour ses travaux sur la gravitation quantique à boucles.

Fernando Brandão est maître de conférences au Collège universitaire de Londres et chercheur au sein du groupe d'architecture et de calcul quantiques de la division de la recherche de Microsoft. Il se joindra bientôt au corps professoral de l'Institut de technologie de la Californie. Ses recherches portent sur l'information, le calcul et l'optique quantiques, en particulier sur leurs liens avec les mathématiques et l'informatique en vue de comprendre les possibilités et les limites des systèmes de mécanique quantique. Entre autres distinctions, M. Brandão a remporté le prix de la division d'électronique et d'optique quantiques de la Société européenne de physique (2009), une bourse européenne de jeune chercheur en information quantique à la conférence QIPC 2013 et le prix Block du Centre de physique d'Aspen (2014).

Vitor Cardoso est professeur à l'Institut supérieur technique (IST) de Lisbonne, au Portugal, chercheur associé au CERN 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 (2008) et Gulbenkian (2010), et a été fait membre de l'Ordre de Sant'Iago da Espada (2015).

Giulio Chiribella est professeur agrégé à l'Université de Hong Kong. Il s'intéresse à la théorie de l'information quantique, aux fondements quantiques et à la physique mathématique – et en particulier aux points de rencontre de ces domaines. M. Chiribella s'est mérité le prix Hermann-Weyl (2010) pour ses travaux sur l'application de modèles de la théorie des groupes au problème de l'estimation quantique d'états et de processus. En 2016, il a été choisi parmi les premiers bénéficiaires du programme *Chercheurs mondiaux ICRA-Azrieli* de l'Institut canadien de recherches avancées.

Philippe Corboz est professeur adjoint en physique théorique de la matière condensée à l'Institut de physique théorique de l'Université d'Amsterdam. Il a fait des stages postdoctoraux à l'Institut fédéral

suisse de technologie de Zurich et à l'Université du Queensland. Ses domaines de recherche comprennent la matière condensée, la physique informatique, la physique des systèmes quantiques à N corps, les systèmes fortement corrélés et la programmation informatique.

Neal Dalal est professeur adjoint d'astronomie et de physique à l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign. Il a été auparavant boursier à l'Institut d'études avancées de Princeton et à l'Institut canadien d'astrophysique théorique de l'Université de Toronto. M. Dalal est un cosmologiste dont les travaux portent notamment sur l'astronomie, afin de sonder la physique fondamentale de l'univers primitif et la formation de structures cosmiques aux échelles grande et petite. Neal Dalal étudie également la physique de la matière sombre à l'aide d'instruments à ondes millimétriques, afin de détecter l'effet lenticulaire gravitationnel.

Fay Dowker est professeure de physique théorique au Collège impérial de Londres et membre affiliée de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo. Ses travaux de recherche portent sur la gravitation quantique, les fondements de la mécanique quantique et la théorie des ensembles causaux. Mme Dowker a obtenu son doctorat sous la direction de Stephen Hawking et a occupé des postes à l'Université Queen-Mary de Londres, au Laboratoire Fermilab, à l'Institut de technologie de la Californie et à l'Université de la Californie à Santa Barbara.

Maité Dupuis est professeure-chercheuse adjointe à l'Université de Waterloo, où elle a été auparavant boursière postdoctorale Banting. C'est une physicienne mathématicienne qui s'intéresse à la gravitation quantique à boucles, aux modèles de mousse de spin et à la géométrie non commutative.

Tobias Fritz est chercheur à l'Institut Max-Planck de mathématiques des sciences. Il a été auparavant boursier postdoctoral à l'Institut Périmètre dans le cadre du programme *Frontières Templeton*. Ses recherches portent sur les structures mathématiques en physique mathématiques et au-delà, et il établit souvent des ponts entre différents domaines.

Jerome Gauntlett dirige le groupe de physique théorique au Collège impérial de Londres. Auparavant, il a occupé des postes de chercheur à l'Université Queen-Mary de Londres, à l'Institut de technologie de la Californie et à l'Université de Chicago. Ses recherches portent principalement sur la théorie des cordes, la supersymétrie, la théorie quantique des champs et les trous noirs. Depuis quelque temps, M. Gauntlett examine si des techniques de la théorie des cordes peuvent servir à l'étude d'états exotiques de la matière qui se manifestent en physique de la matière condensée. Jerome Gauntlett est membre élu de l'Institut de physique du Royaume-Uni et a agi comme conseiller scientifique pour le film *The Theory of Everything*, dont la version française s'intitule *Une merveilleuse histoire du temps* en France et *La théorie de l'univers* au Québec.

Ruth Gregory est professeure au Département de physique et de sciences mathématiques de l'Université de Durham. Ses recherches se situent à la jonction entre la physique fondamentale des hautes énergies et la cosmologie, notamment l'exploration de modèles branaires simples, afin de déterminer les propriétés physiques qu'ils peuvent avoir. Elle a reçu en 2006 la médaille Maxwell de l'Institut de physique du Royaume-Uni. Mme Gregory fait partie du corps professoral du programme PSI depuis sa création.

Razvan Gurau est chercheur pour le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) à l'École Polytechnique, en France. Son domaine de recherche est la physique mathématique, en particulier les aspects perturbateurs et non perturbateurs de la renormalisation en théorie quantique des champs. Ses travaux sont pertinents pour la résolution de problèmes de physique allant de la gravitation quantique à la matière condensée. M. Gurau a reçu le prix Hermann-Weyl 2012 pour ses travaux sur la gravitation quantique.

Jutho Haegeman est postdoctorant à l'Université de Gand, où il travaille avec Frank Verstraete, titulaire d'une chaire de chercheur invité distingué de l'Institut Périmètre. Ses travaux portent sur la description de systèmes de matière condensée et de théories quantiques des champs à l'aide d'états de réseaux de tenseurs ou de méthodes connexes. Il explore notamment des idées et algorithmes nouveaux pour extraire la description de la « limite énergie faible » d'hamiltoniens quantiques microscopiques en utilisant la philosophie des réseaux de tenseurs.

Zohar Komargodski 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 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.

John Laiho est professeur adjoint à l'Université de Syracuse, après avoir été chercheur au Laboratoire national de l'accélérateur Fermi (Fermilab), à l'Université Washington de Saint-Louis et à l'Université de Glasgow. M. Laiho est un physicien théoricien des particules, dont les domaines de recherche sont la chromodynamique quantique sur réseau, la physique de la saveur et la violation de la symétrie CP, la théorie des perturbations chirales de même que la gravité sur réseau.

Christopher Laumann est professeur adjoint au Département de physique de l'Université de l'État de Washington. Il a été auparavant postdoctorant à l'Institut Périmètre 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.

Si Li est professeur au Centre de mathématiques Yau de l'Université Tsinghua et membre affilié de l'Institut Kavli de physique et de mathématiques de l'univers. Il a été auparavant professeur adjoint à l'Université de Boston. Ses recherches se situent à la rencontre de la géométrie et de la physique – et portent plus précisément sur la géométrie algébrique et complexe, la théorie quantique des champs et la théorie des cordes. M. Li a obtenu en 2012 un prix de mathématiques du Nouveau monde pour sa thèse de doctorat.

Etera Livine est chercheur pour le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) au Laboratoire de physique de l'École normale supérieure de Lyon, en France. Il travaille dans le domaine de la gravitation quantique, plus précisément sur les modèles de mousse de spin, et s'intéresse à la dérivation, à partir de ces modèles, d'une dynamique effective pour la cosmologie quantique.

Alejandro Perez est membre permanent du groupe de gravitation quantique au Centre de physique théorique de l'Université d'Aix-Marseille, ainsi que membre honoraire de l'Institut universitaire de France. Ses recherches portent sur la gravitation quantique à boucles. Il s'intéresse aussi aux trous noirs, à la physique quantique et à la physique mathématique.

Rachel A. Rosen est professeure adjointe à l'Université Columbia. Ses recherches portent sur la théorie quantique des champs et ses applications à la cosmologie, à l'astrophysique, à la physique des particules et aux systèmes de matière condensée. Elle est surtout connue pour ses contributions à la théorie de la gravitation massive, dont la résolution d'un problème datant de 40 ans. Avec Gregory Gabadadze, Mme Rosen a aussi étudié les naines blanches à cœur d'hélium, a prédit un nouvel état possible de la matière dans ces étoiles (condensats chargés) et a fait des prédictions vérifiables sur le refroidissement de telles étoiles.

Sarah Shandera est professeure adjointe à l'Université d'État de Pennsylvanie, où elle étudie la physique des particules à haute énergie et la gravité au tout début de l'univers. Ses recherches visent à élaborer des modèles cohérents de l'univers primitif et à prédire des observations permettant de faire la distinction entre divers scénarios. Mme Shandera travaille souvent avec des astrophysiciens, afin de comprendre comment utiliser des données d'observation pour imposer des limites aux théories cosmologiques.

Kris Sigurdson est professeur agrégé de physique et d'astronomie à l'Université de la Colombie-Britannique. Il travaille en astrophysique et cosmologie des particules, plus particulièrement sur la matière et l'énergie sombres. M. Sigurdson a récemment formulé une théorie unifiée de l'origine de la matière sombre et des atomes au commencement de l'univers. Il travaille actuellement, avec une équipe canadienne, à la mise au point d'un nouvel interféromètre radio capable de dresser une carte tridimensionnelle de l'univers afin de mesurer les propriétés de l'énergie sombre.

David Skinner a un poste de chargé de cours en vue de la permanence à l'Université de Cambridge. Il s'intéresse aux aspects mathématiques des théories quantiques des champs, en particulier leur chevauchement avec la théorie des twisteurs et la théorie des cordes. Ses travaux récents portent sur les riches structures géométriques présentes dans les amplitudes de diffusion en théorie de jauge quadridimensionnelle.

Brian Swingle est postdoctorant à l'Université Stanford, après avoir été boursier Simons dans le domaine de la matière condensée à l'Université Harvard. Ses travaux se situent à la rencontre des domaines de la matière quantique, de l'information quantique et de la gravitation quantique. M. Swingle s'intéresse particulièrement à l'intrication quantique, aux systèmes fortement corrélés, aux liquides de spin et à la physique de la fractionnalisation, aux signatures expérimentales de phases

fortement corrélées, à l'information et au calcul quantiques, de même qu'à la dualité holographique et à la théorie des cordes.

Thomas Vidick 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; 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.

Neal Weiner est professeur au Département de physique et directeur du Centre de cosmologie et de physique des particules de l'Université de New York. Il a des intérêts étendus en physique des particules et en cosmologie. M. Weiner se concentre généralement sur la physique au-delà du modèle standard. Dans ce vaste domaine, il a travaillé entre autres sur des théories des dimensions supplémentaires (grandes, petites, gauches et plates), la supersymétrie, la grande unification, la physique de la saveur, la masse du neutrino, la matière sombre, l'inflation cosmique, l'énergie sombre, ainsi que les relations entre ces différents sujets.

Annexe D : Membres affiliés

Nom	Institution	Domaines de recherche
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 d'Ottawa	Information quantique
Jim Bryan	Université de la Colombie-Britannique	Physique mathématique
Anton Burkov	Université de Waterloo	Matière condensée
Benoit Charbonneau	Université de Waterloo	Physique mathématique
Gang Chen	Université de Toronto	Matière condensée
Jeffrey Chen	Université de Waterloo	Matière condensée
Andrew Childs	Université du Maryland	Information quantique
Kyung Soo Choi	Université de Waterloo, Institut d'informatique quantique (IQC)	Information quantique
Matthew Choptuik	Université de la Colombie-Britannique	Gravité forte
Dan Christensen	Université Western	Gravitation quantique
Richard Cleve	Université de Waterloo, IQC	Information quantique
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
Keshav Dasgupta	Université McGill	Théorie quantique des champs et théorie des cordes

Nom	Institution	Domaines de recherche
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
Valeri Frolov	Université de l'Alberta	Cosmologie, gravitation quantique
Ion Garate	Université de Sherbrooke	Matière condensée
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
Florian Girelli	Université de Waterloo	Gravitation quantique
Gilad Gour	Université de Calgary	Physique mathématique
Daniel Green	Université de Toronto, ICAT	Cosmologie
Marco Gualtieri	Université de Toronto	Physique mathématique
John Harnad	Université Concordia	Physique mathématique, théorie quantique des champs et théorie des cordes
Igor Herbut	Université Simon-Fraser	Matière condensée
Jeremy Heyl	Université de la Colombie-Britannique	Astrophysique
Carl Hofer	Université Western	Philosophie
Gilbert Holder	Université McGill	Physique des particules
Bob Holdom	Université de Toronto	Physique des particules
Michael Hudson	Université de Waterloo	Cosmologie
Viqar Husain	Université du Nouveau-Brunswick	Cosmologie, gravitation quantique
Lisa Jeffrey	Université de Toronto	Théorie quantique des champs et théorie des cordes, physique mathématique
Thomas Jennewein	Université de Waterloo, IQC	Information quantique

Nom	Institution	Domaines de recherche
Catherine Kallin	Université McMaster	Matière condensée
Joel Kamnitzer	Université de Toronto	Physique mathématique
Joanna Karczmarek	Université de la Colombie-Britannique	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Spiro Karigiannis	Université de Waterloo	Physique mathématique
Mikko Karttunen	Université de Waterloo	Matière condensée
Achim Kempf	Université de Waterloo	Physique mathématique
Yong-Baek Kim	Université de Toronto	Matière condensée
David Kribs	Université de Guelph	Information quantique
Hari Kunduri	Université Memorial	Gravité forte
Gabor Kunstatler	Université de Winnipeg	Gravitation 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
Joseph Maciejko	Université de l'Alberta	Matière condensée
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
Eduardo Martin-Martinez	Université de Waterloo, IQC	Fondement quantiques, information quantique
Gerry McKeon	Université Western	Physique des particules
Brian McNamara	Université de Waterloo	Cosmologie
Volodya Miransky	Université Western	Information quantique
Ruxandra Moraru	Université de Waterloo	Physique mathématique

Nom	Institution	Domaines de recherche
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
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
Manu Paranjape	Université de Montréal	Physique des particules
Amanda Peet	Université de Toronto	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Alexander Penin	Université de l'Alberta	Matière condensée, physique des particules
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
Pierre-Nicholas Roy	Université de Waterloo	Information quantique
Moshe Rozali	Université de la Colombie-Britannique	Théorie quantique des champs et théorie des cordes
Barry Sanders	Université de Calgary	Information quantique
Kristin Schleich	Université de la Colombie-Britannique	Gravité forte
Douglas Scott	Université de la Colombie-Britannique	Cosmologie

Nom	Institution	Domaines de recherche
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
Aephraim Steinberg	Université de Toronto	Information quantique
James Taylor	Université de Waterloo	Cosmologie
André-Marie Tremblay	Université de Sherbrooke	Matière condensée
Sean Tulin	Université York	Physique des particules
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
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 E : Membres du conseil d'administration

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

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

M. Lazaridis est le fondateur de l'Institut Périmètre et président de son conseil d'administration, où il contribue à l'obtention d'importantes sommes d'argent des secteurs public et privé pour le financement de l'Institut. Il a également fondé l'Institut d'informatique quantique (IQC) et le Centre Quantum-Nano, tous deux à l'Université de Waterloo. Il a donné plus de 170 millions de dollars à l'Institut Périmètre et plus de 100 millions de dollars à l'IQC.

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

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

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

Cosimo Fiorenza, vice-président du conseil, est vice-président et avocat-conseil de Quantum Valley Investments et du fonds d'investissement Quantum Valley. Auparavant, il a passé environ 20 ans dans de grands cabinets d'avocats de Toronto, où il se spécialisait dans l'impôt des sociétés. Pendant son mandat à Bay Street, il a conseillé certaines des plus grandes sociétés et des principaux entrepreneurs du Canada au sujet de l'impôt sur le revenu et de questions commerciales, en particulier en matière de technologie et de structure internationale. M. Fiorenza a contribué à la mise sur pied de l'Institut Périmètre, dont il est l'un des administrateurs fondateurs. En plus d'être vice-président du conseil d'administration, il est coprésident fondateur 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 première présidente élue d'EducationMatters (la seule fiducie pour l'avancement de l'enseignement public à Calgary), fondatrice de SPEAK (*Support Public Education – Act for Kids* — Soutenir l'enseignement public, agir pour les enfants) et récipiendaire du Prix de Calgary pour l'éducation. Elle est chancelière émérite de l'Université de Calgary, coprésidente de l'Académie des universitaires, qu'elle a mise sur pied au moment où elle a pris sa retraite, et présidente du Cercle du doyen de la Faculté de design environnemental. Mme Cuthbertson est membre du Musée Glenbow, administratrice de l'Institut de la santé osseuse et articulaire de l'Alberta, ainsi que récipiendaire de la Médaille du jubilé de diamant de la reine Elizabeth II. Elle est aussi coprésidente du conseil d'orientation de l'Institut Périmètre.

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

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

Art McDonald, C.C., a été pendant plus de 20 ans directeur du SNO (*Sudbury Neutrino Observatory* – Observatoire de neutrinos de Sudbury) et est professeur émérite à l'Université Queen's. Il a été colauréat du prix Nobel de physique 2015 et du Prix du progrès scientifique (*Breakthrough Prize*) de physique fondamentale 2016, pour l'expérience menée au SNO qui a montré que les neutrinos ont une masse. Les recherches de M. McDonald lui ont valu de nombreuses distinctions, dont la médaille Henry-Marshall-Tory de la Société royale du Canada en 2011 et la médaille Benjamin-Franklin de physique,

conjointement avec le chercheur Yoji Totsuka, en 2007. Il a en outre été fait officier de l'Ordre du Canada en 2007 et promu au grade de compagnon en 2015.

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

Indira Samarasekera, O.C., est administratrice et conseillère principale au cabinet juridique Bennett Jones LLP. Elle a été rectrice et vice-chancière de l'Université de l'Alberta de 2005 à 2015. Ingénieure en métallurgie de renommée mondiale, elle a été faite officière de l'Ordre du Canada. Elle est également membre élue de la Société royale du Canada et de l'Académie nationale de génie des États-Unis. Mme Samarasekera a été présidente du Réseau mondial des universités et membre du Conseil des sciences, de la technologie et de l'innovation du Canada. Elle est membre des conseils d'administration de la Banque Scotia, de Magna International et de la société TransCanada. Indira Samarasekera a obtenu une M.Sc. en génie mécanique à l'Université de la Californie et un doctorat en génie métallurgique à l'Université de la Colombie-Britannique.

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

Annexe F : Membres du comité consultatif scientifique

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

Renate Loll, Université Radboud de Nimègue (membre de 2010 à 2016), présidente du comité
Mme Loll est professeure de physique théorique à l'Institut de mathématiques, d'astrophysique et de physique des particules de l'Université Radboud de Nimègue, aux Pays-Bas. Ses recherches portent principalement sur la gravitation quantique, et sur la conception d'une théorie cohérente capable de décrire les constituants microscopiques de la géométrie de l'espace-temps et les lois de la dynamique quantique régissant leurs interactions. Elle a apporté des contributions majeures à la théorie de la gravitation quantique à boucles et proposé, avec ses collaborateurs, une nouvelle théorie de la gravitation quantique par l'approche des « triangulations dynamiques causales ». Renate Loll dirige l'un des plus grands groupes de recherche au monde sur la gravitation quantique non perturbative et a reçu la prestigieuse subvention individuelle VICI de l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique. En 2015, elle a été élue membre de l'Académie royale néerlandaise des Arts et des Sciences.

Neta Bahcall, Université de Princeton (membre en 2015 et 2016)

Mme Bahcall a le titre de professeure Eugene-Higgins d'astrophysique à l'Université de Princeton. Cette spécialiste en cosmologie observationnelle a été une pionnière des méthodes quantitatives d'interprétation des données astronomiques. Ces méthodes lui ont permis d'obtenir des éclairages essentiels sur des sujets fondamentaux comme la structure à grande échelle, la masse et le destin de l'univers, la formation des galaxies, la nature des quasars et la matière sombre. Entre autres distinctions, Neta Bahcall est membre élue de l'Académie nationale des sciences des États-Unis et de l'Académie américaine des arts et des sciences.

Ganapathy Baskaran, Institut de mathématiques de Chennai (membre de 2013 à 2016)

M. Baskaran est professeur émérite à l'Institut de mathématiques de Chennai, en Inde, où il a fondé le Centre de sciences quantiques. Il est l'auteur d'importantes contributions dans le domaine de la matière quantique fortement corrélée. Il s'intéresse principalement aux nouveaux phénomènes quantiques émergents dans la matière, y compris des phénomènes biologiques. M. Baskaran est bien connu pour sa contribution à la théorie de la supraconductivité à haute température et pour la découverte de champs de jauge émergents dans des systèmes d'électrons fortement corrélés. Il a prédit la supraconductivité d'onde P dans Sr_2RuO_4 , un système que l'on croit compatible avec la présence de fermions de Majorana, qubits populaires en informatique quantique topologique. Il a récemment prédit la supraconductivité à la température ambiante du graphène dopé de manière optimale. De 1976 à 2006, Ganapathy Baskaran a apporté une contribution substantielle au Centre international Abdus-Salam de physique théorique (ICTP), situé à Trieste, en Italie. Il a reçu le prix S.S.-Bhatnagar du Conseil indien de la recherche scientifique et industrielle (1990), et le prix Alfred-Kasler de l'ICTP (1983). Il a été élu membre de l'Académie des sciences de l'Inde (1988), de l'Académie scientifique nationale de l'Inde (1991) et de l'Académie des sciences du Tiers-Monde (2008). Il a également été nommé « Ancien distingué » de l'Institut indien des sciences à Bangalore (2008).

Edmund Copeland, Université de Nottingham (membre en 2015 et 2016)

M. Copeland est professeur de physique à l'Université de Nottingham. C'est un cosmologiste des particules qui s'intéresse en particulier à la manière dont la physique du tout début et de la toute fin de l'univers peut être testée au moyen d'observations aux échelles les plus grandes (astronomie) et les plus petites (physique des particules). Il a joué un rôle prépondérant dans la recherche de modèles fructueux de l'inflation cosmique inspirés par la physique des particules, dans la prédiction des propriétés des cordes cosmiques et dans la détermination de la nature de l'énergie sombre. Entre autres distinctions, Edmund Copeland a reçu un prix Wolfson pour l'excellence en recherche de la Société royale de Londres, ainsi que la médaille et le prix Rayleigh 2013 de l'Institut de physique du Royaume-Uni.

Nigel Hitchin, Université d'Oxford (membre en 2015 et 2016)

M. Hitchin a le titre de professeur savilien de géométrie à l'Université d'Oxford. Il s'intéresse à la géométrie différentielle et algébrique, ainsi qu'à leurs interactions avec les équations de la physique théorique, et il a fait des découvertes notables dans ces domaines. Entre autres distinctions, il a reçu la médaille Sylvester de la Société royale de Londres, le prix Shaw en sciences mathématiques, de même que les prix Berwick principal et Pólya de la Société mathématique de Londres. Nigel Hitchin est en outre membre élu de la Société royale de Londres et de la Société américaine de mathématiques.

Shamit Kachru, Université Stanford (membre en 2015 et 2016)

M. 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.

Sandu Popescu, Université de Bristol (membre en 2015 et 2016)

M. 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. Sandu Popescu a reçu le prix Adams de l'Université de Cambridge, la médaille Clifford-Patterson de la Société royale de Londres, le prix John-Stewart-Bell, de même que la médaille Dirac en physique de l'Institut de physique du Royaume-Uni.

Barbara Terhal, Université RWTH à Aix-la-Chapelle (membre en 2015 et 2016)

Mme 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 *Traitement de l'information quantique* de l'Institut canadien de recherches avancées.

Mark Wise, Institut de technologie de la Californie (membre de 2013 à 2016)

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

Des scientifiques de l'Institut Périmètre 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 chercheurs de l'Institut.

- **Asimina Arvanitaki** fait partie de la collaboration ARIADNE (*Axion Resonant InterAction DetectioN Experiment* – Expérience de détection d'interactions à résonance d'axions)⁴⁴, qui recherche dans la matière des interactions à médiation par des axions. Elle a également proposé un certain nombre de tests expérimentaux de théories de physique fondamentale à l'aide de capteurs en lévitation optique, d'horloges atomiques et de la résonance magnétique nucléaire.
- **Avery Broderick** et **Tim Johannsen** sont membres du projet de télescope EHT (*Event Horizon Telescope* – Télescope horizon des événements)⁴⁵, qui vise à observer directement 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 à la mise au point d'une nouvelle classe d'outils expérimentaux 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.
- **Matthew Johnson**, cosmologiste à l'Institut Périmètre, analyse les données d'expériences qui mesurent le rayonnement fossile, ou fonds diffus cosmologique.
- **Raymond Laflamme** est le directeur de l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo où, entre autres travaux à la jonction 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 BaBar⁴⁶, 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 et Fermilab, et fait partie de l'équipe de l'expérience **GNOME** (*Global Network of Magnetometers for Exotic* – Réseau mondial de magnétomètres pour la recherche de physique exotique)⁴⁷.

⁴⁴ Voir la page <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.113.161801>.

⁴⁵ Voir les pages <https://perimeterinstitute.ca/research/research-initiatives/event-horizon-telescope-eh- initiative> et <http://www.eventhorizontelescope.org>.

⁴⁶ Voir la page <http://www.slac.stanford.edu/BFROOT>.

⁴⁷ Voir la page <http://arxiv.org/abs/1303.5524>.

- **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 routinière pour le traitement des données au grand collisionneur de hadrons 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* – Expérience de diffuseur d'énergie), qui porte sur la recherche de matière sombre, de même que les expériences APEX (*A-Prime EXperiment* – Expérience A') et HPS (*Heavy Photon Search* – Recherche de photons lourds), qui portent sur la recherche de forces inconnues⁴⁸. 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 Planck⁴⁹ de même que les expériences au sol CAPMAP et QUIET⁵⁰. Il participe également au projet CHIME (*Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – Expérience canadienne de cartographie d'intensité de l'hydrogène)⁵¹, qui vise à mesurer les ondes radio provenant du ciel à l'aide du premier grand télescope canadien de recherche construit en plus de 50 ans.
- **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, 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 système RECAST est hébergé à l'Institut Périmètre⁵².

⁴⁸ 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>.

⁴⁹ Voir les pages <http://map.gsfc.nasa.gov> et <http://www.cosmos.esa.int/web/planck>.

⁵⁰ Voir les pages <http://cfcp.uchicago.edu/research/projects/capmap.html> et <http://quiet.uchicago.edu>.

⁵¹ Voir la page <http://chime.phas.ubc.ca>.

⁵² Pour de plus amples renseignements sur RECAST, voir les pages <http://arxiv.org/abs/1010.2506> et <http://recast.it>.

L'Institut Péricimètre entretient aussi des liens avec le milieu de l'expérimentation grâce à son programme de conférences. En 2015-2016, plusieurs de ces conférences ont porté directement sur des résultats expérimentaux et les défis qu'ils posent. Mentionnons les conférences suivantes :

- *Cosmic Flows and Other Novelties on Large Scales* (Flux cosmiques et autres nouveautés à grande échelle);
- *Condensed Matter Physics and Topological Field Theory* (Physique de la matière condensée et théorie des champs topologiques);
- *Feedback over 44 Orders of Magnitude: From Gamma-Rays to the Universe* (Réactions sur 44 ordres de grandeur : des rayons gamma à l'univers);
- *Cosmological Frontiers in Fundamental Physics* (Frontières cosmologiques en physique fondamentale);
- *Concepts and Paradoxes in a Quantum Universe* (Concepts et paradoxes dans un univers quantique).

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

En 2015-2016, l'Institut Périmètre a été présent dans des médias canadiens et étrangers, entre autres *The Globe and Mail*, *The Washington Post*, *Wired*, *Maclean's*, *TVO*, *CBC*, *BBC News*, *Nature* et *Scientific American*. Voici quelques points saillants de la présence de l'Institut Périmètre dans les médias.

Médias	Titre	Date	Résumé
Scientific American	After Einstein, a New Generation Tries to Create a Theory of Everything	18 août 2015	Il s'agit d'un article de fond sur les recherches à propos des problèmes que la relativité générale ne peut pas résoudre. Il met en évidence la dynamique des formes – méthode sur laquelle l'IP travaille énormément – de même qu'une entrevue avec Lee Smolin, de l'IP.
Émission Ideas de la radio anglaise de Radio-Canada, avec Paul Kennedy	Similes and Science, Part 1	10 septembre 2015	Cette émission de radio aborde les notions d'imagination et de créativité en physique. L'entrevue menée par Paul Kennedy met en vedette Matthew Johnson, de l'IP, et Sara Seager, du MIT.
The Globe and Mail	Canadian physicist shares Nobel Prize for neutrinos experiment	6 octobre 2015	Cet article porte sur l'attribution du prix Nobel de physique à Art McDonald, membre du conseil d'administration de l'IP. Neil Turok, de l'IP, y est cité.
Émission Fresh Air de la radio anglaise de Radio-Canada	Mary Ito with Neil Turok	17 octobre 2015	Il s'agit d'une conversation de 12 minutes entre Mary Ito et Neil Turok sur les liens entre, d'une part, la recherche théorique et expérimentale (en particulier au CERN) et, d'autre part, l'« âge d'or » actuel de la physique.
Popular Science	General Relativity: 100 Years Old And Still Full Of Surprises	20 octobre 2015	Lee Smolin, de l'IP, est en vedette dans ce long article sur l'importance constante de la relativité générale pour l'étude de la physique théorique.
Gizmodo Également paru dans Gizmodo India	This Artist Painted Physicists Into a 3D Living Chalkboard	21 octobre 2015	Cet article porte sur l'œuvre d'Alexa Meade alors qu'elle était artiste en résidence à l'IP. Cet article comprend une vidéo produite par l'IP.
The Globe and Mail	Leveraging the tools of innovation	17 novembre 2015	Cet article de la section du <i>Globe and Mail</i> portant sur la recherche et l'innovation consiste en une série de questions et réponses avec Michael Duschenes, chef de l'exploitation à l'IP. M. Duschenes parle de la chaîne de l'innovation, qui commence avec la recherche fondamentale, et du rôle de l'IP dans la <i>Quantum Valley</i> .
Maclean's	Art McDonald on how to win a Nobel Prize	21 novembre 2015	Il s'agit d'un article de fond sur la vie et l'œuvre d'Art McDonald, lauréat d'un prix Nobel. Neil Turok, de l'IP, y est cité.

Médias	Titre	Date	Résumé
Macleans.ca	<u>Ten steps to make Canada a leader in science</u>	25 novembre 2015	Il s'agit d'un article d'opinion de Lee Smolin, de l'IP, sur les 10 choses que le gouvernement canadien peut accomplir pour faire du Canada un chef de file en sciences.
Space.com Également paru dans <i>Live Science</i>	<u>Turbulent Magnetic 'Perfect Storm' Triggers Hypernovas</u>	1 ^{er} décembre 2015	Cet article porte sur la recherche qui construit un modèle de la création d'une supernova. Erik Schnetter, de l'IP, y est abondamment cité.
<i>The Washington Post</i>	<u>Scientists detect the magnetic field that powers our galaxy's supermassive black hole</u>	4 décembre 2015	Cet article porte sur la détection par le télescope EHT du champ magnétique qui entoure le trou noir supermassif situé au centre de notre galaxie. Avery Broderick, de l'IP, y est cité.
<i>Motherboard</i> Également paru dans <i>Motherboard Canada</i>	<u>Earth-Sized Telescope Bags Magnetic Fields from the Milky Way's Black Hole Core</u>	5 décembre 2015	Cet article porte sur la détection par le télescope EHT du champ magnétique qui entoure le trou noir supermassif situé au centre de notre galaxie. Avery Broderick, de l'IP, y est abondamment cité.
<i>New Scientist</i>	<u>Physicists dream up crystal based on elegant satellite dance</u>	15 janvier 2016	Il s'agit d'un article sur les travaux récents de Latham Boyle et Kendrick Smith, chercheurs à l'IP, sur les cristaux « dynamique ». Latham Boyle y est abondamment cité.
<i>Wired</i>	<u>The Death of General Relativity Lurks in a Black Hole's Shadow</u>	27 janvier 2016	Il s'agit d'un article sur les recherches récemment publiées par Tim Johannsen, postdoctorant associé à l'IP, et Avery Broderick, professeur associé à l'IP. Ces recherches portent sur la capacité du télescope EHT à aider les physiciens à mettre à l'épreuve la relativité générale dans des situations de gravité forte.
<i>Scientific American</i>	<u>Gravitational Waves Discovered from Colliding Black Holes</u>	11 février 2016	Cet article porte sur la détection d'ondes gravitationnelles par l'équipe du projet LIGO. Luis Lehner, professeur à l'IP, y est cité.
<i>Wired</i>	<u>Scientists Spot the Gravity Waves that Flex the Universe</u>	11 février 2016	Cet article porte sur la détection d'ondes gravitationnelles par l'équipe du projet LIGO. Avery Broderick, chercheur à l'IP, y est cité.
<i>The Guardian</i> Également paru dans MSN Nouvelle-Zélande et MSN Philippines	<u>Gravitational waves: discovery hailed as breakthrough of the century</u>	11 février 2016	Cet article porte sur la détection d'ondes gravitationnelles par l'équipe du projet LIGO. Neil Turok, directeur de l'IP, y est cité.
<i>The Globe and Mail</i>	<u>'I felt disbelief.' Physicists open new window on the universe</u>	11 février 2016	Cet article porte sur la détection d'ondes gravitationnelles par l'équipe du projet LIGO. Neil Turok et Luis Lehner, de l'IP, y sont cités.

Médias	Titre	Date	Résumé
The Globe and Mail	<u>'Brilliant' physicist to hold \$8-million research chair at Perimeter Institute</u>	28 avril 2016	Cet article fait suite à l'annonce de la chaire de recherche Fondation Stavros-Niarchos-Aristarque de physique théorique de l'Institut Péricètre, dotée d'un fonds de 8 millions de dollars et dont la titulaire est Asimina Arvanitaki, professeure à l'IP.
New Scientist	<u>Bully particle beats up atoms to fix cosmic accounting glitch</u>	8 juin 2016	Il s'agit d'un article sur les travaux récents de Maxim Pospelov, chercheur à l'IP, à propos du lithium.
New Scientist	<u>Our universe could be reborn as a bouncing baby cosmos</u>	11 juillet 2016	Il s'agit d'un article sur les travaux récents de Neil Turok et ses collaborateurs à propos de la théorie « du grand rebond » en cosmologie. Neil Turok y est abondamment cité.