

**PLAN À LONG TERME POUR**  
la physique subatomique au Canada

2022  
2026

ET PERSPECTIVES JUSQU'EN 2036

ABRÉGÉ



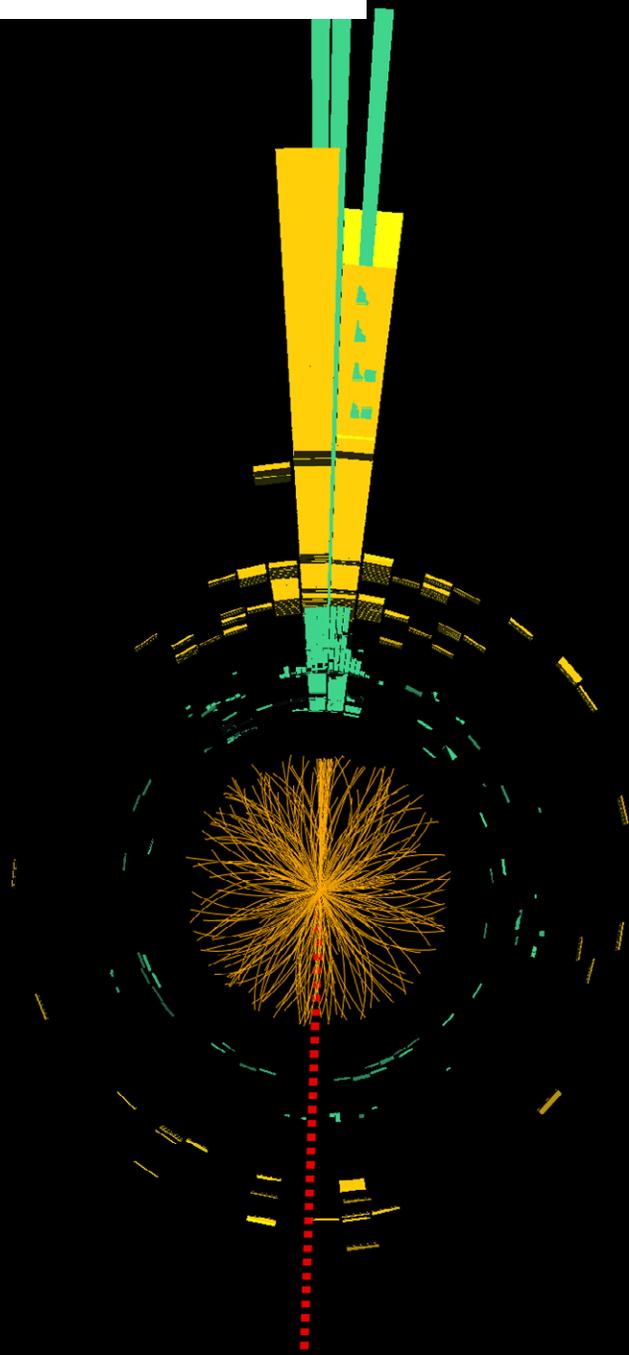
PLAN À LONG TERME POUR  
la physique subatomique au Canada

2022 —  
2026

ET PERSPECTIVES JUSQU'EN 2036

ABRÉGÉ

CETTE PAGE : Reconstruction par ordinateur du résultat d'une collision proton-proton de haute énergie enregistrée par le détecteur ATLAS au Grand collisionneur de hadrons (LHC), un accélérateur de particules du laboratoire du CERN en Suisse. [Crédit : Collaboration ATLAS]



# LA PHYSIQUE SUBATOMIQUE

est une science fondamentale qui vise à comprendre les constituants de base de l'univers ainsi que les lois qui expliquent le comportement de ces constituants.

**A**U COURS du siècle dernier, la communauté mondiale de la physique subatomique a amélioré les connaissances du domaine, aboutissant à l'élaboration du modèle standard de la physique des particules. Ce cadre théorique unifie l'électromagnétisme, les forces fortes qui lient les protons et les neutrons, et les forces faibles qui régissent les neutrinos et la désintégration nucléaire. Le développement permanent de ce cadre théorique a récemment conduit à la découverte du boson de Higgs en 2012. Même si des progrès remarquables ont été réalisés dans ce domaine, de nombreuses questions essentielles subsistent. Les objectifs à venir comprennent la détermination de la nature de la matière noire et l'origine de la masse des neutrinos, l'explication de la manière dont la structure nucléaire émerge de la théorie des quarks et des gluons, et l'amélioration de notre compréhension de la mécanique quantique et de la relativité en vue de découvrir

des structures de base qui sous-tendent la matière et les forces fondamentales.

Le perfectionnement de nos connaissances collectives en physique subatomique représente un effort de collaboration internationale, qui implique une synergie entre des travaux théoriques avancés, des analyses informatiques de pointe et des expériences qui utilisent certaines des machines les plus sophistiquées jamais conçues, comme le grand collisionneur de hadrons du CERN. Au sein de cette communauté mondiale, la physique subatomique canadienne jouit d'une réputation enviable, grâce à son leadership et à son impact sur bon nombre des projets importants qui ont permis de faire progresser nos connaissances au cours des dernières décennies. Les chercheurs canadiens ont notamment été au premier plan dans des projets expérimentaux liés aux récents prix Nobel pour la découverte du boson de Higgs et du changement de saveur des neutrinos.



CETTE PAGE : Étudiant de premier cycle Aditya Babu (Waterloo) travaillant sur la mesure des durées de vie des noyaux à vie courte à l'aide du détecteur GRIFFIN à TRIUMF. [Crédit : TRIUMF]

« Michael Faraday n'a pas eu de formation universitaire – il a juste suivi sa curiosité et est devenu l'un des expérimentateurs les plus réputés en physique et au-delà. Bien que la recherche en physique soit beaucoup plus spécialisée aujourd'hui, le travail effectué à TRIUMF est considérablement plus collaboratif et a tellement plus d'applications interdisciplinaires que je ne l'aurais jamais imaginé. Des personnes du monde entier travaillent ensemble, chacune avec sa propre expérience. Même si presque toutes les expériences de nos jours sont hautement spécialisées dans un domaine particulier, vous avez toujours besoin de personnes possédant un ensemble de compétences diverses pour qu'elles réussissent. »



Au cours des cinq dernières années, les Canadiens ont joué un rôle important dans des expériences nationales et internationales, notamment avec une participation substantielle à l'expérience ATLAS du LHC ou encore une variété d'efforts stratégiques sur des projets dans des installations canadiennes et internationales de classe mondiale. Ces projets visent à tester les propriétés des neutrinos et rechercher la matière noire, à tester la structure des protons, des neutrons et des noyaux de plus en plus complexes, et à effectuer divers essais de précision des symétries fondamentales et des propriétés de base du modèle standard. Le Canada est également bien placé pour jouer un rôle majeur dans le développement de ce domaine, puisqu'il héberge l'Institut Périphérie de physique théorique à Waterloo, en Ontario, et deux installations expérimentales de classe mondiale, le laboratoire souterrain profond SNOLAB à Sudbury, en Ontario, et le centre canadien des accélérateurs de particules TRIUMF à Vancouver, en Colombie-Britannique. La communauté canadienne a conduit des projets dans ces installations nationales et a aussi investi stratégiquement dans des laboratoires internationaux qui offrent des infrastructures complémentaires de premier ordre.

Les investissements dans la recherche en physique subatomique ont des retombées multiples. Non seulement ils approfondissent notre compréhension collective de la nature, mais ce domaine est une source d'inspiration et un terrain de formation riche et unique pour les étudiants et le personnel de recherche. Outre les compétences fondamentales en matière de résolution de problèmes, qui sont

typiques de l'enseignement de la physique, la nature hautement collaborative de la recherche en physique subatomique permet également aux stagiaires d'acquérir de précieuses « compétences non techniques ». En outre, les fortes synergies entre la physique subatomique et d'autres domaines, notamment l'astronomie et la cosmologie, la science des matériaux, les technologies quantiques et le calcul à haute performance, offrent de nombreuses possibilités de recherches interdisciplinaires. Les recherches en physique subatomique sont aussi à l'origine du développement de technologies, dont les retombées sont désormais importantes pour de nombreux domaines tels que les soins de santé, l'énergie et l'informatique.

L'impact de la communauté canadienne de physique subatomique au cours des dernières années a été renforcé par une organisation collective et un effort unifié sur des projets soigneusement déterminés, avec des résultats scientifiques significatifs. En concertation avec la communauté canadienne de la physique subatomique, le Comité de planification à long terme en physique subatomique a élaboré une feuille de route pour maintenir son niveau de succès au cours de la période 2022-2026, avec des perspectives jusqu'en 2036. Le plan de recherche s'appuie sur les mêmes principes directeurs qui ont soutenu les réussites passées :

- ▶ s'attaquer aux problèmes de recherche les plus importants dans le domaine;
- ▶ maximiser l'impact en concentrant les efforts et en assumant des responsabilités de direction dans certains grands projets, tout en s'engageant stratégiquement dans

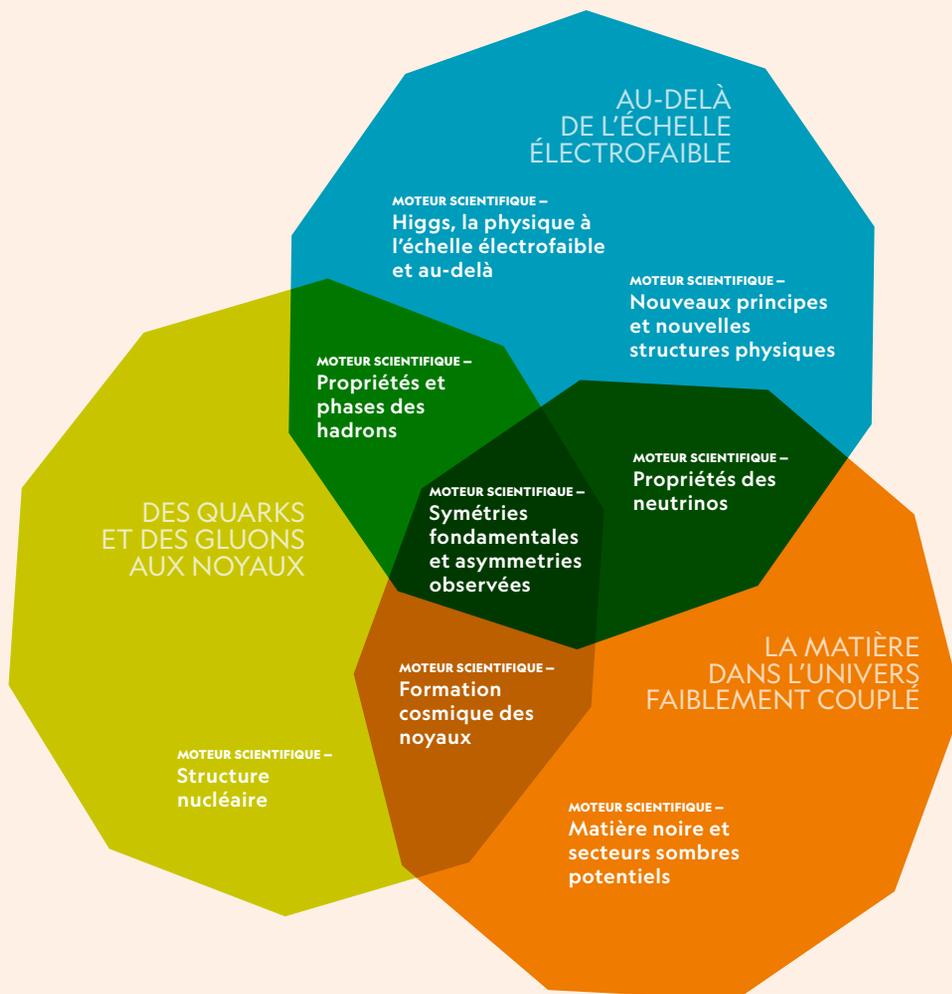


FIGURE 1. Représentation schématisée des trois grandes orientations scientifiques et des huit moteurs scientifiques pour le domaine de la recherche en physique subatomique.

une série de projets à plus petite échelle offrant un potentiel de récompense élevé;

- ▶ conserver la flexibilité nécessaire pour s'adapter aux nouvelles avancées scientifiques; et
- ▶ faire participer pleinement une population de plus en plus diversifiée d'étudiants et de postdoctorants à tous les aspects de la recherche, et soutenir leur perfectionnement professionnel.

Les moteurs scientifiques de la recherche en physique subatomique, et les occasions qui y sont associées, peuvent être structurés autour de trois grandes orientations scientifiques :

#### ORIENTATION SCIENTIFIQUE MAJEURE –

##### **Des quarks et des gluons aux noyaux.**

Grâce à la mise à niveau de l'Advanced Rare Isotope Laboratory (ARIEL) et la suite associée de cibles et d'expériences utilisant des faisceaux d'isotopes rares, le laboratoire canadien TRIUMF permet au Canada d'assurer son rôle de leader dans la cartographie de la structure et des propriétés nucléaires. En outre, des investissements stratégiques dans des installations nouvelles et complémentaires à l'étranger, notamment aux États-Unis et en Europe, permettront d'élargir les capacités de recherche.

#### ORIENTATION SCIENTIFIQUE MAJEURE –

##### **La matière dans l'univers faiblement couplé.**

La recherche de l'identité de la matière noire dans l'univers et des propriétés sous-jacentes des neutrinos est un

domaine d'intérêt croissant dans le monde entier. Le Canada est très bien placé pour continuer à jouer un rôle central dans cet effort international, avec l'installation souterraine SNOLAB à Sudbury, qui accueille actuellement une variété d'expériences de pointe au niveau mondial et qui pourra être un chef de file dans les recherches de prochaine génération. Le Canada participe aussi activement aux grandes expériences internationales sur les neutrinos.

#### ORIENTATION SCIENTIFIQUE MAJEURE –

##### **Au-delà de l'échelle électrofaible.**

La communauté canadienne est bien placée pour explorer la frontière des hautes énergies grâce à sa participation de longue date à des projets internationaux de collision de particules en Europe et au Japon, et à sa participation stratégique à des expériences de précision à plus petite échelle. De plus, le laboratoire TRIUMF du Canada a la possibilité de se positionner comme une installation de premier plan au niveau mondial pour les futurs essais de haute précision de la physique à la frontière des hautes énergies utilisant des isotopes rares. Le Canada est également destiné à jouer un rôle important dans le développement de la prochaine génération de collisionneurs de particules.

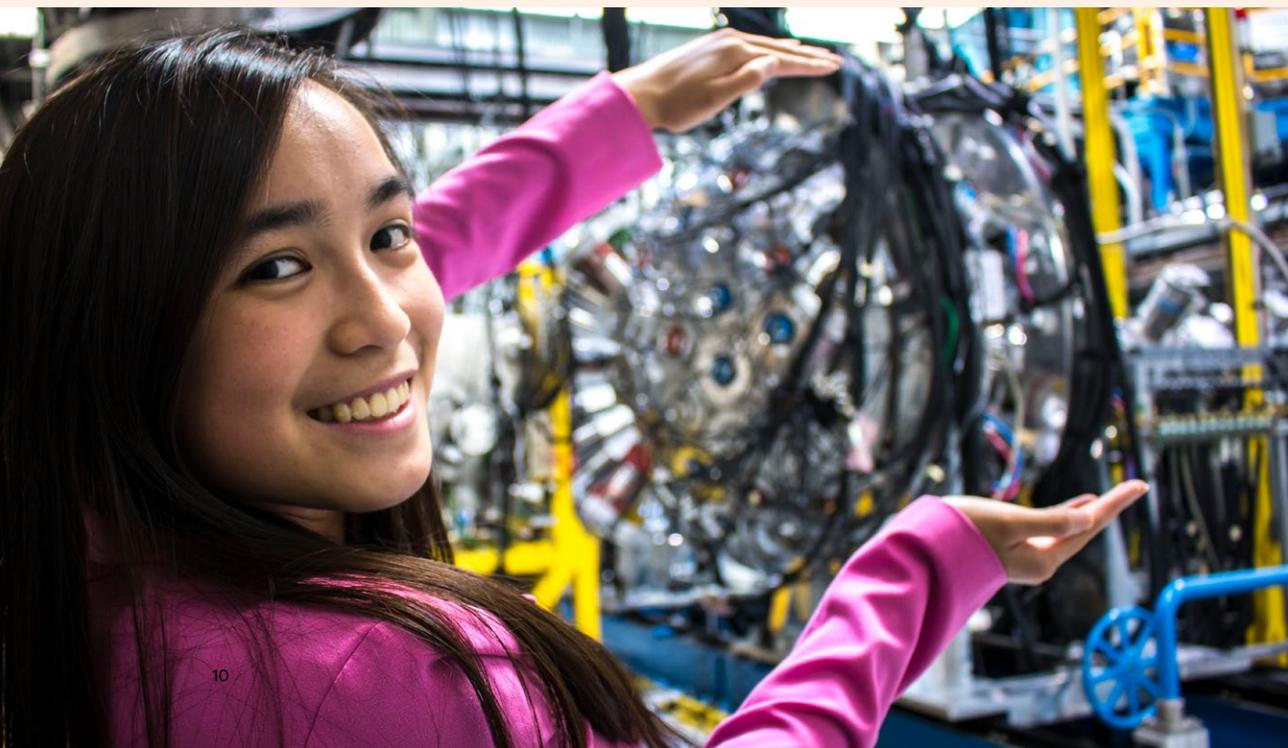
Les travaux théoriques des physiciens subatomiques canadiens sur tous ces sujets sont essentiels aux progrès futurs. Ceci comprend notamment des travaux étroitement liés à



TRIUMF, le centre canadien d'accélération des particules, est un laboratoire unique de classe mondiale qui héberge son propre programme national de physique couronné de succès et qui soutient la participation du Canada à la physique subatomique sur la scène internationale.

EN HAUT : Le département de théorie de TRIUMF est unique au Canada en tant qu'équipe théorique intégrée dans un laboratoire d'isotopes rares de classe mondiale. Ce contexte fournit une interface synergique où les travaux théoriques originaux sont éclairés par des technologies et des résultats expérimentaux de pointe, ainsi que guident et inspirent les approches expérimentales. Le Département de théorie est spécialisé dans la théorie de la physique nucléaire et des particules. [Crédit : TRIUMF]

EN BAS : Étudiant de premier cycle et assistant de sensibilisation au public faisant visiter les installations de recherche de TRIUMF. Cela fait partie de la mission principale de TRIUMF de "découvrir et innover, inspirer et éduquer, créer des connaissances et des opportunités pour tous". [Crédit : TRIUMF]



l'analyse et à l'interprétation des expériences, ainsi que la théorie fondamentale qui recherche les nouvelles idées qui expliqueront les énigmes existantes et façonneront notre compréhension de la physique subatomique à l'avenir.

Un certain nombre de sources de financement externes et internes seront requises pour que la communauté de la physique subatomique puisse profiter pleinement de ces possibilités pour le Canada. Des augmentations modérées mais essentielles du financement opérationnel par le biais de l'enveloppe du CRSNG pour la physique subatomique, et un accès continu au financement des immobilisations aux niveaux actuels pour les nouveaux projets expérimentaux par le biais de la FCI, sont nécessaires. Un financement substantiel et stable est de plus impératif pour maximiser l'impact des installations uniques de classe mondiale du Canada : SNOLAB, TRIUMF, et l'Institut Périmètre. Dans ce domaine, les infrastructures informatique et réseautique sont essentielles, et la nouvelle Alliance de recherche numérique du Canada (anciennement NDRIO) et CANARIE sont des composantes vitales de l'écosystème de la recherche en physique subatomique. Les possibilités de financement pour développer des technologies habilitantes et émergentes sont également critiques pour soutenir les futurs projets de recherche. Le maintien du soutien au programme de recherche scientifique de l'Institut de physique des particules (IPP) du Canada est une priorité pour la communauté.

En outre, les initiatives développées et gérées par l'Institut Arthur B McDonald ont apporté une valeur considérable à l'écosystème de la physique subatomique au Canada. Au niveau gouvernemental, les développements scientifiques ultérieurs seront grandement facilités par l'existence de structures nationales de haut niveau qui permettent de coordonner les coûts des projets scientifiques à grande échelle et de favoriser l'engagement international dans des projets multinationaux. Enfin, la création d'une communauté canadienne de physique subatomique plus équitable, plus diversifiée et plus inclusive est essentielle pour garantir l'excellence de la recherche et pour que les avantages sociétaux qui découlent de la recherche en physique subatomique soient répartis équitablement. Les efforts soutenus des personnes et des organisations pour améliorer l'équité, la diversité et l'inclusion doivent englober la formation, le perfectionnement professionnel et la sensibilisation.

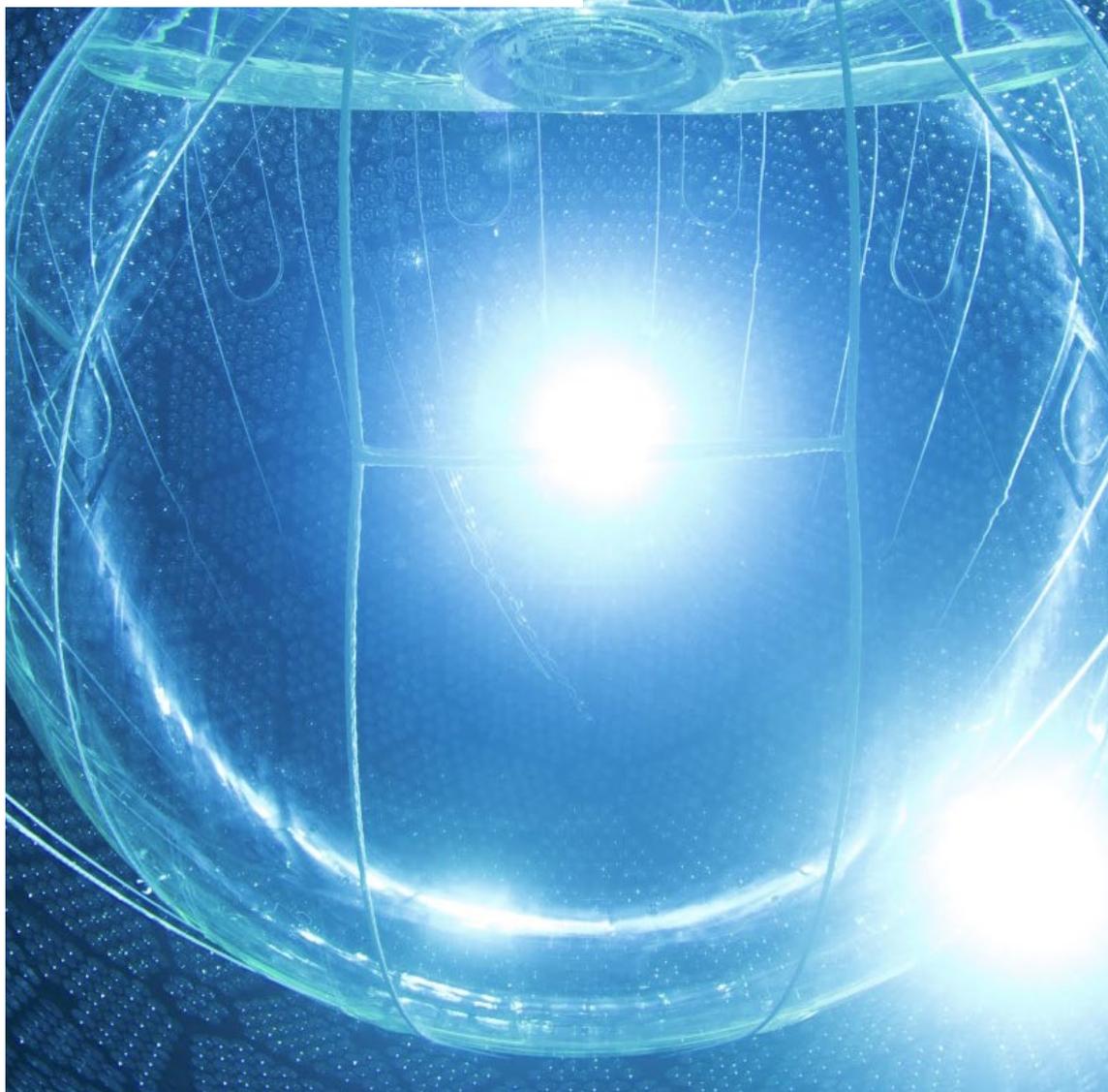
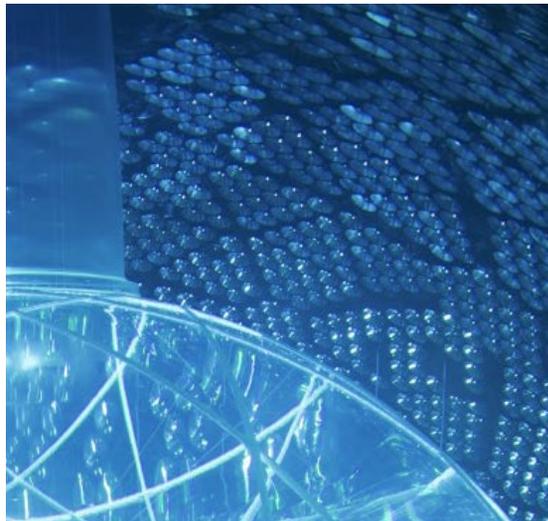
La communauté de la physique subatomique au Canada a remporté de grands succès. Elle est très bien placée pour relever les défis à venir et percer les secrets de la physique fondamentale à l'échelle subatomique. Le plan à long terme pour 2022-2026 est décrit en détail dans le rapport accompagnant cet abrégé, ainsi que les principales mesures à prendre, dont quelques-unes ont été mises en évidence ci-dessus. Il exprime une série de recommandations relatives à la science, au financement, à la politique et à la communauté.

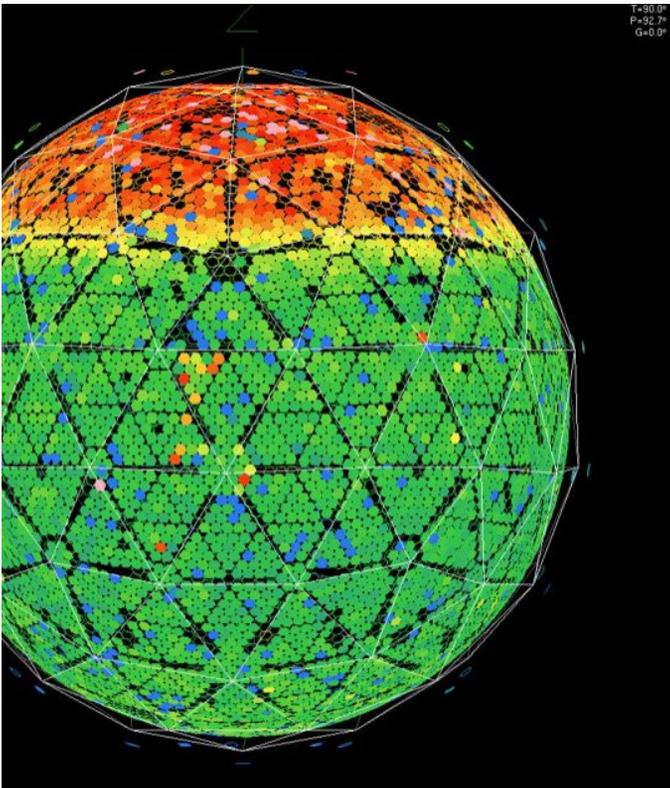
SNOLAB, le laboratoire de recherche souterrain du Canada à Sudbury, en Ontario, est le laboratoire le plus profond et propre au monde. SNOLAB héberge le détecteur SNO+, conçu pour sonder la nature des neutrinos à l'aide d'un détecteur à scintillateur liquide. L'élément chimique tellure sera éventuellement ajouté au scintillateur liquide pour tenter de détecter l'hypothétique réaction de double désintégration bêta sans émission de neutrinos.

CETTE PAGE : L'intérieur du détecteur SNO+ lors du remplissage de la cuve avec un scintillateur liquide. [Crédit : SNOLAB]

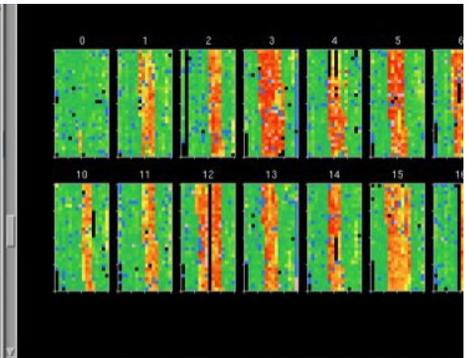
PAGE SUIVANTE, EN HAUT : La cavité souterraine du SNOLAB abritant le détecteur SNO+, illustrée lors de travaux de mise à niveau. [Crédit : SNOLAB]

PAGE SUIVANTE, EN BAS : Lecture des données en direct du détecteur SNO+. [Crédit : SNOLAB]





T=90.0°  
P=92.7°  
G=0.0°



CETTE PAGE ET LA PAGE SUIVANTE : Des chercheurs célèbrent l'achèvement de la première des deux nouvelles petites roues à muons (NSW) pour la mise à niveau de l'expérience ATLAS au laboratoire du CERN en Suisse. L'expérience ATLAS permet aux chercheurs d'étudier les résultats des collisions proton-proton à haute énergie produites au Grand collisionneur de hadrons, dans le but d'étudier les propriétés du boson de Higgs, le mécanisme de brisure de symétrie électrofaible, ainsi que de rechercher de nouveaux phénomènes physiques. [Crédit : F. Lanni.]



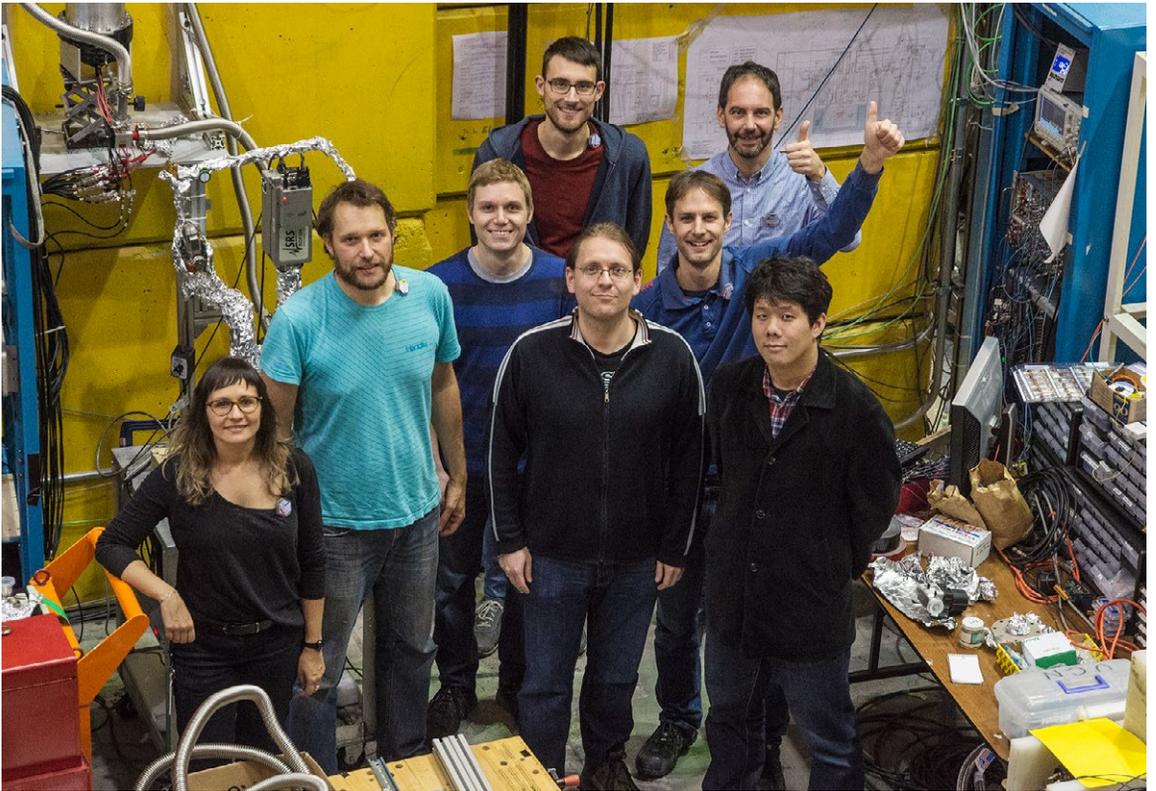


L'Institut Périmètre en physique théorique, à Waterloo, en Ontario, est un centre de renommée mondiale et de renommée internationale pour la recherche fondamentale, la formation des diplômés et la sensibilisation par l' ducation.

CETTE PAGE ET LA PAGE SUIVANTE : Des chercheurs interagissent à l'Institut Périmètre de physique théorique.  
[Source : Institut Périmètre]







EN HAUT : Des chercheurs de la collaboration canado-japonaise TUCAN réunis dans l'enceinte expérimental à TRIUMF. L'expérience TUCAN vise à mesurer le moment dipolaire électrique des neutrons avec une précision sans précédent, afin de comprendre l'origine de la prépondérance de la matière sur l'antimatière dans l'univers. [Crédit : TRIUMF]

EN BAS : Chercheurs travaillant sur l'expérience PICO au laboratoire canadien SNOLAB. Le but de l'expérience PICO est de rechercher la matière noire à travers d'éventuelles interactions avec la matière nucléaire qui dépendent du spin du noyau cible. [Crédit : SNOLAB]

# Recommandations

## RECOMMANDATIONS SCIENTIFIQUES

### 1 – INFRASTRUCTURES CANADIENNES

*Nous recommandons de tirer pleinement parti des occasions scientifiques uniques offertes par les infrastructures SNOLAB et TRIUMF, ainsi que par l'Institut Périmètre, dans la poursuite des moteurs scientifiques.*

## RECOMMANDATIONS SCIENTIFIQUES

### 2 – PROGRAMMES THÉORIQUES

*La masse critique et l'étendue des recherches sont essentielles pour que la communauté théorique au Canada puisse optimiser l'incidence de la recherche à venir en physique subatomique. Nous recommandons de soutenir activement la recherche théorique en physique subatomique au cours de la prochaine décennie, à la fois pour explorer de nouvelles directions purement théoriques, ainsi que pour soutenir l'interaction synergique entre la théorie et l'expérimentation subatomiques.*

## RECOMMANDATIONS SCIENTIFIQUES

### 3 – PROGRAMMES EXPÉRIMENTAUX

*Il est nécessaire de mettre en œuvre un vaste programme expérimental pour répondre aux moteurs scientifiques de la recherche en physique subatomique. Nous recommandons la poursuite des orientations scientifiques hautement prioritaires suivantes.*

*continue sur la prochaine page →*

- ▶ *Des quarks et des gluons aux noyaux – Le futur programme doit explorer la structure des hadrons et des noyaux en utilisant des isotopes rares et des installations basées sur des accélérateurs. Il doit inclure l'exploitation complète de TRIUMF, des installations de faisceaux d'électrons et de faisceaux d'isotopes rares (RIB) à l'étranger et un futur collisionneur électron-ion.*
- ▶ *La matière dans l'univers faiblement couplé – Le futur programme doit intégrer la recherche de la matière noire en utilisant des techniques complémentaires directes et indirectes, y compris par la détection directe à l'échelle de plusieurs tonnes. Il doit inclure l'exploration plus poussée des propriétés des neutrinos par le biais d'expériences de double désintégration bêta sans émission de neutrinos, d'expériences à grande distance et d'observatoires de neutrinos.*
- ▶ *Au-delà de l'échelle électrofaible – Le futur programme doit étudier la matière et ses interactions à des échelles d'énergie de plus en plus élevées, y compris l'exploitation d'une future « usine à Higgs » et d'un collisionneur à la frontière des hautes énergies, ainsi que des techniques indirectes de haute précision.*

*Ce programme scientifique est actuellement mis en œuvre sous l'impulsion du leadership canadien dans un ensemble de projets phares identifiés en fonction de leurs retombées scientifiques potentielles, de l'expertise canadienne de base, du niveau d'engagement communautaire, des possibilités de formation scientifique et technologique de la prochaine génération et des investissements canadiens à ce jour :*

	<i>Projets phares avec des résultats généraux en physique</i>	<i>Projets phares avec des résultats stratégiques en physique</i>
<b>DES QUARKS ET DES GLUONS AUX NOYAUX</b>	Expériences TRIUMF ARIEL-ISAC, EIC	Programme JLab 12 GeV, expériences RIB à l'étranger
<b>LA MATIÈRE DANS L'UNIVERS FAIBLEMENT COUPLÉ</b>	T2K/HK, IceCube, SNO+	DEAP, PICO-500, SuperCDMS
<b>AU-DELÀ DE L'ÉCHELLE ÉLECTROFAIBLE</b>	ATLAS(LHC/HL-LHC), Belle II	ALPHA/HAICU, MOLLER, TUCAN

*Nous recommandons de soutenir ces projets, ainsi que les initiatives du programme scientifique ayant un fort potentiel d'impact, qui sont en cours de développement ou qui pourraient être développées dans les années à venir. Les projets potentiels, les activités de développement en cours et leurs échéances sont énumérés dans le portefeuille de recherche présenté à la [FIGURE 4](#).*

# DES QUARKS ET DES GLUONS AUX NOYAUX



- MOTEURS SCIENTIFIQUES :
- Structure nucléaire
  - Noyaux cosmiques
  - Hadrons
  - Matière/secteurs sombres
  - Neutrinos
  - Higgs et au-delà
  - Symétrie
  - Nouveaux principes

## Théorie

### THÉORIE

## Installations d'isotopes rares

**TRIUMF:** ISAC experiments

**TRIUMF:** ARIEL photo-fission

**TRIUMF:** ARIEL 2nd proton beamline

**TRIUMF:** CANREB

**RIBF**

**GSI:** FAIR Phase-0

**GSI:** FAIR

**FRIB**

## Accélérateur de particules

**CREX**

**GlueX**

**SoLID**

**JEF**

## Collisionneur electron-ion

**EIC**

2020                      2025                      2030                      2035

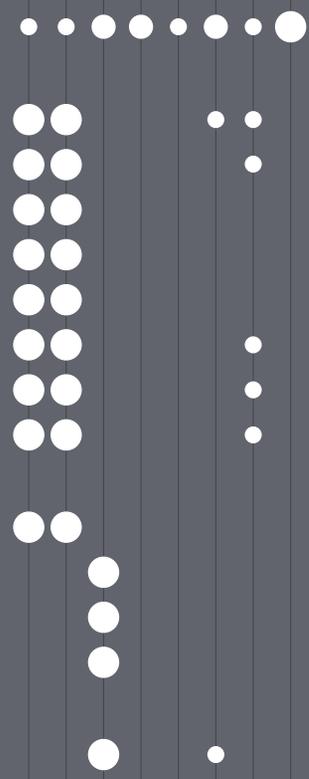


FIGURE 2. Une représentation schématique du portefeuille canadien de recherche en physique subatomique, avec les projets actuels et approuvés indiqués en couleurs pleines, et les projets futurs potentiels avec des échéanciers concrets au moment de la rédaction indiqués en couleurs hachurées.

## LÉGENDE



# LA MATIÈRE DANS L'UNIVERS FAIBLEMENT COUPLÉ



MOTEURS SCIENTIFIQUES :

Structure nucléaire

Noyaux cosmiques

Hadrons

Matière/secteurs sombres

Neutrinos

Higgs et au-delà

Symétrie

Nouveaux principes

*Théorie*

## THÉORIE

*Détection directe de la matière sombre*

**SNOLAB: DEAP**

**SNOLAB: SuperCDMS**

**SNOLAB: PICO-500**

**SNOLAB: NEWS-G**

**SNOLAB: SBC**

**DS20k**

**ARGO**

*Accélérateur de particules*

**TRIUMF: DarkLight**

**TRIUMF/LLNL: BeEST**

*Double désintégration bêta sans émission de neutrinos*

**SNOLAB: SNO+**

**SNOLAB: nEXO**

**SNOLAB: LEGEND**

*Observatoires de neutrinos*

**IceCube**

**SNOLAB: HALO**

**HALO-1kT**

**P-ONE**

*Neutrinos sur longue distance*

**T2K**

**Hyper-K**

**DUNE**

2020

2025

2030

2035

## LÉGENDE

Phase R&D

Construction

Operation

Poursuite de  
l'exploitation

Projets  
proposés

# AU-DELÀ DE L'ÉCHELLE ÉLECTROFAIBLE



- MOTEURS SCIENTIFIQUES :
- Structure nucléaire
  - Noyaux cosmiques
  - Hadrons
  - Matière/secteurs sombres
  - Neutrinos
  - Higgs et au-delà
  - Symétrie
  - Nouveaux principes

## Théorie

### THÉORIE

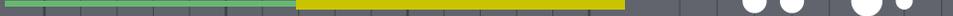


## Collisionneur proton-proton

### ATLAS



### ATLAS (HL-LHC)



## Collisionneur electron-positon

### Belle-II



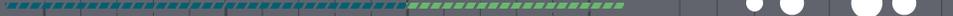
### Chiral Belle



### ILC



### FCC-ee



## Accélérateur de particules

### NA62



### MoEDAL



### MOLLER



### MATHUSLA



### PIONEER



## Installations d'isotopes rares

### TRIUMF: Francium experiments



### TRIUMF: RAMS



## Source de neutrons

### TRIUMF: TUCAN

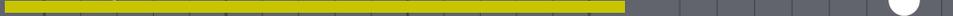


### Nab

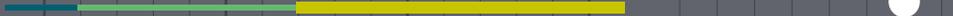


## Source d'antimatière

### ALPHA-3/g



### HAICU



2020

2025

2030

2035

## LÉGENDE

- Phase R&D
- Construction
- Operation
- Poursuite de l'exploitation
- Projets proposés

## RECOMMANDATIONS SCIENTIFIQUES

### 4 – ACTIVITÉS DE R ET D

*Nous recommandons de soutenir les activités de R et D pour le développement des accélérateurs de particules et de la technologie des détecteurs, ainsi que la mise au point et l'utilisation des technologies émergentes, notamment les nouveaux outils de calcul et d'analyse.*

## RECOMMANDATION POUR LA COMMUNAUTÉ

### 5 – ÉQUITÉ, DIVERSITÉ ET INCLUSION

*La communauté canadienne de la physique subatomique manque de diversité, à l'instar de certains autres domaines scientifiques et technologiques. Ce manque de représentation a de nombreuses causes et s'étend à toute la gamme des carrières, des étudiants diplômés aux professeurs chevronnés. Il est largement reconnu que la diversité est précieuse pour la recherche et que le manque de diversité constitue, en soi, un obstacle à l'entrée dans le domaine.*

- ▶ *Nous recommandons la poursuite d'autres actions soutenues alignées sur la charte Dimensions des trois organismes fédéraux de financement de la recherche, y compris la collecte et l'analyse régulières de données, des initiatives ciblées pour améliorer l'équité, la diversité et l'inclusion dans les activités communautaires, et l'utilisation par la communauté de comités formels par le biais des instituts pour soutenir ces efforts ou les coordonner avec les partenaires.*
- ▶ *Nous recommandons à la communauté de la physique subatomique de promouvoir une représentation équilibrée dans les rôles de direction à haute visibilité, car les personnes occupant ces postes sont des modèles importants, tout en reconnaissant que la réalisation d'une représentation adéquate peut augmenter la charge de travail des membres des groupes sous-représentés.*
- ▶ *Nous recommandons que la communauté de la physique subatomique favorise l'inclusion en reconnaissant l'héritage de la colonisation au Canada, par exemple en reconnaissant l'utilisation des terres lors d'événements organisés au Canada, conformément à l'esprit des appels à l'action de la Commission de vérité et de réconciliation du Canada et de la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones.*

## RECOMMANDATION POUR LA COMMUNAUTÉ

### 6 – FORMATION ET PERFECTIONNEMENT PROFESSIONNEL

*Pour permettre au personnel hautement qualifié de recevoir une formation fondée sur la structure de collaboration nationale de la recherche en physique subatomique, nous recommandons la coordination et le partage des possibilités de formation entre les centres, les instituts et les universités du Canada.*

*Pour soutenir le perfectionnement professionnel, nous recommandons que les chercheurs en début de carrière soient encadrés de manière à acquérir rapidement une connaissance de l'écosystème canadien d'aide et de financement de la recherche en physique subatomique, et qu'ils aient la possibilité d'interagir largement avec la communauté.*

## RECOMMANDATION POUR LA COMMUNAUTÉ

### 7 – COMMUNICATION ET ENGAGEMENT AVEC LES AGENCES ET LE GOUVERNEMENT

*Nous recommandons la formalisation (par ex. par l'ICPN et l'IPP) d'un comité de consultation sur la physique subatomique pour l'engagement et la mobilisation auprès des agences de financement et du gouvernement.*

## RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

### 8 – PROGRAMMES DE LA FCI

*Le soutien au développement des infrastructures par la FCI a été déterminant pour le développement de la recherche en physique subatomique au Canada. Nous recommandons de maintenir ces investissements aux niveaux annualisés actuels, ce qui s'avérera indispensable à la réussite du plan canadien de recherche en physique subatomique, y compris les initiatives subséquentes proposées.*

## RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

### 9 – ENVELOPPE DU CRSNG POUR LA PHYSIQUE SUBATOMIQUE

*Pour maximiser l'impact des investissements présents et futurs, et pour tirer parti des possibilités scientifiques à venir, il convient d'accroître l'enveloppe du CRSNG consacrée à la physique subatomique afin d'assurer le soutien opérationnel.*

- ▶ *Nous recommandons le maintien de la structure de l'enveloppe de physique subatomique du CRSNG et de ses programmes, qui ont joué un rôle déterminant dans le financement opérationnel de la recherche en physique subatomique.*
- ▶ *Nous recommandons une augmentation de l'enveloppe du CRSNG pour la physique subatomique de 6,2 millions de dollars de 2021 au cours des cinq prochaines années pour assurer la compétitivité du programme canadien sur le plan international. Cette croissance est nécessaire pour plusieurs raisons : permettre la transition des membres du corps professoral de l'Institut McDonald qui ont besoin du soutien du CRSNG; utiliser la pleine capacité de la communauté pour la formation de personnel hautement qualifié et maximiser le rendement des investissements en capital; et assurer une disponibilité de fonds suffisante pour les petits projets d'infrastructure et le développement de nouvelles possibilités scientifiques.*
- ▶ *Nous recommandons un soutien continu pour toutes les catégories de programme disponibles au sein de l'enveloppe de la physique subatomique du CRSNG, y compris le Programme d'appui aux ressources majeures (ARM), qui favorise de manière critique une collaboration efficace de l'utilisation des ressources techniques uniques en matière de développement et de construction de nouveaux instruments, ainsi que le Programme de subventions d'outils et d'instruments de recherche (OIR), qui offre un soutien important pour le développement de détecteur et d'accélérateur.*
- ▶ *Nous recommandons le suivi et la protection de la fraction de l'enveloppe du CRSNG consacrée à la physique subatomique allouée pour financer les chercheurs en théorie. En outre, le seuil minimal d'attribution ne devrait pas être inférieur au niveau de financement requis pour soutenir la formation des diplômés, comme c'est le cas dans d'autres Sections d'évaluation des demandes en physique.*

## RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

### 10 – SOUTIEN AUX CENTRES CANADIENS DE RENOMMÉE MONDIALE

*Les grands centres canadiens de recherche en physique subatomique ont une stature mondiale et offrent des avantages concurrentiels dans la poursuite de programmes scientifiques hautement prioritaires.*

*continue sur la prochaine page →*

*Nous recommandons de maintenir un soutien fort aux centres canadiens (TRIUMF, SNOLAB, Institut PÉRIMÈTRE) pour que les activités de recherche restent en tête de peloton dans le monde.*

#### RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

##### 11 – PROGRAMME DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE DE L'IPP

*Le programme de recherche scientifique de l'IPP a eu une incidence majeure sur le leadership et les contributions du Canada aux projets internationaux.*

*Nous recommandons de maintenir un soutien total au programme scientifique des chercheurs de l'IPP.*

#### RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

##### 12 – INSTITUT ARTHUR B MCDONALD

*L'Institut Arthur B McDonald et ses programmes de soutien à la recherche et de sensibilisation ont ajouté une valeur considérable à la communauté. Cependant, son financement par le programme Apogée Canada touche à sa fin.*

*Nous recommandons qu'en plus de la croissance de l'enveloppe du CRSNG pour la physique subatomique destinée à soutenir les coûts opérationnels, de nouveaux mécanismes soient établis pour financer et maintenir la continuité des programmes de recherche et de soutien technique fournis par l'Institut.*

#### RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

##### 13 – L'INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE NUMÉRIQUE DU CANADA

*Toutes les composantes de l'infrastructure de recherche numérique (p. ex. Calcul Canada, CANARIE) sont essentielles au succès de la recherche en physique subatomique.*

*Nous recommandons que CANARIE continue d'être financé par le gouvernement fédéral canadien pour l'exploitation du réseau national de recherche et les liens clés avec nos partenaires internationaux. De plus, nous recommandons que les infrastructures informatiques critiques qui sont fournies par les organisations informatiques nationales (Calcul Canada et Digital Research Alliance [anciennement NDRI]) continuent d'être vivement soutenues par les gouvernements fédéral et provinciaux, à un niveau suffisant pour répondre aux besoins de la communauté de recherche en physique subatomique.*

## RECOMMANDATION EN MATIÈRE DE FINANCEMENT

### 14 – FINANCEMENT DES ACTIVITÉS DE R ET D

*Le développement de nouveaux instruments et de nouvelles technologies ouvre de nouvelles possibilités de recherche. Ce développement repose sur la capacité d'explorer les frontières technologiques qui dépassent la portée des expériences individuelles de physique subatomique.*

*Nous recommandons d'établir des mécanismes appropriés pour financer efficacement des investissements modestes et opportuns dans des activités génériques de R et D, susceptibles d'atteindre les objectifs scientifiques de la recherche en physique subatomique.*

## RECOMMANDATION STRATÉGIQUE

### 15 – SOUTIEN AUX PROJETS SCIENTIFIQUES À GRANDE ÉCHELLE

*La coordination des coûts d'investissement et du financement opérationnel tout au long du cycle de vie des projets scientifiques et d'infrastructure à grande échelle (≥ 50 millions de dollars) s'avère difficile dans l'écosystème actuel.*

*Nous recommandons la création d'une nouvelle structure administrative pour assurer cette coordination (comme le prévoit la recommandation 4.7 de L'Examen du soutien fédéral aux sciences 2017: Investir dans l'avenir du Canada, <http://sciencereview.ca>).*

## RECOMMANDATION STRATÉGIQUE

### 16 – BUREAU CANADIEN D'ENGAGEMENT POUR LA RECHERCHE INTERNATIONALE

*La recherche en physique subatomique, par sa nature, est mondiale et nécessite de plus en plus d'accords multinationaux complexes.*

*Nous recommandons de désigner un organisme au sein du gouvernement canadien qui serait responsable de négocier avec les instances étrangères et internationales afin de faire progresser les nouvelles initiatives scientifiques majeures.*

EN HAUT : Un chercheur travaillant sur l'expérience ALPHA au laboratoire du CERN. L'expérience ALPHA utilise l'anti-hydrogène pour tester la symétrie fondamentale CPT de la nature et l'universalité des interactions gravitationnelles entre la matière et l'antimatière. [Crédit : TRIUMF]

EN BAS : Des chercheurs de TRIUMF développent de nouveaux modules photodétecteurs pour l'expérience Hyper-Kamiokande. Ce futur projet de classe mondiale fournira de nouvelles informations sur la nature déroutante des neutrinos. [Crédit : TRIUMF]

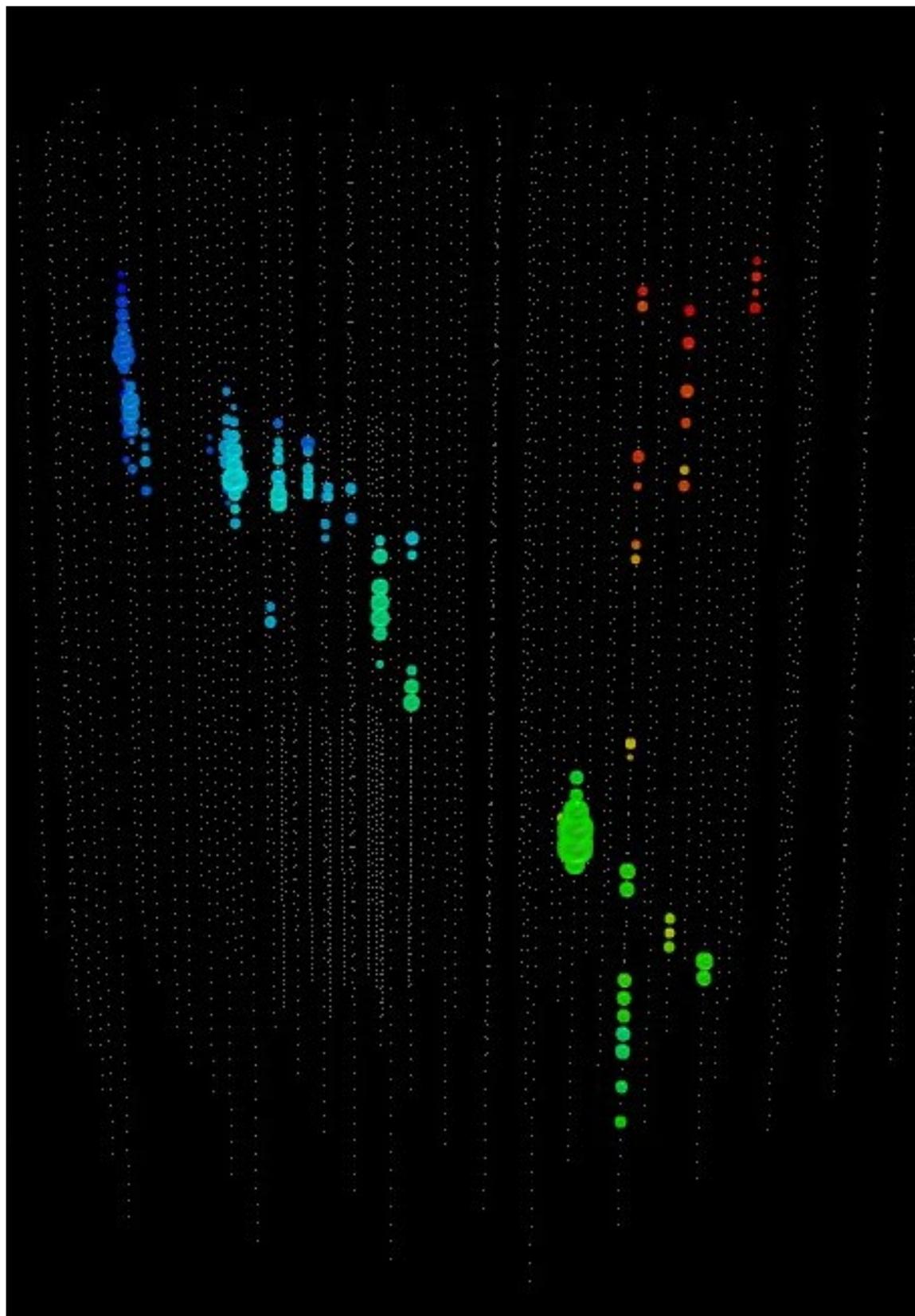


L'observatoire de neutrino IceCube est le plus grand détecteur de neutrinos au monde, conçu pour détecter les neutrinos de haute énergie provenant du cosmos. Ces messagers cosmiques fournissent des informations clés pour en savoir plus sur les propriétés uniques du neutrino, la nature de la matière noire et les mécanismes sous-jacents aux événements astrophysiques les plus violents de l'univers.

CETTE PAGE : Le laboratoire IceCube à la station du pôle Sud d'Amundsen-Scott en Antarctique. [Crédit : F. Pedreros, IceCube/NSF.]

PAGE SUIVANTE : Reconstruction informatique d'une interaction de neutrinos dans la glace de l'Antarctique enregistrée par le détecteur IceCube. [Crédit : Collaboration IceCube]



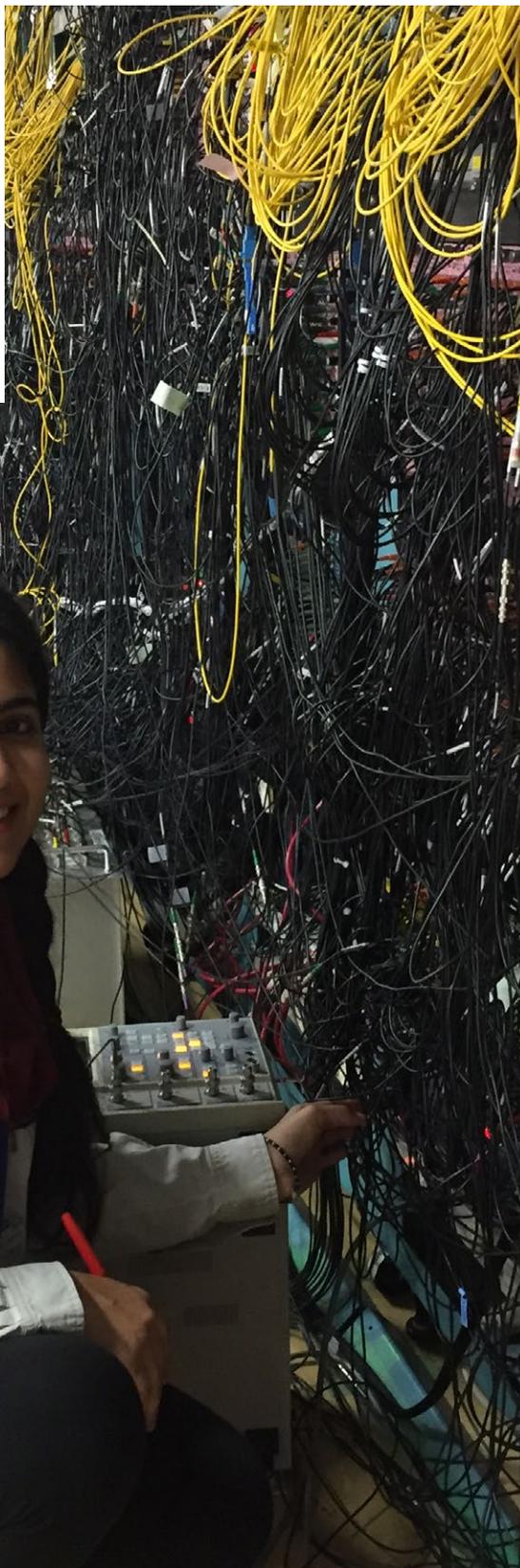


CETTE PAGE (EN HAUT ET EN BAS) : La conférence "Inspirer les futures femmes scientifiques" de l'Institut Périmètre associe des conférences scientifiques à des discussions sur les récompenses, les défis et les possibilités d'une carrière dans les STIM. [Source : Institut Périmètre]



CETTE PAGE : Étudiante diplômée Satbir Kaur (Université St. Mary's) travaillant à l'usine de faisceaux d'isotopes radioactifs RIBF au Japon. [Crédit : R Kanungo]

« Durant mon doctorat à l'Université Dalhousie et à l'Université Saint Mary's, l'occasion de travailler dans des laboratoires internationaux (GSI et RIKEN) m'a aidé à maîtriser la pensée critique et à développer mes compétences en résolution de problèmes. Cela m'a aidé à maîtriser l'analyse des données, la visualisation des données et de développer des compétences de vulgarisation. Toutes ces compétences sont très utiles dans les projets de mon emploi actuel d'expert en mégadonnées chez iWave à l'Île-du-Prince-Édouard. »



La collaboration SuperCDMS recherche des particules de matière noire dont la masse est inférieure à dix fois la masse du proton. La détection de ces particules révolutionnerait notre compréhension du monde subatomique et ouvrirait une fenêtre sur un ensemble totalement inconnu de nouvelles particules.

CETTE PAGE : Étudiante de premier cycle aidant à préparer un nouveau détecteur SuperCDMS pour un premier test dans des conditions de faible bruit de fond dans l'installation de test cryogénique souterraine (CUTE) de SNOLAB. [Crédit : SNOLAB]



CETTE PAGE (HAUT ET BAS) : En réponse à la pandémie mondiale de COVID-19, la collaboration MVM, une collaboration internationale de laboratoires de physique subatomique d'Italie, du Canada, des États-Unis et d'autres pays, a mis à profit son expertise collective pour développer un ventilateur qui peut fournir à la fois une ventilation contrôlée ou assistée. La simplicité de la conception, rendue possible par le système de contrôle sophistiqué du MVM, permet une disponibilité aisée des pièces et une fabrication rapide dans différents pays.

Guidée par des experts médicaux et en coopération avec les partenaires industriels Elemaster en Italie ainsi que Vexos et JMP Solutions au Canada, la collaboration MVM a réussi – en un temps record – à concevoir, développer, construire et certifier un ventilateur sûr. Au Canada, l'effort a été dirigé par le lauréat du prix Nobel Art McDonald, impliquant des membres de l'équipe des Laboratoires Nucléaires Canadiens de Chalk River, de l'Institut McDonald, de SNOLAB et de TRIUMF. En septembre 2020, le MVM a reçu l'approbation de Santé Canada en vertu de l'arrêté d'urgence et Vexos a commencé à livrer les 10 000 unités qui ont été commandées par le gouvernement fédéral du Canada.

Le développement rapide de ce projet n'a été possible que grâce au travail 24 heures sur 24 d'une grande équipe répartie sur neuf fuseaux horaires, permettant un transfert efficace et une progression des différentes tâches de développement. Le développement de MVM est un excellent exemple de la manière dont l'expertise des physiciens du nucléaire et des particules – qui tentent de percer les mystères des fondements de l'Univers – peut être efficacement mobilisée en temps réel pour aider à relever nos grands défis sociétaux mondiaux. [Crédit : Collaboration MVM]





*L'un des avantages d'effectuer mes études supérieures à l'Université Simon Fraser est que j'avais un accès direct à TRIUMF. Cela m'a permis non seulement d'effectuer mes propres recherches, mais j'ai pu participer à de nombreuses autres expériences. De plus, j'ai pu observer le fonctionnement quotidien de TRIUMF qui comprend non seulement les préparatifs pour les expériences à venir, mais aussi les préparatifs pour les progrès à long terme alors que les débuts d'ARIEL étaient en cours. Mes expériences à l'Université Simon Fraser et à TRIUMF m'ont préparée pour le travail que j'effectue actuellement en tant que scientifique de projet au Lawrence Berkeley National Laboratory. Je sais utiliser toutes les ressources qui sont à ma disposition. Je reconnais également l'importance d'établir de solides collaborations avec d'autres chercheurs à la fois localement et dans d'autres institutions afin de créer le soutien nécessaire pour générer un programme scientifique solide. Je me sens confiante dans ma carrière pour aller de l'avant.*

— DR JENNIFER PORE (PHD, SIMON-FRASER UNIVERSITY, 2016),  
PROJECT SCIENTIST, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY,  
BERKELEY, CALIFORNIA



*L'étude de la physique subatomique a présenté de nombreux défis qui m'ont aidé à acquérir des compétences en mécanique, en codage, en recherche, en analyse et en résolution de problèmes. Mais peut-être plus important encore, cela m'a montré que je suis un apprenant capable. Cela me donne confiance en mes compétences alors que j'avance dans un autre cheminement de carrière. Plus concrètement, j'ai pu m'engager dans des projets de communication scientifique tout au long de ma maîtrise qui m'ont apporté une expérience directement liée à mon poste actuel. Être soutenue dans mes projets de communication scientifique m'a donné des compétences non techniques qui ont complété les compétences plus difficiles que j'ai acquises en physique.*

— LIA FORMENTI (MSC MCGILL 2021),  
COORDONNATRICE DES ÉVÉNEMENTS EN LIGNE, PARLONS SCIENCES



FIGURE 3. Les institutions canadiennes participant à la recherche en physique subatomique en 2021.



Copyright © 2022 Comité de planification à long terme. Le texte et les figures contenus dans ce rapport peuvent être copiés sans autorisation à condition que les copies ne soient pas faites ou distribuées pour un avantage commercial direct et que le titre du rapport et la date apparaissent sur les copies. Le droit d'auteur pour la photographie reste avec leurs propriétaires.

Conception graphique par Rocketday Arts.

Pour des figures optimisées et téléchargeables de ce rapport, visitez la version du site Web.

#### CITATION RECOMMANDÉE

Comité de planification à long terme, « Plan à Long Terme pour La Physics Subatomique au Canada 2022-2026: Abrégé », 2022, Canada, <https://physiquesubatomique.ca>

Ce rapport est disponible sous forme de fichier PDF et de texte de site Web.

This overview is also available in English.

[physiquesubatomique.ca](https://physiquesubatomique.ca)

# PLAN À LONG TERME POUR la physique subatomique au Canada

