



CAHIER D'ACTEUR

PROJET D'ACCÉLÉRATEUR
DE PARTICULES

02.06.2026
02.10.2026

N 07 | Août 2026



L'IPHC, unité mixte de recherche sous cotutelle du CNRS et de l'Université de Strasbourg (UMR7178), est un laboratoire original structuré par la pluridisciplinarité où des équipes de recherche de cultures scientifiques différentes ( cologie, physiologie et éthologie, chimie et physique subatomique) développent des programmes pluridisciplinaires de très haut niveau avec pour socle l'instrumentation scientifique. Son département de recherches subatomiques est notamment partie prenante des expériences auprès des accélérateurs de particules et conduit des R&D pour préparer les prochaines.

Contact
Institut pluridisciplinaire
Hubert Curien
23 rue du loess
BP 28
67037 STRASBOURG CEDEX 2

ACCUEIL : +33 3.88.10.66.55
<https://iphc.cnrs.fr/>

Le point de vue de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC)

EN BREF.

La physique des particules élémentaires est le domaine scientifique qui scrute l'infiniment petit et cherche à comprendre les lois fondamentales de l'univers. Elle constitue l'une des quêtes vers de nouvelles connaissances les plus fascinantes : Qu'est-ce que la matière et quelles sont les forces fondamentales ? Pourquoi la matière prédomine sur l'antimatière dans notre univers ? Quelle est l'origine de la masse ? Quelle est l'histoire de l'univers ? De quoi est constituée la mystérieuse matière noire ? etc.

Convaincus des bénéfices de la recherche fondamentale pour la société, l'IPHC et son département de recherches subatomiques souhaitent que la France reste un acteur majeur de la physique des particules en Europe et dans le monde. Grâce au CERN et aux instituts de recherche nationaux, l'Europe demeure le leader mondial dans le domaine, en étant capable de mettre en œuvre de grands instruments de pointe comme les accélérateurs de particules permettant de délivrer de nouvelles connaissances sur les lois fondamentales de la nature. Depuis plus de 25 ans, l'IPHC développe des technologies de détection destinées aux expériences auprès des futurs collisionneurs. Certaines sont aujourd'hui utilisées bien au-delà de la physique fondamentale. Pour notre laboratoire à vocation pluridisciplinaire, le projet du FCC représente autant un projet d'instrumentation et d'innovation technologique que de découverte scientifique.

Nous pensons que la meilleure stratégie pour la discipline et le maintien de son rang passe par la construction du prochain accélérateur de particules, le FCC, au CERN. Fort de son niveau d'excellence, de son expérience et de sa longue histoire commune avec le CERN, l'IPHC souhaite participer activement à la réalisation de ce projet scientifique ambitieux.



Une recherche fondamentale au bénéfice de la société

1/ Une recherche fondamentale basée sur la coopération dans le monde

La recherche en physique des particules, qui cherche à révéler les lois fondamentales de la nature, possède la particularité d'avoir toujours été, dès sa naissance, une science internationale basée sur la coopération entre les pays. En effet, l'échelle des plus grands projets (regroupant parfois des milliers de chercheurs et ingénieurs et s'étalant sur des décennies) a toujours nécessité la mise en commun des ressources et des intelligences. Cette dimension internationale n'est pas un principe abstrait : elle constitue le quotidien de notre laboratoire, dont les chercheurs, ingénieurs et techniciens travaillent au sein de collaborations rassemblant des équipes du monde entier.

Les fondateurs du CERN l'avaient compris dès 1947. Il s'agissait alors aussi de reconstruire la paix grâce à des projets communs au bénéfice de l'humanité dans son ensemble. La physique des particules est donc une discipline où la coopération internationale a toujours joué un rôle essentiel, même pendant la guerre froide, et c'est encore le cas aujourd'hui. Le CERN, en associant 25 états-membres européens, constitue un catalyseur de la coopération dans la discipline au niveau mondial et est ainsi capable, grâce à son leadership, de proposer un avenir commun à travers un grand projet fédérateur, alors que nous avons plus que jamais besoin de coopération.

2/ Des enjeux de souveraineté européenne

Aujourd'hui, grâce notamment à l'accélérateur actuel du CERN, le grand collisionneur de hadrons (LHC), l'Europe conservera le leadership mondial dans la discipline jusqu'en ~2040. Au-delà, le grand continent (Asie, Amérique ou Europe) qui sera capable d'accueillir le prochain grand accélérateur de particules bénéficiera d'un avantage majeur (car il n'y en aura qu'un), que ce soit pour les retombées socio-économiques ou pour la production de nouvelles connaissances. Le CERN (et donc l'Europe), dispose du projet le plus ambitieux, l'accélérateur FCC (pour Futur Collisionneur Circulaire) qui pourrait voir le jour dans les années 2040. Le LHC est aujourd'hui un succès scientifique majeur incontestable : il continuera à être exploité dans sa phase dite de haute luminosité (HL-LHC) jusqu'en 2042, permettant de multiplier par 6 la statistique accumulée. Au-delà, la prochaine génération permettra d'aller encore plus loin dans notre compréhension profonde des phénomènes de l'infiniment petit. Convaincue de la nécessité d'une stratégie souveraine, la communauté scientifique européenne de physique des particules soutient fortement ce projet. L'IPHC partage la position largement exprimée par la communauté de physique des particules en Europe en faveur du FCC [1].

3/ De la physique fondamentale à l'instrumentation.

Ce qui motive les chercheurs en physique des particules est une quête des origines : origines de l'univers, origine de la masse, origine de la matière et des interactions, etc. Pour explorer ces origines, il s'agit de reproduire expérimentalement des processus qui mettent en jeu les particules que l'on cherche à comprendre, et ainsi étudier leurs propriétés et leur comportement. La façon la plus fertile de le faire est d'effectuer des collisions grâce à des accélérateurs de particules et de placer des « microscopes géants » autour du point de collision : les détecteurs de particules. Ce sont les instruments de pointe indispensables pour le succès des expériences et plus ils seront performants, meilleures seront les chances de découverte.

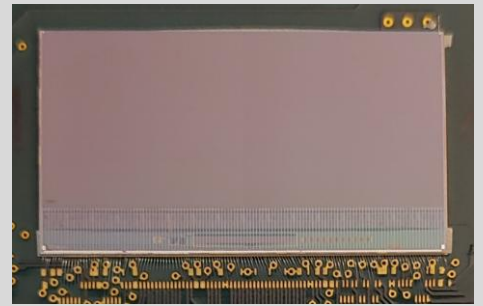


Figure 1: capteur à pixels détectant les particules chargées et permettant de déterminer précisément leur position de passage, à 5 microns près, conçu à l'IPHC. Taille approximative: 2 cm x 3 cm ©IPHC

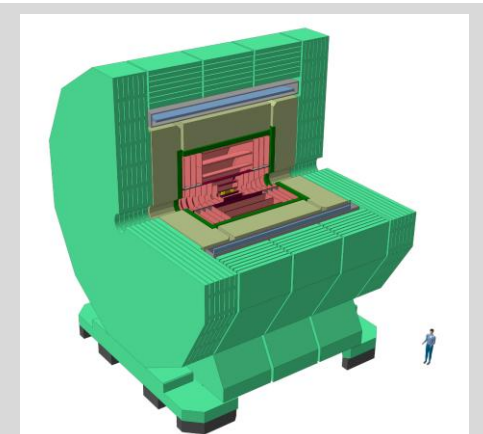


Figure 2: Détecteur complet de particules. Les collisions ont lieu au centre. Le détecteur est constitué de milliers de sous-éléments de haute technologie dont celui de la figure 1. Ces détecteurs agissent comme des "microscopes géants" pour observer et comprendre l'infiniment petit. ©CERN

Au début du XVII^e siècle, dans les verreries hollandaises et vénitiennes, on parvient à améliorer la qualité du polissage et la pureté du verre. Galilée perfectionne alors la lunette astronomique et décide de la pointer vers le ciel (vers 1610). Il découvre ainsi que Jupiter possède des lunes ou que la voie lactée est constituée d'étoiles. Il n'aurait pu établir les fondements de la physique moderne (le principe d'inertie, etc.) sans ce progrès technique. L'histoire des sciences fourmille d'autres exemples de ce type : les grandes découvertes sont souvent la rencontre d'idées nouvelles et de nouveaux instruments. Au cours de son histoire, la physique des particules a également grandement bénéficié des progrès sur les instruments et en retour contribué à leur perfectionnement.

A partir de 1999, l'IPHC commence à développer un nouveau type de détecteur de particules. L'idée était de transformer l'usage des capteurs à pixels CMOS (ceux qui équipent communément les appareils photos des téléphones portables et sont sensibles à la lumière donc aux photons) pour la détection précise des particules chargées. Cette idée simple a demandé toutefois des années d'efforts et de développements technologiques. Il fallait s'adapter à un usage complètement différent : les particules élémentaires chargées ne se comportent pas comme la lumière. Il fallait également rendre les détecteurs plus rapides et capables fonctionner dans un environnement très contraint au cœur des détecteurs : être compact, économe en consommation électrique et fiable. C'est un peu comme si on partait des lourdes caméras d'antan pour les remplacer par les caméras légères et miniaturisées d'aujourd'hui.

25 ans plus tard, cette technologie a fait ses preuves : elle équipe de nombreuses expériences de physique subatomique et de nouveaux développements de cette technologie encore plus performants équiperont probablement la prochaine génération de détecteurs (figure 1 et 2). L'IPHC demeure un acteur majeur de cette technologie au niveau mondial et dispose d'une plateforme technologique de pointe dédiée regroupant une vingtaine d'ingénieurs et chercheurs de haut niveau. Il est admis que cette technologie est la plus adaptée pour équiper les détecteurs du futur FCC dans sa partie la plus centrale, la plus proche des collisions. Avec ses chercheurs et ses ingénieurs, et avec d'autres laboratoires du CNRS et de nombreux partenaires dans le monde, l'IPHC participe activement à toutes les études préparatoires de FCC, en particulier sur les détecteurs et leurs performances.

De façon générale, à chaque nouvelle génération d'expérience, ces détecteurs ont besoin d'être plus précis, plus rapides, plus sensibles. Ils peuvent faire appel à l'intelligence embarquée, avoir besoin d'être plus miniaturisés, ou encore être moins gourmand en consommation d'énergie, autant de « vertus » qui peuvent trouver des applications ailleurs.

4/ Impacts pour la société

Ce qui n'avait pas été anticipé était que cette technologie pouvait être très utile dans d'autres domaines plus appliqués : détection de la radioactivité naturelle ou artificielle (dosimétrie) [2], diagnostic faisceau et mesure des doses dans la hadronthérapie pour soigner les cancers [3][4], imagerie intracrânienne pour la recherche médicale [5], etc. Ceci illustre parfaitement comment les programmes de recherche fondamentale sous toutes leurs formes peuvent trouver des débouchés dans des applications sociétales parfois de manière inattendue.

Nous sommes convaincus que si la recherche fondamentale constitue une motivation en soi, elle apporte également un immense bénéfice induit à la société. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que la recherche fondamentale constituait la source des innovations de demain.

Les accélérateurs de particules et les détecteurs associés font appel à de multiples technologies de pointe et nécessitent souvent des années de recherche et développement. Les progrès réalisés dans certaines technologies et le savoir-faire associé peuvent être transférés aux entreprises auxquelles la science fait appel pour construire ses instruments. C'est à terme la société dans son ensemble qui peut bénéficier d'un progrès technique initialement conçu pour répondre à un questionnement scientifique. Le CNRS propose des cadres de collaboration avec les industriels. L'IPHC a par exemple mis en place deux laboratoires communs avec des entreprises pour faciliter ce type de transfert [6]. Le premier [7], élaboré en 2022 avec la société AERIAL, fait appel à différentes disciplines (physique, chimie) et vise des applications industrielles pour des techniques d'irradiation, de la radiobiologie et de l'analyse pour l'agroalimentaire et l'environnement. Le second [8] commencé en 2025 avec la société Weeroc, vise à développer des solutions innovantes dans le domaine des capteurs monolithiques à pixels actifs (MAPS) pour des applications concernant l'instrumentation scientifique, la sécurité environnementale et les diagnostics médicaux.

Par ailleurs, la formation de personnes qualifiées joue un rôle clef dans le niveau technologique et scientifique d'un pays ou d'un continent. Le CERN permet par exemple la formation de centaines de doctorants chaque année au meilleur niveau mondial sur des disciplines variées (traitement des données, informatique, micro-électroniques, Intelligence artificielle, etc.) et qui plus tard pourront renforcer des secteurs industriels stratégiques et leur compétitivité.

A notre échelle, au laboratoire IPHC, nous participons également, avec notre cotutelle l'université de Strasbourg, à la formation de personnes hautement qualifiées qui pourront soit devenir chercheuse ou chercheur, enseignante ou enseignant mais aussi *data scientist*, ingénieur(e) en micro-électronique, expert(e) en intelligence artificielle, technicien spécialisé, etc. Ainsi, l'IPHC accueille des dizaines de stagiaires dans de multiples métiers chaque année, héberge dans ses murs deux formations de Master-2 et délivre une vingtaine de thèses par an. Les effectifs chercheurs de l'IPHC sont composés pour moitié d'enseignants-chercheurs à l'université, l'autre moitié étant CNRS. Nous sommes également très attachés à susciter des vocations chez les plus jeunes. Nous accueillons par exemple chaque année des dizaines de lycéens et collégiens en stage d'observation afin de leur donner goût à la science [9][10][11].

La recherche en physique des particules fonctionne comme un vaste réseau puisque ce sont des dizaines de laboratoires en France et en Europe qui fonctionnent de la même façon et forment des personnes de très haut niveau dans de multiples domaines. Ainsi les personnes que nous formons baignent dans un environnement international extrêmement enrichissant.

5/ Un projet ancré dans son temps

Il est évident qu'un projet de l'ampleur du FCC soulève des questions légitimes au sujet de son impact environnemental, sociétal ou économique. Est-ce que l'investissement en vaut la peine ? Est-ce que les bénéfices sont supérieurs aux effets négatifs ? Nous pensons que la réponse est largement oui.

Les aspects développement durable (empreinte écologique, empreinte carbone, consommation électrique, etc.) sont intégrés à tous les niveaux du projet de futur collisionneur. Il est d'une importance majeure de réduire l'impact environnemental du projet partout où on le peut, en conciliant cette exigence et nos ambitions scientifiques. C'est sur les principes d'une approche Éviter-Réduire-Compenser que le projet est pensé. La communauté des chercheurs est consciente de son devoir d'exemplarité en la matière. Si le projet est bien mené et nous pensons qu'il le sera grâce à l'immense expérience du CERN et de ses partenaires, la communauté reste convaincue que tout sera mis en œuvre pour réduire les impacts et maximiser les retombées bénéfiques. Cette expérience du CERN dans la conduite des projets avec de multiples partenaires est précieuse. Elle a démontré par le passé une maîtrise des coûts et des délais. C'est également la garantie de faire évoluer les pratiques scientifiques de manière rationnelle, concertée et vertueuse, et avec des contributions diverses, dont la nôtre.

Soulignons enfin à quel point les grands projets scientifiques font appel à de multiples disciplines, enrichissant mutuellement les champs disciplinaires souvent de façon surprenante. Une stratégie scientifique reposant sur l'abandon de disciplines pour « se concentrer » sur des priorités évidentes est néfaste sur le long terme. Les grands problèmes auxquels sont confrontés l'humanité sont presque toujours pluridisciplinaires par essence, mêlant sciences de la nature et sciences humaines et sociales. À l'IPHC, nous sommes pluridisciplinaires dans notre ADN même, et nous expérimentons chaque jour la richesse que peuvent apporter des approches multiples. Qui sait si un jour des études sur des matériaux bas carbone permettant une construction vertueuse du FCC ne seront pas appliquées ailleurs au bénéfice de l'ensemble de la société ? Citons pour finir Edgar Morin : « *En conclusion, à quoi serviraient tous les savoirs parcellaires sinon à être confrontés pour former une configuration répondant à nos attentes, à nos besoins et à nos interrogations cognitives.* »

À l'heure où l'humanité rencontre des crises majeures et réalise enfin les limites de son environnement, nous sommes convaincus que son salut passera par l'intelligence des acteurs. Par la formation de ces intelligences de demain, la science ne participe-t-elle pas aux lumières de notre civilisation et ne s'oppose-t-elle pas aux superstitions et aux fausses croyances ?

Références

- [1] <https://cds.cern.ch/record/2950671/files/French%20version.pdf>
- [2] <https://hal.science/hal-05060592v1>
- [3] <https://web.infn.it/foot/en/home/>
- [4] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/17/09/C09015>
- [5] <https://ieeexplore.ieee.org/document/10338464>
- [6] <https://www.cnrs.fr/fr/actualite/laboratoires-communs-quand-science-et-entreprises-se-rencontrent>
- [7] <https://iphc.cnrs.fr/laboratoire-commun-iphc-aerial/>
- [8] <https://anr.fr/Projet-ANR-24-LCV2-0002/>
- [9] <https://iphc.cnrs.fr/actualite/des-lyceens-en-immersion-a-liphc-une-semaine-de-tp-pour-decouvrir-lelectronique-et-la-programmation/>
- [10] <https://iphc.cnrs.fr/actualite/des-eleves-de-terminale-du-lycee-kleber-en-immersion-dans-la-physique-des-particules/>
- [11] <https://iphc.cnrs.fr/actualite/des-astrophysiciens-nucleaires-en-herbe/>

