



« FCC-France » désigne l'équipe informelle composée à l'heure actuelle d'une centaine de physiciens des particules élémentaires du CEA et du CNRS qui travaillent à l'étude de faisabilité et à la préparation du projet FCC. Ces physiciens travaillent généralement aussi dans une autre collaboration, dans la majorité des cas dans une des expériences sur le LHC. Avec le développement du projet FCC, le nombre de physiciens impliqués sur FCC est destiné à grandir significativement.

Contacts : Gregorio Bernardi,
Giovanni Marchiori, Roy Aleksan

gregorio.bernardi@cern.ch
giovanni.marchiori@apc.in2p3.fr
roy.aleksan@cea.fr

Le point de vue des physiciens des particules du CEA et du CNRS travaillant sur FCC

EN BREF.

Les physiciens des particules élémentaires des laboratoires français du CEA et du CNRS participant au projet FCC (« FCC-France »), présentent brièvement dans ce texte l'importance de construire le FCC, accélérateur qui produirait des collisions e^+e^- , serait situé dans un tunnel circulaire de 91km de circonférence et prendrait la suite du LHC du CERN. La présentation est faite tant d'un point de vue scientifique, que pour ses retombées sociétales. Les efforts entrepris pour réduire l'empreinte environnementale de ce projet sont également rappelés. Le projet est aussi replacé dans le cadre mondial et son importance pour que l'Europe bénéficie des retombées technologiques correspondantes et conserve le « leadership » dans la recherche internationale en physique des particules élémentaires est soulignée. Le FCC deviendrait le nouvel atout majeur dans ce domaine pour la France et l'Europe et prendrait la suite du LHC qui a permis la découverte du boson de Higgs en 2012. Le potentiel de nouvelles découvertes de physique fondamentale du FCC est tel que son programme de recherche pourrait continuer jusque vers la fin du 21ème siècle.



Le FCC : un atout majeur pour la France et l'Europe

Le futur collisionneur circulaire du CERN (FCC), sélectionné comme meilleur projet du futur par la mise à jour en 2026 de la stratégie européenne de la physique des particules et par le conseil des états membres du CERN, pourrait être construit à partir de 2032, en particulier si sa faisabilité financière, en cours d'investigation, est confirmée d'ici 2028. Il nécessiterait un nouveau tunnel souterrain de 91 km de circonférence et de petit diamètre (5,5m) dans lequel seraient installés les futurs accélérateurs, destinés à produire des collisions électron-positron dans une première phase (FCC-ee) puis, éventuellement, des collisions proton-proton dans un futur plus lointain. La communauté des physiciens du CEA et du CNRS travaillant déjà sur le FCC (plus d'une centaine de physiciens et toujours en croissance) tient à rappeler les points forts de ce projet, que ce soit sur le grand nombre d'enjeux scientifiques fondamentaux qu'il étudiera, sur son importance pour la société, et sur ses nombreux efforts pour réduire son empreinte environnementale. Nous rappelons aussi que la communauté française de la physique des hautes énergies avait également apporté sa contribution à la stratégie européenne, en présentant sa vision des priorités pour l'avenir de la discipline et en plaçant clairement le FCC au premier rang de ces priorités [1].

Le CERN, laboratoire européen pour la physique des particules, avec 2500 employés et 15000 utilisateurs venant principalement des 25 états membres du CERN, des 11 états associés, tels l'Inde, le Pakistan ou le Brésil, et des 4 observateurs, dont les Etats-Unis et le Japon, travaille en collaboration avec les astrophysiciens, les cosmologues et des chercheurs d'autres disciplines, pour comprendre les origines et le fonctionnement de l'Univers au niveau microscopique, ainsi que les interactions fondamentales de la Nature. A l'époque où l'urgence écologique réclame l'union de tous derrière une vision scientifique et factuelle, ce modèle de collaboration international exemplaire mérite d'être préservé et développé pour inspirer d'autres domaines et pour pouvoir réaliser des grands projets tels le LHC (le grand collisionneur de protons) actuellement en service, ou le FCC, s'il est approuvé.

Objectifs scientifiques du FCC

La découverte en 2012 du boson de Higgs au LHC a « complété » le modèle standard de la physique des particules mais a aussi établi un nouveau paradigme, car le boson de Higgs joue un rôle primordial : ses propriétés modifient l'évolution de l'Univers lors du Big Bang et impliquent l'apparition des masses des particules élémentaires fondamentales. Mais sa compréhension profonde nous échappe encore. Le FCC [2,3] pourra mesurer ses interactions, et plus généralement, tout le

domaine de la physique dite électrofaible (unifiant les interactions électromagnétiques et les interactions faibles), avec la précision requise pour être sensible à des phénomènes encore inconnus. Par ailleurs, plusieurs observations incontournables restent aujourd'hui inexpliquées :

- Environ 85 % de la matière présente dans l'Univers serait constituée d'une composante « noire ». D'origine inconnue, elle pourrait être composée de nouvelles particules absentes du modèle standard, qui pourront être recherchées au FCC-ee.

- La masse non nulle des neutrinos indique l'existence de nouvelles particules qui pourraient avoir une importance majeure pour la constitution et l'évolution de l'Univers. Ces particules qui interagissent très faiblement peuvent être recherchées optimalement au FCC dans les désintégrations des bosons Z grâce à l'intensité exceptionnelle qui sera disponible pour les produire.

- Nous observons que l'Univers est constitué uniquement de matière, tandis que l'antimatière produite lors du Big Bang a complètement disparu. Ceci requiert une brisure de la symétrie initiale matière-antimatière, due à une transition entre particules de matière et d'antimatière, pour l'instant inobservée, qui sera investiguée par le FCC-ee.

Nous savons donc que des nouveaux phénomènes et des nouvelles particules existent, mais leur nature et leur masse nous sont inconnues. Pour investiguer ces questions cruciales, le FCC-ee offrirait une sensibilité extrême et une précision de mesure sans précédent dans notre domaine, dans des régimes d'intensité et d'énergie jusqu'ici inexplorés.

À ce jour il est impossible de dire quelle sera la prochaine découverte majeure qui sera faite au CERN, car la recherche fondamentale est par nature exploratoire. Le FCC ouvrira cependant un nouveau champ d'exploration en repoussant d'un à plusieurs ordres de grandeur la portée des mesures actuelles dans de nombreux domaines du Modèle standard, notamment la physique du Higgs, les interactions électrofaibles, le quark top et la physique des saveurs. L'histoire de la physique montre que l'accès à de nouveaux niveaux de précision et de sensibilité a souvent été le point de départ de découvertes majeures, en révélant des structures toujours plus fines de la matière et des phénomènes jusqu'alors insoupçonnés. Qu'elles confirment les prédictions théoriques ou qu'elles s'en écartent,

les observations réalisées au FCC permettraient ainsi d'affiner notre compréhension des lois fondamentales et pourraient ouvrir la voie à des découvertes et à des applications aujourd'hui impossibles à anticiper. De plus, la R&D nécessaire au projet aura des retombées pratiques importantes pour la société - citons pour mémoire les exemples passés de l'invention du World Wide Web au CERN ou l'utilisation de techniques d'accélération, détection et simulation de physique des particules pour le traitement thérapeutique de cancers, l'imagerie médicale ou l'étude de l'exposition aux radiations des engins spatiaux.

L'impact environnemental du FCC et le contexte international

Les accélérateurs de particules consomment principalement de l'énergie électrique. La consommation électrique du FCC-ee est estimée à 1,4 TWh/an et est essentiellement identique à celle actuelle du CERN. Par ailleurs, au CERN les accélérateurs ne fonctionnent que d'avril à novembre et l'électricité utilisée est décarbonée à 95%, si bien que l'empreinte carbone du fonctionnement du FCC sera faible. Au final, l'empreinte carbone estimée sur l'ensemble du cycle de vie du FCC serait dominé par la construction du tunnel, même si son exploitation totale durerait au moins 70 ans. L'estimation actuelle est située entre 400 et 900 kilotonnes d'équivalent CO₂, ce qui équivaut aux émissions d'environ 1000 Français sur la durée de vie du tunnel.

Le FCC ne s'inscrit pas dans un paradigme de croissance et les progrès faits pour réduire son impact pourront profiter à la société dans son ensemble : par exemple, le développement de sources de puissance radiofréquence très efficaces, le développement de matériaux supraconducteurs à haute température ou l'utilisation de ciment bas-carbone. Les impacts environnementaux locaux font l'objet d'études visant à les éviter ou à les réduire, en contact permanent avec les autorités et les populations locales, sur la base de l'expérience acquise avec les accélérateurs précédents, mais aussi grâce à de la R&D dédiée, par exemple pour rendre fertile la molasse excavée.

Le coût du FCC serait couvert majoritairement par le budget d'investissement du CERN. Il reste une partie du budget à financer que le CERN s'efforce de trouver auprès de donateurs privés ou par des contributions spéciales d'autres entités, telle l'Union Européenne. Depuis sa création, le succès du CERN en tant que laboratoire de recherche collaboratif européen repose sur un financement stable et récurrent, ainsi que sur l'utilisation efficace et durable des infrastructures acquises grâce à ce financement. Le premier grand accélérateur du CERN fonctionne encore grâce à une maintenance soignée depuis 1959 ; le tunnel du LEP

inauguré en 1989 a été réutilisé pour accueillir le LHC, et selon le même principe le tunnel du FCC serait conçu pour pouvoir accueillir plusieurs accélérateurs successifs (sous réserve de décisions futures distinctes) tout en profitant des infrastructures antérieures.

La collaboration FCC a publié en mars 2025 son rapport de faisabilité complet [2] synthétisant le travail de plus d'un millier de scientifiques, ingénieurs et experts. La solidité de ce rapport a eu un impact au niveau Européen bien sûr, mais aussi hors des frontières de l'UE. Le Japon et ses partenaires, qui proposent un projet de collisionneur linéaire qui aurait pu être installé au CERN, n'a pas réussi à convaincre la communauté de l'intérêt de faire ce genre de machine, car son potentiel de physique est inférieur à celui du FCC et la stratégie Européenne ne l'a pas classé dans ses options possibles. La proposition d'un projet similaire au FCC-ee en Chine, le CEPC, n'a pas été retenue à la fin 2025 pour le prochain plan quinquennal du gouvernement mais pourrait l'être dans le plan suivant (débutant en 2031), sauf si l'Europe prend la décision d'ici là de faire le FCC-ee. En attendant, les physiciens chinois ont clairement indiqué qu'ils souhaitent collaborer dès maintenant avec le CERN sur le FCC, comme ils le font déjà au LHC. Par ailleurs, le choix de construire le FCC au CERN plutôt que de développer le CEPC en Chine permettrait également de réduire sensiblement l'empreinte carbone de ce type de projet, grâce notamment à la production d'électricité largement décarbonée de la France et de la Suisse, qui alimenteraient les infrastructures du futur collisionneur. Les Etats-Unis, qui développent actuellement un programme majeur de physique du neutrino (tout comme le Japon), souhaitent également contribuer à la construction du FCC, et collaborer sur le projet dans son ensemble, comme ils le font aussi au LHC. Les autres partenaires internationaux du CERN, hors UE, qui collaborent déjà sur le LHC soutiennent aussi dans leur grande majorité la construction du FCC et veulent participer à ce projet crucial pour le futur de la physique des particules.

Résumé

En conclusion, grâce au savoir-faire du CERN et de ses partenaires, le FCC offrirait un programme de recherche aux capacités uniques [3] dans le domaine de la physique des particules pour les décennies à venir après la fin du LHC. Il fournirait un grand nombre d'observations majeures pour mieux comprendre l'origine de l'Univers et de ses constituants fondamentaux, des milliers de publications scientifiques. Il pourrait générer de

nombreuses retombées technologiques et industrielles, tout en montrant l'exemple sur la minimisation de l'impact environnemental d'une infrastructure scientifique de cette ampleur. Dans les temps troublés que nous traversons, l'émergence d'un projet scientifique international majeur, qui sera réalisé dans le cadre d'une coopération internationale, en respectant l'environnement et qui rassemble une communauté mondiale autour de questions fondamentales, nous semble essentielle.

REFERENCES

- [1] Y. Amhis et al, au nom de la communauté française de physique des hautes énergies, « French HEP community input to the European Strategy for Particle Physics », soumis à la ESPP-2025,
[https://indico.cern.ch/event/1439855/contributions/6461414/attachments/3045780/5381685/esppu26\(17\).pdf](https://indico.cern.ch/event/1439855/contributions/6461414/attachments/3045780/5381685/esppu26(17).pdf)
- [2] M. Benedikt et al. (FCC), "Future Circular Collider Feasibility Study Report: Volume 1, Physics, Experiments, Detectors," Eur. Phys. J. C 85, 1468 (2025),
<https://cds.cern.ch/record/2928193/files/CERN-FCC-PHYS-2025-0002.pdf>
- [3] J. de Blas et al, « Physics briefing book : input for the 2026 update of the European strategy for particle physics », CERN-ESU-2025-001,
<https://arxiv.org/abs/2511.03883>

