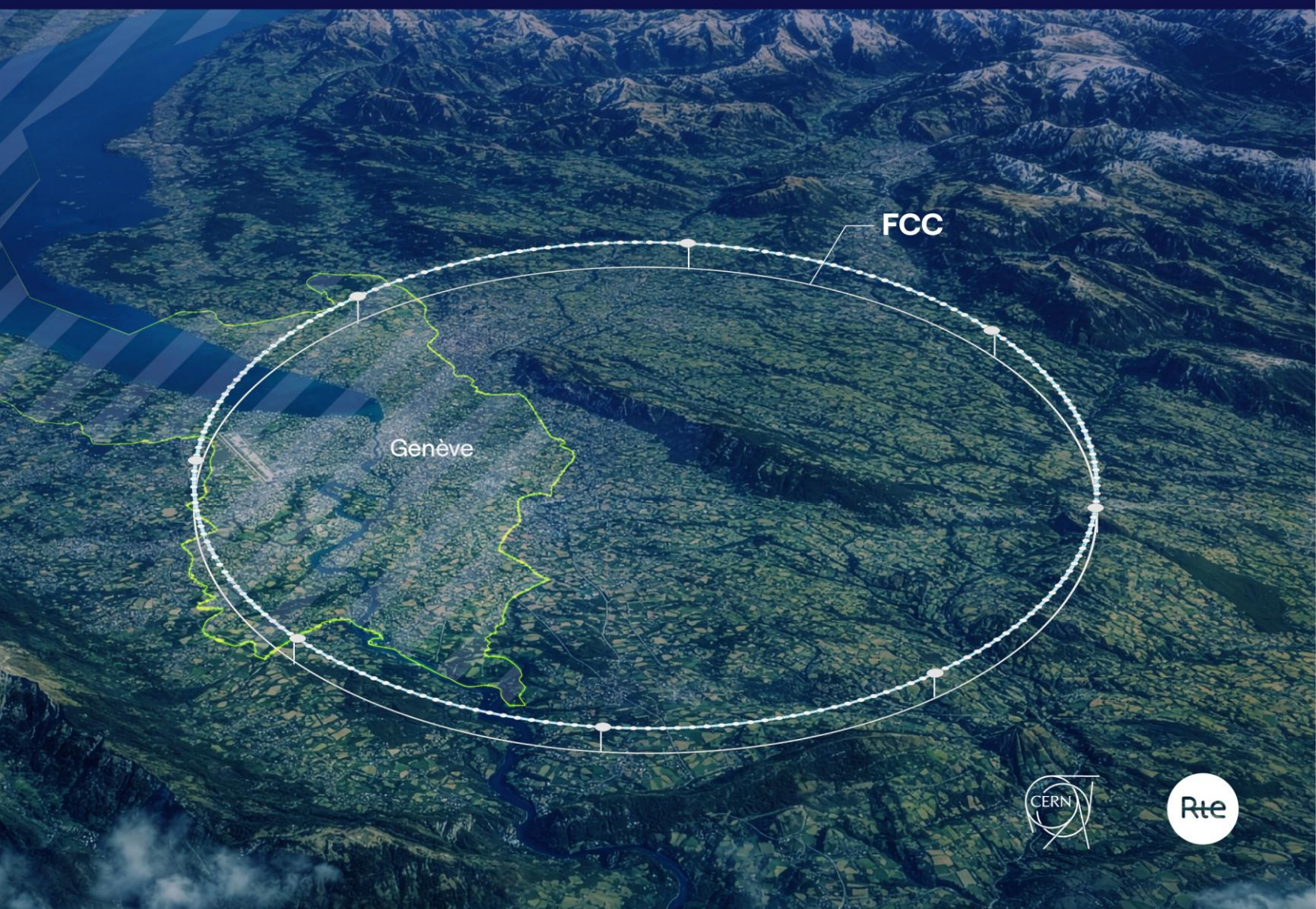


DOSSIER DE PRÉSENTATION

Projet du Futur Collisionneur Circulaire

DÉBAT PUBLIC EN FRANCE, SOUS L'ÉGIDE DE LA COMMISSION NATIONALE
DU DÉBAT PUBLIC, DU **2 JUIN AU 1^{ER} OCTOBRE 2026**

CONCERTATION PUBLIQUE EN SUISSE, SOUS L'ÉGIDE DE TIERS GARANTS
EXPERTS, DU **18 MAI AU 2 OCTOBRE 2026**



AVANT-PROPOS

Le présent document est établi par le Laboratoire européen pour la physique des particules (CERN), pour la partie liée au projet de Futur Collisionneur Circulaire (FCC), et par le gestionnaire du réseau de transport d'électricité en France métropolitaine, RTE, pour la partie liée aux raccordements au Réseau Public de Transport d'électricité (RPT) des installations du CERN en France.

Dans la perspective du débat public en France et de la concertation en Suisse, ce document a pour objectif de partager avec le public l'ensemble des éléments et données, notamment exploratoires et estimatives, disponibles à ce stade sur le projet du FCC. La source principale est donc l'étude de faisabilité du FCC publiée le 31 mars 2025¹.

En France, conformément au code de l'environnement, le débat public vise notamment à débattre de l'opportunité, des objectifs, des alternatives et des impacts, avant toute décision d'engagement de financement du projet.

En Suisse, conformément aux pratiques de concertation, il vise à débattre de sa justification, de ses objectifs ainsi que de ses impacts, avant toute décision d'engagement de financement du projet.

Le présent dossier ne préjuge donc aucunement des conclusions du débat public français ou de la concertation suisse, ni des décisions qui seront prises ultérieurement par les porteurs de projet et les autorités compétentes.

La version numérique du présent document est consultable et téléchargeable sur :

Le site Internet du débat public français, à l'adresse suivante :

↳ <https://www.debatpublic.fr/projet-accelerateur-particules>

Le site Internet de la concertation suisse, à l'adresse suivante :

↳ <https://www.concertation-fcc-cern.ch/la-plateforme-du-cern-4008>

Date de publication : mai 2026

*Les * signalent les termes définis dans le glossaire situé à la fin du présent dossier.*

¹ A retrouver sur l'adresse suivante : <https://home.cern/fr/news/news/accelerators/cern-releases-report-feasibility-possible-future-circular-collider>

ÉDITORIAL DU PROFESSEUR MARK THOMSON, DIRECTEUR GÉNÉRAL DU CERN



Le CERN est le plus grand laboratoire au monde de physique des particules. Depuis sa création en 1954 au cœur de l'Europe, il poursuit l'ambition de percer les lois les plus fondamentales qui régissent la matière et l'Univers depuis son origine. Soutenu par ses 25 États membres et 11 États membres associés, le CERN conçoit et exploite des infrastructures scientifiques parmi les plus ambitieuses jamais réalisées, notamment des accélérateurs et des détecteurs de particules ainsi qu'un réseau informatique mondial.

Aujourd'hui, le CERN est bien plus qu'un centre de recherche : c'est une véritable plateforme mondiale de collaboration, où des milliers de scientifiques, ingénieurs et techniciens unissent leurs talents pour faire progresser les connaissances de l'humanité. Les découvertes en physique fondamentale génèrent des avancées technologiques majeures, avec des retombées concrètes dans des domaines aussi variés que les thérapies et l'imagerie médicales, l'aérospatial, l'industrie ou encore l'informatique. Le CERN est également un lieu de transmission, où sont formés des milliers d'étudiants et jeunes diplômés chaque année, et de coopération internationale, où dialoguent des scientifiques du monde entier. Poursuivre l'exploration de l'Univers exige aujourd'hui de franchir une nouvelle étape. C'est tout l'enjeu du projet de futur collisionneur circulaire (FCC), qui s'inscrit dans la continuité des succès du Grand collisionneur de hadrons (LHC), bientôt engagé dans sa phase de haute luminosité.

Le FCC permettrait d'atteindre des niveaux de précision et d'énergie inédits, ouvrant la voie à des découvertes majeures et à une compréhension encore plus approfondie des constituants fondamentaux de la matière.

Au cœur de cette vision, le FCC-ee, collisionneur électron-positon, se distingue par sa capacité à réaliser des mesures d'une précision sans précédent. Il offrirait la possibilité d'étudier avec une finesse inégalée les propriétés des particules connues et d'explorer des phénomènes encore inconnus, au-delà du Modèle standard. Le FCC-ee constituerait un atout majeur pour se projeter jusqu'à la fin du siècle en physique des particules, en offrant une voie potentielle vers un futur collisionneur de hadrons à très haute énergie.

Cette ambition scientifique se construit avec les territoires et leurs habitants. Le dialogue avec le public et la participation des citoyens sont au cœur de la démarche engagée autour du projet FCC, dont l'implantation concernerait directement les États hôtes, la France et la Suisse. Ce temps de concertation, organisé dans les deux pays, intervient à un moment clé et contribuera à éclairer la décision du Conseil du CERN, appelé à se prononcer sur la suite à donner au projet au plus tôt en 2028.

Je forme le vœu que ce débat soit à la hauteur des enjeux : ouvert, approfondi et accessible à toutes et tous. Qu'il permette d'éclairer les choix à venir et de construire, dans la durée, un dialogue de confiance entre science et société.

SOMMAIRE

Les chiffres clés du projet.....	6
Les porteurs de projet.....	8
Le CERN, le porteur de projet du Futur Collisionneur Circulaire (FCC).....	9
RTE, maître d’ouvrage des raccordements du projet de FCC.....	13
1. Historique et contexte du projet de FCC	14
1.1 La physique des particules, à la recherche de l’infiniment petit.....	15
1.2 Qu’est-ce qu’un accélérateur de particules ?	19
1.3 Le CERN, le laboratoire européen de la physique des particules.....	20
1.4 Le FCC, un projet d’envergure européenne et internationale.....	22
2. L’opportunité du projet de FCC et ses alternatives	24
2.1 Les besoins exprimés par la communauté scientifique internationale et les critères technologiques prédéfinis.....	25
2.2 Les caractéristiques scientifiques retenues pour l’accélérateur de particules électron-positon (FCC-ee).....	26
2.3 Un potentiel futur collisionneur de hadrons (FCC-hh).....	27
2.4 Les alternatives, y compris l’absence de projet.....	29
3. Le projet et sa localisation.....	39
3.1 Les principales caractéristiques techniques du projet : vue d’ensemble du scénario retenu « PA31-4.0 ».....	40
3.2 Le CERN, un acteur à l’implantation historique sur le canton de Genève et le Pays de Gex.....	42
3.3 La localisation : comment le tracé a-t-il été développé ?	43
3.4 Les infrastructures.....	46
3.5 Génie civil et chantier : les pistes étudiées.....	64
3.6 Les consommations prévisionnelles du projet en électricité	67
3.7 Les raccordements au réseau de transport d’électricité RTE.....	70
3.8 Les besoins en eau.....	75
3.9 Le calendrier prévisionnel.....	76
4. Les impacts socio-économiques et sur l’aménagement du territoire.....	77
4.1 Des territoires marqués par des enjeux communs et transfrontaliers.....	78
4.2 Les impacts socio-économiques du projet.....	83
5. Les impacts environnementaux et les enjeux de la maîtrise des risques dans un territoire vaste et diversifié.....	92
5.1 Les impacts environnementaux	93
5.2 Les principaux enjeux de la maîtrise des risques	110
5.3 Les mesures de maîtrise des risques : assurer la protection des personnes, des biens et de l’environnement.....	114
6. Les coûts et le financement prévisionnels.....	116
6.1 Le coût de l’investissement prévisionnel.....	117
6.2 Le financement prévisionnel	119
6.3 Rapport bénéfices / coûts.....	120

7. La participation du public et des parties prenantes.....	126
7.1 Quelle est la place accordée à la participation du public dans le processus de décision du CERN ?.....	127
7.2 Un dialogue territorial déjà engagé avec et dans les deux États hôtes	127
7.3 Les dispositifs de participation déployés en France et en Suisse.....	128
7.4 Les suites du débat public français et de la concertation suisse.....	130
8. Glossaire	131
9. Annexes	138
9.1 Stratégie européenne pour la physique des particules.....	139
9.2 L'étude de faisabilité du projet de Futur Collisionneur Circulaire.....	139
9.3 Stratégie de gestion et d'usage des matériaux excavés (2025).....	139
9.4 Synthèse des contraintes et opportunités d'implantation du Futur Collisionneur Circulaire (2023).....	139
9.5 Bilan de la mission de conseil de la Commission nationale du débat public (CNDP) pour la partie française.....	139

LES CHIFFRES CLÉS DU PROJET

1 PROJET TRANSFRONTALIER

étudié en France (sur l'Ain 01 et sur la Haute-Savoie 74)
& en Suisse (sur la République du canton de Genève)



Un **chantier**
qui s'étendrait sur environ
 **8 ANS**

Un volume de matériaux exca-
vés in situ de l'ordre de **6,3 mil-
lions m3** sur une période d'en-
viron 5 ans (soit environ 14,7
millions de tonnes) pour l'in-
frastructure FCC

162 instituts de recherche
issus de **38 pays mobilisés**
pour l'étude de faisabilité du **FCC**

1 tunnel de 90,7 km
de circonférence,
avec un diamètre
interne de **5,5 m**
& externe de **6,5 m**

1 Injecteur
pour le
FCC-ee

Une **mise en service**
prévisionnelle du
FCC-ee au cours de
la **deuxième moitié**
des années 2040

4 sites scientifiques de
surface donnant accès
aux 4 cavernes d'expérimen-
tation souterraines

4 sites techniques de surface
donnant accès **aux infrastructures**
souterraines & au tunnel de l'accé-
lérateur pour sa maintenance

Environ **15 milliards** de francs suisses,
soit environ **16 milliards d'euros** d'in-
vestissement pour le génie civil & les
infrastructures **techniques** & **scienti-
fiques de l'accélérateur FCC-ee**

12 cavernes souterraines reliées
au tunnel (2 par site scientifique, 1 par site
technique), situées entre **180** et **400**
mètres de profondeur et desser-
vies par un puits d'accès **assurant**
le lien avec la surface

UNE STRUCTURE SOUTERRAINE UNIQUE

12 PUIITS

d'accès d'une profondeur allant de **150m** à **400m**



12 CAVERNES

d'une profondeur allant de **180m** à **400m**



90,7 KM

de **circonférence**



8 SITES DE SURFACE POUR L'EXPLOITATION DU PROJET FCC & LA RÉALISATION D'EXPÉRIMENTATIONS

7 SITES FRANÇAIS



1 SITE SUISSE



1 INJECTEUR à créer sur le site existant du CERN à Préveession-Moëns



LES PORTEURS DE PROJET

LE CERN, LE PORTEUR DE PROJET DU FUTUR COLLISIONNEUR CIRCULAIRE (FCC)

↳ L'histoire du CERN

À la fin de la Seconde Guerre Mondiale, la science est perçue par les organisations gouvernementales comme un levier pour apporter une ère de paix et de progrès social².

Or, la « fuite des cerveaux », en particulier des scientifiques européens vers les États-Unis dans le contexte de la guerre, est particulièrement critique en physique nucléaire. Afin d'enrayer cette dynamique, des scientifiques et diplomates, inspirés par le modèle des organisations internationales, imaginent créer un laboratoire européen de physique nucléaire. Leur objectif est de faire de la recherche fondamentale en physique des particules un véritable levier de paix et de coopération entre les peuples au niveau international.

Le physicien français Louis de Broglie propose dès 1949 la création d'un laboratoire européen, une idée soutenue notamment par le Français Pierre Auger, alors Directeur des sciences exactes et naturelles de la toute jeune UNESCO, Edoardo Amaldi, éminent scientifique italien, et les prix Nobel Isidor Rabi (États-Unis) et Niels Bohr (Danemark).

La première résolution concernant la fondation d'un Conseil européen pour la recherche nucléaire est adoptée lors d'une réunion intergouvernementale de l'UNESCO à Paris, en décembre 1951. Deux mois plus tard, 11 pays signent un accord pour la création du Conseil provisoire – l'acronyme CERN est né.

Lors de la troisième session du Conseil provisoire, en 1952, Genève est choisie pour accueillir le site du CERN. En juin 1953, ce choix est entériné au terme d'un référendum organisé dans le canton de Genève, avec 16 539 voix pour et 7 332 voix contre.

Le 1er juillet 1953, le texte final de la Convention du CERN est approuvé et progressivement ratifié par les 12 États membres. Amendé en 1971, il énonce la manière dont les États membres contribueront au budget du CERN et donne de premières indications sur sa philosophie et son organisation. L'article II de la Convention du CERN érige les buts suivants :

- ↳ Les principes de coopération européenne et de recherche fondamentale : « l'Organisation assure la collaboration entre États européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental, ainsi que pour d'autres recherches en rapport essentiel avec celles-ci »³.
- ↳ Les principes de non-utilisation des données à des fins militaires et de données scientifiques libres : « l'Organisation s'abstient de toute activité à fins militaires et les résultats de ses travaux

Pourquoi parle-t-on de « recherche nucléaire » ?

À sa création, le CERN avait pour mission de promouvoir la collaboration européenne en physique fondamentale et de mettre en place des infrastructures de recherche de premier plan. À l'époque, la recherche en physique fondamentale avait pour principal objectif la compréhension de la structure du noyau atomique, d'où l'emploi du qualificatif « nucléaire ».

Aujourd'hui, notre compréhension de la matière va bien au-delà des atomes et de leurs noyaux, et le principal domaine de recherche du CERN est la physique des particules, qui étudie les constituants fondamentaux de la matière. C'est pourquoi le CERN est souvent appelé « Laboratoire européen pour la physique des particules ».

² Collectifs d'auteurs de l'UNESCO (2009), Soixante ans de science à l'UNESCO : 1945-2005, Editions UNESCO, p. 63, consultable ici : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000182202.locale=fr>

³ Site du Conseil du CERN, La Convention pour l'Etablissement d'une Organisation européenne pour la recherche nucléaire, disponible ici : <https://council.web.cern.ch/fr/content/convention-pour-l%C3%A9tablissement-dune-organisation-europ%C3%A9enne-pour-la-recherche-nucl%C3%A9aire>

expérimentaux et théoriques sont publiés ou de toute autre façon rendus généralement accessibles »⁴.

↳ Les missions du CERN

La mission du CERN vise à mieux comprendre l'évolution de l'univers depuis ses origines à travers ses constituants élémentaires et leurs interactions.

Cette recherche est dite fondamentale, car elle vise l'acquisition de connaissances, mais pour y parvenir le CERN développe des instruments et des technologies qui font appel à différents domaines de recherche et d'ingénierie et qui peuvent avoir des retombées sociétales.

Ainsi le CERN exploite un complexe d'accélérateurs de particules unique au monde, qui offre à des milliers de scientifiques du monde entier la possibilité de mener des expériences d'une très grande précision sur les propriétés des particules et leurs interactions. Celles-ci permettent ainsi de valider ou d'infirmer les théories existantes, ou encore de révéler de nouveaux phénomènes. Ces expériences, qui sont elles-mêmes le fruit de collaborations internationales, rassemblent parfois plusieurs milliers de physiciens. Bien qu'elles soient hébergées au CERN, elles s'organisent au sein de structures indépendantes.

↳ La gouvernance du CERN

Le CERN est une organisation intergouvernementale qui compte actuellement 25 États membres. Le traité et les instruments d'accession des États membres sont déposés auprès de l'UNESCO.

En 1955, le CERN et la Suisse ont conclu un accord pour l'établissement du siège de l'Organisation à Genève. Dix ans plus tard, en 1965, le CERN et la France ont conclu un accord d'extension du domaine du CERN en territoire français. Cet accord de statut a ensuite été révisé en 1972.

Ces deux accords (de siège et de statut) définissent le statut international du CERN auprès de ses deux États hôtes.

Le Conseil du CERN est l'organe de gouvernance suprême de l'Organisation. Il est responsable de toutes les décisions importantes dans les domaines scientifique, technique et administratif. Il approuve le programme d'activités, adopte le budget et contrôle les dépenses de l'Organisation. Chaque État membre y est représenté par deux délégués et chaque délégation a une voix. Le Conseil prend des décisions par consensus dans la mesure du possible. Néanmoins, pour certaines décisions, des majorités spécifiques sont requises. Par exemple, l'admission d'un nouvel État membre doit être votée à l'unanimité, et l'approbation d'un nouveau programme d'activité ou la désignation du directeur général nécessite une majorité des deux tiers. Dans le cas de nouveaux projets majeurs, une recommandation positive et additionnelle du Comité des finances est nécessaire, qui requiert une majorité des votes des délégations, ainsi qu'une majorité pondérée par les contributions financières des différents États.

Le Conseil doit tenir une session ordinaire au moins une fois par an, mais se réunit en règle générale tous les trimestres. Les sessions du Conseil peuvent être publiques, restreintes ou à huis clos selon les sujets abordés. La participation pour chaque mode est définie par les règles de procédures du Conseil. Au mois de juin, le Conseil tient une session publique.

Le Conseil est assisté dans ses tâches par les organes subsidiaires suivants, chacun disposant de son propre mandat et de ses propres règles de vote :

↳ Le Comité des directives scientifiques : composé de membres nommés (personnalités éminentes au sein de la communauté scientifique) et de membres *ès qualités*, il assiste le Conseil de manière

⁴ Ibidem

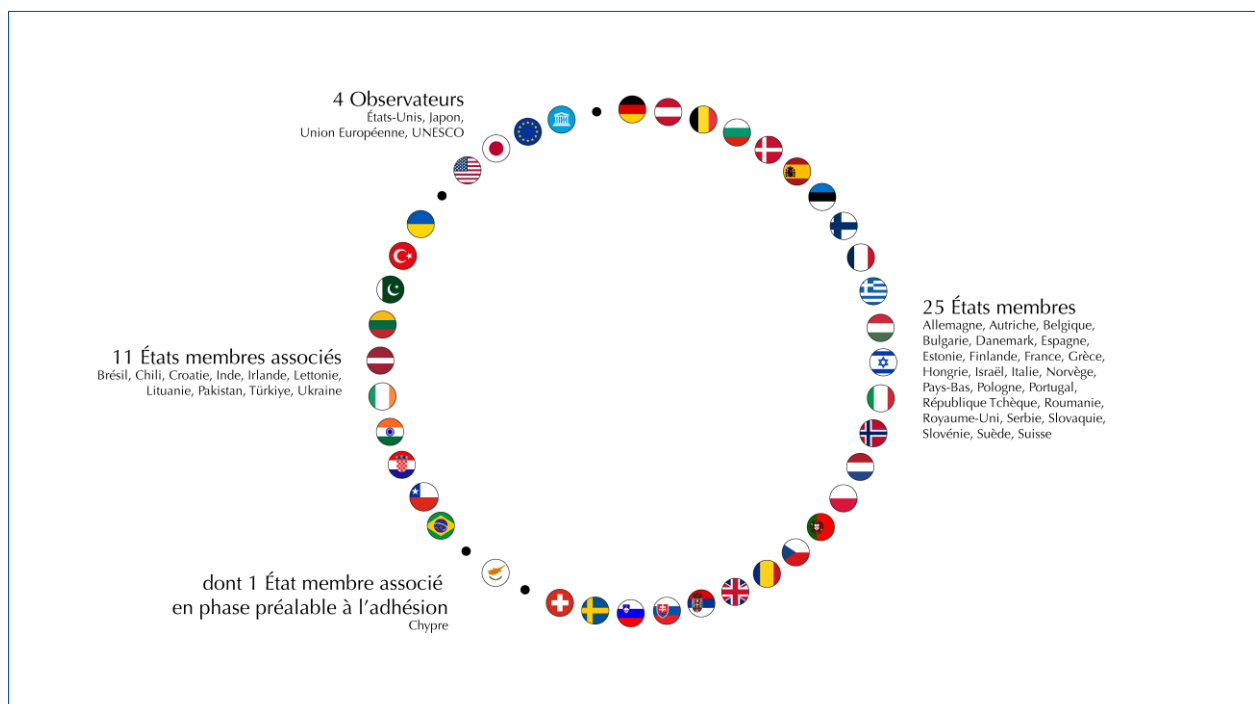
consultative et surveille de façon générale les activités scientifiques de l'Organisation ;

- ↳ Le Comité des finances : composé de représentants des États membres du CERN, il assiste le Conseil pour toutes les questions relatives à la gestion financière de l'Organisation, y compris pour ce qui concerne sa Caisse de pensions
- ↳ Le Comité d'audit : composé de deux délégués au Conseil et de quatre membres experts d'audit extérieurs, il est chargé de donner des orientations et des conseils indépendants et objectifs sur le bien-fondé et l'efficacité des procédures de l'Organisation dans les domaines suivants : a) structure de gouvernance ; b) gestion des risques ; c) valeurs et éthique ; d) cadre du contrôle interne ; e) surveillance de l'audit interne et de l'audit externe ;
- ↳ Le Forum tripartite sur les conditions d'emploi (TREF) : composé de représentants des États membres, de la Direction et de l'Association du personnel, c'est un forum de discussion sur les aspects des conditions de rémunération et d'emploi au CERN ;
- ↳ Le Comité d'administration de la Caisse des pensions.

Le Conseil nomme un Directeur général ou une Directrice générale pour un mandat de cinq ans. Il ou elle dispose du pouvoir exécutif et représente l'Organisation.

Les 25 États membres et les 11 États membres associés contribuent annuellement au budget de l'Organisation. Le niveau des contributions est basé sur le revenu national de chaque État et varie en fonction du statut de l'État (État membre, État membre associé, État membre associé en phase d'adhésion). En 2025, le budget du CERN s'élevait à 1,22 milliard de francs suisses, soit environ 1,3 à 1,35 milliard d'euros⁵.

Par ailleurs, les États-Unis, le Japon, l'UNESCO et l'Union européenne ont le statut d'observateurs auprès du Conseil du CERN.



⁵ <https://cds.cern.ch/record/2922260/files/French.pdf>

États membres, associés, observateurs ou États non-membres : quelles sont les différences ?

États membres : les États membres sont les principaux contributeurs au budget du CERN ; ils sont représentés au Conseil, qui est responsable de toutes les décisions importantes concernant l'Organisation et ses activités. Chaque État membre dispose de deux représentants au Conseil, mais d'une seule voix lors des votes.

États membres associés : les États membres associés contribuent au budget de l'Organisation à hauteur d'au moins 10 % de la contribution qui serait attendue s'ils étaient États membres à part entière. Ils peuvent nommer des représentants aux réunions du Conseil du CERN et du Comité des finances, sans droit de vote. Leurs ressortissants peuvent présenter leur candidature à des postes de titulaires bénéficiant de contrats à durée limitée et à des postes de boursiers. Leurs entreprises peuvent répondre aux appels d'offres du CERN, mais ce retour ne peut excéder leur contribution financière.

Observateurs : les États ayant le statut d'observateur doivent apporter des contributions significatives à un projet du CERN dont le seuil est défini par le Conseil. Ceci leur permet d'assister à la partie des réunions du Conseil qui traite du projet en question. Les organisations ayant le statut d'observateur peuvent assister à certaines sessions du Conseil et disposer des documents, mais sans avoir le droit de vote.

États non-membres : les États non-membres peuvent conclure des accords de coopération internationaux (46 États concernés⁶), principalement dans le cadre de programmes de recherche, et/ou avoir des contacts scientifiques (21 États⁷) pour de l'échange d'information.

↳ L'organisation du CERN

Le personnel employé du CERN, composé d'environ 2 700 membres du personnel et environ 1 230 doctorants et post-doctorants, participe à la conception, la construction et l'exploitation des infrastructures du CERN.

Dans une moindre mesure, il contribue également à la préparation et à l'exploitation des expériences. Ces dernières sont menées par des collaborations internationales indépendantes et regroupent à ce jour plus de 12 600 scientifiques de 110 nationalités, issus de près de 1000 instituts de 80 pays. Cette communauté d'utilisateurs construit et exploite des détecteurs, tels que ATLAS et CMS auprès du LHC*. Ces détecteurs produisent de grandes quantités de données informatiques qui sont stockées et traitées par un réseau mondial de centres de calcul et analysées par les physiciennes et les physiciens des expériences. Les résultats de leurs mesures sont ensuite publiés, généralement dans des revues scientifiques à accès ouvert : cette démarche s'inscrit dans la mission du CERN d'une science ouverte, fondée sur la diffusion des résultats, le partage des méthodes et, lorsque cela est possible, l'accès aux données et aux logiciels.

Les études autour du FCC sont menées en suivant ce même modèle ; plus de 1 500 scientifiques, ingénieurs et experts issus de plus de 162 institutions dans plus de 38 pays ont contribué à son étude de faisabilité. Au sein du CERN, les études sur le FCC reposent sur une équipe pluridisciplinaire et internationale répartie dans l'ensemble des secteurs et directions de l'Organisation.

⁶ Site internet du CERN, Nos États membres, consultable ici : <https://home.cern/fr/about/who-we-are/our-governance/member-states#:~:text=Les%20organisations%20internationales%2C%20l'Union,CERN%20le%2025%20mars%202022>

⁷ Ibidem

RTE, MAÎTRE D'OUVRAGE DES RACCORDEMENTS DU PROJET DE FCC EN FRANCE

RTE porte uniquement la maîtrise d'ouvrage des raccordements du projet de FCC.

Gestionnaire du réseau de transport d'électricité français, RTE assure une mission de service public : garantir l'alimentation en électricité à tout moment et avec la même qualité de service sur le territoire national grâce à la mobilisation de ses 10 000 salariés. RTE gère en temps réel les flux électriques et l'équilibre entre la production et la consommation. RTE maintient et développe le réseau haute et très haute tension (de 63 000 à 400 000 volts) qui compte 101 000 km de lignes aériennes, 8 000 km de lignes souterraines, 540 km de lignes sous-marines et 2 900 postes électriques et 51 lignes transfrontalières. Le réseau français, qui est le plus étendu d'Europe, est interconnecté avec 6 pays.

En tant qu'opérateur industriel de la transition énergétique neutre et indépendant, RTE optimise et transforme son réseau pour raccorder les installations de production ou de consommation d'électricité quels que soient les choix énergétiques futurs. RTE, par son expertise et ses rapports prospectifs, éclaire les choix des pouvoirs publics.

Des informations complémentaires sont disponibles sur le site : <https://www.rte-france.com/>



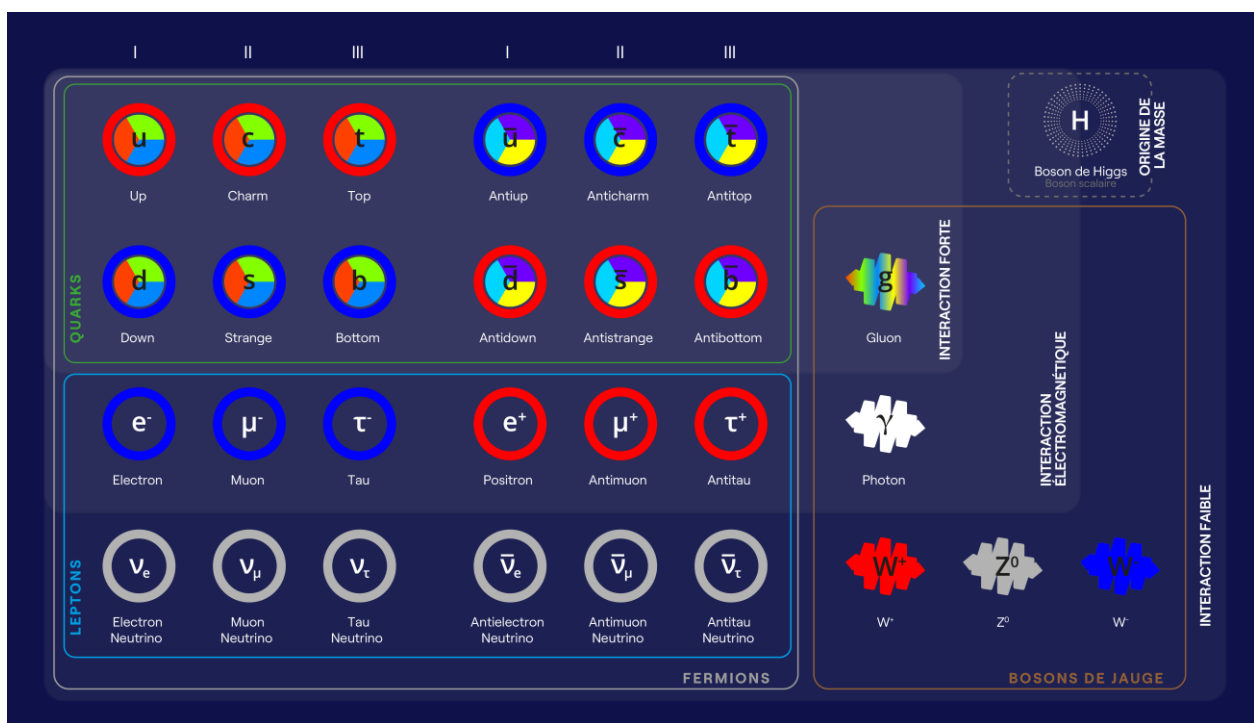
1. HISTORIQUE ET CONTEXTE DU PROJET DE FCC

1.1 LA PHYSIQUE DES PARTICULES, À LA RECHERCHE DE L'INFINIMENT PETIT

La notion d'« atome » apparaît 400 ans avant J.-C. et est alors définie par Démocrite comme la plus petite partie insécable d'un corps simple, comme son étymologie l'indique (a-tomos = insécable, qui ne peut être divisé en éléments plus petits)⁸.

La compréhension des composants fondamentaux de l'Univers a véritablement pris son essor au XIX^{ème} siècle, en particulier grâce à la découverte des éléments chimiques et à leur classification. Leurs propriétés ont progressivement révélé l'existence d'une structure sous-jacente : les atomes. C'est au début du XX^{ème} siècle que les scientifiques ont compris que l'atome lui-même possédait une structure interne, à savoir un noyau dur et un cortège d'électrons* orbitant autour. Par la suite, la structure du noyau atomique, formé de protons* et de neutrons*, a été révélée. Enfin, à partir des années 1930, l'observation des particules exotiques (c'est-à-dire instables et n'existant pas à l'état naturel sur Terre) a ouvert la voie à la compréhension actuelle des particules élémentaires*, de l'antimatière* et de leurs interactions.

Notre compréhension de la matière repose sur le Modèle standard* des particules et de leurs interactions, qui distingue douze particules élémentaires* constituant la matière, quatre particules véhiculant les forces, et le boson de Higgs* qui confère une masse aux particules élémentaires. Élaboré au début des années 1970, ce cadre théorique a permis d'expliquer les résultats d'un grand nombre d'expériences et de prédire avec exactitude une grande variété de phénomènes⁹. Le Modèle standard* combine les lois de la mécanique quantique et de la relativité (restreinte), les deux piliers de la physique du XX^{ème} siècle.



Particules du Modèle standard (Image : Daniel Dominguez/CERN)

⁸ Marie-Danielle Cyr, Dominique Forget et Jean-Sébastien Verreault, Observatoire. L'environnement, Saint-Laurent (Canada), Éditions du nouveau pédagogique, 2008

⁹ Site internet du CERN, Le Modèle standard, consultable ici : <https://home.cern/fr/science/physics/standard-model/#:~:text=particule%20plus%20stable-,Forces%20et%20particules%20porteuses,mais%20a%20une%20port%C3%A9e%20infinie>

1.1.1 Les particules élémentaires

Les particules élémentaires* sont les plus petites « briques » de matière connues à ce jour. Elles se divisent en deux familles : les quarks* et les leptons*¹⁰. Les quarks u et d, par exemple, composent les protons* et les neutrons*. L'électron, qui est un lepton*, forme le cortège électronique de l'atome. Ces particules sont dites de première génération. Deux autres générations existent, composées également de deux quarks* et un lepton*, mais avec des masses plus élevées. Ces particules, décrites comme des objets ponctuels, sans taille, sont en réalité des manifestations de champs quantiques sous-jacents¹¹. Pour chaque type de particule, une antiparticule* existe avec une charge électrique opposée. Inobservables à l'œil nu, leur trajectoire et leur énergie peuvent être mesurées grâce à leur interaction avec la matière. Les accélérateurs* permettent de les produire de manière contrôlée afin d'étudier leurs propriétés¹².

↳ Forces et particules porteuses

Différentes forces agissent entre les particules¹³ :

- ↳ La force forte lie les quarks* entre eux pour former les protons* et les neutrons*, et maintient la cohésion du noyau atomique.
- ↳ La force faible est à l'origine de la radioactivité bêta, processus qui transforme un neutron en proton en émettant un électron* et un neutrino*. Ce mécanisme est à l'origine des réactions nucléaires dans le Soleil et les étoiles.
- ↳ La force électromagnétique est responsable de l'interaction entre les particules chargées et, à ce titre, des liens qui unissent le noyau de l'atome aux électrons* qui l'entourent ;
- ↳ La force gravitationnelle est responsable de l'attraction entre les objets massifs. Sa manifestation la plus évidente est la pesanteur et le mouvement des corps célestes. C'est la force de plus faible intensité et contrairement aux trois autres interactions, elle échappe à une description quantique cohérente : elle n'est pas intégrée au Modèle standard*.

Ces forces fondamentales résultent de l'échange de particules porteuses de force qui appartiennent à une famille plus vaste appelée les « bosons* intermédiaires ». Chaque force fondamentale a son boson* correspondant :

- ↳ La force forte est véhiculée par le gluon ;
- ↳ Les bosons* W et Z transmettent la force faible ;
- ↳ La force électromagnétique est transmise par le photon ;

Bien qu'impossible à observer avec les technologies existantes, le « graviton » devrait être la particule porteuse de la gravité, si la gravitation était décrite dans un formalisme quantique. Si le Modèle standard* décrit de façon exacte une grande partie des phénomènes, il reste incomplet. Outre l'absence de la gravité, ses principales limites sont :

- ↳ Matière noire et énergie noire : une grande majorité de l'Univers échappe encore à notre compréhension. En effet, une profusion d'observations astrophysiques et cosmologiques allant du profil des vitesses des galaxies à l'abondance des éléments primordiaux dans l'Univers ont conduit à postuler l'existence d'une « matière noire », une forme de matière qui n'a pas été détectée à ce jour et qui n'est pas décrite par le Modèle standard*. Selon les observations actuelles, l'Univers serait constitué de seulement 5 % de matière ordinaire visible, contre 25 % de matière noire et 70 % d'énergie noire.

¹⁰ Cf. le terme « Particule » du glossaire

¹¹ Site internet CEA, Les particules élémentaires de la matière, 15 juillet 2025, consultable ici : <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/physique-chimie/essentiel-sur-particules-elementaires-matiere.aspx>

¹² Site internet du CERN, Voir l'invisible : événements en physique des particules, consultable ici : <https://home.cern/fr/news/news/detectors/seeing-invisible-event-displays-particle-physics>

¹³ Site internet du CERN, Le Modèle standard, consultable ici : <https://www.home.cern/fr/science/physics/standard-model#:~:text=particule%20plus%20stable,-Forces%20et%20particules%20porteuses,mais%20a%20une%20port%C3%A9e%20infinie>

- ↘ Asymétrie matière-antimatière* : une infime différence entre matière et antimatière* au tout début de l'Univers expliquerait pourquoi les galaxies, les étoiles et toute la matière que nous observons semble essentiellement composé de matière et de photons. Pourtant, le Modèle standard* ne parvient pas à expliquer cette asymétrie, laissant cette question ouverte.
- ↘ Stabilité du vide : notre compréhension actuelle indique que le potentiel du champ de Higgs* – responsable de la masse des particules – se trouverait dans un état métastable (qui est un état stable mais pas le plus stable possible). Cette instabilité potentielle est un sujet de recherche majeure.

Les futures expériences qui seront conduites au CERN auront donc pour objectif de mieux comprendre la structure de la matière et des propriétés des particules élémentaires, en particulier celles du boson de Higgs*, mais aussi de permettre d'aller plus loin dans la compréhension des premiers instants de l'univers.

Physique quantique et physique des particules, quelles différences ?

La physique quantique est le cadre théorique qui décrit le comportement des systèmes microscopiques (ondes de probabilité, quantification, superposition, incertitude) et s'applique à de nombreux domaines, des particules aux matériaux, en passant par les atomes et les molécules.

La physique des particules est un sous-domaine de cette théorie (avec la relativité restreinte) qui étudie les constituants fondamentaux de la matière et leurs interactions, souvent via des accélérateurs (voir partie 1.3).

En bref, la première est la "boîte à outils" conceptuelle, et la seconde consiste en l'exploration des briques fondamentales de l'Univers avec cette boîte à outils.

1.1.2 La découverte du boson de Higgs au LHC

Le **mécanisme de Higgs***, postulé par les physiciens Robert Brout, François Englert et Peter Higgs en 1964, permet d'expliquer comment certaines particules élémentaires acquièrent une masse, ou pas (comme le photon*)¹⁴.

Dans ce mécanisme, un champ de Higgs emplit tout l'Univers. Quand les particules interagissent avec ce champ, elles acquièrent une masse : plus l'interaction est forte, plus la masse est élevée. Le boson de Higgs est la particule associée à ce champ. C'est une excitation quantique de ce champ et la manifestation observable de ce champ, tout comme le photon est une excitation du champ électromagnétique¹⁵.

Les collisions du Grand collisionneur de hadrons (LHC)* ont une énergie suffisante pour produire le boson de Higgs*, mais il se désintègre presque instantanément, se transformant en d'autres particules. Cependant, le type de particules produites lors de sa désintégration sont significatives de sa présence. La difficulté réside dans le fait que le boson de Higgs* n'est produit qu'au cours d'une collision sur un milliard au LHC*. C'est l'analyse minutieuse d'importantes quantités de données qui a permis en 2012 de repérer le faible signal de cette particule.

Le 4 juillet 2012, les collaborations ATLAS et CMS, deux grandes expériences du LHC*, ont annoncé la découverte expérimentale d'une nouvelle particule, sans charge électrique, à durée de vie courte et se désintégrant* comme le prévoyait la théorie pour le boson de Higgs*.

¹⁴ Site internet du CERN, Le boson de Higgs, une particule très spéciale : <https://home.cern/fr/news/series/lhc-physics-ten/higgs-boson-what-makes-it-special>

¹⁵ Ibidem

En examinant deux fois et demie plus de données, les équipes ont conclu en mars 2013 que le boson de Higgs* avait effectivement été détecté. Le couplage des particules massives au champ de Higgs, autrement dit l'intensité avec laquelle ces particules interagissent avec ce champ, a également pu être mesuré en observant différentes modes de production et de désintégration* des bosons de Higgs*.

Plus une particule est massive, plus il est probable qu'elle intervienne dans un tel processus, et plus fort est son couplage au champ de Higgs.

Une prédiction théorique et une vérification expérimentale récompensées par le Prix Nobel de Physique en 2013

Peter Higgs (Royaume-Uni) et François Englert (Belgique) ont partagé le prix « pour la découverte théorique d'un mécanisme contribuant à notre compréhension de l'origine de la masse des bosons*, qui a récemment été confirmée par la découverte de la particule prédite, par les expériences ATLAS et CMS au Large Hadron Collider (LHC) du CERN ». La découverte du boson de Higgs* a donné une crédibilité supplémentaire au Modèle standard*.

1.1.3 La suite des recherches autour du boson de Higgs

Depuis la découverte du boson de Higgs*, de nouvelles questions en physique fondamentale ont émergé. Bien que la compréhension des lois fondamentales et notre description de l'Univers primordial s'affinent, de nombreuses questions restent ouvertes.

Le Modèle standard* reste la description la plus aboutie de la matière, mais ne marque pas la fin de l'exploration scientifique. Il n'intègre en effet que trois des quatre forces fondamentales, en omettant la gravitation. Au sein de la communauté scientifique, des interrogations fondamentales restent sans réponses :

- ↳ Le boson de Higgs* est-il une entité unique, ou n'est-il que la première manifestation d'un secteur de Higgs plus vaste ?
- ↳ Le boson de Higgs* est-il une particule élémentaire* ou pourrait-il cacher une structure composite ?
- ↳ Va-t-on, grâce au boson de Higgs*, comprendre pourquoi, dans la formation de l'Univers, la matière a prévalu sur l'antimatière* ?
- ↳ Sa masse provient-elle d'une interaction avec son propre champ, et ce dernier a-t-il la valeur attendue ?
- ↳ Pourquoi la Nature a-t-elle privilégié trois générations de quarks* et de leptons*, avec une échelle de masses aussi étendue ?
- ↳ La matière noire* et d'autres nouvelles particules* pourraient-elles être révélées grâce à leurs interactions avec le champ de Higgs* ?

Pour répondre à ces interrogations et étudier le boson de Higgs*, ainsi que de potentiels autres phénomènes au-delà du Modèle standard*, les scientifiques ont besoin d'une future machine plus précise et plus puissante en termes d'énergie, de luminosité et d'intensité des faisceaux de particules. En même temps que le prolongement des activités de recherche du LHC*, à savoir la phase dite « de haute luminosité (HL-LHC) »¹⁶ qui va se terminer vers 2040, la communauté internationale de la physique des particules travaille à la conception de l'accélérateur qui succédera au LHC*.

¹⁶ Pour en savoir plus : <https://home.cern/fr/press/2022/HL-LHC>

1.2 QU'EST-CE QU'UN ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES ?

Un accélérateur propulse des particules chargées comme des protons* ou des électrons* à des vitesses très élevées, proches de celle de la lumière. La première lignée d'accélérateurs projetait des faisceaux de particules sur des cibles fixes. Plus tard, l'idée de faire entrer en collision des faisceaux de particules entre eux a permis d'atteindre des énergies plus élevées. Dans les collisionneurs circulaires, des faisceaux de particules circulent en sens inverse et se croisent en des points précis, où ils interagissent. Les particules sont accélérées par des ondes électromagnétiques dans des cavités radiofréquences* et leur trajectoire est courbée par le champ magnétique d'aimants.

Lorsque les particules ont accumulé suffisamment d'énergie et entrent en collision, il se produit un phénomène qui défie le sens commun. L'énergie de la collision se transforme en matière et se matérialise sous forme de particules, dont les plus massives existaient dans l'Univers primordial (c'est-à-dire ce qu'il était dans les tout premiers instants après le Big Bang). Ce phénomène, qui ne prévaut qu'aux échelles microscopiques où se manifeste la mécanique quantique, est décrit par la célèbre équation d'Albert Einstein $E = mc^2$: la matière et l'énergie sont interchangeables.

La physique des neutrinos*, un autre versant de la recherche en physique des particules

Les neutrinos* sont des particules qui sont produites dans des désintégrations* radioactives. Ils n'interagissent que très faiblement et peuvent traverser des larges volumes de matière sans être perturbés. Bien que nous sachions qu'ils possèdent une masse, celle-ci est si faible qu'elle n'a jamais pu être mesurée directement. Leur interaction avec le champ de Higgs, qui doit leur conférer cette masse, reste à ce jour inconnue.

Des expériences importantes dans le domaine de la physique des neutrinos sont développées en particulier au Japon et aux États-Unis, et le CERN contribue de manière active dans ce domaine, notamment en recherche et développement grâce à sa plateforme neutrino.

Le CERN contribue également à la construction de l'expérience Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), un détecteur de neutrinos* géant actuellement en préparation dans le Dakota du Sud aux États-Unis. Le projet est d'envoyer un faisceau de neutrinos depuis l'institut Fermilab (Illinois), sur 1 300 km à travers la Terre, afin d'étudier leurs propriétés – notamment leur oscillation d'un type à un autre sur cette distance. Grâce à ces mesures, les scientifiques espèrent mieux comprendre si les neutrinos jouent un rôle dans l'asymétrie entre matière et antimatière.

Les premières prises de données sont prévues dans les années 2030. DUNE prend le relais pour étudier les neutrinos très difficiles à détecter dans les collisionneurs tels que le LHC* ou le FCC s'il était réalisé.

Bien que DUNE soit piloté aux États-Unis, le CERN, ainsi que la France, la Suisse et une trentaine d'autres pays jouent un rôle important dans ce projet.

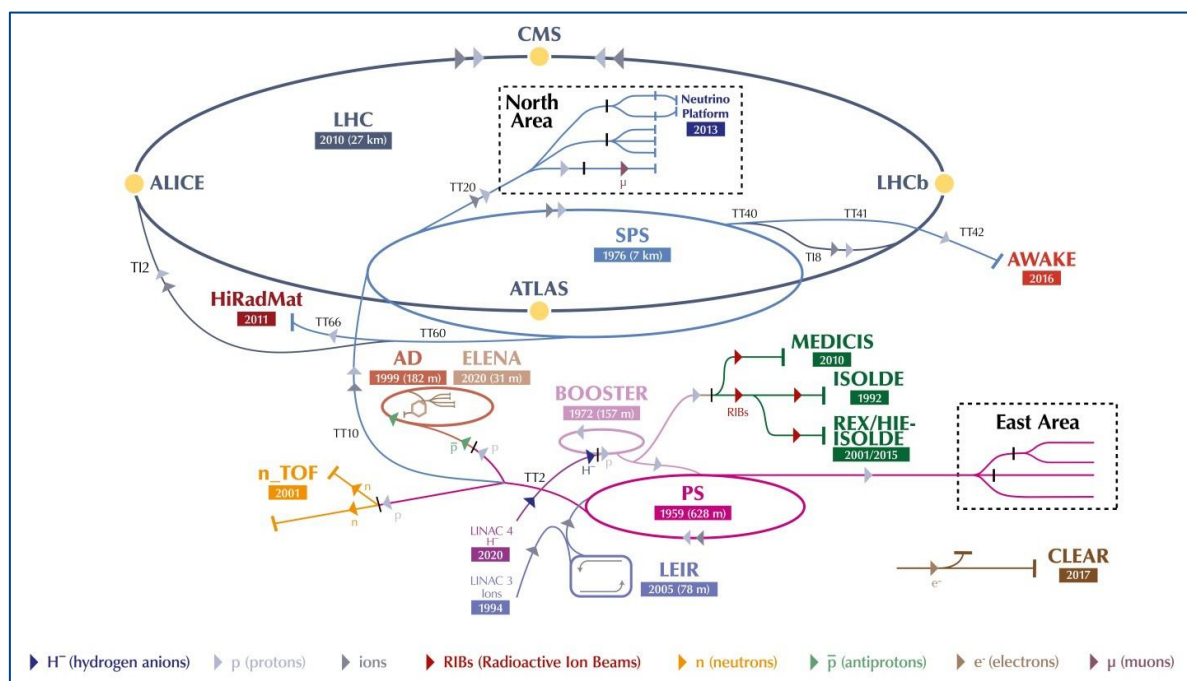
De façon générale, les physiciens du monde entier qui travaillent en physique des particules, en astroparticules, en physique des neutrinos et dans des disciplines associées, se réunissent régulièrement pour partager leurs résultats et renforcer la complémentarité de leurs recherches. Ce fut par exemple le cas lors de la Conférence de la Société européenne de physique sur la physique des hautes énergies (dite EPS-HEP pour « European Physical Society Conference on High Energy Physics ») qui s'est tenue à Marseille en juillet 2025.

1.3 LE CERN, LE LABORATOIRE EUROPÉEN DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

1.3.1 Les installations existantes

Le CERN a développé au fil de son existence un complexe d'accélérateurs variés, dont l'usage n'est pas réservé au LHC*. Ce complexe sert également à mener un programme expérimental riche et diversifié, tant par ses thématiques que par ses potentiels de découverte.

Concrètement, le complexe d'accélérateurs du CERN consiste en une succession de machines majoritairement situées entre les sites de Meyrin, en Suisse, et de Prévessin, en France. Chaque accélérateur augmente l'énergie d'un faisceau de particules avant de l'injecter dans le suivant (à l'exception de l'AD et d'ELENA, qui décélèrent des antiprotons*). La plupart des accélérateurs de la chaîne disposent de leur propre hall d'expérimentation où les faisceaux sont dirigés vers des cibles fixes et utilisés pour des expériences menées à des énergies plus basses.



Complexe d'accélérateurs du CERN

↳ Les principaux éléments du complexe d'accélérateurs sont les suivants :

1. Les accélérateurs linéaires, appelés Linacs, tels que le Linac 4, sont les premiers accélérateurs de la chaîne. Le Linac4 accélère des ions* d'hydrogène (ces ions d'hydrogène sont composés d'un proton* et de deux électrons*, au lieu d'un seul pour l'atome d'hydrogène) avant de les envoyer vers les accélérateurs circulaires. Le Linac3 est utilisé pour accélérer des ions dits « lourds », par exemple des ions plomb, carbone ou encore oxygène qui sont utilisés pour des expériences spécifiques comme l'étude du plasma quarks-gluons* au LHC*, ou encore en physique nucléaire ou pour des applications médicales.
2. Le Booster du Synchrotron à protons (PSB) dépouille les ions* hydrogène de leurs électrons*. Les protons* ainsi obtenus sont accélérés dans l'anneau et les groupés en paquets.
3. Le Synchrotron à protons* (PS) est un anneau qui accumule et accélère davantage les particules avant de les envoyer vers plusieurs zones d'expériences, comme le Hall d'antimatière*, les installations de physique nucléaire ou d'applications médicales. Le PS envoie également des protons* vers l'accélérateur suivant.
4. Le Super-synchrotron à protons (SPS), augmente encore l'énergie des faisceaux avant de les

envoyer vers le LHC*, dans les deux sens de circulation. Il fournit également des particules à des expériences sur cible fixe ou pour tester des instruments tels que les détecteurs de neutrinos.

5. Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) augmente encore l'énergie des particules à des vitesses qui atteignent 99,9999991% de la vitesse de la lumière, avant de les faire entrer en collision au centre de détecteurs géants (ALICE, ATLAS, CMS et LHCb) ;
6. Le LEIR (Low Energy Ion Ring) accélère des ions* lourds avant qu'ils ne soient envoyés soit dans le SPS, pour les besoins du LHC*, soit vers des installations de physique nucléaire telles que ISOLDE, MEDICIS ou n_TOF.
7. ISOLDE (Isotope Separator On-Line Device), produit et sépare des isotopes pour des recherches en physique nucléaire ; ISOLDE est associée à MEDICIS (Medical Isotopes Collected) qui contribue à la recherche médicale en produisant des radioisotopes novateurs (éléments instables à cause d'un excès ou d'un manque de neutrons*).
8. n_TOF, mesure le temps de vol des neutrons* produits par des interactions entre le faisceau du PS et une cible. Ce temps de vol permet de connaître l'énergie des neutrons et de les utiliser pour étudier des interactions entre des neutrons* et des noyaux.
9. Le Décélérateur d'antiprotons (AD) et ELENA (Extra Low Energy Antiproton) ralentissent des antiprotons*, utilisés pour produire de l'antihydrogène et en étudier les propriétés.

Le FCC-ee n'utiliserait pas l'ensemble du complexe d'accélérateurs existants. Un nouvel accélérateur linéaire, situé sur le site du CERN à Prévessin, serait nécessaire pour servir d'injecteur, suivi d'un booster dans le tunnel du FCC, avant l'injection dans le collisionneur de 90,7 km.

1.3.2 Les transferts de connaissances du CERN

Si l'objectif premier du CERN est la recherche fondamentale, les travaux menés aboutissent au développement de nouvelles technologies.

En effet, si la découverte du boson de Higgs* semble n'avoir aucune incidence sur notre quotidien pour le moment, les technologies développées au CERN contribuent pourtant à l'amélioration de nos connaissances et des outils à notre disposition dans divers domaines. Le CERN s'engage dans cette démarche de recherche appliquée, avec un groupe « Transfert de connaissances » qui vise à mettre à profit les technologies et les découvertes du CERN pour d'autres champs d'application. L'exemple le plus marquant est sans doute l'invention du World Wide Web¹⁷, c'est-à-dire le principe d'un réseau internet partagé, au CERN, initialement conçue pour faciliter le partage d'informations entre chercheurs. Un autre champ d'application proéminent est l'imagerie médicale et le traitement de radiothérapie, en particulier avec des protons* et des ions. Les technologies clés développées au CERN concernent l'utilisation des matériaux supraconductrice, la cryogénie, la conception de puces électronique, ou encore des signaux d'horloge ultraprécis. En 2024, 81 projets de transfert de connaissances étaient en cours entre le CERN et d'autres entités.

Pour plus de détails sur les transferts de connaissances, il est possible de se rapporter à l'étude socio-économique 2026 du CERN et sa brochure sur les sites du débat public français et de la concertation suisse.

¹⁷ Site internet du CERN, La création du web : <https://www.home.cern/fr/science/computing/birth-web>

1.4 LE FCC, UN PROJET D'ENVERGURE EUROPÉENNE ET INTERNATIONALE

Les premières réflexions autour du projet d'un futur collisionneur circulaire ont commencé lors des travaux pour la mise à jour de la Stratégie européenne pour la physique des particules (ESPP) en 2012/2013.

Les conclusions de cette mise à jour, adoptée en 2013, donnaient la priorité au LHC* et au LHC à haute luminosité (HL-LHC), actuellement mis en œuvre. Elles indiquaient cependant que l'Europe devait être en mesure de proposer un nouveau projet d'accélérateur succédant au LHC*.

La Stratégie européenne pour la physique des particules

La Stratégie européenne pour la physique des particules est un document-cadre qui reflète les priorités scientifiques et technologiques du domaine de la physique des particules en Europe. Elle est le résultat d'un processus ouvert et inclusif, s'appuyant sur des éléments factuels et tenant compte du contexte mondial de la discipline.

Elle est élaborée par le Groupe sur la stratégie européenne (ESG), qui rassemble des représentants des pays membres du CERN, les directeurs des grands laboratoires européens, des scientifiques de haut niveau et des experts internationaux du domaine. Elle est mise à jour tous les cinq à six ans au travers d'un processus sous l'égide du Conseil du CERN.

Plus de détails sur la Stratégie européenne pour la physique des particules peuvent être obtenus dans le document tiré de celle-ci sur les sites internet de la concertation suisse et du débat public français.

C'est pourquoi, dès 2014 et jusqu'en 2018, une première étude de concept pour un Futur Collisionneur Circulaire (FCC) a été menée. En février 2014, 350 physiciens de toute l'Europe se sont ainsi réunis à l'Université de Genève, fondant la collaboration internationale du FCC. Les premières réflexions s'orientaient vers la possibilité de produire des collisions de protons* à des énergies presque dix fois supérieures à celles du LHC, ouvrant la voie à la découverte de nouvelles particules. Pour y parvenir, il fallait envisager la construction d'un collisionneur de protons* d'une centaine de kilomètres de circonférence (FCC-hh). Un tel tunnel pouvait également abriter, avec des technologies plus accessibles, un collisionneur électron-positon* (FCC-ee), permettant des mesures de précision des propriétés du boson de Higgs*.

Dans ses recommandations, la Stratégie européenne de 2020 a souligné l'importance d'approfondir le concept et d'entreprendre, en collaboration avec la communauté mondiale, une étude de faisabilité pour un tel collisionneur. Cette étude de faisabilité a ensuite été présentée au Conseil du CERN en mars 2025, et fait l'objet d'une revue approfondie lors du dernier exercice de la Stratégie européenne dont la conclusion est attendue fin mai 2026.

"Feasibility study" & "Etude de faisabilité" :

En anglais, « feasibility study » désigne des études visant à analyser l'opportunité technique et financière d'un nouvel accélérateur, avec une forte dimension exploratoire. Sa traduction française « étude de faisabilité » recouvre la même réalité. Toutefois, en français, ce terme peut parfois être perçu comme suggérant une faisabilité déjà bien établie, voire un projet proche d'un lancement, ce qui ne correspond pas à l'intention et aux travaux réalisés.

Les conclusions présentées en mars 2026 au Conseil du CERN, incluent pour la mise à jour 2026 les orientations suivantes pour un collisionneur post-LHC :

1. Le FCC-ee est recommandé par la communauté scientifique internationale de la physique des particules comme l'option scientifique privilégiée pour la succession du LHC ;
2. La seconde option porte sur un FCC-ee « descopé », c'est-à-dire avec des fonctionnalités réduites. Ce scénario est présenté dans la partie 2.4.3 du présent dossier ;
3. Le FCC-ee ouvrirait également la voie vers un collisionneur de hadrons (FCC-hh) réutilisant le tunnel et une grande partie de l'infrastructure, offrant une portée de découverte directe bien au-delà de l'échelle d'énergie actuelle, en ligne avec l'ambition de la communauté d'explorer à terme les énergies les plus élevées possibles.

La stratégie européenne en physique des particules de 2026 sera définitivement adoptée par le Conseil du CERN le 22 mai 2026 lors d'une session extraordinaire à Budapest.

Quelques ressources pour aller plus loin

- ↳ L'ensemble des recommandations est consultable ici : <https://europeanstrategy.cern/>
- ↳ Le document explicatif relatif à la mise à jour 2020 de la Stratégie européenne pour la physique des particules est disponible ici : <https://cds.cern.ch/record/2721050?ln=fr>
- ↳ La Stratégie européenne pour la physique des particules : mise à jour 2026 – document de délibération du Groupe de stratégie européen disponible ici : https://cds.cern.ch/record/2957411/files/Update%20European%20Strategy_Deliberation%20Doc_2026.pdf?version=1



2. L'OPPORTUNITE DU PROJET DE FCC ET SES ALTERNATIVES

2.1 LES BESOINS EXPRIMÉS PAR LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE ET LES CRITÈRES TECHNOLOGIQUES PRÉDÉFINIS

Les aspirations scientifiques prédéfinies dans l'étude de faisabilité du FCC¹⁸ sont les suivantes :

- > **FCC-ee** : réaliser le plus grand nombre de collisions possibles à des énergies spécifiques allant de 88 GeV* à 365 GeV*, afin de produire en grande quantité les quatre particules les plus lourdes jamais observées à ce jour : les bosons intermédiaires Z et W, le boson de Higgs, et le quark* top. L'un des buts serait de mesurer les propriétés de ces particules avec des précisions bien meilleures qu'à l'heure actuelle, afin de détecter des signes de physique au-delà du Modèle standard* avec une sensibilité jamais atteinte.
- > **FCC-hh (à l'étude)** : réaliser des collisions de protons* à l'énergie la plus élevée possible (de l'ordre d'une centaine de TeV*) afin d'explorer de nouveaux phénomènes de manière complémentaire à l'approche du FCC-ee. Le programme de recherche correspondant serait à construire et valider dans les prochaines décennies.

Compte tenu de ces critères, l'étude de faisabilité a défini les caractéristiques techniques suivantes¹⁹ :

- > **Le nombre de points d'interaction** : une caractéristique propre aux collisionneurs circulaires est leur capacité à desservir des collisions simultanément à plusieurs points d'interaction. Cela permet d'augmenter la luminosité* intégrée sans affecter le coût, ou la durabilité environnementale du collisionneur : en effet, il faudrait deux fois plus de temps d'exploitation pour obtenir le même nombre de collisions si on a deux points d'interaction au lieu de quatre. La possibilité de construire et d'exploiter quatre détecteurs différents et complémentaires accroît la solidité des résultats de physique.
- > **La géométrie des points d'interaction** : une symétrie des quatre points d'interaction avec un angle à 90° a été retenue. Il s'agit du seul arrangement qui permet d'avoir des collisions en quatre endroits différents. N'importe quel autre arrangement donnerait une luminosité* nulle.
- > **Le nombre de sites de surface** : le nombre de 8 sites de surface – 4 techniques et 4 d'expérimentation – a été retenu pour regrouper et simplifier l'intégration des équipements, mais aussi pour assurer un accès sécurisé à l'infrastructure souterraine, en particulier pour les équipes d'intervention d'urgence.
- > **La circonférence de l'accélérateur** : l'intention initiale était de concevoir une infrastructure de collisionneur de particules d'une circonférence d'environ 100 km avec 12 sites de surface. Une circonférence de 90 km est considérée comme la limite inférieure acceptable, en-deçà de laquelle l'énergie maximale qui peut être atteinte lors des collisions de protons* (FCC-hh) limite l'intérêt pour la recherche. Pour un collisionneur électron-positron (FCC-ee), le rayonnement synchrotron, émis par les électrons* et les positons* sur une trajectoire circulaire, entraîne une perte d'énergie. À énergie fixée, cette perte est inversement proportionnelle au rayon de la trajectoire : un anneau deux fois plus grand entraîne environ deux fois moins de pertes d'énergie.

¹⁸ Futur Collisionneur Circulaire, Étude de faisabilité – Volume 3, p. 80–86, « Exigences et invariants », p.84–94

¹⁹ Ibidem

2.2 LES CARACTÉRISTIQUES SCIENTIFIQUES RETENUES POUR L'ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES ÉLECTRON-POSITON (FCC-EE)

Le collisionneur électron-positon (FCC-ee) proposé, avec une énergie de collision allant de 91 à 365 GeV*, ouvre la voie à une étude précise des caractéristiques de particules et d'interactions du Modèle standard*, et notamment du boson de Higgs, avec un potentiel de découverte de nouveaux phénomènes.

L'électron* et son antiparticule*, le positon*, étant des particules élémentaires, les collisions produites dans FCC-ee seraient d'une qualité exceptionnelle, avec peu d'interactions fortuites brouillant le signal. Par ailleurs, le FCC-ee produirait un très grand nombre de collisions à une énergie de 91 GeV*, générant dans une journée autant de collisions que le précédent collisionneur électron-positon LEP au cours de toute sa durée de fonctionnement. Ainsi, le FCC-ee permettrait des mesures d'une grande précision, d'accéder à l'étude de processus très rares, et potentiellement de produire de nouvelles particules.

Pour ce qui concerne sa conception technique, le FCC-ee bénéficie du savoir-faire acquis avec les précédents collisionneurs et installations d'essais, notamment pour le système de radiofréquence* supraconducteur ou encore les installations de production des positons*. Par ailleurs, une grande expertise a été acquise dans le contrôle de la dimension des faisceaux de particules ou encore la maîtrise des effets de charges électriques dans les paquets de particules*.

Les activités de recherche et développement en cours pour le FCC-ee se concentrent en particulier sur **des technologies plus efficaces et économes en énergie** par rapport à celles utilisées aujourd'hui. Il s'agit par exemple de concevoir :

- ↳ Des sources radiofréquence (RF) efficaces capable de produire des ondes radiofréquences de plusieurs mégawatt* ;
- ↳ Des coupleurs RF de haute puissance acheminant ces ondes vers des cavités RF* ;
- ↳ Des cavités RF* supraconductrices robustes et hautement performantes qui transfèrent ces énergies aux faisceaux ;
- ↳ Des aimants pour guider les faisceaux dans les arcs, conçus avec une technologie deux-en-un innovante qui permet de réduire d'un facteur deux la consommation d'énergie ainsi que les coûts de production.



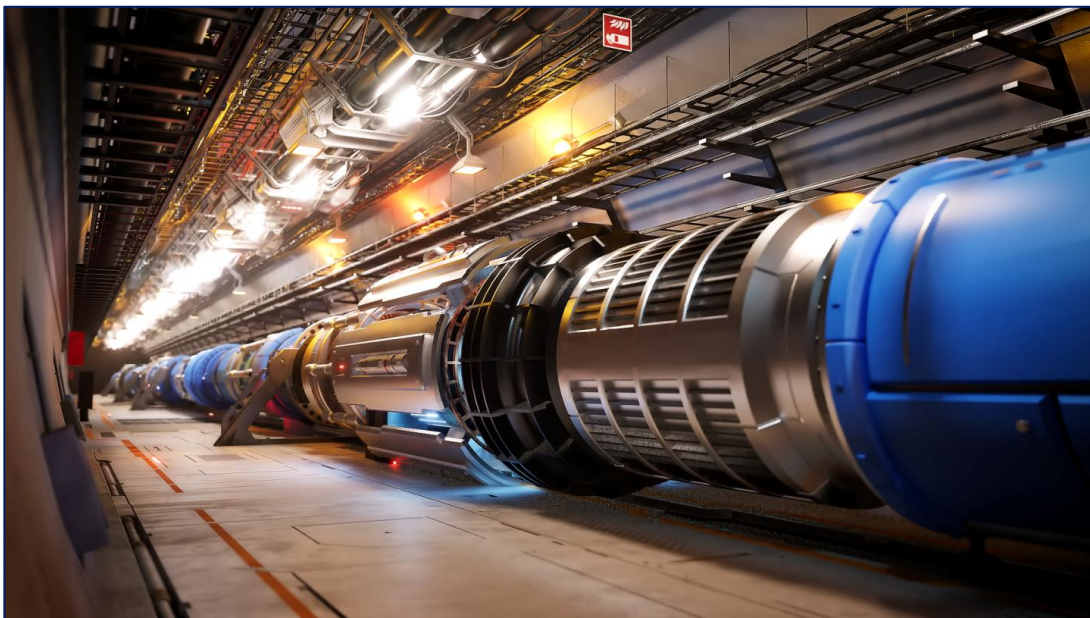
Représentation artistique du projet FCC-ee

2.3 UN POTENTIEL FUTUR COLLISIONNEUR DE HADRONS (FCC-HH)

Le groupe de recherche en charge de la mise à jour de la Stratégie européenne pour la physique des particules souligne que le tunnel et une grande partie de l'infrastructure développés pour le FCC-ee pourraient être recyclés pour un futur collisionneur de protons* (FCC-hh), notamment grâce à la réutilisation du tunnel. Le FCC-ee a ainsi été conçu pour permettre l'intégration ultérieure d'un potentiel collisionneur de hadrons, à l'instar du LHC qui a occupé le même tunnel que son prédécesseur le LEP. Le tunnel aura donc été exploité pendant un demi-siècle entre la mise en service du LEP, en 1989, et la fin de la mission du LHC, prévue à l'horizon 2040. Cette stratégie permet une utilisation optimale des travaux de génie civil pour des projets scientifiques. La globalisation et le recyclage systématique des infrastructures de physique des particules les classent parmi les projets scientifiques les plus durables. *(Pour plus de détails, voir le retour d'expérience sur le LEP et le LHC disponible sur les sites internet de la concertation suisse et du débat public français)* L'installation du FCC-hh pourrait être envisagée à l'horizon 2070, la priorité étant actuellement donnée au FCC-ee. Un projet FCC-hh nécessiterait des travaux soutenus en recherche & développement pour les prochaines décennies, notamment dans le domaine des aimants supraconducteurs.

Les données clés du FCC-hh présentées dans l'étude de faisabilité²⁰ sont les suivantes et seraient affinées par les 35 ans de recherche & développement à venir avant son éventuel lancement opérationnel :

- ▾ Une énergie de collision des particules pouvant atteindre environ 100 TeV* ;
- ▾ Un niveau de luminosité* intégrée, c'est-à-dire de mesure de précision, au moins cinq fois plus élevé que celui obtenu avec le LHC*, nécessaire pour atteindre le potentiel de découverte requise ;
- ▾ Des aimants d'un champ magnétique d'au moins 16 teslas, contre 11-12 teslas pour la phase HL-LHC ;
- ▾ Une mise en service estimée à partir de la décennie 2070 jusqu'à la fin du siècle.



Représentation artistique du projet FCC-hh

²⁰ Source en anglais : Future Circular Collider Feasibility Study Report – Volume 2 : Accelerators, Technical Infrastructure and Safety : voir Introduction, Table 3 et Chapitre 10 (pp. 27–33 ; 499–555), consultable ici : <https://cds.cern.ch/record/2928793>

Quelles sont les perspectives pour les aimants du futur ?

Les efforts de recherche et développement pour le FCC-hh se concentreraient principalement sur la conception et le dimensionnement d'aimants pouvant générer des champs magnétiques de 16 teslas voire plus. Les aimants supraconducteurs actuellement exploités au LHC* sont formés du supraconducteur nio-bium-titane. Cette technologie est robuste et mature grâce à plus de vingt ans d'expérience acquise. Le champ magnétique est cependant limité à moins de 10 teslas. Dans la perspective du LHC à haute luminosité* (HL-LHC), le CERN a lancé un programme de recherche & développement basé sur le supraconducteur niobium-étain grâce auquel les aimants génèrent des champs magnétiques de 12 teslas. La limite théorique de cette technologie, estimée auparavant à 16 teslas, a récemment été abaissée à 14 teslas. Ce niveau permettrait de faire fonctionner un FCC-hh à une énergie de 80 TeV* (au lieu de 100 TeV*). Cette option a été jugée acceptable et définie comme nouvelle configuration minimale de référence. Néanmoins, une configuration optimale du FCC-hh nécessiterait un champ magnétique de 20 teslas, ce qui implique l'utilisation de supraconducteurs à haute température (HTS).

En 2020, le CERN a lancé le programme international de recherche et développement « High Field Magnet » (HFM, « aimant à champ élevé ») qui vise à développer des aimants en niobium-étain capables d'atteindre des champs magnétiques de 14 à 16 teslas, et des aimants HTS de 16 à 20 teslas. La durée des recherches permettant de lancer une industrialisation de ces nouvelles technologies est estimée à 20 ans. Une maîtrise des technologies de supraconducteurs à haute température ouvrirait la voie à de nombreuses applications en dehors de la physique des particules, notamment dans les domaines de la fusion nucléaire, du transport d'électricité ou de l'aérospatiale.

2.4 LES ALTERNATIVES, Y COMPRIS L'ABSENCE DE PROJET

Dans le contexte de la mise à jour 2026 de la Stratégie européenne pour la physique des particules, il est apparu que seul le FCC-ee répond, à moyen terme, aux ambitions et aux besoins identifiés par la communauté internationale en physique des particules. Différentes alternatives ont été étudiées (potentiel scientifique, coût, faisabilité) mais aucune autre ne permet d'atteindre l'ambition scientifique comme le FCC et de permettre également à terme une évolution vers de plus hautes énergies.

2.4.1 Les différents types d'alternatives

Le projet FCC-ee offre un programme de recherche couvrant les principaux aspects du Modèle standard* de la physique des particules. Les travaux de la Stratégie européenne en physique des particules ont montré qu'aucun projet alternatif ne présenterait la même portée scientifique ou un champ de recherche aussi large que le FCC-ee. Néanmoins, plusieurs scénarios alternatifs sont identifiés :

- **Option zéro : pas de nouveau collisionneur majeur porté par le CERN**
- **Un allègement du coût et de l'ambition scientifique de projet FCC-ee ("descopé")**, en cours d'identification dans la Stratégie européenne de la physique des particules (mise à jour de 2026) ;
- **D'autres projets de collisionneurs**, dont la portée scientifique diffère de celle du FCC ;
- **Des variantes au tracés de référence du FCC** : voir la partie 3.3.

2.4.2 Absence de mise en œuvre du projet

Un premier scénario consiste en l'absence de lancement d'un nouveau projet majeur de collisionneur à l'issue du programme du LHC à haute luminosité (HL-LHC), prévu pour s'achever en 2041. Dans une telle hypothèse, les capacités de recherche en physique des particules diminueraient rapidement en Europe au-delà de cette échéance.

Un tel scénario, qualifié d'« option zéro », priverait la communauté scientifique d'une plateforme commune d'expérimentations et d'accélérateurs. Plus globalement, cela priverait l'humanité tout entière des avancées fondamentales et des retombées pratiques que le FCC-ee pourrait engendrer. En effet, le Physics Briefing Book²¹, réalisé dans le cadre de la Stratégie européenne pour la physique des particules, rappelle que les grandes infrastructures comme le LHC* sont uniques non seulement par leur capacité à explorer de nouveaux régimes d'énergie, mais aussi par leur rôle structurant pour la communauté mondiale de la physique des particules. L'arrêt d'un tel programme sans alternative entraînerait des conséquences multiples :

- > **Réduction drastique des capacités expérimentales et de la communauté scientifique** : aujourd'hui, aucun autre site en Europe ni dans le monde ne disposerait d'une infrastructure équivalente pour maintenir un programme de recherche fondamentale à grande échelle, réunissant la communauté internationale de la physique des particules autour d'une même plateforme. Les accélérateurs existants continueraient à fonctionner, mais leurs programmes, bien que scientifiques et technologiques, ne mobiliseraient qu'une fraction de chercheurs. A titre d'illustration, le programme LHC* mobilise environ 16 500 scientifiques à travers le monde tandis que les autres programmes du CERN rassemblent environ 5 200 chercheurs supplémentaires. Dans l'hypothèse de « l'option zéro », un scénario détaillé des projets de plus petite envergure devrait être étudié, mais seule une partie de la communauté continuerait à travailler au CERN.
- > **Perte de leadership scientifique et technologique** : le CERN est une infrastructure de gouvernance européenne permettant aux pays du monde entier de bénéficier de cette plateforme. Sans

²¹ Idibem, Source en anglais: "The unique ecosystem of particle physics research centres and universities in Europe should be further strengthened in order to address the objectives set out in this Strategy." »

projet de grande ampleur pour succéder au HL-LHC*, le risque est de voir la dynamique d'innovation se déplacer ailleurs, se diluer entre différents laboratoires nationaux sans centre de gravité européen et avec des impacts sur un niveau global significativement réduits. De plus, il n'est en rien assuré que la perte de crédits et de programmes de recherche du CERN entraînerait une redistribution des ressources vers d'autres laboratoires ou centres de recherche.

- > **Conséquences pour l'attractivité et la formation** : un CERN sans collisionneur de nouvelle génération verrait sa capacité d'attraction et de formation diminuer, avec un impact direct sur le renouvellement des compétences de pointe dans des domaines critiques. Les grandes infrastructures attirent et forment chaque génération de physiciens, ingénieurs et informaticiens, mais servent aussi à la formation des techniciens et à la formation continue dans une multitude des domaines, offrant une exposition internationale et une valeur ajoutée importantes.
- > **Conséquences sur la production de données libres** : le CERN est aujourd'hui une plateforme qui accueille des chercheurs issus du monde entier. L'ensemble des données produites sont libres, c'est-à-dire mises à disposition et utilisables par quiconque. Si le projet se réalisait ailleurs dans le monde, l'aspect libre des données ne serait pas garanti.
- > **La perte progressive de la raison d'être du CERN** : le CERN ne jouerait plus autant son rôle de levier de paix et de collaboration entre les peuples, dans un contexte international de crises et de guerres. De plus, la science produite au CERN est un bien public disponible pour la communauté scientifique mondiale.

Au-delà de la communauté scientifique et de l'Organisation, l'absence de mise en œuvre du projet de FCC conduirait à une réduction progressive des emplois en France et en Suisse, ainsi que la perte de retombées économiques pour les partenaires industriels.

Toutefois, l'absence de réalisation offrirait à court terme :

- > Le maintien des activités agricoles sur les parcelles concernées et/ou la possibilité d'utiliser ce foncier pour implanter d'autres activités (voir partie 4.2.5) ;
- > L'absence des impacts liés aux travaux préparatoires, à la construction et à l'exploitation du FCC-ee, puis, potentiellement du FCC-hh.

L'absence de réalisation priverait le territoire, à court, moyen et long terme des bénéfices qu'il tirerait du projet FCC pour les plusieurs décennies. Concrètement, les impacts seraient multiples :

- > En termes d'aménagement et de services publics, le projet pourrait contribuer à la réalisation de projets connexes (aménagement routiers, développement des services d'urgence...);
- > En termes socio-économiques, le projet pourrait créer et maintenir environ 13 000 emplois en France et en Suisse, de la phase chantier jusqu'à la phase d'exploitation (voir partie 4.2.1) ;
- > En termes d'activités, et *in fine* d'attractivité, du territoire avec la réduction progressive de l'écosystème autour du CERN (contrats de transfert de connaissance, sous-traitants...).

Par ailleurs, l'absence de réalisation du projet FCC pourrait voir, en parallèle, **la réalisation d'un autre projet du même type et du même ordre de grandeur dans un autre pays**. Ce projet pourrait être porté par un État en particulier ou par le biais d'un portage international. A titre d'exemples, on peut citer :

- > **Le Circular Electron Positron Collider (CEPC) en Chine** est un projet de collisionneur circulaire similaire au FCC, porté par la communauté scientifique chinoise. L'infrastructure proposée consiste en un anneau d'environ 100 km de circonférence, comprenant deux points d'interaction pour accueillir les détecteurs expérimentaux. À plus long terme, le tunnel du CEPC pourrait aussi

accueillir un collisionneur proton-proton supraconducteur (SPPC), avec une énergie au centre de masse de 125 TeV*. Les exigences technologiques du CEPC sont jugées similaires à celles du FCC-ee, et son niveau de maturité technologique est comparable. Plusieurs scénarios d'implantation territoriale en Chine sont en train d'être étudiés. Le projet n'a pas été inclus dans la liste des projets retenus pour le 15e Plan quinquennal de la Chine qui couvre la période de 2026 à 2030. Il pourrait être de nouveau présenté en 2030 pour le 16e Plan quinquennal du pays²², si le projet FCC-ee n'était pas mis en œuvre.

- > **Le Collisionneur Linéaire International (ILC) au Japon** est un projet de collisionneur linéaire électron-positron (e^+e^-) proposé au Japon. L'ILC serait une machine de nouvelle génération pour explorer la physique du Higgs et au-delà. Un scénario d'implantation territoriale au Japon a été développé. Son financement et sa mise en œuvre restent des défis majeurs, car nécessitant une forte implication internationale. Par la taille réduite de la communauté scientifique pouvant être associée et la possible complémentarité des programmes de recherche, la Stratégie européenne de la physique des particules, mise à jour en 2020, estimait que ce projet aurait été compatible avec FCC-ee dans le cas d'une mise en œuvre rapide, c'est-à-dire qu'ils auraient pu coexister et être complémentaires en termes de programmes de recherche scientifique. Il y est ainsi précisé, que si le projet se poursuit, le CERN aurait souhaité y être associé²³. Depuis 2020, l'International Development Team (IDT), créé par l'ICFA (International Committee for Future Accelerators – en français, Comité International pour les Accélérateurs du Futur), coordonne la recherche et le développement (R&D) ainsi que la stratégie du projet, mais des signaux positifs des autorités japonaises n'ont pas été reçus.

2.4.3 Scénario d'allègement du coût et de l'ambition scientifique du FCC-ee (Dé-scope)

En cours d'élaboration, le groupe en charge de la Stratégie européenne considère que la seconde option viable serait celle d'un **scénario d'allègement du coût et de l'ambition scientifique du projet FCC-ee**. Son allègement financier est principalement lié à la réduction du coût de construction d'environ 15 % en passant notamment de 4 points d'interaction à 2 (soit la suppression de deux cavernes d'expériences souterraines). Bien que cela ait un impact significatif sur l'étendue du programme scientifique et la précision atteinte, un FCC-ee réduit en charge offrirait néanmoins une voie vers les hautes énergies, comparé aux autres options étudiées de collisionneurs. La différence majeure entre 2 et 4 points d'interaction est le temps nécessaire pour obtenir une même quantité de données, ce qui entraîne soit une exploitation plus longue, soit une limitation du potentiel scientifique.

En termes d'implantation territoriale, il n'y aurait pas de changement significatif car la circonférence et le nombre de sites de surface devraient rester les mêmes. Étant donné sa récente identification, il n'existe pas encore d'études poussées autour de ce scénario.

Si des ressources financières supplémentaires devenaient disponibles, ce scénario du FCC-ee réduit serait réversible et permettrait d'aboutir progressivement à un FCC-ee avec quatre points d'interaction.

²² CERN Courier, "CEPC matures, but approval is on hold", 26 octobre 2025 : <https://cerncourier.com/cepc-matures-but-approval-is-on-hold/>

²³ Stratégie européenne pour la physique des particules, p. 6, consultable ici : <https://home.cern/sites/default/files/2020-06/Mise%20a%20jour%20Strategie%20europeenne.pdf>

2.4.4 Les autres projets de collisionneurs

Le tableau suivant, repris du document sur les recommandations du groupe sur la Stratégie européenne (mars 2026)²⁴, donne une représentation schématique avec des couleurs sur l'état actuel des projets de collisionneur majeur au CERN soumis à la mise à jour de la Stratégie européenne sur la physique des particules.

Le document dont il est issu sera mis à disposition du public sur les sites internet du débat public français et de la concertation suisse. **La comparaison prend en compte les aspects scientifiques, technologiques, techniques et financiers ; l'analyse ne prend pas en compte l'impact environnemental des projets comparés. Les niveaux de maturité sur ces projets sont très hétérogènes.**

Comment lire ce tableau ?

Ce tableau présente la synthèse d'une étude comparative portant sur différents projets d'accélérateurs. Cette comparaison a été réalisée sur plusieurs critères, en fonction des risques identifiés.

Pour chaque critère, une couleur a été attribuée afin d'identifier la performance associée : du vert (performant sur ce domaine) au rouge (moins performant sur ce domaine).

Les différents critères sont les suivants :

- ↳ Les colonnes « Physique de précision » et « Physique au-delà du Modèle standard » quantifient le potentiel de recherche de chaque accélérateur. Une note de 30 est attribuée par rapport au scénario « optimal », c'est-à-dire par rapport aux résultats attendus avec les accélérateurs FCC-ee et FCC-hh combinés. Entre 21 et 30, une grande part de ces résultats peut être couverte, entre 11 et 20 une part significative, et entre 1 et 10 une part moindre.
- ↳ La colonne suivante compare ce potentiel de physique par rapport au CEPC, le projet d'accélérateur circulaire porté par la Chine.
- ↳ Sous le critère « Maturité technologique » se trouve la comparaison des différents accélérateurs suivant leur « TRL » (Technical Readiness Level), qui indique le niveau de recherche et de développement nécessaire à la construction de ce type de collisionneur.
- ↳ Le coût de la construction des accélérateurs est évalué en fonction des financements supplémentaires nécessaires par rapport au budget habituel du CERN. Les projets en vert peuvent être financés à partir d'une extrapolation des budgets du CERN, c'est-à-dire au même niveau qu'aujourd'hui.
- ↳ La colonne « Calendrier » précise les périodes d'exploitation prévues pour les collisionneurs.
- ↳ La colonne « Chemin vers 10 TeV » indique si le collisionneur permet d'ouvrir la voie vers une échelle en énergie qui correspond à la combinaison du FCC-ee et du FCC-hh et couvrirait une gamme d'énergie maximale qui pourrait être atteinte jusqu'à la fin du siècle.

²⁴ Evaluation des projets d'accélérateurs à grande échelle au CERN, consultable ici : https://cds.cern.ch/record/2957411/files/Update%20European%20Strategy_Deliberation%20Doc_2026.pdf?version=1

Tableau d'analyse et de comparaison des collisionneurs

Projet	Physique de précision	Physique au-delà du Modèle standard	Physique par rapport au CEPC	Maturité technologique	Coût de construction (CHF/euros)	Calendrier	Voie vers ≥ 10 TeV
FCC-ee	22	23			15.3/16	2046 – 2060	
FCC-ee « descopé » ou réduit	15	17			12.9/13.4	2046 – 2055	
LCF550 (Large Collider Facility)	15	17			14.8/15.4	2045 – 2065	
CLIC1500 (Compact Linear Collider)	14	18			14.6/15.2	2045 – 2066	
LCF 250	10	16			9.4/9.8	2045 – 2053	
CLIC380	10	16			7.5/7.8	2045 – 2054	
LEP3	15	17			4.1/4.3	2047 – 2062	
LheC (Large Hadron electron Collider)	8	7			2.1/2.2	2044 – 2051	

Plusieurs de ces projets de collisionneurs ont fait l'objet d'études approfondies, que ce soit au CERN ou dans d'autres cadres de collaboration internationaux. Ces projets visent également à faire de la recherche fondamentale en physique des particules.

2.4.4.1 La réutilisation totale ou partielle du LHC

LEP3, qui consiste en l'installation d'un nouvel anneau électron-positon (e^+e^-) dans le tunnel actuellement utilisé par le LHC

Le scénario LEP3 consiste en la construction d'un collisionneur électron-positon (e^+e^-) directement dans le tunnel actuel du LHC (27 km de circonférence) après son démantèlement. Ce tunnel a déjà accueilli par le passé le LEP (Large Electron-Positron Collider) et son évolution, le LEP2. La Stratégie européenne pour la physique des particules indique que le programme scientifique de LEP3 apparaît comme nettement moins performant que le FCC-ee, sans programme de recherche pour le futur²⁵. Sa consommation électrique serait comparable à celle du FCC-ee²⁶.

Principes	<ul style="list-style-type: none"> > Ce collisionneur fonctionnerait avec deux points d'interaction ; > Les énergies prévues pour les collisions iraient de 91 GeV* (boson Z) à environ 230 GeV* (production de paires W et de processus liés au Higgs), offrant un programme de recherche qui répondrait partiellement à la priorité court terme des scientifiques, mais qui resterait limité et ne permettrait aucune extension au-delà.
Contraintes techniques et défis à relever	<ul style="list-style-type: none"> > Le tunnel, plus petit, imposerait des limites : <ul style="list-style-type: none"> > Le courant maximal des faisceaux* serait plus faible ; > Il faudrait un système radiofréquence* plus puissant pour compenser les pertes d'énergie. > Des cavités supraconductrices similaires à celles du FCC-ee, seraient utilisées mais il faudrait les adapter aux dimensions plus restreintes du tunnel du LHC, voire augmenter le diamètre de ce tunnel. La faisabilité technique resterait à prouver. > Seulement deux expériences possibles sur ce collisionneur (contre quatre sur le FCC-ee) > Contrairement à des études plus avancées comme le FCC-ee, le LEP3 reste pour l'instant une idée au stade exploratoire : <ul style="list-style-type: none"> > Peu d'études détaillées de dynamique des faisceaux ont été réalisées ; > Il n'existe pas de conception « optique » des accélérateurs, l'intégration dans le tunnel et la cryogénie. > La flexibilité serait limitée : par exemple, passer rapidement d'un mode d'énergie basse (boson* Z) à un mode plus élevé (W, Higgs) serait compliqué, car les cavités radiofréquences* ne seraient pas optimales. > Absence probable de polarisation pour le seuil WW, ce qui induirait une impossibilité de mesurer l'énergie de collision avec la précision nécessaire.

²⁵ Source en anglais, LEP3: A High-Luminosity e^+e^- Higgs & Electroweak Factory in the LHC Tunnel, p. 10 "Given its lower luminosity and inability to reach the $t\bar{t}$ threshold, LEP3 would be a less capable machine than FCC-ee (or CEPC).": https://indico.cern.ch/event/1439855/contributions/6461601/attachments/3076522/5444412/188-LEP3_update_submitted.pdf

²⁶ Ibidem

Le LHeC (Large Hadron–electron Collider), qui combine les faisceaux* de protons* du LHC avec un nouveau concept d'accélérateur d'électrons à récupération d'énergie

Le scénario LHeC propose d'associer un faisceau* d'électrons* à ceux du LHC pour créer un collisionneur électron*-proton* (ep) ou électron*-noyau d'autres atomes (eA). Le champ de recherche d'une telle machine serait très différent d'une machine électron*-positon* avec une portée principale sur la compréhension de la structure du proton et des ions.

Principes	<ul style="list-style-type: none">> Le LHeC continuerait d'utiliser le LHC comme accélérateur des protons* et des ions* lourds, en les faisant entrer en collision avec un faisceau d'électrons d'un nouvel accélérateur d'environ 50 GeV* ;> Ces électrons seraient produits par un accélérateur* linéaire à récupération d'énergie (ERL, Energy Recovery Linac) ;> L'ERL serait installé dans un nouveau tunnel parallèle au LHC, et permettrait d'obtenir des collisions à une énergie totale d'environ 1,2 TeV*.
Contraintes techniques et défis à relever	<ul style="list-style-type: none">> Des questions techniques doivent être réglées : la stabilité des faisceaux*, la gestion des pertes d'énergie après les collisions, et la dissipation de la puissance (jusqu'à 220 MW* en fonctionnement dédié) ;> L'ERL devrait atteindre une puissance de faisceau de 2,5 GW*, soit mille fois plus que ce qui a été démontré jusqu'à aujourd'hui ;> Pour développer cette technologie sur plusieurs années, un prototype appelé PERLE est en construction à Orsay (France). Il servirait à tester l'accélération dès les années 2030 ;> Un scénario d'implantation territoriale à proximité des sites existants du CERN resterait à développer.> Impossibilité de mesurer la masse du quark top*, un ingrédient essentiel des mesures de précision prévues au FCC-ee

2.4.4.2 Les autres types de collisionneurs envisagés au CERN

L'option d'un collisionneur linéaire a été écartée par rapport à un collisionneur circulaire par la Stratégie européenne pour la physique des particules pour plusieurs motifs :

- ↳ Nombre de points d'interaction et d'expériences : un collisionneur linéaire ne comporterait qu'un ou deux points d'interaction. Il est à noter qu'une multiplication des points d'interactions ne se traduit pas par une augmentation de la luminosité*, car le faisceau n'interagit qu'une seule fois. En effet, après avoir passé le point d'interactions, les particules accélérées disparaissent dans des éléments conçus pour absorber les faisceaux. Le fait qu'il n'y ait qu'un seul point d'interaction limite l'ampleur de la participation des scientifiques et ne permettrait pas de concevoir des expériences complémentaires fondées sur différentes méthodes de détection des particules, ni de corroborer les résultats obtenus par différentes expériences, menées en même temps, par plusieurs équipes scientifiques.
- ↳ Luminosité* du circulaire, énergie et durée d'exploitation : selon l'énergie de collision, la luminosité d'un collisionneur circulaire serait 10 à 1 000 fois plus élevée que celle du collisionneur linéaire, ce qui influencerait sur la durée du temps de recherche et la précision des résultats. Pour mener les mêmes recherches scientifiques sur le seul boson de Higgs*, un collisionneur circulaire devrait être exploité pendant 15 ans et un collisionneur linéaire pendant 50 ans.

LCF (Linear Collider Facility)

Le Linear Collider Facility (LCF) est une proposition de collisionneur d'électrons et de positons (e^+e^-), inspiré de la conception du projet international ILC (International Linear Collider). Le projet LCF proposerait un collisionneur linéaire de 33,5 km, basé sur une technologie supraconductrice déjà éprouvée.

Principes	<ul style="list-style-type: none">> Première étape (Low-Power, LP) : dans un tunnel d'environ 20 km de long, fonctionnement à une énergie de 250 GeV*, adaptée pour étudier en détail le boson de Higgs* ;> Deuxième étape (Full-Power, FP) : augmentation de la luminosité* (nombre de collisions par seconde) en doublant le nombre de paquets de particules par impulsion ;> Le tunnel serait extensible jusqu'à une longueur d'environ 33 km et une énergie de 550 GeV*, et des évolutions futures pourraient aller encore plus loin si de nouvelles technologies le permettent.> Le LCF s'appuierait sur une technologie dite des cavités supraconductrices en niobium²⁷, capables d'accélérer les particules grâce à un gradient électrique élevé (30 MV/m). Ces cavités ont déjà été testées dans d'autres accélérateurs comme le XFEL européen²⁸ en Allemagne.
Contraintes techniques et défis à relever	<ul style="list-style-type: none">> L'efficacité pour la recherche scientifique serait limitée, car le collisionneur ne pourrait fonctionner qu'avec un ou deux points d'interaction> Des défis techniques resteraient à relever, entre autres la production de positons* « polarisés » et la gestion de la puissance des faisceaux*. En effet, les faisceaux porteraient une énergie conséquente. Deux systèmes spéciaux appelés beam dumps ont été conçus pour absorber cette puissance dans l'eau. Bien que des prototypes existent, un travail supplémentaire serait nécessaire pour valider ces dispositifs à grande échelle.

²⁷ Le niobium est un métal rare, assez mou, gris, ductile. Pour plus d'informations : <https://www.utinam.cnrs.fr/niobium/>

²⁸ XFEL, laser européen à électrons libres et à rayons X : <https://www.sbfis.admin.ch/fr/european-xfel-des-rayons-x-pour-la-recherche-de-pointe>

CLIC (Compact Linear Collider)

Le CLIC (Compact Linear Collider) est une étude pour un collisionneur d'électrons et de positons (e^+e^-) imaginé pour atteindre des énergies très élevées.

Principes

- > Technique de l'« accélération à deux faisceaux* » :
 - > Un premier faisceau* servirait uniquement à produire une puissance de radiofréquence* très intense.
 - > Cette énergie serait ensuite transférée à un deuxième faisceau* qui contiendrait les électrons et positons destinés aux collisions.
- > Le projet CLIC serait construit par étapes :
 - > Première étape : collisions à une énergie de 380 GeV* dans un tunnel de 12 km ;
 - > Étape suivante : possibilité de monter jusqu'à 1,5 TeV dans un tunnel de près de 30 km.

Contraintes techniques et défis à relever

- > L'efficacité pour la recherche scientifique serait limitée, car le collisionneur ne pourrait fonctionner qu'avec un ou deux points d'interaction.
- > Les faisceaux* doivent être extrêmement fins et stables, ce qui demande une précision nanométrique dans l'alignement et la stabilisation des composants, qui n'est pas encore démontrée aujourd'hui ;
- > Le contrôle des pertes d'énergie et la protection de la machine seraient cruciaux, car les faisceaux transporteraient énormément d'énergie ;
- > La construction nécessiterait une longue phase de préparation d'une dizaine d'années, pour industrialiser la production des milliers de modules nécessaires.



Variante de collisionneur linéaire étudiée par le CERN

2.4.4.3 Les collisionneurs à muons* (MC), une solution au stade de recherche et développement

Les muons* sont similaires aux électrons* mais environ 200 fois plus lourds et instables. Cela signifie qu'ils rayonnent beaucoup moins d'énergie par rayonnement de lumière de synchrotron dans un accélérateur circulaire.

Des collisions à des énergies très élevées auraient lieu dans un anneau de taille relativement compacte (circonférence d'une dizaine de km avec un diamètre de quelques km, avec toutefois un tunnel secondaire pour l'accélération rapide des muons* qui serait trois fois plus long que le tunnel pour le collisionneur). Par rapport aux protons*, les collisions de muons* sont plus « propres » : elles donnent des résultats plus faciles à analyser car la structure des protons* complique beaucoup les mesures.

Bien que potentiellement prometteuses à long terme, ces technologies sont aujourd'hui au stade de la recherche amont et nécessitent encore des développements scientifiques et techniques majeurs avant de pouvoir être envisagées pour une mise en œuvre opérationnelle. En effet, en termes de calendrier et de coût, le groupe de recherche estime que ces alternatives ne seraient pas compétitives face à un collisionneur comme le FCC-ee²⁹.

Le concept a été initialement développé par le Muon Accelerator Program (MAP) aux États-Unis. Depuis 2022, l'International Muon Collider Collaboration (IMCC) regroupe des chercheurs dans le monde entier pour avancer sur ce projet.

Principes	<ul style="list-style-type: none">> Un faisceau* de protons* serait envoyé sur une cible pour produire des particules appelées pions. Ces pions se désintégreraient* en muons*, qui seraient ensuite collectés. Comme les muons* vivent très peu de temps (2 millièmes de seconde au repos), il faudrait les refroidir afin de les concentrer et de les accélérer très rapidement. Une fois accélérés, ils entreraient en collision dans un anneau de stockage avant de se désintégrer. <p>Une mise en service progressive :</p> <ul style="list-style-type: none">> Un premier stade à environ 3 TeV* d'énergie de collision ;> Une version ultérieure pourrait monter jusqu'à 10 TeV* ;
Contraintes techniques et défis à relever	<ul style="list-style-type: none">> Refroidir les muons* : il faudrait rendre le faisceau très dense pour créer un faisceau utilisable. La technique envisagée s'appelle le refroidissement par ionisation en six dimensions, encore jamais démontrée expérimentalement. Un site de développement dédié sur plusieurs années serait indispensable.> Accélération ultra-rapide : les muons* devraient atteindre plusieurs TeV* en un temps record pour « survivre » assez longtemps. Cela demanderait des accélérateurs linéaires et des synchrotrons à cycle rapide d'une complexité inédite. L'accélération des muons* a été démontrée seulement en Japon en 2022 jusqu'à environ 100 keV*, donc 100 000 000 fois moins que nécessaire.> Rayonnements secondaires : en se désintégrant*, les muons* produisent des neutrinos* qui peuvent générer un impact radiologique en surface encore à grande distance de l'accélérateur.> Technologie des aimants et cavités de radiofréquence* : pour guider et accélérer les muons*, il faudrait des champs magnétiques très intenses et stables, aujourd'hui inatteignables. Il faudrait des cavités radiofréquence* fonctionnant dans des conditions extrêmes.

²⁹ The European Strategy for Particle Physics: 2026 Update, p. 5

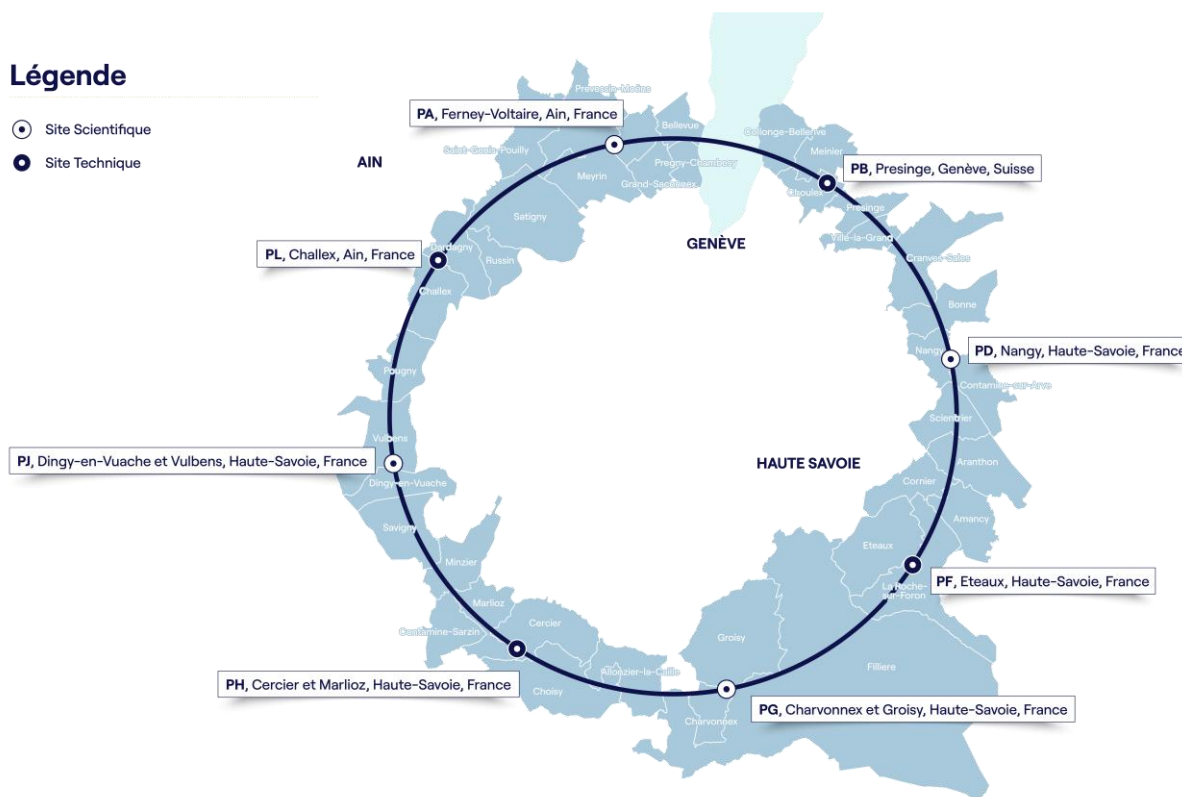


3. LE PROJET ET SA LOCALISATION

3.1 LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU PROJET : VUE D'ENSEMBLE DU SCÉNARIO RETENU « PA31-4.0 »

Légende

- Site Scientifique
- Site Technique



Pour déterminer la valeur d'un scénario d'implantation ou de placement et évaluer s'il doit être optimisé ou écarté, un schéma d'analyse multicritères a été développé. Il s'inspire d'une approche proposée par le CEREMA³⁰ dans ses lignes directrices pour l'analyse environnementale des infrastructures linéaires de transport.

Cette approche a été complétée en utilisant les Directives internationales pour les parcs industriels de l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUDI), publiées en novembre 2019³¹. Les critères suivants ont été pris en compte : qualité géologique et géotechnique, préservation de l'environnement et de la biodiversité, prise en compte des enjeux humains et socio-économiques, faisabilité technique et fonctionnelle, ainsi que maîtrise des coûts.

À la suite de l'examen de plus de cent tracés, un scénario est apparu comme étant celui le plus équilibré, c'est-à-dire répondant aux critères ayant le moindre impact selon les premières estimations répondant ainsi le mieux au principe « Éviter-Réduire-Compenser » : le scénario PA31-4.0.

³⁰ Voir page 30 de l'étude "FCC – synthèse des contraintes et opportunités d'implantation", consultable ici : <https://zenodo.org/records/10369593>

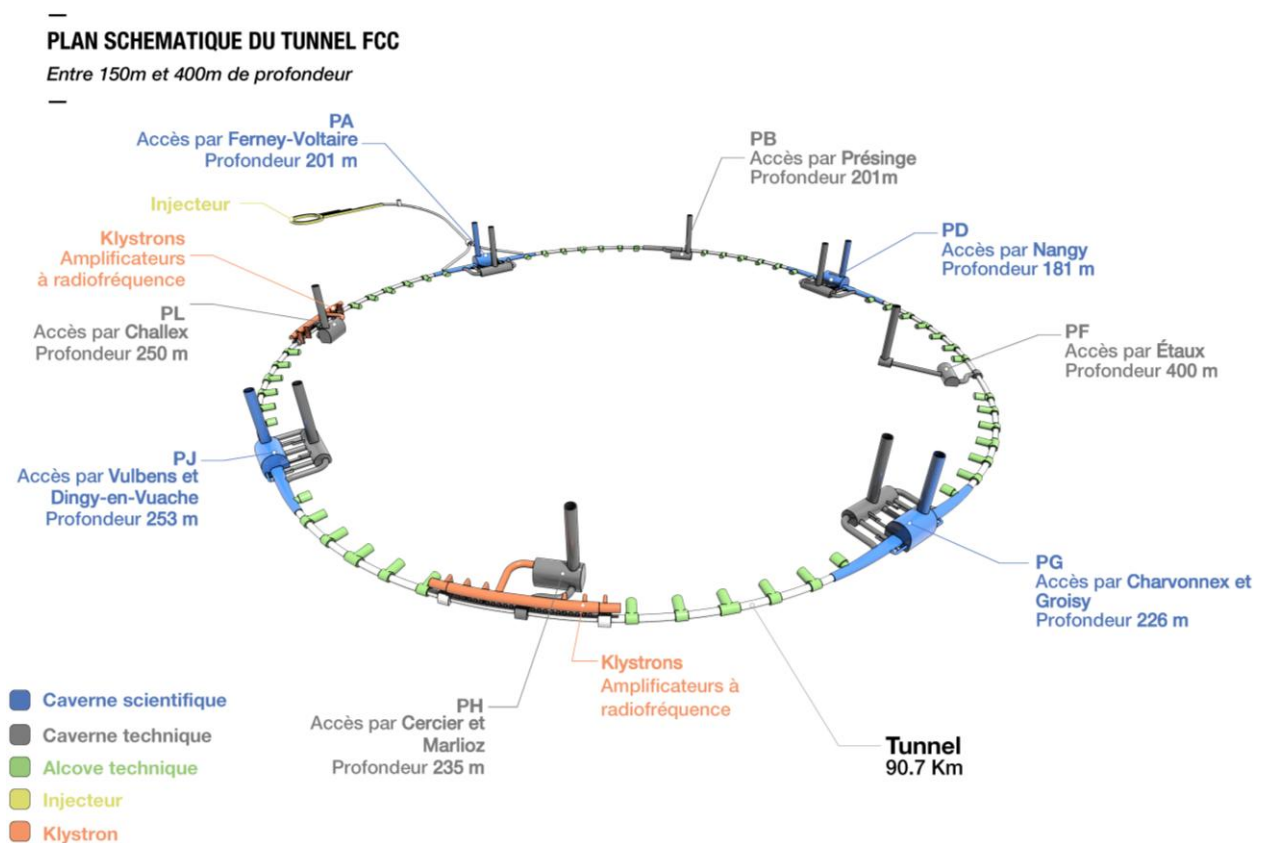
³¹ Pour en savoir plus sur l'accompagnement du CEREMA : https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/586213/l-evaluation-environnementale-des-projets-d-infrastructures-lineaires-de-transport?_lg=fr-FR

Une structure souterraine :

- ↳ 90,7 km de circonférence
- ↳ 12 puits d'accès d'une profondeur allant de 150 m à 400 m
- ↳ 12 cavernes d'une profondeur allant de 180 m à 400 m
- ↳ Des alcôves techniques
- ↳ 2 parties d'amplificateurs à radiofréquence* (Klystrons)

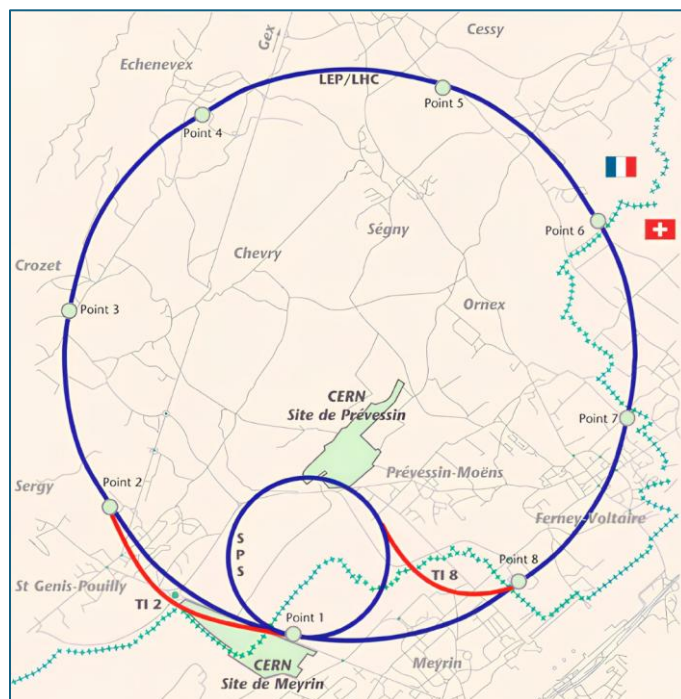
8 sites de surface pour l'exploitation du FCC et la réalisation d'expérimentations :

- ↳ Dont 7 en France, 1 en Suisse, qui possèdent des puits d'accès au tunnel entre 180 et 400 m de profondeur
- ↳ 1 injecteur et des lignes de transfert à créer sur le site existant du CERN de Prévesin, indépendamment du complexe LHC.



Une carte interactive est disponible sur le site internet dédié aux études de faisabilité du FCC, permettant de consulter les investigations du sous-sol en cours dans certaines communes : <https://fcc-faisabilite.eu/calendrier/>

3.2 LE CERN, UN ACTEUR À L'IMPLANTATION HISTORIQUE SUR LE CANTON DE GENÈVE ET LE PAYS DE GEX



Carte actuelle du site du CERN et de ses deux plus grandes machines en exploitation, le Super Proton Synchrotron (SPS) et le Grand collisionneur de hadrons (LHC). Crédit : CERN

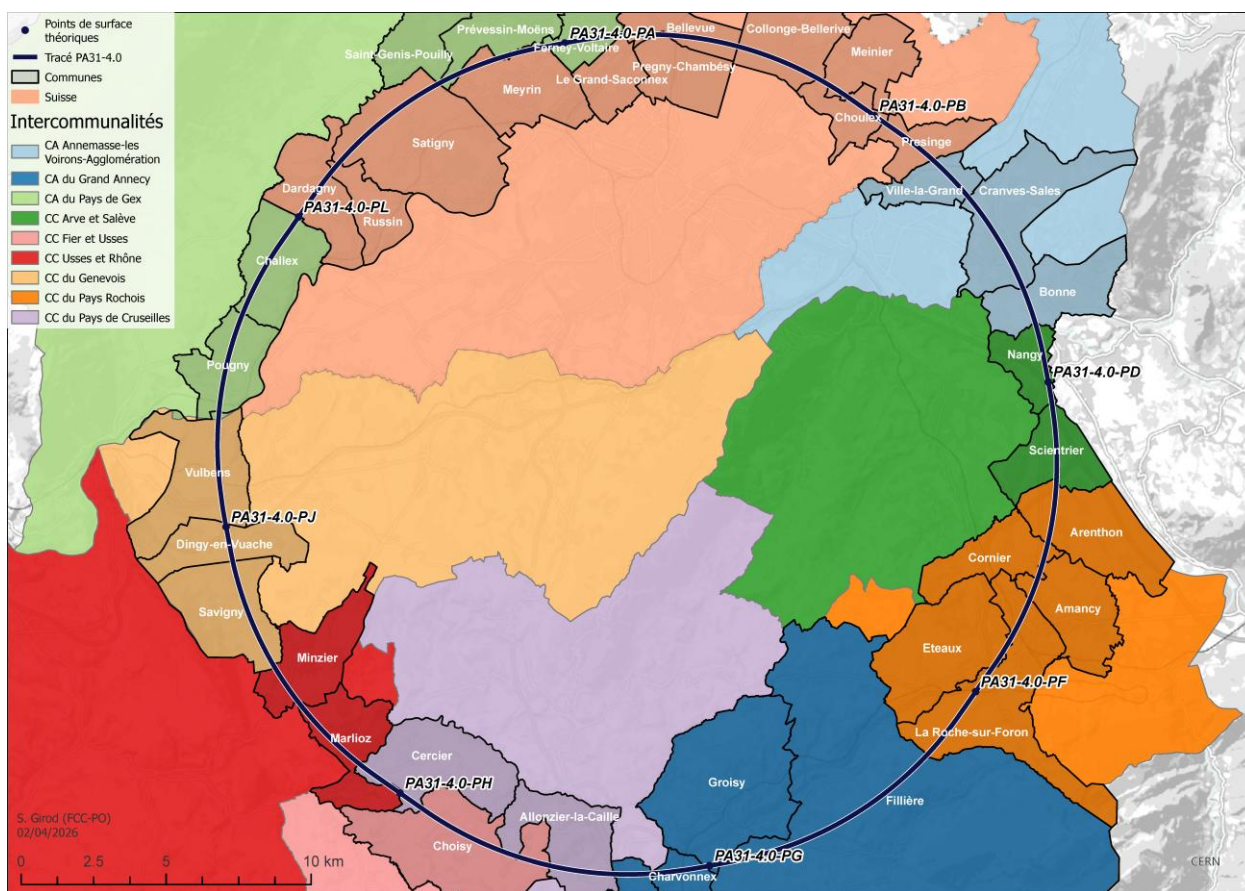
L'implantation du CERN s'est constituée progressivement au rythme du développement de ses infrastructures. D'abord implantée en Suisse, l'Organisation dispose aujourd'hui d'une assise transfrontalière entre le canton de Genève et le Pays de Gex Agglomération. À quelques kilomètres de Genève, le site principal s'étend à cheval sur la frontière franco-suisse, sur les communes de Meyrin (Suisse), Prévessin-Moëns et Saint-Genis-Pouilly (France).

Cette présence historique a façonné des relations étroites avec le Pays de Gex et le canton de Genève ainsi que l'identité actuelle du CERN, se traduisant par des liens quotidiens entre les habitants et l'Organisation, notamment à travers ses 2 500 employés.

Étudier l'implantation d'un futur collisionneur circulaire à proximité des infrastructures existantes du CERN permet de mutualiser certaines infrastructures et équipements, contribuant ainsi à préserver des ressources et à améliorer la durabilité, par rapport à la construction d'un complexe d'accélérateurs entièrement nouveau.

Le projet FCC étendrait cette implantation à de nouveaux sites situés en Haute-Savoie, au sein de différentes intercommunalités :

- ↳ Les communautés de communes du Genevois, d'Arve et Salève, du Pays rochois, du Pays de Cruseilles et d'Usses et Rhône ;
- ↳ La communauté d'agglomération du Grand Annecy.



Communes et intercommunalités traversées par le projet FCC. Crédit : CERN

3.3 LA LOCALISATION : COMMENT LE TRACÉ A-T-IL ÉTÉ DÉVELOPPÉ ?

3.3.1 Les alternatives géographiques étudiées puis écartées

Depuis le lancement de l'étude de faisabilité en 2020, une centaine de scénarios de placement différents ont été élaborés et analysés à partir de bases de données spécialisées et de données cartographiques.

L'établissement du scénario de placement est un processus itératif. L'objectif est de trouver le meilleur équilibre possible entre les performances du collisionneur de particules pour la communauté scientifique mondiale, les besoins et les contraintes de la zone locale, et les défis que posera la mise en œuvre. Le travail a débuté sur la base d'un certain nombre d'invariants et de contraintes connues. Le principe « éviter, réduire, compenser » a été appliqué systématiquement de manière à affiner constamment les variantes de placements favorables.

Les conditions topographiques et géologiques telles que les instabilités du sol, les caractéristiques du calcaire karstique, les failles, les couches aquifères et les zones d'eau à haute pression, les terrains discontinus, les eaux de surface temporaires, les rivières et les lacs, les risques d'inondation, les risques de gonflement du sol, les pentes, les altitudes élevées, et bien d'autres conditions encore, ont été intégrées au processus itératif d'établissement du scénario de placement. Elles ont déterminé les conditions limites initiales pour les études sur la configuration et l'emplacement. Les résultats ont indiqué que la circonférence optimale pour un collisionneur de particules circulaire dans la région est d'environ 91 km.

Les exigences et contraintes concernant tous les aspects de l'environnement du projet, à savoir :

- ↳ La nature (flore, faune, biodiversité, habitats, forêts, zones protégées) ;
- ↳ Le patrimoine régional et local (paysages, inventaires des milieux naturels, biens culturels et objets faisant partie du patrimoine culturel de la région) ;
- ↳ L'environnement humain (espaces agricoles, infrastructures de transport, infrastructures de ressources, facteurs démographiques et économiques, zones construites et à construire) ;
- ↳ La santé humaine et l'économie (pollution du sol, de l'eau et de l'air, bruit et vibrations, lumière artificielle, différents types de rayonnements, activités industrielles et commerciales, éducation et formation, sites et activités à caractère religieux).

Pour illustrer les contraintes territoriales, il peut être éclairant de présenter les deux localisations de tracés qui ont été écartés :

- ↳ **Un tracé à l'ouest du Jura**, dans la plaine de la Bresse, aurait nécessité la construction d'un tunnel de près de 60 km traversant des formations géologiques défavorables, notamment des terrains instables et des couches de gypse hydrophile gonflant. Ce scénario de placement aurait impliqué également des puits profonds en zones protégées, des nuisances environnementales importantes et un surcoût estimé à plus de 30 %. Ces contraintes techniques et environnementales ont conduit à l'abandonner.
- ↳ **Un tracé quasi-circulaire du côté du Léman**, composé de deux longues sections droites d'environ 11 km, a aussi été envisagé. Cette configuration aurait pu accueillir aussi bien un collisionneur circulaire qu'un linéaire. Toutefois, elle ne permet que deux points d'interaction, limitant fortement le potentiel scientifique. De plus, la traversée du lac pose des problèmes géologiques et techniques (bathymétrie, puits de plus de 500 m, contraintes karstiques). Enfin, l'implantation des sites de surface rencontre une forte densité de contraintes urbaines et environnementales, notamment en zones protégées.

Suite à la localisation identifiée comme favorable pour accueillir l'infrastructure et les sites de surface, une analyse plus fine du tracé a été effectuée lors de l'étude de faisabilité. Le scénario de placement PA31-04 a été retenu comme celui répondant le mieux aux critères d'évaluation.

Pour en savoir davantage sur le placement, une étude dédiée en français est disponible ici : <https://zenodo.org/records/10369593>

Une brochure de synthèse en français est disponible dans l'espace de documentation complémentaire sur les sites internet du débat public français et de la concertation suisse.

3.3.2 Les investigations exploratoires du sous-sol

La connaissance du sous-sol du territoire traversé par le FCC repose sur un ensemble de données géologiques et géotechniques collectées antérieurement, que le CERN a analysées comme point de départ de ses investigations.

Afin de lever les premières incertitudes liées à des données manquantes sur le territoire et à la suite de la délivrance d'autorisations réglementaires par les autorités publiques, le CERN a réalisé des investigations souterraines exploratoires dans certaines communes suivant le tracé de référence de l'étude de faisabilité. L'objectif de ces premières investigations est d'affiner la connaissance de la localisation de la molasse, qui constitue le milieu privilégié pour la construction des structures souterraines du FCC.

Deux types d'investigations sont menés : des études sismiques par camion vibreur, qui offrent une image des couches géologiques sans recourir au forage, et des forages exploratoires de petit diamètre, réalisés depuis la mi-2024 et toujours en cours. Ces opérations fournissent des données sur la position des interfaces entre la molasse, les moraines qui la recouvrent et les strates de calcaire sous-jacentes, ainsi que sur la qualité et l'homogénéité des matériaux du sous-sol. L'installation de piézomètres en parallèle permet de suivre la présence et le niveau des eaux souterraines.

Cette première campagne d'investigations géotechniques se poursuivra jusqu'à fin 2026, notamment sous le Léman et dans le Canton de Genève. Elle permettra de préciser la profondeur et l'inclinaison

optimales du tunnel et fournira une première caractérisation des conditions géologiques et hydrogéologiques de la région.

Cette campagne n'ayant pas vocation à couvrir l'exhaustivité des besoins de connaissance du sous-sol, elle serait complétée par une seconde campagne d'investigations géotechniques, actuellement en cours de définition. Cette campagne, significativement plus étendue, ciblerait en priorité les zones de cavernes expérimentales et techniques ainsi que leurs puits d'accès, et couvrirait l'ensemble du tracé à intervalles réguliers. L'objectif est de définir les paramètres géotechniques et hydrogéologiques nécessaires à la conception détaillée des infrastructures souterraines.

Cette seconde campagne permettrait notamment d'approfondir la caractérisation des risques hydrogéologiques afin de définir les dispositions techniques adéquates. Parmi les principaux risques qui seront à considérer figurent :

- ↘ Les venues d'eau en tunnel et au niveau des puits lors de la traversée de formations perméables (moraines, zones fracturées de la molasse ou du calcaire) ;
- ↘ Les interactions avec les aquifères locaux et régionaux, susceptibles de perturber les ressources en eau souterraine destinées aux territoires ;
- ↘ Le rabattement de nappe et les tassements différentiels en surface qui pourraient en résulter ;
- ↘ Les pressions hydrostatiques élevées liées à la traversée sous le Léman.

Outre les investigations exploratoires du sous-sol, les résultats de la **campagne d'investigation faune et flore** ont également permis de préciser de potentiels scénarios d'implantation des sites de surface, de définir ceux à privilégier dans le cadre de l'étude, et d'orienter un choix *in fine* si le projet est approuvé.



Campagne de prospection sismique sur le Léman – 17 décembre 2025. Crédit image: Theus, Michael

3.4 LES INFRASTRUCTURES

Quelles sont les grandes évolutions des méthodes de génie civil souterrain par rapport aux derniers ouvrages réalisés par le CERN ?

Principalement depuis la construction du LEP*, mais aussi du LHC*, le génie civil souterrain a connu des transformations significatives, tant sur le plan de la performance technique que de la maîtrise des impacts environnementaux et territoriaux.

La première de ces évolutions concerne les méthodes d'excavation elles-mêmes : les tunneliers de nouvelle génération, capables d'excaver et de poser le revêtement définitif en une seule passe, réduisent sensiblement la durée des travaux, les nuisances de chantier (bruit, vibrations, poussières) et les impacts en surface. En parallèle, les systèmes de monitoring en temps réel permettent désormais de trier, caractériser et orienter chaque type de matériau excavé vers une filière adaptée, réutilisation, traitement ou stockage contrôlé.

Cette approche réduit considérablement les risques de dispersion de matériaux potentiellement pollués et limite l'empreinte environnementale globale du chantier.

Ces avancées techniques se traduisent également par une maîtrise accrue des délais et de la sécurité, deux enjeux étroitement liés dans les grands projets souterrains.

La pose de voussoirs préfabriqués à l'avancement sécurise le front de taille en continu et réduit le temps d'exposition des équipes en zone non revêtue. La planification bénéficie par ailleurs d'outils de modélisation numérique et de suivi géotechnique en temps réel qui permettent d'anticiper les aléas géologiques et de fiabiliser les cadences d'avancement, limitant ainsi les dérives de planning qui avaient affecté ces grands projets.

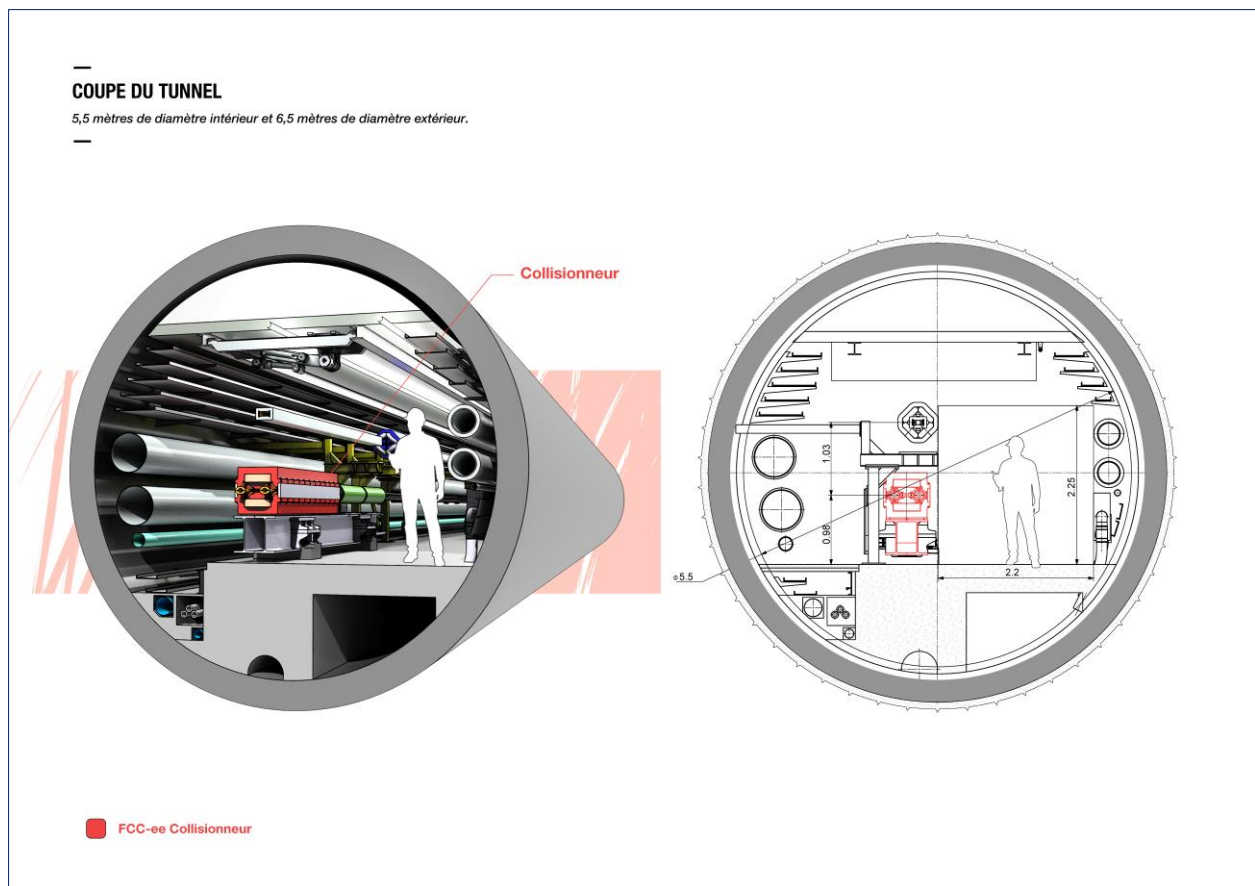
Enfin, à l'échelle du chantier dans son ensemble, la généralisation des systèmes en circuit fermé pour la gestion de l'eau, le recours à des engins à motorisation électrique et des protocoles environnementaux et de sécurité sensiblement renforcée traduisent une mutation profonde et cohérente des pratiques métier.

3.4.1 Les structures souterraines

3.4.1.1 Le tunnel et ses galeries

3.4.1.1.1 Le tunnel de l'accélérateur

La majeure partie des 90,7 km de circonférence du tunnel du FCC consisterait en un tunnel de 5,5 m de diamètre interne et de 6,5 m de diamètre externe, comme illustré ci-dessous. Il y aurait huit secteurs, chacun d'une longueur d'environ 11,3 km. La majeure partie de chaque secteur consiste en un arc de cercle d'un rayon de 14,5 km



Coupes transversales du tunnel de l'accélérateur d'un diamètre extérieur de 6,5 m et intérieur de 5,5 m. Crédit : CERN.

Pour tenir compte de la séparation des faisceaux* e+ et e- de la machine FCC-ee à proximité des détecteurs, et de la nécessité de conserver de l'espace pour l'anneau booster, le tunnel de l'accélérateur devrait être agrandi de chaque côté des cavernes d'expérience aux sites PA – Ferney-Voltaire, PD – Nangy, PG – Charvonnex et PJ – Vulbens.

Il y aurait au total 8 zones d'élargissement du tunnel, qui s'étendraient sur 1,1 km de part et d'autre des cavernes d'expérience. L'absorbeur de faisceau serait situé à 500 mètres du point d'interaction dans la section 3 de l'élargissement du tunnel.

Les matériaux du tunnel de l'accélérateur

Si le projet se poursuit, des études de conception seraient programmées pour un lancement fin 2026. Pour l'étude de faisabilité réalisée entre 2021 et 2025, il a été supposé qu'un revêtement en béton armé préfabriqué en une seule passe serait le système de soutènement le plus efficace et le plus performant, car il s'agirait de la méthode de construction la plus rapide et la plus adaptée à la molasse (type de roches du bassin géologique ciblé). Si les futures études sur site révèlent des conditions de sol plus difficiles que celles qui ont été estimées, il faudrait alors revoir le système de soutènement du tunnel.

Le cas échéant, un système de soutènement plus approprié, consistant en un revêtement drainé en béton armé *in situ*, pourrait s'avérer nécessaire (pour tout ou partie du tunnel).

Les tunnels de dérivation

Des tunnels de dérivation seraient nécessaires dans chacune des quatre zones d'expérience pour permettre l'accès pour le transport, le personnel et les services directement à partir de la caverne de service vers le tunnel de l'accélérateur, contournant ainsi la caverne expérimentale et les zones de détection. Ces tunnels auraient un diamètre interne de 5,5 mètres. La longueur des tunnels de dérivation varierait entre 110 mètres et 115 mètres en fonction de la zone d'expérience.

Les rayons de courbure de 30 mètres permettraient le déplacement des véhicules de transport et assureraient la protection des équipements des rayonnements ionisants entre le tunnel de l'accélérateur et la caverne de service.

Dans la prochaine phase conceptuelle, les détails des jonctions entre le tunnel de l'accélérateur et le tunnel de dérivation, aujourd'hui estimés à un angle de 45°, seraient estimés de manière plus précise, et, si nécessaire, une caverne de jonction ou un autre moyen plus efficace d'aménager la liaison serait mis en œuvre.

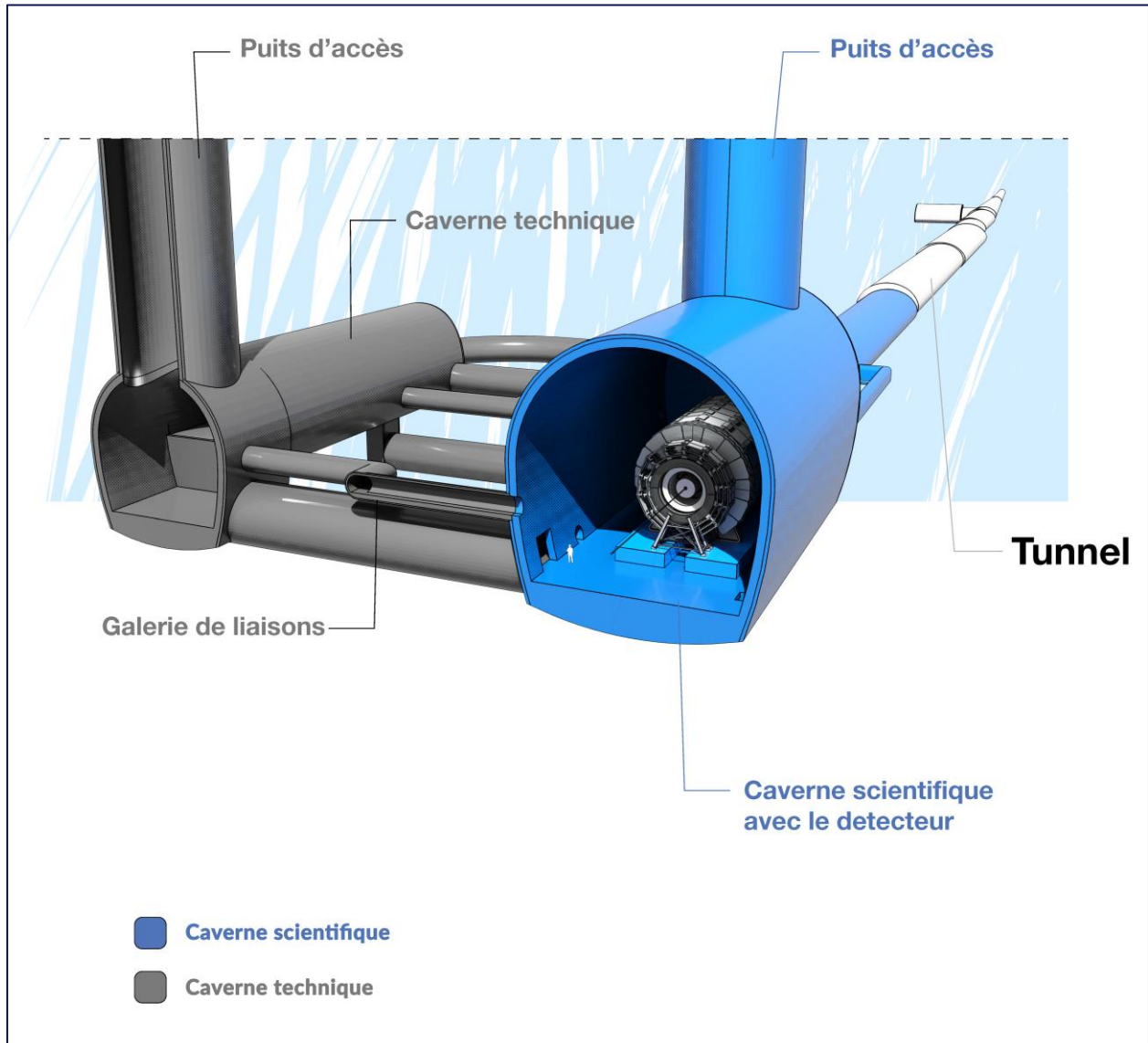
Les tunnels de raccordement

Des tunnels de raccordement entre les cavernes de service et les cavernes expérimentales permettraient l'accès du personnel et le transport des matériaux/équipements. Ces tunnels abriteraient également les conduits de service, les câbles et les canalisations qui relierait les cavernes de service aux détecteurs et aux tunnels de l'accélérateur.

3.4.1.2 Les cavernes

Deux types principaux de cavernes seraient construits³² :

1. **Les cavernes techniques (ou de service)**, pour accueillir toutes les infrastructures et les services techniques, nécessaires au bon fonctionnement et à l'entretien de l'accélérateur ;
2. **Les cavernes scientifiques**, pour accueillir les détecteurs et mener à bien les expériences de l'accélérateur.



Coupe transversale du modèle 3D au site PA, montrant la caverne de service (à gauche) et la caverne d'expérience (à droite). Crédit : CERN.

Des galeries de liaisons ou des cavernes de jonction relieront les deux cavernes aux sites scientifiques.

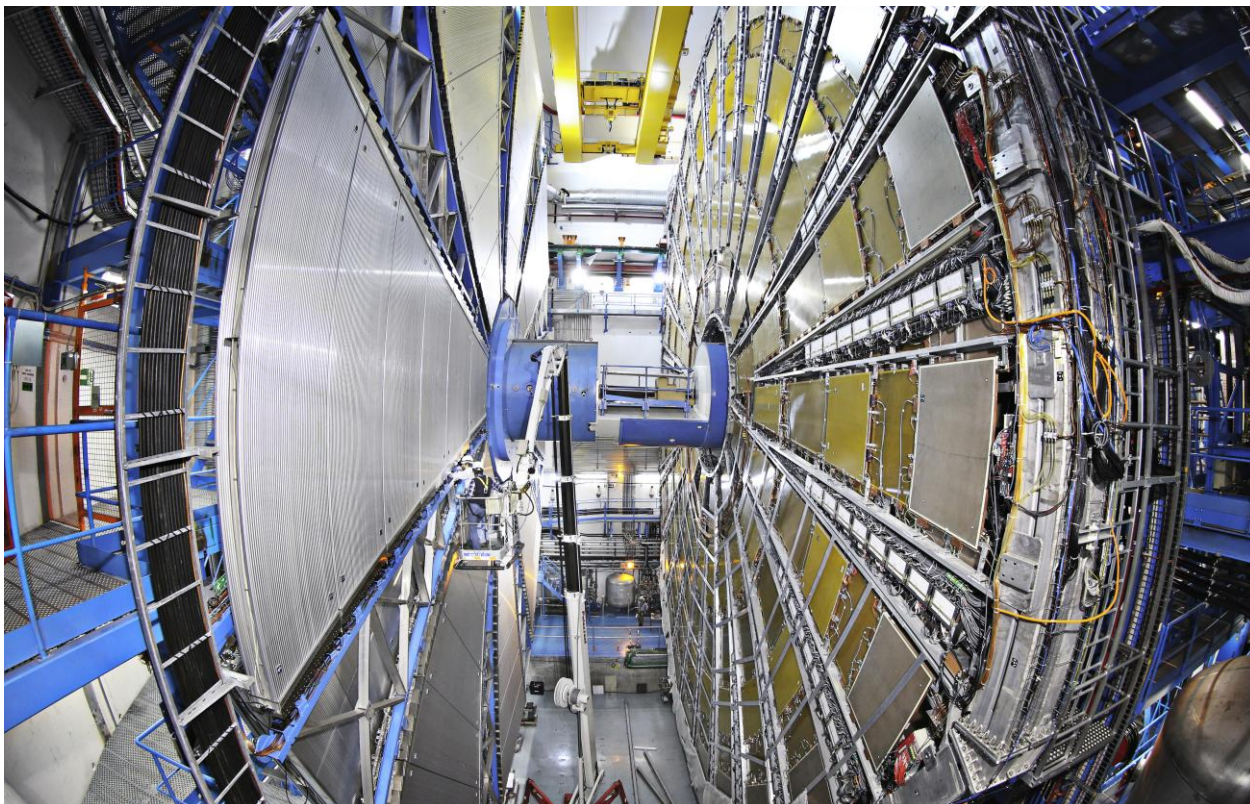
³² Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p.15-16

3.4.1.2.1 Les cavernes scientifiques

Les cavernes d'expérience comprendraient plusieurs niveaux. Des structures en acier seraient utilisées pour créer les niveaux de galerie autour des détecteurs. Ces galeries seraient similaires à celles qui sont actuellement en place dans les cavernes d'expérience du LHC, telles que ATLAS et CMS.

Des galeries de sondage seraient nécessaires dans chacune des quatre cavernes d'expérience pour inspecter l'alignement du faisceau de part et d'autre des détecteurs.

Il s'agit de tunnels d'une portée de 1,5 mètre et d'une longueur de 60 mètres parallèles au tunnel de l'accélérateur, avec des raccordements perpendiculaires tous les 15 mètres dans la section 1 d'élargissement du tunnel. La possibilité de les incorporer dans les sections élargies du tunnel afin de réduire la complexité et le coût de la construction sera étudiée dans la prochaine phase de conception.



Les détecteurs d'ATLAS (ici en position ouverte pendant une phase de maintenance) ont permis d'identifier des interactions photon-photon, un processus de probabilité très faible. Crédit : CERN/Claudia Marcelloni De Oliveira

A ce jour, deux dimensions de cavernes d'expérience sont envisagées :

1. **Les sites PA – Ferney-Voltaire et PG – Charvonnex** : des cavernes de grande portée seraient nécessaires pour accueillir les détecteurs du FCC et l'infrastructure associée. Dans l'étude de faisabilité, la caverne proposée aurait des dimensions de 66m×35m×35m (longueur×largeur×hauteur) et serait construite à une profondeur allant jusqu'à 226 mètres dans la roche molassique.
2. **Les sites PD – Nangy et PJ – Vulbens** : deux cavernes scientifiques plus petites, estimées à 66m×25m×25m dans l'étude de faisabilité, seraient suffisantes et seraient construites jusqu'à 253 mètres de profondeur.

Les prochaines études conceptuelles permettraient de préciser les caractéristiques techniques de ces cavernes, de service ou d'expérience.

3.4.1.2.2 Les cavernes de service

Les cavernes de service³³ abriteraient les équipements d'infrastructure tels que l'électricité, le refroidissement, la ventilation et la cryogénie. En outre, elles constitueraient un refuge en cas d'urgence, avec une zone pressurisée dédiée au fond du puits. Elles comprendraient trois niveaux, avec des structures en acier, afin de maximiser l'espace utilisable pour les infrastructures et les services techniques.

- ↳ Une caverne de service serait située à la même hauteur que le tunnel de l'accélérateur et devrait être adjacente à chacune des quatre cavernes d'expérience. Sous le puits de service, la hauteur des cavernes de service serait de 22,4 mètres, ce qui permettrait un accès direct au niveau de la caverne expérimentale pour les équipements et les composants des détecteurs de grandes dimensions. Le reste de la caverne de service de 100 mètres de long aurait une hauteur de 15 mètres.
- ↳ Lorsque des tunnels de dimensions transversales similaires se rejoindraient, une caverne de jonction serait nécessaire. Les sites PF – Eteaux, PH – Cercier et PL – Challex nécessiteraient chacun une caverne de jonction où le tunnel de raccordement croiserait le tunnel de l'accélérateur. Chaque caverne mesurerait environ 16 mètres de longueur et aurait une portée de 10 mètres.
- ↳ Une caverne supplémentaire pour l'absorbeur de faisceau de la machine FCC-ee serait située au site PB – Ferney-Voltaire et accueillerait deux absorbeurs de faisceau, à raison d'un pour chacune des deux lignes de faisceau.

3.4.1.2.3 Les cavernes de service

Les cavernes de service³⁴ abriteraient les équipements d'infrastructure tels que l'électricité, le refroidissement, la ventilation et la cryogénie. En outre, les cavernes constitueraient un refuge en cas d'urgence, avec une zone pressurisée dédiée au fond du puits. Elles comprendraient trois niveaux, avec des structures en acier pour chaque niveau, afin de maximiser l'espace utilisable pour les infrastructures et les services techniques.

- ↳ Une caverne de service serait située à la même hauteur que le tunnel de l'accélérateur et devrait être adjacente à chacune des quatre cavernes d'expérience. Sous le puits de service, la hauteur des cavernes de service serait de 22,4 mètres, ce qui permettrait un accès direct au niveau de la caverne expérimentale pour les équipements et les composants des détecteurs de grandes dimensions. Le reste de la caverne de service de 100 mètres de long aurait une hauteur de 15 mètres.
- ↳ Lorsque des tunnels de dimensions transversales similaires se rejoindraient, une caverne de jonction serait nécessaire. Les sites PF – Eteaux, PH – Cercier et PL – Challex nécessiteraient chacun une caverne de jonction où le tunnel de raccordement croiserait le tunnel de l'accélérateur. Chaque caverne mesurerait environ 16 mètres de longueur et aurait une portée de 10 mètres.
- ↳ Une caverne supplémentaire pour l'absorbeur de faisceau de la machine FCC-ee serait située au site PB – Ferney-Voltaire et accueillerait deux absorbeurs de faisceau, à raison d'un pour chacune des deux lignes de faisceau.

³³ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p.16

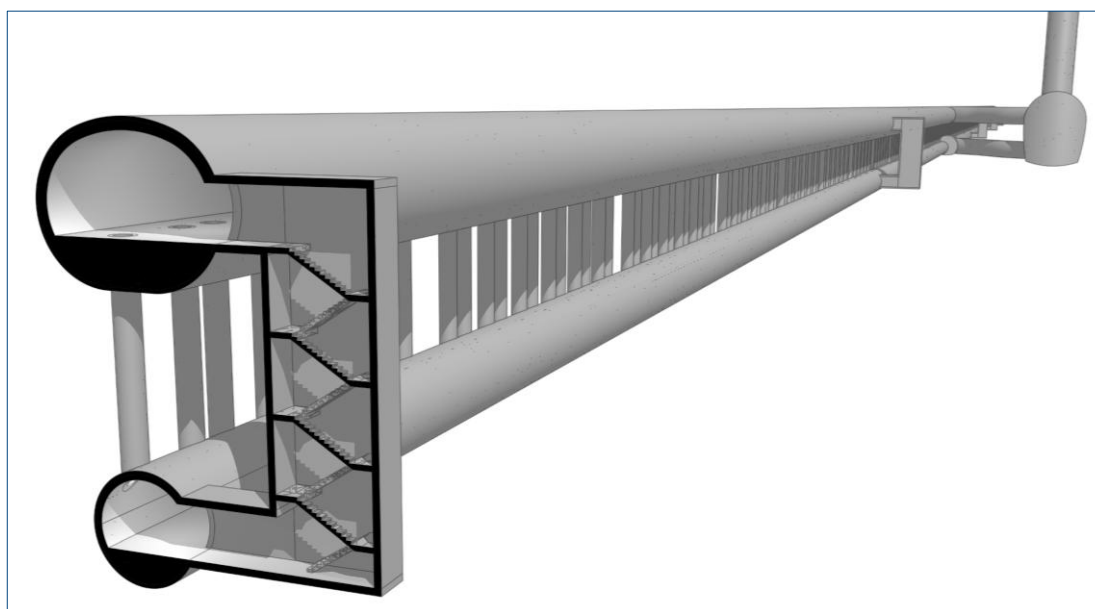
³⁴ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p.16

3.4.1.3 Les structures souterraines pour l'infrastructure radiofréquences

Les galeries de klystrons* abriteraient les klystrons et autres composants du système de radiofréquence*. Deux galeries distinctes*³ seraient construites :

- Une galerie d'une longueur de 2012 mètres sur le site PH – Cercier pour le système de radiofréquence* du collisionneur ;
- Une galerie d'une longueur de 1 446 mètres sur le site PL – Challex pour le système de radiofréquence* du booster.

Dix mètres de roche seraient maintenus entre les galeries de radiofréquence* et le tunnel de l'accélérateur pour garantir un blindage suffisant contre les rayonnements ionisants. Le revêtement de la galerie de klystrons* serait constitué d'un revêtement primaire en béton projeté et d'un revêtement secondaire en béton coulé sur place.



Modèle 3D de l'agencement de la galerie de klystrons au site PH

3.4.1.4 Les puits d'accès

Douze puits seraient construits pour accéder aux structures souterraines³⁵. Un treizième puits temporaire, destiné à la période de construction pour l'injecteur, est envisagé. Enfin, le devenir du 13^e tunnel, utilisé seulement pour les travaux liés à l'injecteur, n'est pas arrêté à ce stade. N'ayant pas d'usage planifié pour la phase d'exploitation, celui-ci pourrait être conservé en l'état ou rebouché. En détail :

- **4 puits de 12 mètres de diamètre**, à raison d'un dans chacune des zones techniques PB – Presinge, PF – Eteaux, PH – Cercier et PL – Challex, pour les besoins d'accès et de service,
- **2 puits de 18 mètres de diamètre**, à raison d'un dans chacune des zones d'expérience, PA – Ferney-Voltaire et PG – Charvonnex, pour l'accès et l'installation des composants du détecteur dans la caverne d'expérience,
- **2 puits de 15 mètres de diamètre**, à raison d'un dans chacune des zones d'expérience, PD – Nangy et PJ – Vulbens, pour l'accès et l'installation des composants du détecteur dans la caverne d'expériences. Ces puits, de diamètre inférieur à ceux des cavernes de service, sont spécifiquement conçus pour accueillir les détecteurs de plus petite taille prévus pour les sites PD – Nangy et PJ – Vulbens.
- **4 puits de 18 mètres de diamètre**, à raison d'un dans chacune des cavernes de service aux points PA – Ferney-Voltaire, PD – Nangy, PG – Charvonnex et PJ – Vulbens, pour l'accès, les besoins de service et

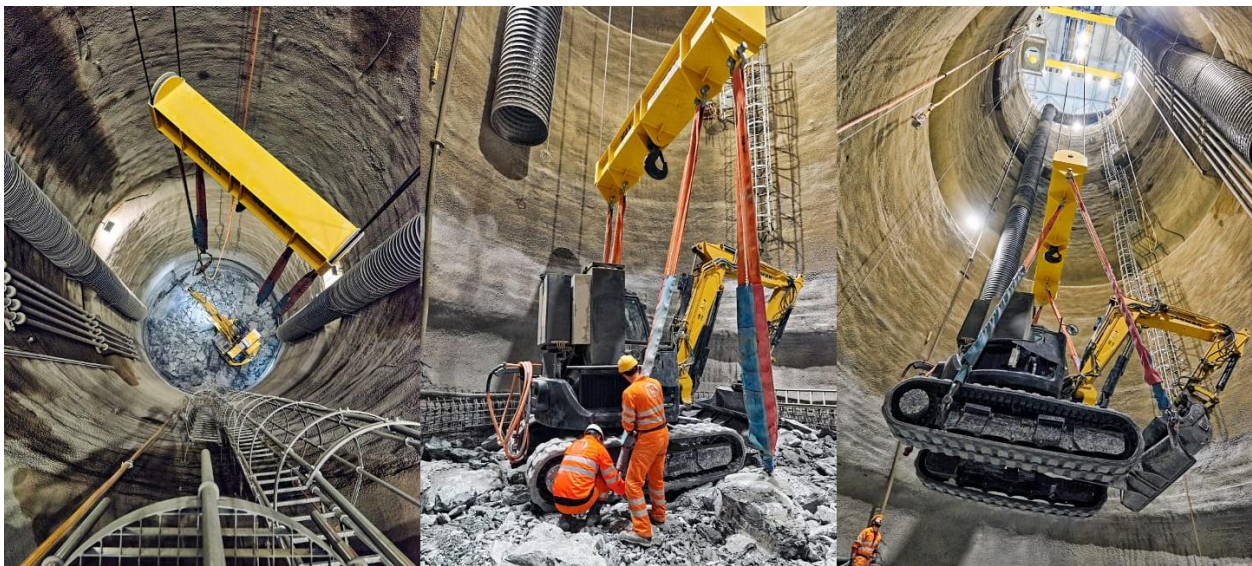
³⁵ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p.11-12

pour faciliter la descente des plus grands composants de l'accélérateur ;

- ▾ 1 puits de 10 mètres de diamètre sur le site du CERN à Prévessin-Moëns, pour permettre la construction du tunnel de transfert du complexe d'injection vers le projet de FCC. Ce puits ne serait utilisé que pour la construction, notamment pour permettre l'assemblage du tunnelier qui creuserait les 5 km du tunnel de transfert.

Les puits de service de chacun des huit points permettraient d'accéder aux cavernes de service. Pendant la phase de construction, ils seraient utilisés pour l'installation et la mise en service de l'infrastructure et des composants de l'accélérateur. Ils seraient également utilisés pendant les arrêts de la machine pour la maintenance et la mise à niveau de l'accélérateur et de l'infrastructure de soutien. Ils seraient équipés de deux ascenseurs et d'une cage d'escalier situés dans une gaine intérieure pressurisée, qui constituerait une issue de secours sûre en cas d'incendie. Le puits contiendrait également un espace vertical dégagé en continu permettant à la grue de descendre les équipements.

Ces puits comporteraient également des conduits de ventilation et d'autres services nécessaires au fonctionnement du détecteur dans les cavernes d'expérimentation. Comme les sites PA – Ferney-Voltaire et PG – Groisy-Charvonnex correspondent aux plus grandes zones d'expérience, des puits de 18 m de diamètre sont nécessaires. Étant donné que les zones d'expérience sont plus petites, les sites PD – Nangy et PJ – Vulbens n'ont besoin que d'un puits d'expérience de 15 mètres sur chaque site.



Ces trois photos montrent la manutention d'une pelleuse dans l'un des deux puits creusés pour le projet de LHC à haute luminosité (Images : Antonino Panté*)

3.4.15 Les alcôves

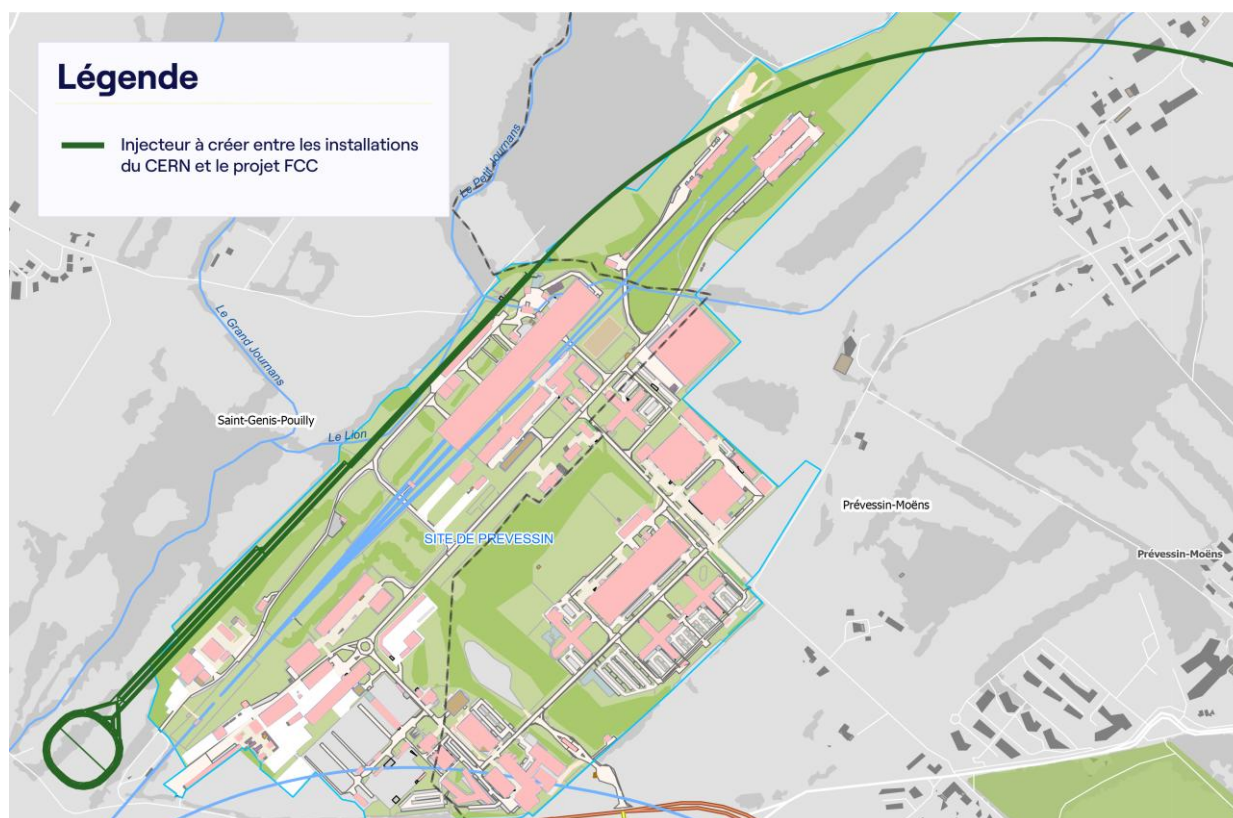
Tous les 1,6 km autour de la machine, des alcôves d'équipements seraient nécessaires pour accueillir les équipements électriques, les services et les besoins en matière de transport.

La majorité de ces alcôves sont considérées comme « ordinaires », mesureraient environ 40 mètres de long, 10,6 mètres de large et 4,6 mètres de haut. Placées à l'intérieur de l'anneau, les alcôves seraient disposées perpendiculairement au tunnel de l'accélérateur.

En plus des alcôves ordinaires, douze « grandes » alcôves seraient nécessaires de part et d'autre de chacun des points d'accès au FCC afin de fournir un espace supplémentaire pour les équipements électriques. Ces grandes alcôves mesureraient 29 mètres de long, 18 mètres de large et 8,3 mètres de haut. Elles seraient situées à l'extrémité des longues sections en alignement, de part et d'autre des cavernes. Deux grandes alcôves sont nécessaires aux points PA – Ferney-Voltaire, PB – Presinge, PD – Nangy, PF – Eteaux, PG – Groisy-Charvonnex et PJ – Vulbens, mais pas à PH – Cercier-Marlioz ou PL – Challex, car la taille supplémentaire des galeries de klystrons* offre le volume nécessaire à l'équipement.

3.4.2 Les structures de surface

3.4.2.1 L'injecteur : l'utilisation du site de Prévessin-Moëns pour accueillir les installations d'injection d'électrons et de positons



Croquis de l'hypothèse de travail actuelle pour un injecteur basé sur trois accélérateurs linéaires et d'un anneau d'amortissement (« damping ring ») d'une longueur d'environ 1,2 km. La ligne de transfert vers le point A serait entièrement souterraine. En rouge vif le projet d'injecteur et ses lignes de transferts. Le reste représente l'existant et notamment la zone du site de Prévessin du CERN.

L'injecteur est un maillon essentiel : c'est là que les particules sont produites et reçoivent l'accélération initiale. Le projet FCC-ee nécessiterait la création d'un nouvel injecteur d'électrons* et de positons*.

L'utilisation du site existant du CERN de Prévessin présenterait plusieurs avantages. Ce site se trouve à une distance assez proche du site de surface LHC P8 existant qui, avec l'espace supplémentaire aux environs immédiats, formerait le site de surface PA – Ferney-Voltaire. De nombreuses infrastructures techniques seraient déjà disponibles telles que le raccordement au réseau 400 kV* existant, l'approvisionnement de l'eau, les bureaux, les installations informatiques, l'espace pour les activités de construction, et permettraient de limiter les efforts habituellement liés au développement territorial d'un nouveau site.

De plus, être proche des zones expérimentales déjà existantes offrirait l'opportunité de fournir du faisceau pour un potentiel programme de physique à cible fixe. En effet, le CERN propose déjà un programme de physique à cibles fixes sur le site de Prévessin.

L'hypothèse de travail actuelle, inachevée, reposerait sur un emplacement entre la rivière « Lion » et la ligne de faisceau actuellement exploitée par le CERN dans la zone nord du site. Les exigences et les contraintes des différents éléments du concept technique, tels que la taille et la forme exactes de l'anneau d'amortissement, les largeurs et les longueurs des accélérateurs et leur intégration, ne sont pas encore à un niveau de définition permettant de finaliser l'emplacement potentiel sur le site. Si le projet se poursuit, les études de conception ultérieures (fin 2026) devraient permettre d'affiner son emplacement.

3.4.2.2 Les sites de surface

A la suite des démarches de dialogue en cours, ces plans sont amenés à évoluer et à s'affiner. Un premier cumul de consommation foncière de 40 hectares est identifié, correspondant aux emprises fonctionnelles des sites de surface, telles qu'elles ont pu être estimées à ce stade de l'étude. Ces emprises reflètent les besoins programmatiques directs de chaque site de surface, accès aux souterrains, bâtiments techniques, équipements de surface, circulations internes..., auxquels s'ajoute une marge destinée à l'intégration paysagère des sites.

Le bilan foncier global du projet, intégrant l'ensemble de ces composantes (voiries de desserte, réseaux, besoins temporaires du chantier, surfaces nécessaires à des mesures compensatoires...), fera l'objet d'études approfondies dans les phases ultérieures, conduites en concertation étroite avec les parties prenantes afin que la définition des emprises définitives intègre au mieux les enjeux locaux et les attentes des territoires concernés. Ce travail s'effectue avec l'accompagnement des services des États hôtes.

Site	Fonction
PA – Ferney-Voltaire, Ain, France	Site scientifique avec une expérience, relié à l'injecteur linéaire situé sur le site de Prévessin-Moëns du CERN
PB – Presinge, Genève, Suisse	Site technique avec injection du faisceau « booster » dans le collisionneur, extraction du faisceau du collisionneur
PD – Nangy, Haute-Savoie, France	Site scientifique avec une expérience
PF – Eteaux, Haute-Savoie, France	Site technique avec un collimateur qui permet de régler la collimation des faisceaux* et la quantité de mouvements
PG – Charvonnex et Groisy, Haute-Savoie, France	Site scientifique avec une expérience
PH – Cercier et Marlioz, Haute-Savoie, France	Site technique avec système d'accélération des particules par radiofréquences* pour le collisionneur
PJ – Dingy-en-Vuache et Vublens, Haute-Savoie, France	Site scientifique avec une expérience
PL – Challex, Ain, France	Site technique avec système d'accélération des particules par radiofréquences* pour le pré-accélérateur « booster ».

Le site scientifique PA – Ferney-Voltaire (Ain, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 4 ha.

Installations :

- ↳ Bâtiments techniques pour accueillir :
 - ↳ Un hall d'assemblage
 - ↳ Les systèmes de ventilation
 - ↳ Les systèmes de refroidissement
 - ↳ Les systèmes de cryogénie
 - ↳ Le stockage d'hélium gazeux et d'azote
 - ↳ Les systèmes électriques
- ↳ 1 puits de 18 mètres de diamètre pour l'accès et l'installation des composants du détecteur dans la caverne scientifique
- ↳ 1 puits de 18 mètres de diamètre pour faciliter la descente des plus grands composants de l'accélérateur dans la caverne de service
- ↳ 1 caverne scientifique et 1 caverne de service



Synergies avec le point 8 du LHC :

- ↳ La surface du site indiqué en bordure de la route de Meyrin est de 5,2 ha et la surface de l'extension du site du point 8 du LHC est de 2,7 ha

Contraintes identifiées :

- ↳ Présence d'un réseau d'alimentation en eau à proximité du point 8 du LHC
- ↳ Présence d'un gazoduc qui longe la limite du site de surface, avant de franchir la frontière entre la France et la Suisse

Enjeux environnementaux :

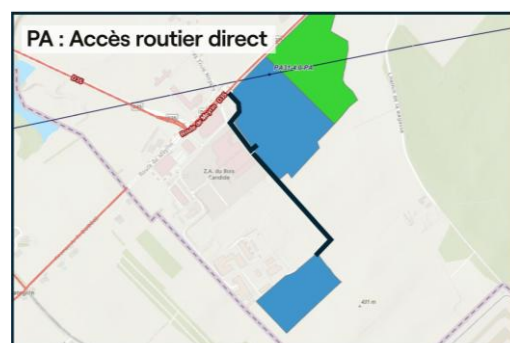
- ↳ Emprise foncière classée zone agricole protégée (Ap)
- ↳ Proximité d'une zone de compensation environnementale protégée au nord et d'axes routiers majeurs à l'ouest

Enjeux patrimoniaux :

- ↳ Environnement déjà urbanisé qui continue à voir apparaître de nouvelles constructions telles qu'un quartier commercial et d'innovation de haute technologie, des prestataires de soins de santé, des immeubles résidentiels et des installations commerciales
- ↳ La vue sur la chaîne du Mont-Blanc

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↳ Un accès direct au site est possible. Toutefois, la densité du trafic dans le secteur nécessiterait l'élaboration d'un concept d'accès au site, en concertation avec les autorités publiques compétentes.



Le site technique PB – Presinge (Canton de Genève, Suisse)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 4 ha.

Installations :

- ↘ Bâtiments techniques pour accueillir :
 - ↘ Les systèmes de ventilation
 - ↘ Les systèmes de refroidissement
 - ↘ Les systèmes de cryogénie
 - ↘ Le stockage d'Hélium gazeux et liquide
 - ↘ Les systèmes électriques
- ↘ 1 puits de 12 mètres de diamètre pour les besoins d'accès et de services à l'accélérateur
- ↘ 1 caverne de service
- ↘ 1 caverne pour accueillir les deux absorbeurs de faisceau*



Enjeux environnementaux :

- ↘ Champ classé comme surface d'assolement³⁶ (SDA), en bordure de la Route de Jussy
- ↘ Proximité d'un cours d'eau protégé ainsi que d'espaces d'habitations et d'agriculture

Enjeux patrimoniaux :

- ↘ Paysage agricole ouvert et à l'écart des villages

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↘ Il n'est pas nécessaire de construire une nouvelle route, mais il y aurait lieu de créer une jonction au niveau de la Route de Jussy. La conception détaillée et l'emplacement de l'option d'accès recommandée doivent être validés par les parties prenantes lorsqu'un projet de construction sera proposé. Un plan technique détaillé d'accès devra être établi à cet effet dans une phase ultérieure.

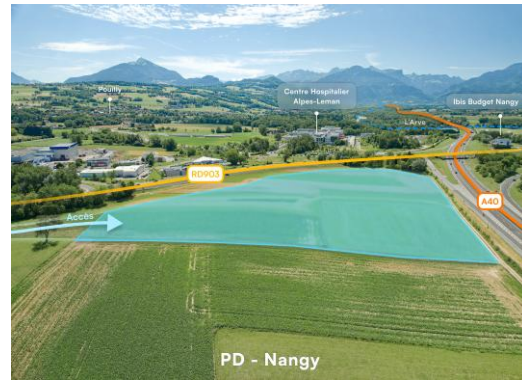
³⁶ Les surfaces d'assolement (SDA) se composent des terres cultivables comprenant avant tout les terres ouvertes, les prairies artificielles intercalaires et les prairies naturelles arables.

Le site scientifique PD-Nangy (Haute-Savoie, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 5 ha.

Installations :

- ↳ Bâtiments techniques pour accueillir :
 - ↳ Un hall d'assemblage
 - ↳ Les systèmes de ventilation
 - ↳ Les systèmes de refroidissement
 - ↳ Les systèmes de cryogénie
 - ↳ Le stockage d'azote ainsi que d'hélium gazeux et liquide
 - ↳ Les systèmes électriques et la sous-station électrique
- ↳ 1 puits de 15 mètres de diamètre pour l'accès et l'installation des composants du détecteur dans la cavene scientifique
- ↳ 1 puits de 18 mètres pour l'accès et la descente des plus grands composants de l'accélérateur
- ↳ 1 cavene scientifique et 1 cavene de service



Enjeux environnementaux :

- ↳ Emprise foncière classée zone agricole (A)

Enjeux patrimoniaux :

- ↳ Les environs sont dominés par le grand hôpital régional « CHAL », une zone industrielle au nord avec une grande usine de transformation du lait et un quartier mixte commercial et résidentiel de l'autre côté de la route départementale à plusieurs voies.

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↳ A proximité immédiate du site, le département de Haute-Savoie porte le projet de réaménagement de la RD 903 afin de fluidifier le trafic. Plusieurs scénarios d'accès au site sont étudiés. A ce stade, le scénario privilégié consiste à créer une route d'accès réservée, au niveau du rond-point qui serait construit au nord de la route départementale RD 1205 à Fillinges.



Le site technique PF – Eteaux et La-Roche-sur-Foron (Haute-Savoie, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 4 ha.

Installations :

- ↘ Bâtiments techniques pour accueillir :
 - ↘ Les systèmes de ventilation
 - ↘ Les systèmes de refroidissement
 - ↘ Les systèmes de cryogénie
 - ↘ Le stockage d'hélium gazeux et d'azote
 - ↘ Les systèmes électriques
 - ↘ Hall d'assemblage du détecteur
- ↘ 1 puits de 12 mètres de diamètre pour les besoins d'accès et de services à l'accélérateur
- ↘ 1 caverne de service

Enjeux environnementaux :

- ↘ Emprise foncière classée en espace agricole (A).

Enjeux patrimoniaux :

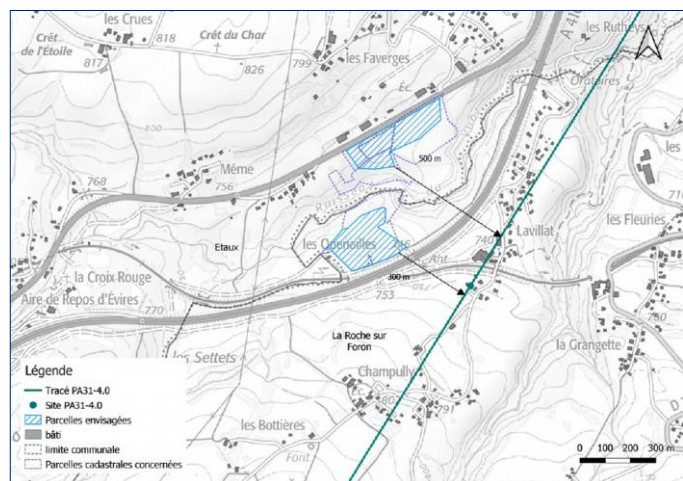
- ↘ Environnement naturel du site, à proximité immédiate d'axes de transport et d'espaces commerciaux fréquentés. Il n'y a pas de visibilité directe depuis La-Roche-sur-Foron. Toutefois, les vues sur les Alpes devraient être prises en compte.

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↘ Un accès direct depuis la route existe et éviterait la création d'une nouvelle route

Variantes à l'étude

Si la surface du site doit être réduite, une annexe au sud du site, le long de l'autoroute à La Roche-sur-Foron, pourrait être envisagée. Le terrain se trouve sur le périmètre d'une installation de stockage de déchets inertes (ISDI). Dès lors que l'ISDI est pleine et n'est plus en service, elle pourrait accueillir des constructions limitées à la surface telles que des systèmes de ventilation, des tours de refroidissement ou une sous-station électrique. Toutefois, le statut d'Installation Classée de Protection de l'Environnement (ICPE) de l'ISDI entraînerait des difficultés techniques supplémentaires et des surcoûts financiers importants qui doivent être étudiés. En parallèle, il conviendrait d'entreprendre un travail avec la commune et les services de l'État (DDT, DREAL) pour définir des zones de valorisation des matériaux excavés à proximité du site.



Le site scientifique PG – Charvonnex et Groisy (Haute-Savoie, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 5 ha.

Installations :

- ↘ Bâtiments techniques pour accueillir :
 - ↘ Les systèmes de ventilation
 - ↘ Les systèmes de cryogénie
 - ↘ Les systèmes de refroidissement
 - ↘ Le stockage d'hélium liquide, gazeux et d'azote
 - ↘ Les systèmes électriques et la sous-station électrique
 - ↘ La zone de fabrication de bobine
- ↘ 1 puits de 12 mètres de diamètre pour les besoins d'accès et de service de l'accélérateur
- ↘ 1 puits de 15 mètres de diamètre pour l'accès et l'installation des composants du détecteur dans la caverne scientifique
- ↘ 1 puits de 18 mètres de diamètre pour les besoins de service et la descente des plus grands composants de l'accélérateur
- ↘ 1 caverne scientifique et 1 caverne de service

Enjeux environnementaux :

- ↘ Emprise foncière classée en Espace Boisé Classé pour la partie forêt et en zone agricole (A) pour la partie prairie

Enjeux patrimoniaux :

- ↘ Toutes les parcelles seraient éloignées des habitations

Piste étudiée :

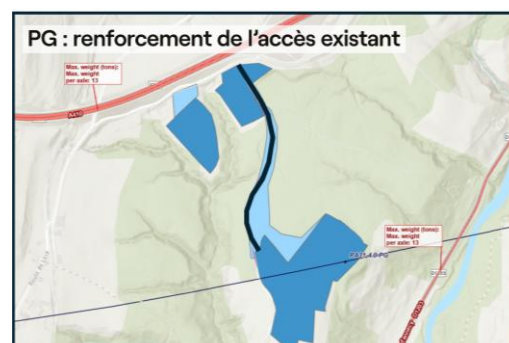
- ↘ Aménagement d'un centre de visiteurs

Alternatives étudiées :

- ↘ Au sud de l'aire d'autoroute A410 de Groisy, près de la station-service de l'autoroute, deux parcelles plus petites ont été identifiées pour accueillir potentiellement des infrastructures techniques qui n'ont pas besoin d'être proches du puits. Il s'agirait d'annexes de 1,9 et de 1,7 ha pour le stockage de matériel, une sous-station électrique et des tours de refroidissement à proximité de l'autoroute sont également indiquées.

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↘ Un chemin forestier existant, large et d'une longueur de 800 mètres, devrait être réaménagé pour servir de route d'accès au site principal.



Le site technique PH – Marlioz – Cercier (Haute-Savoie, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 8 ha.

Installations :

- ↳ Bâtiments techniques plus conséquents pour accueillir :
 - ↳ Les systèmes de radiofréquence*
 - ↳ Les systèmes de cryogénie
 - ↳ Les systèmes de ventilation du tunnel
 - ↳ Le stockage d'hélium liquide, gazeux et d'azote
 - ↳ Les systèmes électriques et la sous-station électrique
- ↳ 1 puits de 12 mètres de diamètre pour les besoins d'accès et de services à l'accélérateur
- ↳ 1 caverne de service



Enjeux environnementaux :

- ↳ Foncier classé en espace agricole (A) et naturel (forêt) : l'artificialisation de la forêt devrait être réduite au maximum
- ↳ Un gazoduc est situé à proximité du site : si le projet se poursuit, une zone tampon serait respectée pour éviter une accumulation des risques
- ↳ Si le projet se poursuit, la phase de conception ultérieure (fin 2026), permettrait de définir l'emplacement spécifique des bâtiments et des accès routiers afin d'optimiser et de compacter au mieux les installations

Enjeux patrimoniaux :

- ↳ Environnement rural, qui compte une forêt. Quelques hameaux existent dans les environs, mais, en raison de la forêt et de la topographie, il n'y aurait pas de vue directe sur le site.

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↳ L'accès routier à la parcelle serait direct.

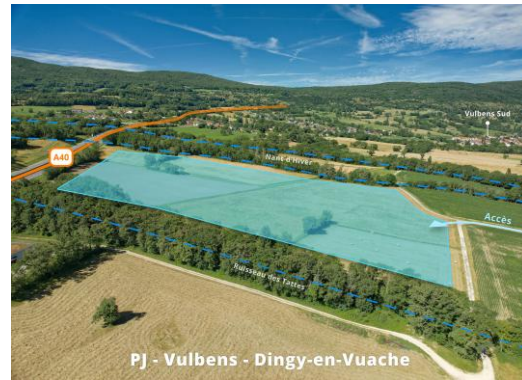


Le site scientifique PJ – Vulbens et Dingy-en-Vuache (Haute-Savoie, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 5 ha.

Installations :

- ↳ Un centre des visiteurs
- ↳ Bâtiments techniques pour accueillir :
 - ↳ Les systèmes de ventilation
 - ↳ Les systèmes de cryogénie
 - ↳ Les systèmes de refroidissement
 - ↳ Le stockage d'hélium liquide, gazeux et d'azote
 - ↳ Les systèmes électriques et la sous-station électrique
 - ↳ Hall d'assemblage du détecteur
- ↳ 1 puits de 15 mètres de diamètre pour l'accès et l'installation des composants du détecteur dans la caverne scientifique
- ↳ 1 puits de 18 mètres de diamètre pour les besoins de service et la descente des plus grands composants de l'accélérateur
- ↳ 1 caverne scientifique et 1 caverne de service



Enjeux environnementaux :

- ↳ Foncier classé en zone agricole (A) et présence d'un corridor écologique, qui serait à préserver dans les phases de conception ultérieures.

Enjeux patrimoniaux :

- ↳ Le site n'est pas visible de l'autoroute ni des communes
- ↳ Il est éloigné de tout hameau ou maison individuelle

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↳ Le site est accessible par le chemin rural revêtu existant « Chemin des Tattes » en direction du nord vers Vulbens. Ce chemin devrait être élargi et rénové.

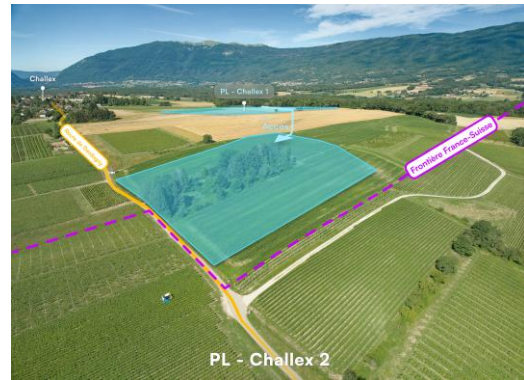


Le site technique PL – Challex (Ain, France)

Superficie estimée pour la phase d'exploitation du projet FCC : 4 ha.

Installations :

- ↳ Bâtiments techniques plus conséquents pour accueillir :
 - ↳ Les systèmes de radiofréquence*
 - ↳ Les systèmes de cryogénie
 - ↳ Les systèmes de ventilation du tunnel
 - ↳ Les systèmes de refroidissement de l'accélérateur
 - ↳ Le stockage d'Hélium liquide, gazeux et d'azote
 - ↳ Les systèmes électriques et la sous-station électrique
- ↳ 1 puits de 12 mètres de diamètres pour les besoins d'accès et de service
- ↳ 1 caverne technique



Enjeux environnementaux :

- ↳ Le foncier est classé en zone agricole protégée (Ap)
- ↳ Deux maisons sont présentes sur le site

Enjeux patrimoniaux :

- ↳ Environnement agricole et viticole, bénéficiant de vues sur le Jura, la vallée du Rhône et les Alpes. Ces vues ouvertes exigeraient une intégration paysagère soignée, tenant compte notamment de la visibilité du site depuis les hameaux voisins.

Alternative identifiée :

Le site se trouve au point nominal. Si, pour une raison quelconque, la mise en œuvre au point nominal se révélait irréalisable, un autre emplacement a été identifié à une distance de 800 m. Cet emplacement nécessiterait la création d'un puits d'accès à environ 150 m à l'extérieur de la ligne du collisionneur, et entraînerait donc des coûts sensiblement plus élevés.

En effet, le site se trouverait à environ 150 m des habitations, 5 à 10 m plus bas que la commune, sur une faible pente d'environ 3 %. Il serait visible depuis certaines habitations. Le site affecterait partiellement la zone naturelle protégée, mais l'impact resterait limité car il s'agit actuellement d'un champ et le corridor écologique passe plus à l'est du site. Il serait nécessaire de réaliser une route d'accès vers la D89 (environ 400 m de longueur) ou vers la rue de la Craz (environ 300 m de longueur). Ce scénario a servi de base de dialogue avec la commune pour étudier une alternative à l'emplacement au point nominal.

Desserte d'accès pour ce site à l'étude (phase d'exploitation) :

- ↳ La création d'une route d'accès d'environ 1,3 km à la route départementale D89 serait nécessaire. Si le projet se poursuit, le tracé de cette route serait élaboré par une société spécialisée, en étroite collaboration avec la commune, dans le respect des contraintes environnementales existantes.



3.5 GÉNIE CIVIL ET CHANTIER : LES PISTES ÉTUDIÉES

3.5.1 Modalités générales

Les 8 futurs sites de surface seraient utilisés comme sites de chantier. Les chantiers de construction prendraient place de façon simultanée sur les 8 sites de surface ainsi que sur le site existant du CERN à Prévessin-Moëns pour l'injecteur. Les travaux seraient réalisés par des entreprises de construction qui auront été choisies via un processus d'appel d'offres, selon les règles d'achat et les conditions générales des appels d'offres du CERN.

3.5.2 La construction de puits et des cavernes

Deux méthodes de travail, déjà éprouvées par le CERN pour le LHC, pourraient être utilisées car elles permettraient de préserver les aquifères³⁷ :

- ↳ La congélation du sol, qui implique la formation d'un mur de sol gelé autour du périmètre du puits par transformation de l'eau interstitielle du sol en glace, est mise en œuvre à l'aide de techniques mécaniques sans rabattement ni contamination des aquifères. On congèle le sol en faisant circuler de la saumure ou de l'azote liquide (ou une combinaison des deux), à une température d'environ -50 °C dans un circuit fermé de tubes verticaux installés autour du périmètre du puits.
- ↳ La paroi moulée, qui consiste à construire un mur circulaire fermé en béton armé ancré dans la roche imperméable de la molasse. Cette paroi est composée de panneaux qui s'emboîtent les uns dans les autres pour former un anneau complet. Le puits peut ensuite être creusé en toute sécurité à l'intérieur de la paroi moulée.



ATLAS, Caverne en travaux, point 1 du LHC. Crédit : CERN

Une fois les strates de moraine (amas de débris rocheux) traversées en toute sécurité, la section restante du puits est construite dans les strates de molasse. En fonction de la taille du puits et de la dureté des couches géologiques rencontrées, des machines hydrauliques de cassage de roches ou, si besoin, des explosifs peuvent être utilisés pour casser la roche et l'excaver.

Les parois sont ensuite renforcées à l'aide de béton projeté et, éventuellement, de boulons d'ancrage. Une fois la roche excavée sur toute la profondeur du puits, une membrane d'étanchéité est installée contre la première paroi, et un revêtement final en béton armé est installé par glissement continu du coffrage du bas vers le haut.

3.5.3 L'utilisation de tunneliers

À ce stade, il est envisagé que le tunnel principal soit construit à l'aide de huit tunneliers, ces machines étant particulièrement adaptées à la roche de molasse. Sur la courte section de calcaire à excaver, il pourrait être nécessaire de procéder par la méthode traditionnelle du « forage et minage » (drill and blast). **Ce scénario de stratégie pour les tunneliers n'est pas arrêté à ce stade ; ce sujet fait encore l'objet d'études complémentaires dans le cadre du plan de gestion préliminaire en cours.**

Le scénario de référence de l'étude de faisabilité pour l'utilisation de tunneliers serait prévu pour les sites PA – Ferney-Voltaire, PD – Nangy, PG – Groisy –Charvonnex et PJ – Vulbens. La concentration du génie civil souterrain sur les quatre sites d'expérience permettrait de réduire l'impact des quatre sites techniques sur les riverains et l'environnement local (moins de poussière de bruit, de circulation routière, etc.).

Pour le passage sous le Léman, le CERN souhaiterait maintenir l'horizon du tunnel à l'intérieur de la roche molassique. Si cela n'est pas possible, d'autres techniques de creusement de tunnels seraient étudiées

³⁷ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p.13

pour traverser les sables/graviers/silts contenant de l'eau comme des tunneliers à équilibre de pression de terre ou des tunneliers à boue.

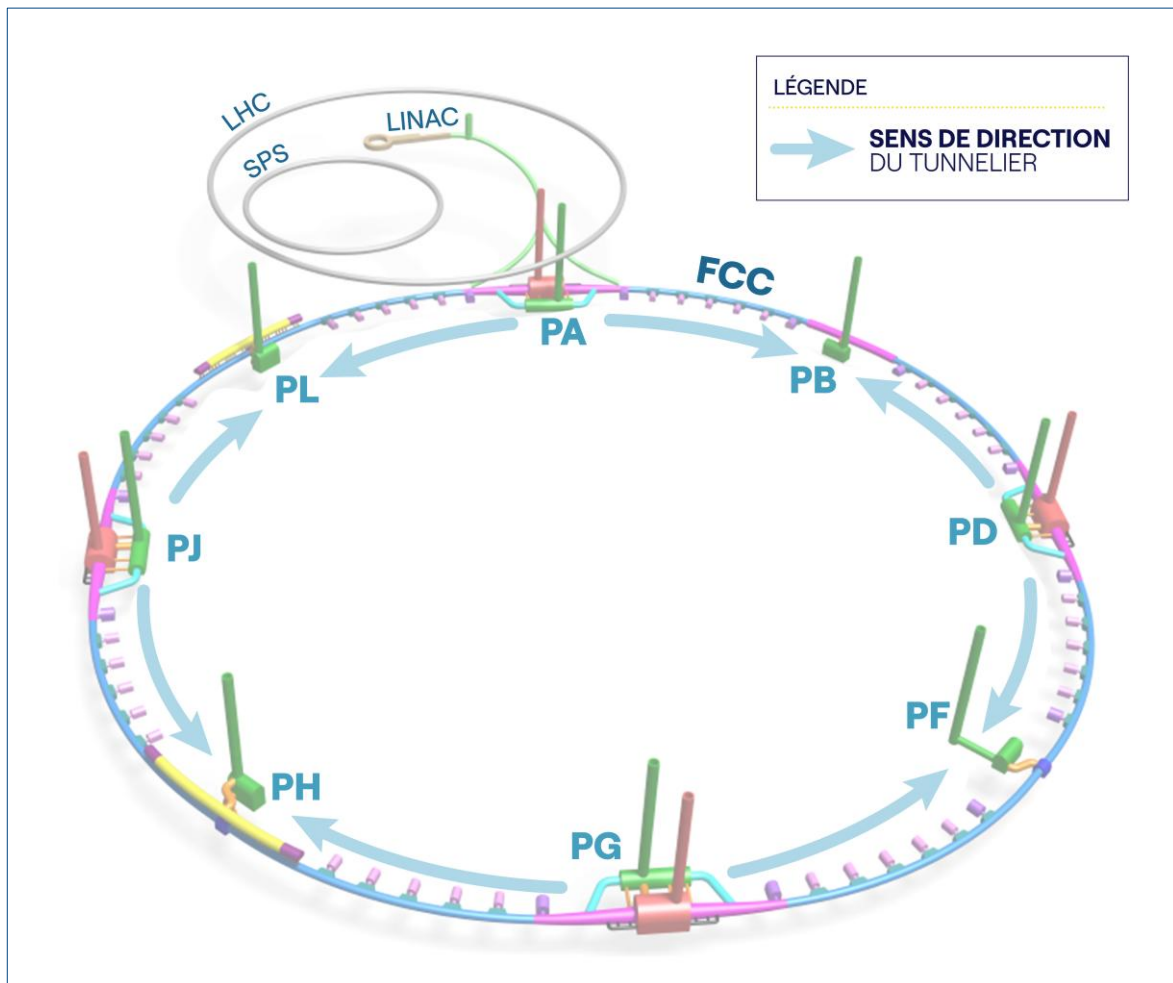
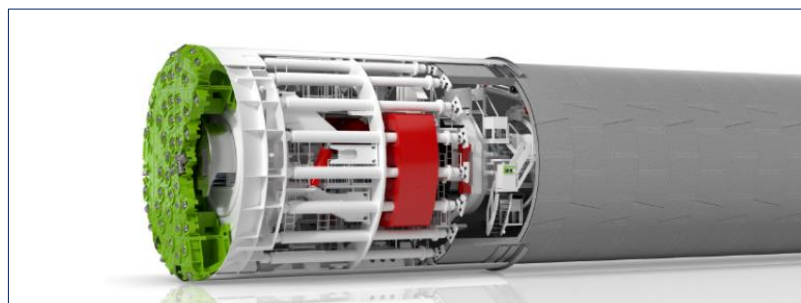


Schéma d'avancement des tunneliers. Crédit : CERN

La composition des sols souterrains susceptibles d'être rencontrés serait d'environ 95 % de molasse, 3 % de moraine et 2 % de calcaire.

En règle générale, la vitesse d'avancement du tunnelier est estimée à environ 16 m/jour dans la molasse, mais, afin de tenir compte des difficultés potentielles dans le calcaire, une hypothèse prudente de 9 m/jour a été retenue dans le calendrier de construction pour ces zones.



Exemple de tunnelier : en vert le front de taille et en gris la pose de voussoirs réalisées au fur et à mesure du creusement du tunnel.
Crédit : Herrenknecht AG

3.5.4 Les constructions sur les sites de surface

Les bâtiments et structures de surface associées à chacun des huit sites rempliraient une série de fonctions, et nécessiteraient des équipements et des méthodes de construction similaires. La construction de tous les bâtiments et des infrastructures de surface nécessiterait quatre activités principales, à savoir :

- > Des travaux de terrassement pour la construction des fondations et des réseaux enterrés tels que les égouts, les galeries techniques, les réseaux d'alimentation en eau ;
- > Des structures en béton pour les dalles de plancher et, dans le cas de certains bâtiments, les murs et les toitures ;
- > Des structures en acier pour les bâtiments à ossature métallique et pour les structures internes des bâtiments (planchers intermédiaires, rails de grue, passerelles par exemple). Pour certains bâtiments, il est prévu d'étudier le bois pour la réalisation des structures et des bardages ;
- > Des travaux de finition tels que le réaménagement paysager, les routes, les chemins piétonniers, les clôtures définitives par exemple.

Conformément aux réglementations française et suisse, la remise en état des sites de construction serait réalisée en accord avec ces réglementations. Elle concernerait les espaces qui ne seraient pas utilisés pendant la phase d'exploitation, mais qui auraient été occupés durant la phase de chantier. A ce stade, les conditions de remise en état ne sont pas précisément connues mais les sites pourraient être réaménagés avec un apport de terre végétale, des plantations d'espèces locales ou des mises en culture afin de stabiliser la terre.

Si le projet se poursuit, la phase de concertation continue servirait notamment à définir ces conditions de cohabitation des activités et limiter les nuisances. Pour faciliter la cohabitation pendant la phase de travaux, le CERN s'engage à limiter les nuisances directes pour les habitants et à trouver des solutions qui évitent ou réduisent les nuisances, qu'il s'agisse de nuisances sonores, lumineuses ou de poussière (camions recouverts, adaptation des horaires et jours de services, limitation du nombre de camions sur la route, ...). Un partage d'information et des temps dédiés d'échange seront mis en place pour accompagner l'ensemble des phases du projet, notamment celles liées au chantier.

3.6 LES CONSOMMATIONS PRÉVISIONNELLES DU PROJET EN ÉLECTRICITÉ

Le projet du Futur Collisionneur Circulaire consommerait de l'énergie en phases de construction et d'exploitation, avec des besoins et des points de raccordements propres à chacune des phases. A ce stade des études, il n'est possible de fournir que des données approximatives.

3.6.1 En phase de construction

Les besoins en énergie sont estimés entre 400 et 600 Gigawattheure* (GWh), principalement pour le fonctionnement des tunneliers. En effet, selon les données disponibles, les puissances électriques des tunneliers sont de 3,7 Méga-Volt-Ampère* (MVA) pour un site de construction utilisant un seul tunnelier et 7,4 MVA pour un site de construction avec deux tunneliers. Plusieurs points de raccordements seraient nécessaires, sur les futurs sites de surface, afin de faire fonctionner les tunneliers. Les besoins précis seraient déterminés dans une phase ultérieure d'études et dépendraient donc des choix techniques réalisés pour les tunneliers.

Les demandes de raccordement aux réseaux locaux seraient faites directement aux distributeurs nationaux compétents : *Enedis* et *Energies et services de Seyssel* pour la France et les *Services Industriels de Genève* (SIG) pour la Suisse. En l'état actuel, les 8 points de raccordement temporaires envisagés sont les suivants :

Site	Emplacement	Opérateur	Puissance
PA-site scientifique	Ferney-Voltaire, France	Enedis	7,0-13,8 MVA (= 400 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 20 MVA
PB-site technique	Presinge, Suisse	SIG	3,0-7,0 MVA (= 200 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 3 MVA
PD-site scientifique	Nangy, France	Enedis	7,0-13,8 MVA (= 400 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 20 MVA
PF-site technique	Eteaux, France	Enedis	3,0 MVA (= 100 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 3 MVA
PG-site scientifique	Charvonnex, France	Énergie et Services de Seyssel	13,8 MVA (= 400 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 20 MVA
PH-site technique	Cercier, France	Enedis	3,0 MVA (= 100 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 3 MVA
PJ-site scientifique	Vulbens, France	Enedis	13,8 MVA (= 400 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 20 MVA
PL-site technique	Challex, France	Enedis	3,0 MVA (= 200 A à 20 kV) Puissance de raccordement demandée : 3 MVA

Ces raccordements se distingueraient, en termes de démarches administratives et de solutions techniques, des trois autres raccordements RTE servant à l'opération du collisionneur et qui seraient connectés au réseau de transport d'électricité (chapitre 3.7 du présent dossier).

3.6.2 En phase d'exploitation

Le FCC-ee fonctionnerait selon un programme annuel structuré. Celui-ci inclurait une période dédiée à l'exploitation des faisceaux pour la recherche en physique. Il prévoirait également des phases d'essais, de mise en service des équipements, d'optimisation des performances de la machine, ainsi que des opérations régulières de maintenance. En fonction de ces différentes phases, la consommation d'électricité varierait d'une année à l'autre.

En régime d'exploitation normal, les besoins énergétiques du FCC-ee sont estimés entre 1,1 et 1,7 térawattheure (TWh*)³⁸ par an, avec une moyenne d'environ 1,3 TWh sur l'ensemble de la période d'exploitation (soit 0,22% de la consommation électrique en France en 2024³⁹). À titre de comparaison, la consommation actuelle du LHC, expériences comprises, est d'environ 0,7 TWh par an en période d'exploitation. Il est à noter que le LHC ne serait plus en fonctionnement lorsque le FCC-ee serait exploité.

Le FCC-ee fonctionnerait selon un programme annuel qui prévoirait une période limitée de fonctionnement des faisceaux pour la recherche en physique. Le programme anticiperait également des phases d'essai et de mise en fonctionnement de l'équipement, d'optimisation de la performance de la machine et d'entretien régulier. Selon le mode de fonctionnement, la consommation d'électricité varierait d'une année à l'autre.

Pour le FCC-hh (envisagé)

Si le FCC-hh était construit aujourd'hui, ses besoins en électricité seraient d'environ 2,4 TWh/an ; les 35 ans de recherche et développement pourraient faire baisser cette consommation, notamment via l'utilisation de technologies moins consommatrices.

Les fonctionnalités les plus énergivores seraient les suivantes :

- > Les systèmes d'accélération par cavités radiofréquences* supraconductrices ;
- > Les systèmes de conversion d'énergie électrique et l'alimentation des aimants ;
- > Les systèmes de refroidissement cryogénique.

3.6.3 L'approvisionnement en énergie

Le CERN s'approvisionnerait sur le réseau de transport d'électricité français, décarboné à hauteur de 95% en 2025⁴⁰. Si le projet se poursuit, comme cela est déjà mis en œuvre, le CERN étudierait également la possibilité d'étendre sa politique de contrats long-terme de fourniture d'énergies renouvelables, dans la limite de ce qui peut être fait d'un point de vue technico-économique.

Dans une phase ultérieure, l'autoconsommation de la chaleur produite par les installations pourrait également être étudiée pour limiter les besoins.

³⁸ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, « Besoins en électricité », p. 86

³⁹ Sur la base des données EDF, en incluant la consommation d'électricité en mode corrigé (des aléas climatiques et des effets calendaires) : 449,2 TWh en 2024. Source : <https://www.edf.fr/groupe-edf/comprendre/electricite-au-quotidien/usages/consommation-electricite-en-chiffres>

⁴⁰ Site RTE, Bilan électrique 2025, consultable ici : <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-electrique-2025-conditions-sont-reunies-per-mettre-france-accelerer-electrification>

Des pistes de réduction de la consommation en électricité

Des travaux de recherche et développement sont toujours en cours afin de réduire les besoins en énergie. En effet, la politique énergétique du CERN, qui vise à :

1. Réduire au minimum les besoins énergétiques des activités de l'organisation ;
2. Améliorer l'efficacité énergétique ;
3. Récupérer l'énergie résiduelle.

La réduction de la consommation d'électricité continuera à constituer une ligne directrice suivie dans les années à venir, ainsi que pour les futurs projets potentiels de l'Organisation. Si le projet se poursuit, des efforts de recherche et développement supplémentaires devraient être fournis par le CERN afin de réduire ses besoins en électricité.

3.7 LES RACCORDEMENTS AU RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ RTE

Le projet de Futur Collisionneur Circulaire présente des besoins électriques nécessitant plusieurs points de raccordement au réseau public de transport (RPT) français en haute et très haute tension. Le CERN a sollicité RTE en tant que gestionnaire du RPT et, à ce titre, maître d'ouvrage des infrastructures de raccordement au réseau électrique du projet de Futur Collisionneur Circulaire. RTE se doit d'assurer le raccordement et l'accès au RPT du projet de Futur Collisionneur Circulaire dans les conditions fixées, notamment, par le code de l'énergie français.

La demande d'étude de faisabilité formulée par le CERN, porte sur le raccordement d'une puissance de 220 MW localisée en 3 points distincts :

- ↳ PA : Ferney-Voltaire (Ain) ;
- ↳ PF : Eteaux (Haute-Savoie) ;
- ↳ PH : Cercier et Marlioz (Haute-Savoie).

A ce stade du projet, RTE a mené une étude de faisabilité visant à examiner les modalités de raccordement des trois points du projet du CERN. La connexion de ces trois sites au réseau nécessiterait la réalisation de plusieurs ouvrages électriques, présentés dans les sections suivantes du document.

L'étude de faisabilité demande à être confirmée au travers d'une demande de proposition technique et financière (PTF) qui permettrait d'arrêter la consistance précise des raccordements du projet de Futur Collisionneur Circulaire.

3.7.1 Une définition progressive de l'implantation des ouvrages de raccordement à construire

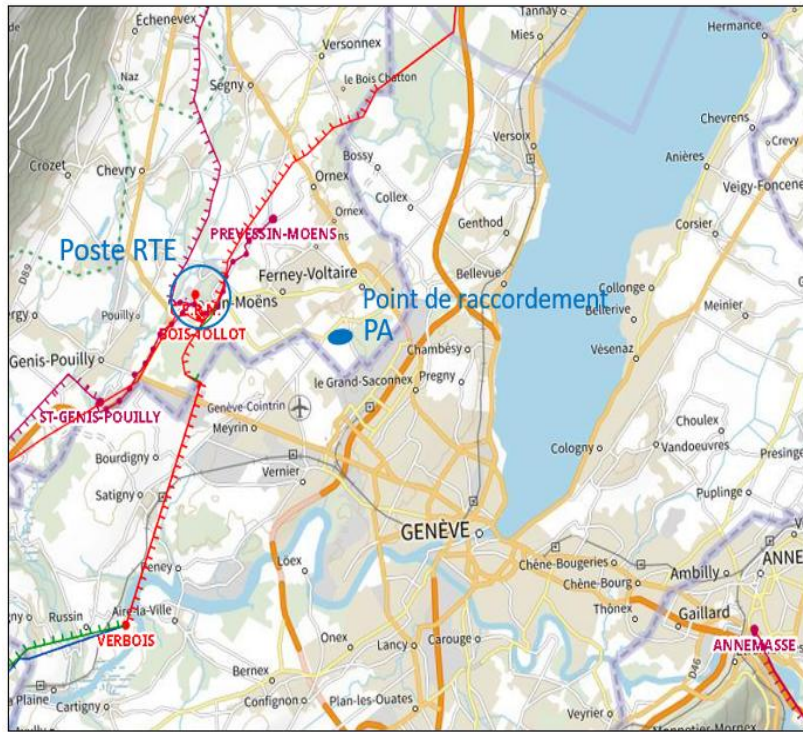
Au stade du débat public, ni la localisation précise des ouvrages à construire, ni leur définition détaillée ne sont arrêtées. Les caractéristiques des futurs ouvrages électriques seraient définies en plusieurs étapes :

1. L'identification par RTE d'une zone d'étude au stade du Dossier de Maître d'Ouvrage (voir ci-dessous) pour alimenter le débat public. Elle permet d'évaluer les enjeux en présence et d'identifier les solutions techniques envisageables ;
2. La délimitation d'une aire d'étude, dans le cadre de la concertation dite « Ferracci », qui désigne le territoire au sein duquel seront recherchées les possibilités de tracé et d'implantation des ouvrages au regard de leurs caractéristiques techniques, des enjeux environnementaux identifiés et de la configuration du territoire ;
3. La définition d'un site ou d'un fuseau de moindre impact : dans le cadre de la concertation dite « Ferracci », l'aire d'étude comme le site et le fuseau de moindre impact sont validés lors d'instances locales de concertation par le préfet. Les critères de choix des sites et fuseaux sont multiples : les études portent sur les aspects sociétaux, environnementaux, techniques et administratifs. En fonction de ces paramètres, plusieurs sites et fuseaux sont envisagés et présentés au public lors de la concertation préalable.
4. Le positionnement précis des ouvrages (emplacement pour un poste / tracé de détail pour une ligne), est défini dans le cadre des études ultérieures de détail au sein du site ou du fuseau de moindre impact validé précédemment.

Chaque étape serait accompagnée d'études, de concertations et de décisions.

3.7.2 Le raccordement du PA : Ferney-Voltaire (Ain)

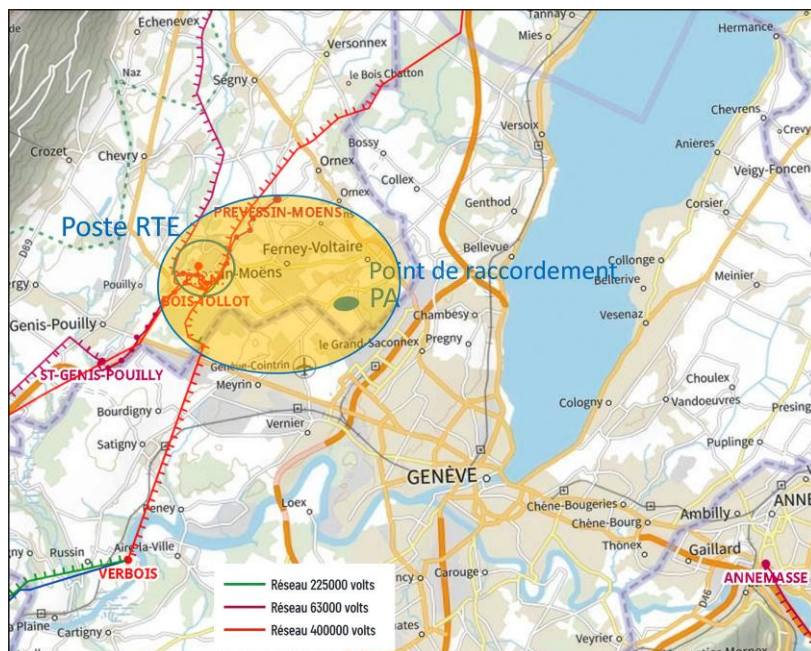
Sous réserve de la solution technique retenue, le point PA (Ferney-Voltaire) serait raccordé au poste électrique RTE de Bois-Tollot.



Carte de situation du point PA et du poste RTE à 400 000 volts de Bois-Tollot

Le raccordement du point PA nécessiterait la création d'une liaison aérienne ou souterraine à 400 000 volts d'environ 5 km depuis le poste électrique RTE de Bois-Tollot. L'extension du poste de Bois-Tollot serait nécessaire sur environ 1 ha afin de l'adapter et d'ajouter les nouveaux équipements nécessaires au raccordement (cellules lignes / équipements nécessaires au raccordement, ...).

La zone d'étude dans laquelle pourraient se situer l'aire d'étude, le fuseau puis le tracé de la liaison à 400 000 volts, est présentée sur la carte ci-dessous.



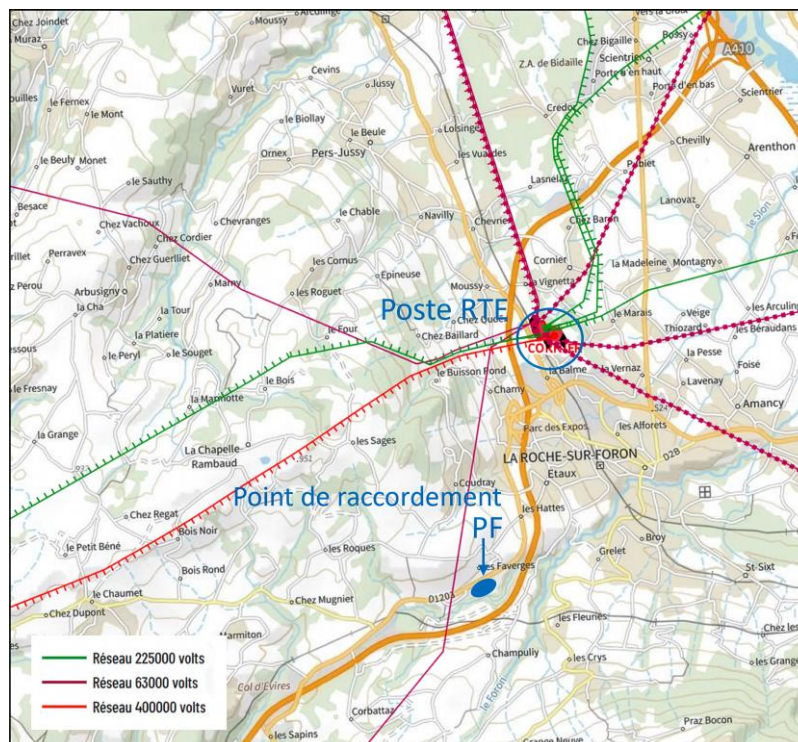
Carte de la zone d'étude – Point PA

Les limites de la zone d'étude s'appuient au nord sur le poste électrique de Prévessin-Moëns, au sud sur la D984F reliant St-Genis-Pouilly à Genève, à l'est sur la RD1005, le point PA, l'aéroport de Genève et à l'ouest sur le poste RTE de Bois-Tollot et l'axe électrique à 400 000 volts.

La zone d'étude est traversée par la frontière franco-suisse. Quelques espaces ouverts, agricoles, zones humides et secteurs naturels structurent le paysage. Le relief est doux (faible dénivelé) et l'urbanisation est très présente. Un couloir de lignes électriques aériennes s'inscrit à l'ouest de cette zone d'étude.

3.7.3 Le raccordement du PF : Éteaux (Haute-Savoie)

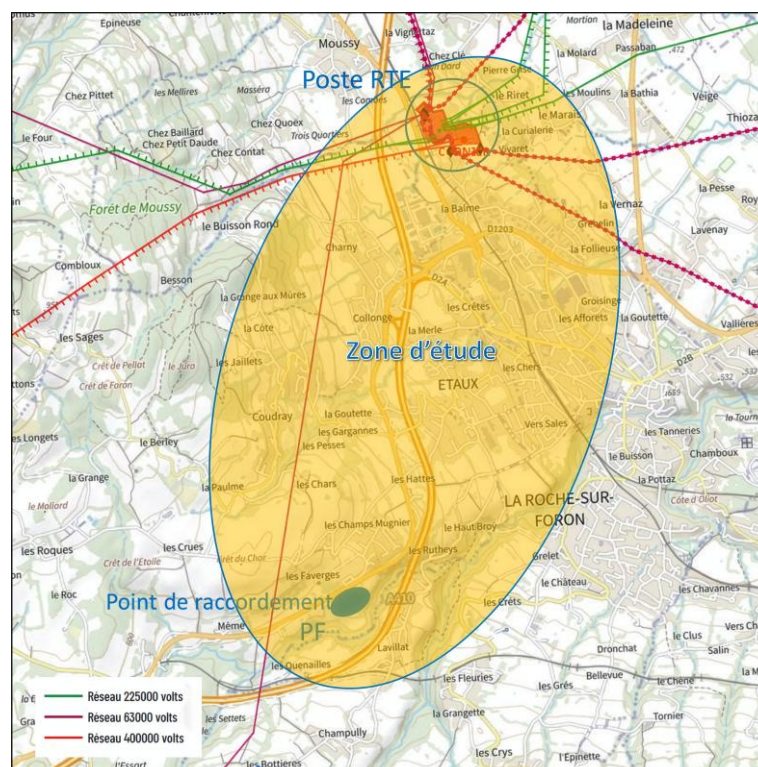
Sous réserve de la solution technique retenue, le point PF (Éteaux) serait raccordé au poste électrique RTE de Cornier.



Carte de situation du point PF et poste RTE à 225 000 volts de Cornier

Le raccordement du point PF nécessiterait la création d'une liaison aérienne ou souterraine à 225 000 volts d'environ 6 km depuis le poste électrique RTE de Cornier. Une nouvelle ligne 225 000 volts (disjoncteur / sectionneur / système de protection) serait ajoutée au poste de Cornier (sans générer de besoin d'extension).

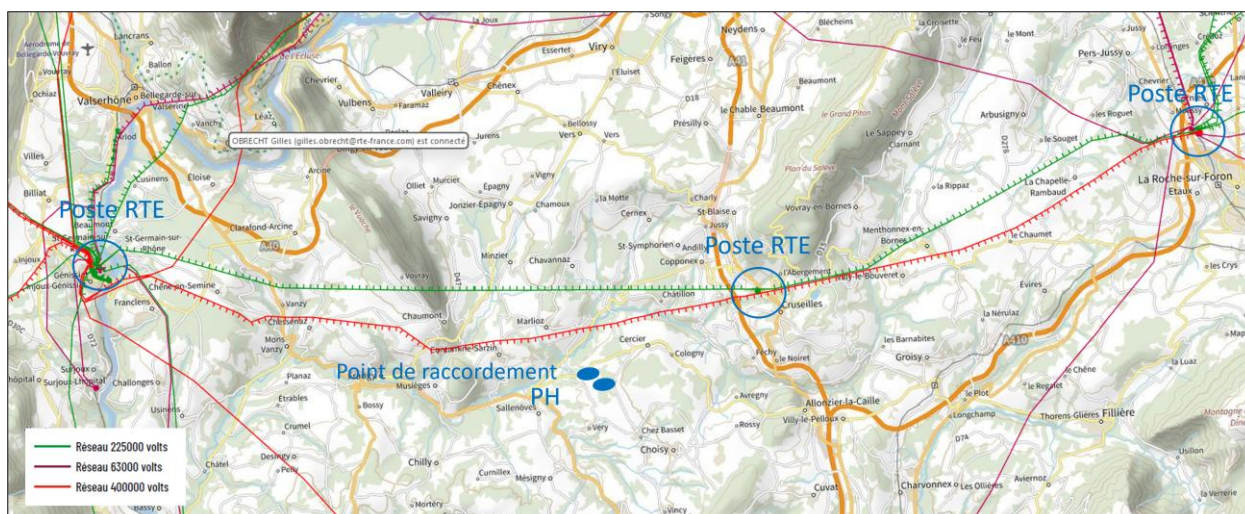
La zone d'étude dans laquelle pourraient se situer l'aire d'étude, le fuseau puis le tracé de la liaison électrique, est présentée sur la carte ci-dessous. L'autoroute A410 traverse la zone d'étude du nord au sud. Les deux points de raccordement de la future liaison électrique sont situés de part et d'autre de cet axe routier. Le territoire est également structuré par plusieurs autres infrastructures, notamment les RD1203, RD2, RD903, une canalisation de gaz de NaTran ainsi que les ouvrages de transport d'électricité exploités par RTE. Les sols sont majoritairement occupés par de l'habitat : plutôt dense à l'est de l'A410 et plus diffus à l'ouest. La zone d'étude est bordée à l'ouest par une ZNIEFF de type 2. Elle est par ailleurs traversée par plusieurs ruisseaux dont le ruisseau du Vuaz à proximité du point PF à raccorder, ainsi que par le Foron, situé un peu plus au sud-est.



Carte de la zone d'étude – Point PF

3.7.4 Le raccordement du PH : Cercier et Marlioz (Haute-Savoie)

Sous réserve de la solution technique retenue, deux localisations possibles sont données par le CERN pour le raccordement du point PH.



Carte de situation des deux localisations possibles du point PH et du réseau RTE

Le point H est situé à proximité de 2 lignes aériennes à 400 000 volts et 2 autres à 225 000 volts. Ces lignes relient les postes électriques RTE de Génissiat à l'ouest et Cornier à l'est. Un poste à Cruseilles est déjà connecté en 225 000 volts.

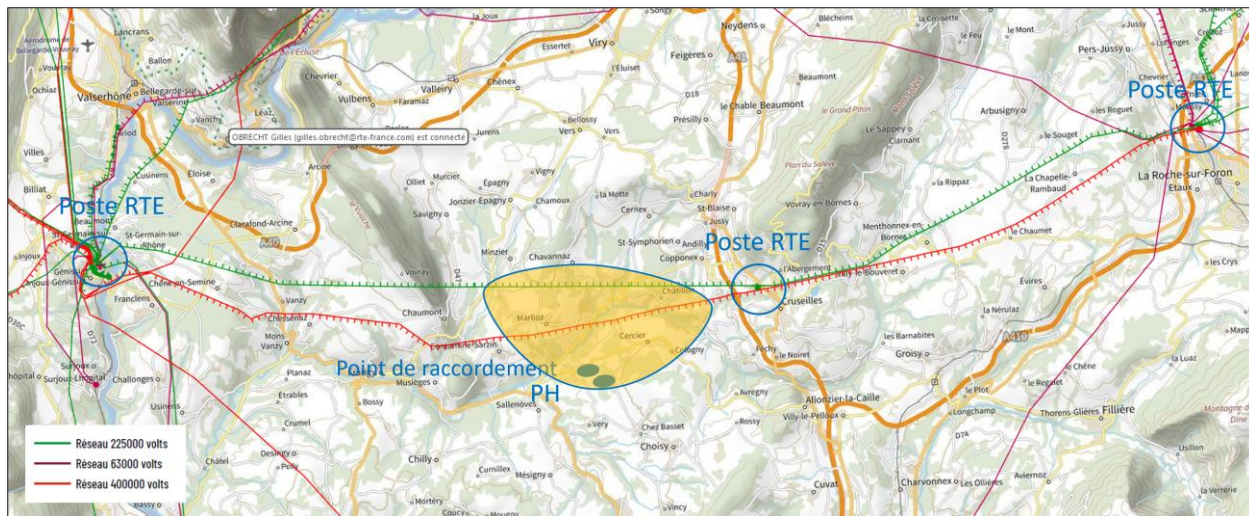
Le point PH (quel que soit sa localisation définie ci-dessus) serait raccordé aux lignes à 400 000 volts ou à 225 000 volts. Au stade actuel, les études du CERN ne sont pas suffisamment avancées pour conclure sur le besoin d'un raccordement simple avec une seule liaison ou un raccordement double avec 2 liaisons.

- ↳ Cas du raccordement en 400 000 volts : Un nouveau poste RTE serait construit sous l'axe électrique existant à 400 000 volts et raccordé à l'une des deux lignes existantes. En aval de ce nouveau poste, une ou deux lignes aériennes ou souterraines à 400 000 volts seraient construites sur 2 à 3 kilomètres

environ pour rejoindre le point PH. Le nouveau poste RTE à 400 000 volts serait constitué de 1 jeu de barres, 2 cellules lignes aériennes (disjoncteur / sectionneur / système de protection) vers « Cornier » et « Génissiat », 1 ou 2 cellules lignes aériennes ou souterraines vers le poste client (point PH), 1 self pour la gestion de la tension, et probablement un filtre à harmoniques.

- ↳ Cas du raccordement en 225 000 volts : Un nouveau poste RTE serait construit sous l'axe électrique existant à 225 000 volts et raccordé aux deux lignes existantes. En aval de ce nouveau poste, une ou deux lignes aériennes ou souterraines à 225 000 volts seraient construites sur 3 à 5 kilomètres environ pour rejoindre le point PH. Le nouveau poste RTE à 225 000 volts serait constitué de 2 jeux de barres, 1 couplage, 4 cellules lignes aériennes (disjoncteur / sectionneur / système de protection) vers « Cornier », « Cruseilles », « Génissiat 1 » et « Génissiat 2 », 1 ou 2 cellules lignes aériennes ou souterraines vers le poste client (point PH).

La zone d'étude dans laquelle pourraient se situer l'aire d'étude, le site du nouveau poste, les fuseaux puis le tracé des nouvelles liaisons à 400 000 ou 225 000 volts, est présentée sur la carte ci-dessous.



Carte de la zone d'étude - Point PH

Les limites de la zone d'étude s'appuient au nord sur la ligne aérienne existante à 225 000 volts et, au sud, sur le point PH. A l'est, elle rejoint l'A40 et à l'ouest, elle s'étire jusqu'à la limite de communes entre Minzier, Contamine-Sarzin et Marlioz.

La zone d'étude est traversée par une canalisation gaz de NaTran. Elle ne fait apparaître aucun zonage environnemental réglementé (Natura 2000, ZNIEFF, réserves, sites classés...) mais plusieurs zones humides y ont été recensées. Le territoire présente un relief globalement peu marqué, caractérisé par un paysage de plateau légèrement ondulé et des variations altimétriques modestes. Ce modelé doux explique la présence de plusieurs zones humides en points bas.

3.8 LES BESOINS EN EAU

3.8.1 En phase de construction

Certaines étapes de la construction nécessiteraient de l'eau. Les techniques modernes de génie civil, notamment les tunneliers (TBM), fonctionnent en circuit fermé pour leur refroidissement et ne nécessitent qu'un appoint limité pour compenser les pertes opérationnelles. Certains usages consomment toutefois de l'eau de manière plus significative, en particulier la suppression des poussières et la production de béton. La localisation des centrales à béton, sur les sites de chantier ou à distance, n'est pas encore déterminée à ce stade de l'étude, ce qui influe directement sur l'estimation des besoins en eau sur chaque site.

Les besoins seraient estimés dans une phase ultérieure, en fonction de la technologie retenue pour les tunneliers. Une première estimation, réalisée par le bureau d'études ILF, évalue les besoins en eau d'un site équipé de deux tunneliers à environ 10 000 m³ par mois, production de béton incluse. Cette donnée, établie il y a plusieurs années, est en cours de consolidation et sera intégrée aux études ultérieures.

3.8.2 En phase d'exploitation

A ce stade des études, les besoins en eau sont estimés à 1,9 million de m³/an en moyenne pendant la phase d'exploitation, équivalents à ceux du LHC. L'eau serait principalement utilisée pour le refroidissement des installations.

A titre de comparaison, les besoins en eau actuels du CERN s'élèvent à environ 3 millions de m³/an. La consommation d'eau du projet de FCC ne s'ajouterait pas intégralement à la consommation actuelle du CERN. À ce stade, l'évaluation de la consommation globale resterait évolutive, car elle dépendrait encore des choix d'exploitation, de l'avancement des études techniques et de la définition du complexe d'injection.

3.9 LE CALENDRIER PRÉVISIONNEL

Le calendrier provisoire du projet de FCC, à titre indicatif :

- ↳ 2025 Achèvement de l'étude de faisabilité du FCC
- ↳ 2026 – 2028 Conception du plan de gestion préliminaire des matériaux d'excavation pour une durée de deux ans
- ↳ Mai 2026 : Mise à jour de la Stratégie européenne pour la physique des particules
- ↳ 2027 : Lancement de l'évaluation environnementale et définition préliminaire des orientations architecturales et paysagères des sites de surfaces
- ↳ 2028 au plus tôt : Décision du Conseil du CERN, c'est-à-dire des États membres (dont la France et la Suisse) de poursuivre ou non le projet

Si le projet se poursuit :

- ↳ A partir de la décision : Lancement des demandes d'autorisations réglementaires en France et en Suisse
- ↳ Décennie 2030 : Début de la construction si le projet est poursuivi (en fonction des autorisations administratives délivrées en France et en Suisse)
- ↳ Fin de la décennie 2040 : Le premier accélérateur entrerait en service.
- ↳ (Envisagé) Décennie 2070 : Un deuxième accélérateur pourrait entrer en service.

Sous réserve de l'obtention des autorisations, la phase de construction s'étendrait sur 9 ans, de 2032 à 2041, et se poursuivrait par une phase d'installation de 8 ans, de 2038 à 2046.

Calendrier prévisionnel du génie civil et des travaux

	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Construction des routes d'accès	■									
Préparation des sites		■								
Excavation des puits et des tunnels d'accès		■								
Excavation des cavernes				■						
Revêtements en béton des ouvrages souterrains						■				
Bâtiments de surface						■				
Aménagements paysagers et travaux de finition									■	
Installation des infrastructures techniques									→	

Pour illustrer l'importance du temps dans le domaine de la recherche, on peut rappeler que la proposition scientifique du LHC* a été présentée en 1984 ; il a fallu 10 ans pour que le projet soit approuvé et 25 ans pour que les aimants et l'accélérateur soient développés et installés. Finalement, le LHC* a démarré en 2008.



4. LES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET SUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

4.1 DES TERRITOIRES MARQUÉS PAR DES ENJEUX COMMUNS ET TRANSFRONTALIERS

Les territoires du projet FCC présentent des problématiques communes liées à l'existence d'un bassin de vie bien plus large que les frontières administratives (communes, départements, pays). Plusieurs instances de coordination existent afin de répondre à ces enjeux transfrontaliers. Deux instances principales regroupent les entités administratives traversées par le projet FCC :

- > Le **Grand Genève** pour le Canton de Genève, le Pays de Gex Agglo, le Pays Rochois et les communautés de communes d'Arve et Salève, et du Genevois ;
- > Le **Pôle métropolitain du Genevois français** qui rassemble le Pays de Gex Agglo, le Pays Rochois, la Communauté de communes d'Arve et Salève, et la Communauté de communes du Genevois.

Il convient de relever que la Communauté de communes Usse et Rhône ainsi que la Communauté d'agglomération du Grand Annecy ne font pas partie de ces instances de coordination.

Le Grand Genève

- ↳ Le Grand Genève est à la fois un territoire, un bassin de vie et une instance juridique organisée en Groupement local de coopération transfrontalière (GLCT) regroupant au total 1 046 000 habitants. Cette agglomération transfrontalière englobe les 117 communes du Pôle métropolitain du Genevois français, les communes du canton de Genève ainsi que celles du district de Nyon.

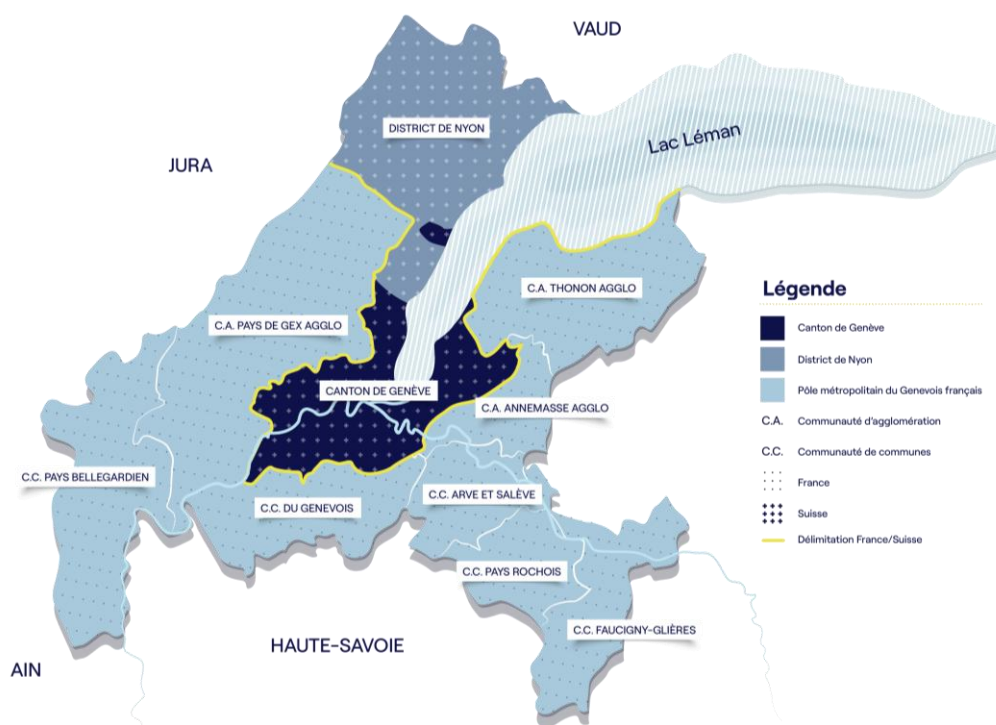
Le Pôle métropolitain du Genevois français

- ↳ Le Pôle métropolitain du Genevois français regroupe 8 intercommunalités membres, 117 communes situées sur les départements de l'Ain et de la Haute-Savoie. Encadré par le Jura au Nord, et les Alpes au Sud, il est situé aux portes de Genève. En 2023, la population totale s'élevait à 431 000 habitants⁴¹.

⁴¹ Bilan de mi-mandat du Genevois français, p. 1: <https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/bilan-mi-mandat-final-WEB.pdf>

Les enjeux communs identifiés sont les suivants :

- ↳ **Une forte attractivité des territoires**, avec plus de 11 600 nouveaux habitants accueillis par le Grand Genève par an entre 2015 et 2021⁴² et 6 000 habitants supplémentaires par an pour le Genevois français, l'un des rythmes de croissance parmi les plus importants d'Europe⁴³.
- ↳ **Une volonté de transformer les mobilités**. A titre d'illustration, plus de 650 000 passages de douane en voiture sont réalisés chaque jour, ce qui représente des enjeux en termes de trafic automobile et de pollution⁴⁴. Les deux instances visent ainsi le développement des modes doux et de projets de transports publics^{45/46}.
- ↳ **La maîtrise du développement urbain et la protection de l'environnement**^{47/48}, pour préserver la biodiversité et les terres agricoles, tout en permettant aux habitants de se loger et d'accéder à des services de proximité.
- ↳ **Le rééquilibrage des territoires**, avec une meilleure répartition des emplois et des services, notamment à travers le développement de pôles de proximité^{49/50}.



⁴² Site du Grand Genève, page d'accueil : <https://www.grand-geneve.org/>

⁴³ Site internet du Genevois français, Présentation : <https://www.genevoisfrancais.org/presentation/>

⁴⁴ Feuille de route 2024 – 2027 pour les mobilités transfrontalières, 2 juillet 2024, Assemblée GLCT Grand Genève : https://www.grand-geneve.org/wp-content/uploads/Feuille-route-mobilites-transfrontalieres_2024-2027_02072024.pdf

⁴⁵ Feuille de route mandat 2020-2026, Genevois Français, p. 5 « Transformer les mobilités » : https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/CS2021_09.2-Annexe-FeuilledeRoute.pdf

⁴⁶ Synthèse du plan d'agglomération n°4 (2021), p. 20 : <https://www.grand-geneve.org/wp-content/uploads/synthese-pa4-grandgeneve.pdf>

⁴⁷ Feuille de route mandat 2020-2026, Genevois Français, p. 2 « Maîtriser, organiser et choisir notre développement pour aménager durablement » et p. 3 « Préserver et valoriser les ressources du territoire » : https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/CS2021_09.2-Annexe-FeuilledeRoute.pdf

⁴⁸ Synthèse, Vision territoriale transfrontalière à l'horizon 2050, Grand Genève, p. 13 : <https://www.grand-geneve.org/vision-territoriale-transfrontaliere/>

⁴⁹ Ibidem

⁵⁰ Feuille de route mandat 2020-2026, Genevois Français, p. 6 « Favoriser les transitions économiques avec les acteurs » : https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/CS2021_09.2-Annexe-FeuilledeRoute.pdf

Afin d'identifier les enjeux d'implantation du FCC, un dialogue territorial a été engagé dès 2022 avec les pouvoirs publics locaux ayant des liens historiques avec le CERN et avec le département de la Haute-Savoie. L'objectif est de mieux cerner les problématiques communes et les spécificités propres à chaque territoire. À ce jour, 45 entités administratives suisses et françaises ont été rencontrées pour échanger sur le projet, leurs priorités et les impacts potentiels.

Le tableau suivant récapitule les données et enjeux propres à chaque territoire, à partir de leurs propres documents de planification et d'aménagement des territoires. Pour le CERN, cette échelle d'analyse semble pertinente puisqu'elle oriente et planifie l'aménagement du territoire à court, moyen et à long terme.

Les enjeux propres à chaque territoire du projet FCC			
Collectivité	Population	Document de planification	Objectifs du document de planification
Canton de Genève (Suisse)	530 246 habitants ⁵¹ (2024) 2014-2024 : +0,9% de croissance démographique annuelle ⁵²	Plan directeur cantonal 2050 ⁵³ (élaboration de 2025 à 2028)	4 ambitions : 1. <u>Contribuer à la transition écologique et à l'entretien des ressources naturelles</u> , comme l'eau, le sol ou l'air ; 2. <u>Préparer à accueillir la croissance démographique</u> , au sein de la zone à bâtir existante, dans un contexte de forte attractivité économique ; 3. <u>Prendre soin des richesses du territoire</u> (le paysage, les cours d'eau, les forêts, le patrimoine bâti, etc.) et favoriser le vivre-ensemble ; 4. <u>Contribuer à améliorer les capacités de mise en œuvre</u> , c'est-à-dire faire en sorte de concrétiser les projets qu'il porte.
Pays de Gex Agglomération (Ain, France)	109 288 habitants ⁵⁴ (2026) 2016 – 2022 : +2% ⁵⁵ de croissance démographique annuelle	SCoT du Pays de Gex ⁵⁶ (approuvé le 23 décembre 2019)	3 objectifs du Document d'Orientations et d'Objectifs : 1. <u>Aménager des espaces de vie</u> accessibles à tous, équipés et connectés ; 2. <u>Promouvoir le Pays de Gex</u> au sein de la métropole genevoise ; 3. <u>Retrouver l'authenticité de l'identité genevoise</u> . A noter : de 2024 à 2029, un SCoT du Genevois français est en cours d'élaboration.
Communauté de communes du Genevois (Haute-)	50 720 habitants ⁵⁷ (2026)	SCoT du Genevois ⁵⁹ (approuvé le 16 décembre	5 objectifs : 1. <u>Un territoire durable</u> : structurer le territoire, consommation foncière raisonnée et

⁵¹ Canton de Genève, informations statistiques, mars 2025 : https://statistique.ge.ch/tel/publications/2025/informations_statistiques/autres_themes/is_population_02_2025.pdf

⁵² Canton de Genève, Statistique population : https://statistique.ge.ch/infographies/01/01_01/Info_Population.pdf

⁵³ Plan directeur cantonal 2050 : <https://www.ge.ch/dossier/amenager-territoire/planification-cantonale-regionale/plan-directeur-cantonal-2050>

⁵⁴ Site BANATIC, Données du Pays de Gex : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/240100750-ca-du-pays-de-gex?onglet=intercommunalite&siren=&nom=pays+de+gex&departement=&page=1>

⁵⁵ Fiche portrait du Pays de Gex agglomération : https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/Fiche-portrait-PGA_2025.pdf

⁵⁶ Site Pays de Gex Agglo, le SCoT : <https://www.paysdegexagglo.fr/9294-le-schema-de-coherence-territoriale-scot.htm>

⁵⁷ Site BANATIC, Données du Genevois : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/247400690-cc-du-genevois?onglet=intercommunalite&siren=&nom=genevois&departement=&page=1>

⁵⁹ Site de la CCG, SCoT : <https://www.cc-genevois.fr/missions/documents-cadres/schema-de-coherence-territoriale-scot>

Savoie, France)

2015 – 2021 : +1,9%⁵⁸
de croissance démographique annuelle

2013)

définir une stratégie foncière, conditionner l'urbanisation à la desserte par les transports en commun ;

2. Des richesses préservées : préserver la biodiversité, les milieux naturels, garantir le maintien de l'agriculture et maîtriser la gestion des ressources (eaux, énergies, risques naturels, qualité de l'air) ;

3. Un territoire alliant ville et nature : révéler et gérer le paysage de grande nature, réinventer l'alliance campagnes et espace urbain, faire entrer la nature en ville, préserver la diversité des typologies urbaines ;

4. La CCG, entrée Sud de l'agglomération : affirmer le positionnement de la CCG au sein du Grand Genève, renforcer la lisibilité économique du territoire, développement du tourisme d'affaires et de proximité, pourvoir le territoire d'une offre numérique efficiente ;

5. La CCG, une offre de qualité et de proximité pour ses habitants, en termes de logement, transports et services de proximité.

A noter : de 2024 à 2029, un SCoT du Genevois français est en cours d'élaboration.

Communauté de communes Arve et Salève (Haute-Savoie, France)

21 541 habitants⁶⁰
(2026)

2016 – 2022 : +0,6%⁶¹
de croissance démographique annuelle

SCoT Cœur du Faucigny⁶² (approuvé le 13 février 2026)

3 objectifs du Document d'Orientations et d'Objectifs :

1. Optimiser l'accueil et le développement de l'activité économique, dans toutes ses formes ;

2. Réorienter l'offre d'accueil du Faucigny dans un contexte de transitions climatique, énergétique et foncière ;

3. Valoriser notre environnement, nos paysages et nos ressources en maîtrisant les impacts du développement.

Communauté de communes du Pays Rochois (Haute-Savoie, France)

30 703 habitants
(2026)⁶³

2016 – 2022 : +1%⁶⁴
de croissance démographique annuelle

SCoT du Pays rochois⁶⁵ (approuvé le 11 février 2014)

3 objectifs du Document d'Orientations et d'Objectifs :

1. Une structuration et un développement équilibré : confortement de l'armature urbaine, structuration des espaces urbains et renforcement du lien entre développement urbain et mobilités ;

2. Le développement économique : définition et mise en œuvre d'une stratégie de développement économique ;

3. La gestion durable : définition d'une stratégie de développement durable et garantir la sécurité des personnes et des biens.

⁵⁸ Portrait de la CCG : https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/Portrait_territoire_Genevois_2024.pdf

⁶⁰ Site BANATIC, Données de la CC Arve et Salève : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/247400583-cc-arve-et-saleve?onglet=intercommunalite&siren=&nom=arve+et+sal%C3%A8ve&departement=&page=1>

⁶¹ Portrait de territoire, CC Arve et Salève : https://www.genevoisfrancais.org/wp-content/uploads/Fiche-portrait-Arve-et-Saleve_2025.pdf

⁶² Site du SCoT Cœur du Faucigny : <https://www.coeurdufaucigny.com/>

⁶³ Site BANATIC, Données du Pays rochois : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/247400724-cc-du-pays-rochois?onglet=intercommunalite&siren=&nom=pays+rochois&departement=&page=1>

⁶⁴ Ibidem

⁶⁵ <https://www.ccpaysrochois.fr/mon-territoire/les-documents-cadre/scot/>

<p>Communauté de communes Usse et Rhône (Haute-Savoie, France)</p>	<p>22 425 habitants⁶⁶ (2026) 2016 – 2022 : +0,9%⁶⁷ de croissance démographique annuelle</p>	<p>SCoT Usse et Rhône⁶⁸ (approuvé le 11 septembre 2018)</p>	<p>3 objectifs du Document d’Orientations et d’Objectifs :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Assurer un développement soutenable de la vie locale ; 2. Concevoir une organisation cohérente de l’espace et des mobilités, au service des populations et de l’environnement ; 3. Préserver et valoriser le cadre de vie, pour les générations actuelles et futures.
<p>Communauté d’agglomération du Grand Annecy (Haute-Savoie, France)</p>	<p>218 833 habitants⁶⁹ (2026) 2012 – 2017 : +1,7%⁷⁰ de croissance annuelle démographique</p>	<p>SCoT du Bassin annécien⁷¹ (approuvé le 26 février 2014, révisé le 9 juillet 2025)</p>	<p>7 objectifs du Document d’Orientations et d’Objectifs :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Un territoire de qualité : préserver et valoriser les paysages, les milieux naturels et les terres agricoles ; limiter la consommation d’espace ; un projet architectural et urbanistique de qualité. 2. Un territoire d’accueil : renforcer le positionnement de la centralité annécienne ; maintenir le dynamisme économique ; encourager la mise en place de stratégies foncières ; dynamiser et renforcer l’économie territoriale. 3. Un territoire d’application de la loi littoral : protéger les espaces sensibles du littoral et les espaces agricoles à enjeu fort ; maîtriser et développer stratégiquement l’urbanisation des communes littorales. 4. Un territoire au fonctionnement fluide, via un système de transports performant et attractif, l’usage des modes doux et la coordination entre projets routiers et de transports. 5. Un territoire des proximités : des logements pour tous ; organiser un territoire des proximités. 6. Un territoire aux ressources maîtrisées, pour l’eau, l’énergie, la qualité de l’air, les déchets, les risques, la qualité des sols ainsi que les nuisances sonores et olfactives. 7. Un Document d’Aménagement Commercial : intégrer le développement commercial au service des centralités urbaines et des zones d’aménagement commercial.
<p>Communauté de communes du Pays de Cruseilles (Haute-Savoie, France)</p>	<p>18 315 habitants⁷² (2026) 2016 – 2022 : +2,5% de croissance démographique annuelle</p>		

⁶⁶ Site BANATIC, Usse et Rhône : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/200070852-cc-usses-et-rhone?onglet=intercommunalite&siren=&nom=usses+et+rh%C3%B4ne&departement=&page=1>

⁶⁷ Données de territoire, INSEE : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/201101?geo=EPCI-200070852>

⁶⁸ Site de la CC Usse et Rhône : <https://www.usses-et-rhone.fr/23111-le-scot-usses-et-rhone-document-approuve.htm>

⁶⁹ Site BANATIC, Grand Annecy : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/200066793-ca-du-grand-annecy?onglet=intercommunalite&siren=&nom=grand+annecy&departement=&page=1>

⁷⁰ Diagnostic ESS, Grand Annecy Agglomération : https://www.grandannecy.fr/fileadmin/mediatheque/fichiers/Entreprendre/ESS/Diag_ESS_Gd_Annecy_VF.pdf

⁷¹ Site du SCoT du Bassin annécien : <https://www.scot-bassin-annecien.fr/telecharger-le-scot/>

⁷² Base nationale sur l’intercommunalité, BANATIC : <https://www.banatic.interieur.gouv.fr/intercommunalite/24740012-cc-du-pays-de-cruseilles>

4.2 LES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DU PROJET

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, de premières études socio-économiques autour du FCC ont été réalisées ; elles s'inscrivent elles aussi dans une analyse exploratoire, prenant comme référence des données estimatives à ce stade du projet. Le CERN a ainsi fait le choix de retenir des scénarios conservateurs comme référentiel pour ces premières études socio-économiques. Le caractère exploratoire et itératif de ces études est fondamental.

4.2.1 Les impacts en termes d'emplois

Sur les 30 années de construction et d'exploitation du FCC-ee, l'analyse socio-économique⁷³ a simulé une augmentation de la demande, équivalente aux dépenses de construction et d'exploitation de l'accélérateur, avec des effets sur les chaînes d'approvisionnement mondiales.

Les effets d'entraînement économique des 21 milliards de francs suisses (soit environ 22,6 milliards d'euros) dépensés pour la construction et l'exploitation créeraient une valeur ajoutée au niveau mondial estimée à 50 milliards de francs suisses (soit environ 53,9 milliards d'euros) et pratiquement 800 000 années-personnes d'emploi⁷⁴, soit environ 27 000 emplois/an en moyenne⁷⁵ (les dépenses de consommation du personnel vivant sur place et les visiteurs) :

- > Les 800 000 personnes-années seraient réparties le long de chaînes de valeur globales (Europe, Amérique du Nord, Asie), y compris dans des pays non-membres tels que les États-Unis ou la Chine, selon les spécialisations sectorielles et la provenance des fournisseurs⁷⁶. Cela ne correspond pas à 800 000 personnes employées en même temps. Il s'agit en réalité d'un **volume total de travail cumulé dans le temps**. 1 année-personne = 1 personne travaillant à temps plein pendant 1 an. Donc 800 000 personnes-années = 800 000 années de travail au total.
- > **À un moment donné, le projet mobiliserait, de façon directe ou indirecte, environ 26 000 emplois** : outre 6 000 emplois directement liés au projet dans les domaines de la science, de l'ingénierie, de l'administration et de la gestion sur les sites du FCC, plus de 20 000 emplois seraient nécessaires pour fournir les biens et services nécessaires à la construction et à l'exploitation du FCC, ainsi que pour les biens et services consommés par le personnel et les visiteurs.
- > En France et en Suisse, **environ 13 000 emplois seraient pourvus selon les estimations**.

L'étude a basé son approche sur quatre grands groupes de métiers :

- > Les scientifiques et les ingénieurs, y compris les chercheurs postdoctoraux ;
- > Le personnel technique et de maintenance ;
- > Les services administratifs et d'appui ;
- > Les étudiants, de différents niveaux académiques : de l'apprenti au doctorant.

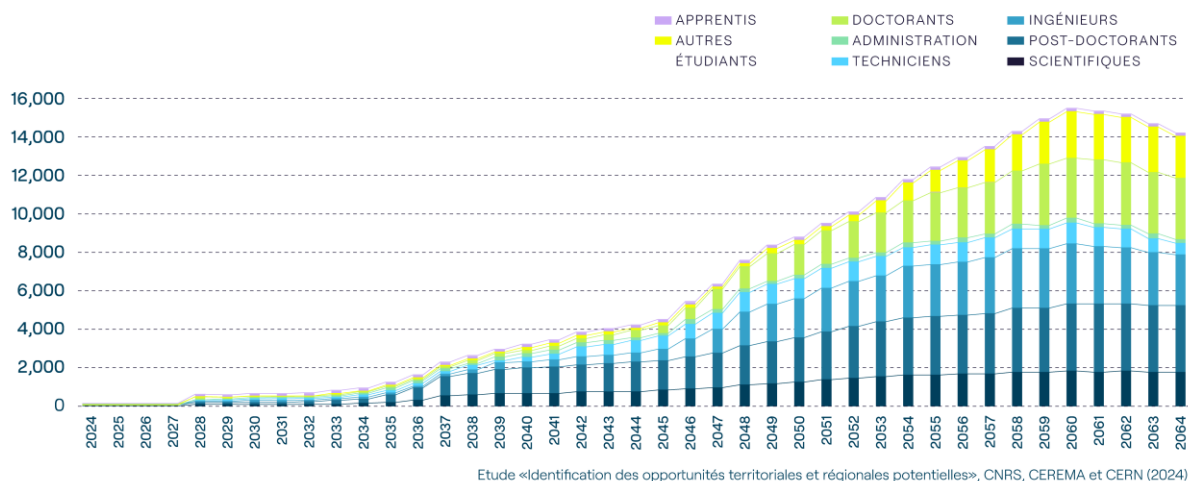
⁷³ L'ensemble des données sur l'analyse socio-économique du projet sont issus du Volume 3 de l'étude de faisabilité du projet FCC au Chapitre 4.8. « Performances socio-économiques », p. 310 à 332

⁷⁴ Une année-personne est la quantité de travail correspondant à un emploi exercé pendant un an, soit, en général, environ 1 700 heures pour un emploi à temps plein. Par conséquent, 100 années-personnes, pour un projet d'une durée de dix ans, ne correspondent pas à 100 emplois exercés pendant ces dix ans mais à dix emplois exercés pendant dix ans (dix emplois pendant dix ans = 100 années-personnes).

⁷⁵ Socio-economic impacts of the lepton collider-based research infrastructure, p.160

⁷⁶ Ibidem

Nombre de personnel par an et par catégories d'emplois impliqué pour le programme du projet FCC-ee



4.2.2 La création de liens entre la communauté scientifique internationale et le territoire

L'implantation du FCC dans une zone où le CERN est aujourd'hui peu présent, en particulier en Haute-Savoie, créerait les conditions pour développer un véritable pôle scientifique. Ce pôle pourrait devenir un acteur clé pour rapprocher la science du grand public et favoriser la diffusion de la culture scientifique.

> Création de centres de visite et d'interprétation

Les sites scientifiques du FCC pourraient être des lieux d'accueil du public où les expériences et technologies de pointe seraient expliquées de manière accessible. La configuration prévue (salles d'information, accès au contrôle, expositions interactives) favoriserait la rencontre entre les chercheurs et le grand public, à l'image du Portail de la science existant sur le site du CERN à Meyrin, mais dans un cadre territorial plus décentralisé.

Focus sur le Portail de la science

Le Portail de la science est le centre emblématique du CERN pour l'éducation et la communication grand public. Depuis son ouverture le 7 octobre 2023, il a accueilli 750 000 visiteurs cumulés (octobre 2025) de 179 pays différents venus découvrir les objectifs scientifiques du CERN, ses recherches, ses innovations, ainsi que ses technologies, ce qui en fait l'un des lieux les plus visités en Suisse. Le centre propose des expositions, des démonstrations scientifiques, plusieurs ateliers en laboratoire, un café et une boutique.

Le Portail de la science dispose également d'un grand espace permettant d'organiser des événements destinés à la communauté du CERN, mais aussi des manifestations publiques et privées. L'année dernière, 80 événements s'y sont tenus. Le Portail de la science du CERN est ouvert du mardi au dimanche, de 9 h à 17 h, y compris les jours fériés. Sa visite est gratuite. (<https://sciencegateway.cern/fr>).

> Diffusion de la culture scientifique

En associant visites, ateliers pédagogiques et programmes pour les écoles et collèges locaux, le FCC pourrait constituer un levier pour renforcer la culture scientifique régionale. La proximité avec des établissements comme l'Université Savoie Mont-Blanc, les lycées de Groisy et Vulbens, ou encore les écoles de Genève permettrait de créer un maillage éducatif transfrontalier favorisant l'éveil scientifique dès le plus jeune âge.

> Médiation et appropriation citoyenne

En ouvrant ses sites à des parcours pédagogiques, conférences publiques et actions participatives, le FCC pourrait devenir un espace de dialogue entre science et société.

> Pôle scientifique

La concentration de sites universitaires à proximité du territoire du projet, combinée aux partenariats universitaires et industriels du CERN, offrirait les bases pour la constitution d'un pôle scientifique et culturel. Ce pôle pourrait articuler recherche fondamentale, valorisation des savoirs, tourisme scientifique et innovation territoriale, créant un écosystème attractif pour chercheurs, étudiants, acteurs économiques et citoyens.

Encore à un stade de réflexion très amont, le projet FCC pourrait permettre de renforcer les collaborations avec universités, les écoles, les entreprises et les centres de recherche à proximité (Par exemple, Université Savoie Mont-Blanc, LAPP/CNRS, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Université de Genève...). De nouvelles opportunités d'apprentissage et de formation technique (apprentissage en Haute-Savoie, synergies avec les industries de la vallée de l'Arve) et des partenariats avec collèges et lycées locaux seraient envisagés.

4.2.3 La récupération puis la réinjection de la chaleur générée par l'installation dans les infrastructures publiques et privées locales

L'énergie utilisée pour amplifier l'énergie radiofréquence*, absorber le rayonnement synchrotron et faire fonctionner les aimants de l'accélérateur, les systèmes de gestion de l'air, l'électronique et l'équipement de traitement des données serait presque entièrement convertie en chaleur basse température, généralement inférieure à 45 °C.

Des températures supérieures à 50 °C, mais encore inférieures à 70 °C, pourraient être atteintes au sein de l'infrastructure à de rares occasions, par exemple lors du refroidissement d'équipements de réfrigération cryogénique et de transformateurs et sous-stations électriques. Cette chaleur serait généralement dissipée dans l'air ambiant via les systèmes de refroidissement à eau ou à l'air libre, et serait donc perdue. Au vu de la quantité de chaleur générée par les infrastructures de recherche basées sur des accélérateurs de particules, la récupération de chaleur constituerait un levier pour réduire à la fois l'empreinte carbone et la consommation en eau des infrastructures scientifiques.

Elle permettrait de valoriser l'énergie résiduelle générée par les équipements de recherche et de la réinjecter dans des usages locaux. Au CERN, plusieurs projets sont déjà existants ou en cours de déploiement. À Ferney-Voltaire, la chaleur issue du LHC va être récupérée et réutilisée à l'échelle locale. Sur le site de Prévessin-Moëns du CERN, la chaleur d'un nouveau centre de données permet de chauffer de nombreux bâtiments et de réduire de manière importante la consommation de gaz.

Le projet du FCC pourrait permettre de développer ce type d'initiatives à une échelle plus large. En partenariat étroit avec les collectivités locales et les acteurs territoriaux, il s'agirait de concevoir dès la phase d'étude des solutions de récupération et de redistribution de chaleur, afin de maximiser les bénéfices environnementaux et socio-économiques.

4.2.4 Les enjeux de mobilités en phase chantier et d'exploitation

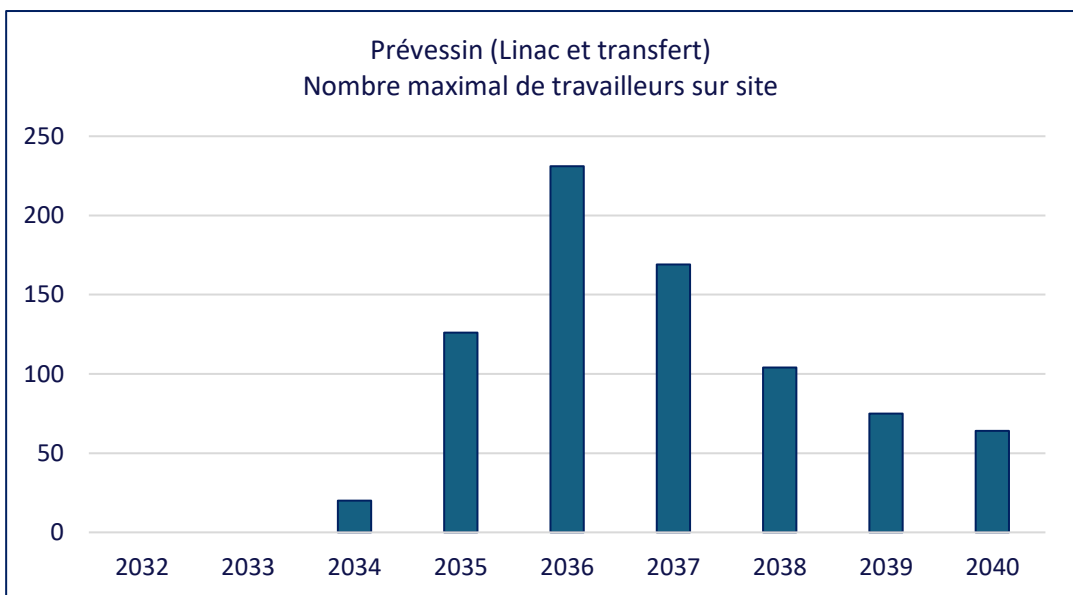
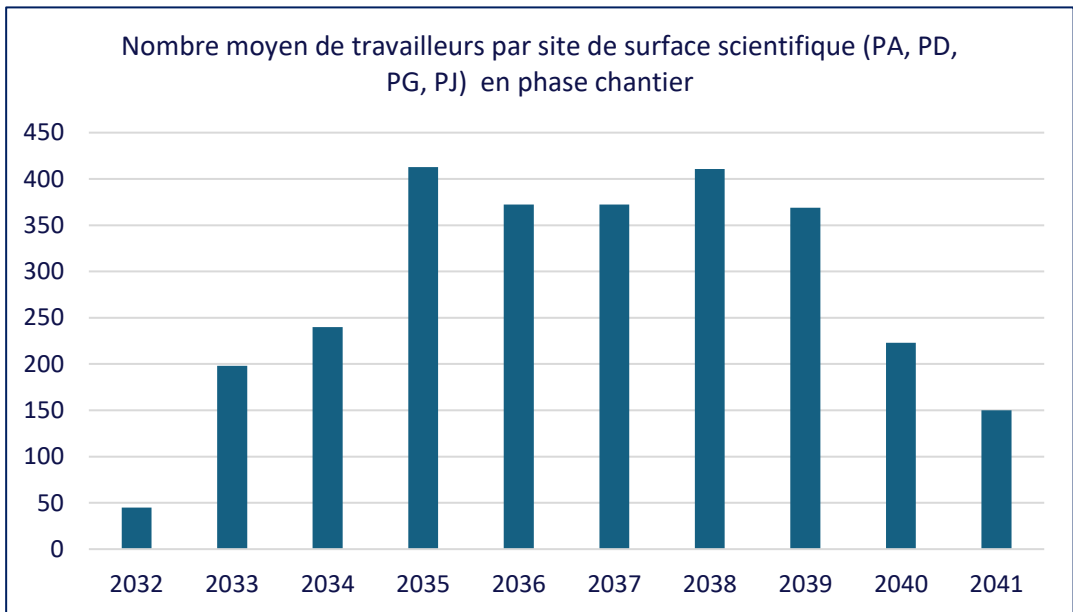
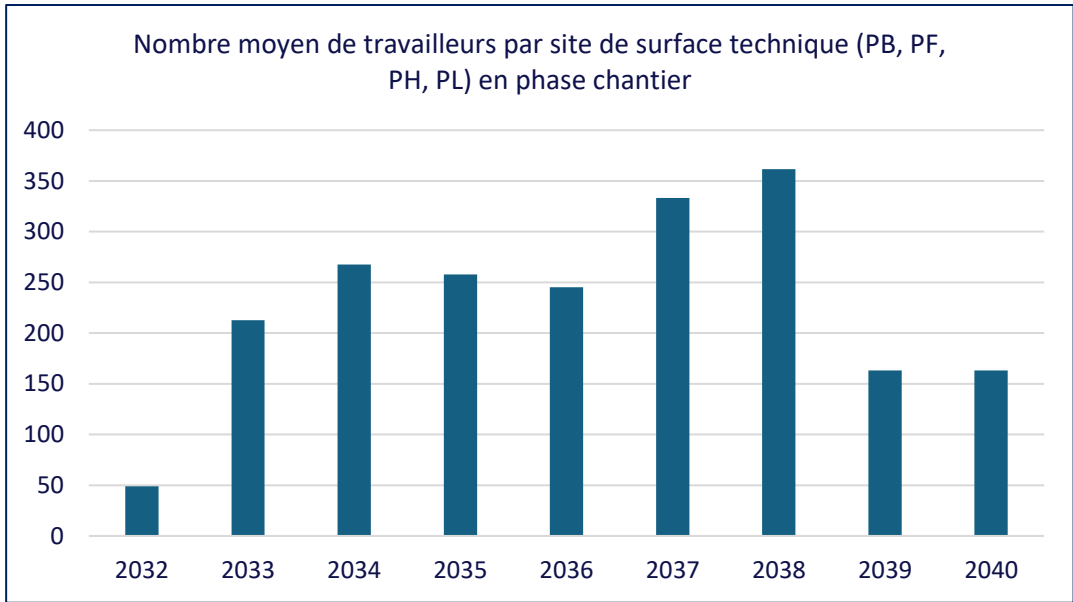
Encore en phase exploratoire à ce stade, des aménagements temporaires et permanents pourraient être créés, pour accéder aux sites de surface, ou encore pour le transport éventuel des matériaux excavés et de construction.

4.2.4.1 La phase chantier : transport des matériaux excavés

A l'heure actuelle, une première estimation du nombre d'ouvriers de construction par chantier montre que la présence varierait entre 50 et 450 environ tout au long de la phase de construction pluriannuelle. La présence sur site des ouvriers, et donc l'impact sur les mobilités, dépendrait de la présence ou non d'un tunnelier, ainsi que des solutions retenues pour le transport des matériaux excavés. Le tableau suivant résume l'impact du projet sur les mobilités des territoires, dans l'hypothèse la plus défavorable concernant le transport de matériaux excavés (transport uniquement par camions).

Scénario le plus défavorable concernant le transport de matériaux excavés pendant la phase de chantier			
Site	Trafic journalier constaté	Nombre de camions 5 essieux supplémentaires par jour	Surcroît de trafic en % entre 2032 – 2040
PA – Ferney-Voltaire, Ain, France	7 803	46	0,5%
PB – Presinge, Genève, Suisse	5 918	37	0,6%
PD – Nangy, Haute-Savoie, France	20 475	93	0,4%
PF – Eteaux, Haute-Savoie, France	11 331	12	0,1%
PG – Charvonnex et Groisy, Haute-Savoie, France	13 681	100	0,7%
PH – Cercier et Marlioz, Haute-Savoie, France	1 709	23	1,3%
PJ – Dingy-en-Vuache et Vulbens, Haute-Savoie, France	13 954	95	0,7%
PL – Challex, Ain, France	3 380	46	1,4%
Injecteur – Prévessin-Moëns	7 803	9	0,1%

La présence sur site dépendrait également du phasage des travaux, avec une mobilisation davantage importante entre 2035 et 2038 ; au-dessus de 1 500 personnes mobilisées et réparties sur les 8 sites.



4.2.4.2 La phase d'exploitation

Personnel sur les sites de surface		
Phase	Pour chaque site technique	Pour chaque site scientifique
Exploitation	1 - 10 personnes	5 - 25 personnes
Maintenance	35 personnes maximum	100 personnes maximum

L'impact du projet en phase d'exploitation dépendrait des solutions retenues en termes de mobilités (infrastructures, offres de transports en commun, mobilités douces...) et du type de site :

- ↳ Les sites techniques : la présence de salariés serait réduite au minimum nécessaire, en fonction des besoins du système, ce qui se traduirait par un impact négligeable sur le trafic.
- ↳ Les sites scientifiques : le scénario de dotation en personnel le plus élevé prévoit de petites équipes comptant jusqu'à 20 personnes travaillant en trois équipes. Le transport devrait être organisé de manière à limiter les déplacements quotidiens de véhicules à quelques dizaines de voitures entrant et sortant de chaque site.

4.2.4.3 Les solutions envisagées

Afin de limiter les impacts, en particulier pendant la phase de chantier qui impliquerait du transport de marchandises et de matériaux, le CERN étudie plusieurs options. A ce stade des études, actuellement exploratoires, seule la faisabilité technique a été étudiée. Si le projet se poursuivait, le CERN devrait étudier la faisabilité financière ainsi que l'impact environnemental des mesures envisagées.

Le tableau récapitulatif suivant, p. 89, résume les infrastructures routières et de transport à l'étude. Concernant l'accès aux sites et l'impact sur le trafic routier, les solutions suivantes sont à l'étude. Des études d'accès en phase d'exploitation et des études d'accès en phase chantier (possiblement temporaire) sont en cours et permettront d'éclairer la décision du Conseil.

Tableau récapitulatif des infrastructures routières et de transport à créer

Site	Accès routier au site de surface	Accès à l'auto-route	Accès ferroviaire	Liaisons par convoyeurs
PA - Ferney-Voltaire, Ain, France	Accès existant. Concentration à mettre en place avec le Conseil départemental de l'Ain pour fluidifier le trafic.		Faisabilité incertaine : analyse spécifique à venir, avec des enjeux transfrontaliers – Nécessite le transport transfrontalier de matériaux	Etude à venir
PB - Presinge, Genève, Suisse	Accès existant. Jonction à créer en cours d'étude.		Faisabilité faible – Nécessite le transport transfrontalier de matériaux	Etude à venir
PD - Nangy, Haute-Savoie, France	Accès existant, mais création d'un accès réservé de 300 mètres de long pour éviter la congestion du trafic	Raccordement à créer sur l'A40	Non faisable – Aucune possibilité à moins de 10 km	Etude à venir
PF - Eteaux, Haute-Savoie, France	Existant	Raccordement à créer sur l'A410	Etudes à poursuivre : contraintes d'espace et présence d'une installation de stockage de déchets inertes (ISDI). – Faisabilité incertaine	Etude à venir
PG - Charvonnex et Groisy, Haute-Savoie, France	800 mètres de chemin forestier à revêtir	Raccordement à créer sur l'A410	Etudes à poursuivre : contraintes d'implantation	Etude de cas en cours
PH - Cercier et Marlioz, Haute-Savoie, France	Existant		Non faisable – Aucune possibilité à moins de 10 km	Etude à venir
PJ - Dingy-en-Vuache et Vulbens, Haute-Savoie, France	600 mètres de chemin rural à revêtir	Raccordement à créer sur l'A410	Faisable : moins de 5 km de raccordement à créer	Etude de cas en cours
PL - Challex, Ain, France	Création d'un accès réservé d'environ 1300 mètres		Faisable, via la gare existante et inutilisée de Colonges – Moins de 10 km de raccordement à créer	Etude à venir

> La création d'accès routiers aux sites

La création d'accès routiers pour 4 sites (PD – Nangy, PJ – Vulbens, PG – Charvonnex et PL – Challex), pour un total de 3 km de routes à créer, est détaillée par site dans la partie 3.4.2.2 du présent dossier. La création d'une jonction est à l'étude pour le site PB – Presinge. Si le projet est confirmé, des conceptions détaillées devraient être réalisées, notamment pour mesurer l'impact environnemental lié à la création de ces accès.

Compte tenu de la densité du trafic, même si un accès routier existe déjà, des discussions sont en cours pour les sites suivantes :

- ↳ Site PA – Ferney-Voltaire : des discussions sont en cours avec le Conseil départemental de l'Ain, en lien avec les services de l'État ;
- ↳ Site PD – Nangy : des discussions sont en cours avec le Conseil départemental de la Haute-Savoie, en interface avec le projet de réaménagement de la RD 903 entre l'A40 sur la commune de Nangy et le carrefour des Chasseurs sur la commune de Cranves-Sales.

> La création d'accès aux autoroutes

La création d'accès à l'autoroute A40 pour les sites PD – Nangy et PG – Groisy – Charvonnex ainsi qu'à l'autoroute A410 pour les sites PJ – Vulbens et PL – Challex est à l'étude. Cette éventualité de raccords autoroutiers, que ce soit directement, par l'intermédiaire de convoyeurs ou par des chemins en gravier, viserait à limiter les impacts du projet, notamment pendant la phase du chantier.

Afin de vérifier la faisabilité technique, juridique et financière de l'accès direct aux autoroutes, des dossiers contenant des plans d'aménagement et des descriptions ont été constitués et soumis pour examen le 14 septembre 2022 à l'autorité compétente pour la délivrance des concessions, notamment la Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités (DGITM). La DGITM a confirmé que les concepts prévus seraient en principe acceptables, mais que les modalités précises devraient être étudiées en lien avec les concessionnaires.

> La mobilité des salariés

Un plan spécifique de mobilité du personnel ne pourrait être élaboré qu'une fois que les activités de construction seraient définies de manière plus détaillée. Afin d'éviter les déplacements individuels des ouvriers entre les sites de construction et leurs lieux de résidence, le plan de construction prévoirait la mise en place de navettes. La même approche serait adoptée pour la phase d'installation.

4.2.5 L'impact sur l'activité agricole

Sur chacun des sites de surface, un impact sur des espaces agricoles est identifié⁷⁷. Le CERN se conformerait aux législations propres aux deux États hôtes. En cas de perte d'espaces agricoles protégés, plusieurs pistes seraient envisagées et discutées avec la population et les acteurs concernés.

La collaboration avec les agriculteurs concernés, les chambres d'agriculture ainsi que les services des collectivités et de l'État est indispensable pour identifier les solutions les plus adaptées, à la fois pour les impacts, mais aussi les potentielles synergies (valorisation de la chaleur). La question de la préservation des terres et des pratiques agricoles est centrale sur l'ensemble des territoires du projet FCC, comme en témoignent les documents de planification et d'orientation des collectivités.

En France, depuis septembre 2025, la Préfète de Région a missionné la Direction régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF), service déconcentré du ministère de l'Agriculture, pour mettre en place un suivi et une animation des réflexions avec les représentants du monde agricole, notamment les Chambres d'agriculture 01 et 74, en y associant les partenaires tels que les Directions départementales des territoires (DDT).

⁷⁷ Une étude agricole quantifiant les impacts amont et aval sur 49 ans a été incluse dans l'analyse socio-économique

Des séances de travail ainsi que des visites du CERN ont déjà eu lieu, notamment pour visiter OpenSkyLab (voir 5.1.7 Les terres excavées générées par la phase chantier, sous-partie « Les filières de valorisation ») et échanger sur les possibilités de valorisation des matériaux excavés.

En Suisse, des échanges ont été engagés avec l'agriculteur dont le terrain serait impacté. Si le projet se poursuit, le CERN travaillerait avec les autorités suisses pour mettre en œuvre les solutions les plus adaptées.

4.2.6 Les enjeux de logement et de services publics

Le projet aurait un impact qui ne se limiterait pas aux travailleurs et participants au projet, mais qui concernerait également les besoins de leurs foyers.

Si le projet se poursuit, des projets territoriaux annexes devraient être envisagés et élaborés en collaboration avec les États hôtes. Ces projets pourraient, par exemple, comprendre les services suivants :

- ↳ Services d'urgence et de sécurité ;
- ↳ Logements temporaires liés à la phase de construction et logements permanents pour la phase d'exploitation ;
- ↳ Renforcement des installations éducatives et périscolaires au projet (par exemple, les écoles) ;
- ↳ Services de santé et autres services publics.


A ce stade, l'analyse socio-économique n'a pas intégré les questions de logement des travailleurs, de renforcement des installations éducatives et de services de santé. Il convient de relever que le nombre de résidents locaux liés au CERN resterait stable par rapport à la situation actuelle, autour de 9 000 résidents.

4.2.7 La gestion du foncier

Parmi les lignes directrices relatives à l'élaboration d'un scénario équilibré figurent les points suivants :

- ↳ Privilégier les terrains publics aux terrains privés ;
- ↳ Privilégier les terrains non bâtis aux terrains bâtis ;
- ↳ Privilégier les terrains inutilisés aux terrains utilisés.

Ces lignes directrices ont été respectées à ce stade du projet. Toutefois, des parcelles privées et/ou utilisées et/ou bâties figurent parmi le foncier identifié pour les futurs sites de surface. Si le projet se poursuit, un processus d'acquisition anticipé serait mis en place, et, des concertations avec les autorités locales seront nécessaires pour intégrer les besoins projetés au sein des documents d'urbanisme et de planification des collectivités locales.



5. LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET LES ENJEUX DE LA MAITRISE DES RISQUES DANS UN TERRITOIRE VASTE ET DIVERSIFIÉ

Les impacts territoriaux présentés dans le document sont issus des données du volume 3 de l'étude de faisabilité du projet FCC, publiée par le CERN le 31 mars 2025. À ce stade, il est important de rappeler que le FCC ne bénéficie d'aucune étude d'impact.

Ce travail, requis pour le dépôt des autorisations réglementaires dans les deux États hôtes du CERN, débutera en 2027 et sera itératif jusqu'à minima 2030. Il sera ensuite soumis aux autorités instructrices en France et en Suisse, seulement si le Conseil du CERN (c'est-à-dire des États membres), attendue au plus tôt en 2028, décide de poursuivre le projet.

5.1 LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

“Éviter-Réduire-Compenser”, de quoi parle-t-on ?

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, et plus largement dans la philosophie générale de l'ensemble du projet, le triptyque Éviter-Réduire-Compenser est appliqué en fonction de l'avancement du projet.

Il s'agit, en premier lieu, d'éviter les impacts en modifiant la conception du projet afin de supprimer les atteintes à l'environnement qui peuvent être évitées, par exemple en choisissant une autre localisation ou un autre tracé. Lorsque certains impacts ne peuvent pas être totalement évités, il convient ensuite de les réduire, en mettant en place des mesures techniques ou organisationnelles pour en limiter l'ampleur. Enfin, les impacts restants doivent être compensés, c'est-à-dire contrebalancés par des actions visant à restaurer ou recréer des milieux équivalents ailleurs, selon le cadre en vigueur dans les pays d'accueil du projet.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, qui constitue une phase d'étude exploratoire en amont du projet, ce sont surtout les volets « éviter » et « réduire » qui ont été mis en œuvre. La compensation, quant à elle, interviendra si le projet se poursuit, dans un cadre réglementaire, en collaboration avec les États hôtes du projet, à savoir la France et la Suisse.

Le CERN pourrait proposer, en fonction des possibilités technico-économiques, d'améliorer par exemple certaines zones, allant ainsi au-delà du cadre réglementaire.

5.1.1 La campagne d'investigation faune et flore

Lancée en 2023, la campagne d'investigation faune et flore s'est composée d'une première phase d'analyse qui a consisté en une inspection visuelle des parcelles potentiellement concernées. Cette campagne a débouché sur un premier inventaire de la faune et de la flore sur plusieurs centaines d'hectares. Les investigations initiales ont été réalisées sur les sites de surface ainsi que les zones connexes identifiées comme zone à valeur écologique. Les inventaires ont été principalement réalisés au printemps et à l'été

Ce diagnostic environnemental n'est pas publié, car il s'agit de données brutes techniques parfois sensibles, afin d'éviter de donner la localisation de certaines espèces de faune et de flore, ce qui pourrait les mettre en danger, mais les conclusions générales sont intégrées à l'étude de faisabilité. Des rencontres, notamment avec les élus du territoire, ont permis au mandataire du CERN, spécialisé dans ce diagnostic, d'intervenir sur le territoire, en particulier pour le travail des écologues.

5.1.2 Les principes de gestion de l'eau et le schéma d'approvisionnement en eau

La gestion de l'eau en phase de construction

Les principes de gestion de l'eau seraient similaires à ceux du LHC :

- ↳ Drainage des ouvrages souterrains : réseau étanche, pas de connexion inter-nappes ;
- ↳ Gestion intégrée des eaux : en circuits fermés, bassins de décantation, traitement avant tout rejet.

Pour les traversées sensibles, notamment sous le Léman, une profondeur suffisante sous lit serait nécessaire, pour éviter les dépôts meubles et aquifères.

De manière générale, les venues d'eau dans le tunnel sont attendues comme limitées lors de la traversée de la molasse, celle-ci présentant une perméabilité très faible. Si des failles aquifères devaient être franchies, un traitement du terrain en avant du front de taille pourrait être nécessaire. À long terme, le tunnel serait équipé d'un système de drainage permettant de collecter les eaux d'infiltration à travers le revêtement au niveau des puits, de les pomper en surface, puis de les contrôler avant rejet dans le milieu naturel.

La gestion de l'eau en phase d'exploitation

Les principes de gestion de l'eau seraient similaires à ceux du LHC :

- ↳ Circuits fermés de refroidissement avec des tours aéroréfrigérantes, intégrant des systèmes de recyclage de l'eau pour minimiser la consommation ;
- ↳ Limitation des rejets en milieu naturel ou vers les stations d'épuration et contrôle de qualité avant tout rejet.

Le schéma d'approvisionnement

Le schéma d'approvisionnement en eau se base sur l'hypothèse de travail consistant à utiliser les prélèvements d'eau traitée du Léman par les Services Industriels de Genève (SIG) en Suisse, auxquels le CERN recourt actuellement. La capacité disponible serait compatible avec les besoins du FCC-ee. Au cours des dix premières années du programme de recherche, la consommation d'eau serait de l'ordre de 1 million de m³ par an.

La compatibilité du schéma d'approvisionnement en eau a été confirmée par un échange entre le CERN et les SIG en 2022. Ensuite, en août 2023, les SIG ont confirmé la faisabilité technique de l'approvisionnement dans le cadre contractuel existant, soit par la construction d'un nouveau raccordement court d'environ 200 mètres avec un diamètre nominal de 500 mm entre la conduite Tuileries-La Berne et le point 8 du LHC à Ferney-Voltaire (France), soit en utilisant deux lignes internes existantes du CERN qui nécessiteraient une mise à niveau.

Pour que la distribution d'eau tout au long de l'accélérateur soit techniquement plus facile et économiquement plus avantageuse, deux points de fourniture supplémentaires en eau pourraient être envisagés en France, à partir de l'Arve et/ou du Rhône. Pour ce faire, une étude territoriale spécifique serait nécessaire et devrait intégrer les plans de gestion quantitative disponibles pour les ressources en eau (PGRE). Ces prises d'eau nécessiteraient la création d'usines de filtration et de traitement de l'eau.

Aucune nappe phréatique ne serait exploitée pour un usage industriel, correspondant majoritairement à du refroidissement. L'eau à usage industriel serait approvisionnée par le lac Léman, via les SIG. Des structures compétentes comme le Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses affluents (SM3A) et le Syndicat de Rivières d'Usses (SYR'Usses) sont associées pour l'approvisionnement en eau potable destinée aux besoins sanitaires des sites de surfaces du FCC.

Focus sur la gestion des rejets d'eau

On distingue généralement les eaux pluviales (comprenant les eaux d'infiltration du tunnel ainsi que les eaux météoriques) et les eaux usées (sanitaires et eau de process). Ces deux entités représentent un réseau d'assainissement qui est en séparatif :

- ↳ Les eaux pluviales sont restituées au milieu naturel, favorisant la préservation des cours d'eau existants, les zones humides et la biodiversité.
- ↳ Les eaux usées sont acheminées vers des stations d'épuration publiques.

Aujourd'hui, tous les sites du CERN sont construits ainsi et cette approche est également considérée pour les futurs sites du FCC, selon les possibilités et configurations communales :

- ↳ Les eaux pluviales seraient gérées à la source et s'il n'est pas possible de les filtrer ou de les réutiliser sur site, elles seraient restituées au milieu naturel.
- ↳ Les eaux usées seraient redirigées dans la mesure du possible vers les stations d'épuration publiques.

Tout rejet d'eau serait contrôlé d'un point de vue quantitatif et qualitatif (ce qui est déjà le cas aujourd'hui pour la gestion des eaux de rejet).

Hors eaux usées sanitaires, les eaux usées de process seraient principalement composées d'eau de régénération (nettoyage) des systèmes de filtration, ultrafiltration et osmose inverse composant les stations de production d'eau déminéralisée et les stations de recyclage des eaux de refroidissement. Il s'agit d'eaux usées de process principalement chargées en sels et matières en suspension.

Les éventuelles eaux de drainage des structures souterraines seraient évacuées via le réseau d'eaux pluviales. En effet, le tunnel serait équipé d'un système de drainage permettant de collecter les eaux d'infiltration à travers le revêtement au niveau des puits, de les pomper en surface, puis de les contrôler avant rejet dans le milieu naturel (c'est le cas actuellement du LHC).

La charge radioactive des eaux issues du tunnel de l'accélérateur est attendue comme étant négligeable, permettant son rejet sans impact radiologique et en conformité avec les prescriptions réglementaires en vigueur. Ces eaux, collectées par les systèmes de drainage, feraient l'objet d'une surveillance radiologique.

5.1.3 L'impact du projet sur le foncier et l'artificialisation des sols

Le volume 3 de l'étude de faisabilité a estimé que les besoins en foncier des sites de surface s'élèveraient à environ 40 hectares correspondant aux emprises fonctionnelles des sites de surface, telles qu'elles ont pu être estimées à ce stade de l'étude.

Le CERN a conscience que la consommation foncière est un enjeu clé des territoires du tracé du projet du FCC, avec des enjeux de préservation des terres agricoles et naturelles identifiées. Le bilan foncier global du projet, intégrant l'ensemble de ces composantes (voiries de desserte, réseaux, besoins temporaires du chantier, surfaces nécessaires à des mesures compensatoires...), ferait l'objet d'études approfondies à partir de 2029, conduites en concertation étroite avec les parties prenantes afin que la définition des emprises définitives intègre au mieux les enjeux locaux et les attentes des territoires concernés.

En particulier en France, sur le volet quantitatif :

- ↳ Le CERN s'attacherait à ne mobiliser que le foncier strictement nécessaire en phase chantier et d'exploitation. Pour ce faire, le CERN vise à une efficacité maximale du foncier mobilisé en limitant de fait l'impact du projet vis à vis de la consommation d'espaces agricoles naturels et forestiers (ENAF) et ce même si, en France, au titre de l'arrêté du 31 mai 2024 relatif à la mutualisation nationale de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers des projets d'envergure nationale ou européenne d'intérêt général majeur, il n'est pas soumis à la comptabilité de consommation des ENAF prévue dans le cadre de l'objectif de Zéro Artificialisation Nette.

Et sur le volet qualitatif :

- ↳ Le CERN a établi un état initial de l'environnement à l'appui duquel il a défini une stratégie de moindre impact pour l'installation des sites de surfaces, en cela, le CERN s'inscrit dans la démarche Eviter-Réduire-Compenser, que ce soit pour les fonciers à usage agricole ou présentant des enjeux environnementaux.
- ↳ De manière spécifique, pour les impacts sur le foncier agricole, le CERN appliquerait l'ensemble des modalités de l'étude préalable agricole avec l'ensemble des acteurs concernés.

5.1.4 L'empreinte carbone de la phase de construction et d'exploitation du FCC-ee

A ce stade du projet, aucune analyse du cycle de vie du FCC-ee complète n'existe (scope 1, 2 et 3). Toutefois, elle serait réalisée progressivement, avec le calendrier suivant des études :

- > 2024 : études sur le génie civil (structures souterraines et de surface, hors accélérateur) et les besoins en énergie⁷⁸;
- > 2025-2026 : études sur les infrastructures techniques, avec des résultats prévus pour fin 2026 ;
- > 2027-2028 : études sur l'accélérateur (construction, exploitation).

L'empreinte carbone⁷⁹ de la phase de construction et d'exploitation du FCC-ee a été évaluée selon les normes européennes ISO/EN 14040 et ISO/EN 14044. Pour ce calcul, il a été utilisé les références suivantes :

- > Les déclarations environnementales de produits (EPD) selon la norme européenne EN 15804+A2
- > Les matériaux et produits disponibles selon la norme française FDES

Cette approche garantit une évaluation conforme à la norme européenne EN 17472, qui établit des exigences pour le calcul et la déclaration des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) associées aux projets d'infrastructure. Les travaux ont également porté sur les recommandations du CEREMA concernant l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des projets routiers, sur les bases de données suisses « Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics » (KBOB) et françaises « La base de données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment et la RE2020 » (INIES) pour les empreintes écologiques des produits, et la base de données ecoinvent⁸⁰ pour les produits et matériaux pour lesquels aucune EPD n'était disponible.

⁷⁸ Source en français : un résumé de cette étude a été intégrée au Volume 3 de l'étude de faisabilité du projet FCC : Génie civil, Implantation, Durabilité, chapitre "Analyse du cycle de vie", p. 305 - 310

Source en anglais et en français : D. Mauree. FCC Construction Carbon Footprint Benchmark and Optimisation Strategies (2024). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13899160>

⁷⁹ Ibidem

⁸⁰ ecoinvent est une organisation internationale dont la mission est de soutenir les évaluations environnementales de haute qualité et ayant un fondement scientifique

La phase de génie civil

Une première étude estimait à environ 1 million de tCO₂(eq) les émissions pour la phase de construction. Des études supplémentaires ont permis de mettre en évidence des marges de progression et de diminution de cette empreinte carbone estimée, pour atteindre 526 671 tCO₂(eq). Il n'existe pas de chiffre définitif sur l'empreinte carbone de la phase chantier, mais cet ordre de grandeur a été établi. L'analyse du cycle de vie complet et l'étude d'impact permettront d'affiner ces données.

L'empreinte carbone chantier est majoritairement émise pour la construction des infrastructures souterraines. En termes de matières premières, les principales sources d'émissions sont liées à l'acier armé (14 %), au béton préfabriqué (49 %) et au béton (23 %). Il a été supposé que l'électricité nécessaire à l'ensemble du processus de construction pourrait être obtenue à partir du réseau électrique.

Résumé du bilan carbone du processus de construction	
Éléments	Empreinte tCO ₂ (eq)
Infrastructures souterraines	477 390
4 sites techniques	17 546
4 sites expérimentaux	31 735
Total	526 671 tCO₂(eq)

La phase d'exploitation

Le principal poste d'émission serait l'énergie consommée pour le refroidissement, la ventilation, l'accélération des particules, et le fonctionnement des sites annexes. Dans le volume 3 de l'étude de faisabilité, il est supposé que l'électricité proviendrait du réseau de transport d'électricité français.

L'empreinte carbone du projet, liée à la consommation d'énergie pendant la phase d'exploitation, qui couvrirait une durée de 15 ans se situerait ainsi entre 305 250 tCO₂ (eq) et 508 750 tCO₂ (eq). Soit environ 20 350 tCO₂eq/an et 33 916 tCO₂ eq/an, considérant une consommation électrique moyenne pour FCC-ee de 1,3 TWh/an. Ces chiffres seront consolidés durant les deux prochaines années.

Résumé de l'empreinte carbone liée des émissions liées à la consommation énergétique du projet selon deux hypothèses différentes d'intensité carbone				
Phase	Durée	GWh/an	Empreinte à 15 tCO ₂ (eq)/GWh	Empreinte à 25 tCO ₂ (eq)/GWh
Z	4 ans	1 100	66 000	110 000
WW	2 ans	1 300	39 000	65 000
HZ	3 ans	1 500	67 500	112 500
tt	5 ans	1 770	132 750	221 250
Total		20 350	305 250	508 750

5.1.5 Les rejets atmosphériques

A ce stade, les données disponibles concernant les rejets atmosphériques sont partielles⁸¹. Un état initial de la pollution atmosphérique dans l'environnement des sites de surface a été réalisé en 2024. Si le projet se poursuit, les études de conception devraient démarrer progressivement en 2027 et identifieraient précisément les sources d'émission ainsi que les mesures de maîtrise à mettre en œuvre.

Phase de chantier

Pendant la phase de chantier, les principales sources de rejets atmosphériques seraient les suivantes :

- ↘ Les poussières de chantier (les particules PM10/PM2,5) et les particules de remise en suspension, notamment pour les opérations de terrassements, déblais, manutention et concassage éventuel.
- ↘ Les émissions polluantes (oxydes d'azote, particules fines) associées au trafic de camions et aux engins avec moteurs thermiques. La construction du tunnel engendrerait la production de volumes de matériaux d'excavation qui devraient être transportés vers des aires de stockage, des décharges ou d'autres chantiers.
- ↘ Les émanations éventuelles pourraient être liées aux matériaux de construction utilisés, notamment des composés organiques volatils (COV) contenus dans les produits tels que peintures, mastics, colles, etc.
- ↘ Les aménagements nécessaires aux sites de surface comme les connexions au réseau électrique local ainsi qu'au réseau de transport d'électricité exploité par RTE, aux réseaux humides (eau potable, eaux usées, et eaux pluviales le cas échéant), pourraient également être sources de poussières et de rejets de gaz de combustion liés au trafic.

Dans l'étude de faisabilité, il est fixé l'objectif de rester en-dessous des seuils nationaux de PM10 et NO2 autour des sites⁸². Si le projet se poursuit, plusieurs pistes pourraient être étudiées :

- ↘ L'électrification des modes de transport et des engins ;
- ↘ La maîtrise des poussières avec des techniques qui restent à définir : pulvérisation de l'eau sur les zones de travail ou utilisation de brumisateurs, bâchage des camions ou lavage des roues des camions en sortie de chantiers ;
- ↘ Le phasage des travaux pour éviter des pics d'émissions ;
- ↘ Le recours à des convoyeurs ou à des transports ferroviaires pour éviter les émissions polluantes liées au trafic.

Phase d'exploitation

Ces activités et le risque de pollution correspondant devraient être définis dans la phase ultérieure de conception. Les études ultérieures définiraient précisément les rejets associés à chaque activité. Elles composeraient les dossiers des procédures d'autorisation des deux États.

Les rejets atmosphériques issus de la phase d'exploitation seraient les suivants :

- ↘ Les émissions de chaleur sous forme de vapeur d'eau en provenance du système de refroidissement qui seraient rejetées à l'atmosphère si elles ne sont pas récupérées. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre dont la durée de vie dans l'atmosphère est en général de 10 jours.
- ↘ Les rejets atmosphériques des centrales de ventilation positionnées au niveau des puits d'accès : air vicié, oxydes d'azote et ozone qui pourraient découler de la présence de rayonnements ionisants.
- ↘ L'impact radiologique lié au rejet de substances radioactives dans l'environnement via les voies aériennes a été évalué pour l'instant pour les sections d'arc du FCC-ee, qui représentent la plus grande partie du tunnel de l'accélérateur. Cette évaluation montre que la dose efficace annuelle à une personne représentative resterait largement inférieure à 0,01 millisievert. Cette valeur est négligeable du

⁸¹ Des premiers éléments sont apportés dans l'étude de faisabilité : « Safety concepts », « Machine protection » et « Operation concept » ; Volume 3 (en français), Chapitre « Environnement », p. 199 à 200 puis 201 à 208.

⁸² Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 186

point de vue de la radioprotection du public et conforme à l'objectif d'optimisation largement accepté. Une marge suffisante subsiste pour définir le point de fonctionnement optimal du système de ventilation tout en respectant l'objectif d'un impact radiologique aussi faible que raisonnablement possible. Les secteurs présentant des niveaux d'activation plus élevés disposeraient de systèmes de ventilation séparés, permettant une gestion spécifique des fluides et des rejets, différente de celle des arcs, afin de minimiser l'impact environnemental visant à une dose efficace inférieure à 0,01 millisievert grâce à des taux de recyclage de l'air plus élevés et à des stratégies de purge différée. Ces secteurs feraient l'objet d'études quantitatives complémentaires afin d'évaluer les rejets au fur et à mesure de l'avancement de leur conception technique. L'air rejeté dans l'environnement serait filtré et mesuré en continu, et intégré au programme de surveillance environnementale, conformément aux exigences réglementaires applicables.

Si le projet se poursuit, une surveillance continue de l'air, à travers des capteurs, serait mise en place sur les sites de surface afin de suivre son évolution et de pouvoir contrôler les impacts sur la qualité de l'air liés aux phases de construction et d'exploitation.

5.1.6 Les nuisances et pollutions sonores

Les réglementations relatives à la protection contre le bruit diffèrent sensiblement entre la France et la Suisse. Cependant, dans tous les cas, l'impact du bruit dépend de la présence de personnes et d'animaux susceptibles d'être affectés par le bruit. Les indicateurs pertinents ne sont pas seulement la fréquence et l'amplitude, mais aussi le moment où se produit l'exposition au bruit et la durée de l'exposition.

La réglementation, de manière générale, demande de prévenir tout impact négatif sur la santé : le niveau sonore nocturne généré par un chantier ou un site industriel ne devrait pas excéder 30 dB(A) à l'intérieur des logements, fenêtres fermées, ni 40 dB(A) en façade chez les riverains. Des mesures du bruit de fond existant à proximité des sites de surface candidats ont été réalisées en 2024⁸³. Les mesures indiquent que la majorité des sites sont affectés par un bruit de fond significatif, sans présence d'individus dans un périmètre de 200 mètres à 300 mètres.

↳ Les enseignements sont les suivants :

- ↳ **En phase de construction, toutes les mesures de protection contre le bruit seraient mises en œuvre pour limiter l'impact du chantier.** Pour l'ensemble du chantier, une planification serait effectuée pour définir les niveaux sonores maximum admissibles pour chaque phase de chantier. Une surveillance acoustique serait mise en œuvre sur tous les chantiers.
- ↳ **En phase d'exploitation, les exigences réglementaires de la France et de la Suisse seraient respectées.**

⁸³ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p.263 à 265

Bruit de fond type mesuré à proximité des sites de surface et nombre de personnes potentiellement affectées dans la limite des distances indiquées par rapport au site

Site	Bruit de fond dB(A) 7h – 22h	Bruit de fond dB(A) 22h – 7h	Nombre de personnes potentiellement affectées	Distance avec le site de surface
PA – Ferney-Voltaire, Ain, France	55	45	0	100m – 200 m
PB – Presinge, Genève, Suisse	36	36	0* (<10**)	100 m
PD – Nangy, Haute-Savoie, France	48	44	0	100m – 200 m
PF – Eteaux, Haute-Savoie, France	48	40	Environ 10	100m – 200 m
PG – Charvonnex et Groisy, Haute-Savoie, France	36 – 48	37 – 45	0	100m – 300 m
PH – Cercier et Marlioz, Haute-Savoie, France	35	29	<10	100m
PJ – Dingy-en-Vuache et Vulbens, Haute-Savoie, France	39 – 47	35 – 44	0	300m
PL – Challex, Ain, France	40	30	<5	200m

* Personnes exposées selon les limites suisses, DS III

** Personnes exposées selon les émissions sonores autorisées en France

Les mesures type « ERC » qui seraient étudiées par le CERN

En plus de la surveillance du bruit, à travers des stations mesurant et enregistrant les niveaux de bruit des sites de surface⁸⁴, des mesures seraient étudiées par le CERN pour éviter, réduire et compenser les nuisances sonores.

Eviter

- ↳ Optimisation de l'implantation des sites pour s'éloigner des zones, notamment de l'habitat, en passant de 12 sites de surface initiaux à 8 (déjà pris en compte dans l'évolution des études sur le FCC) ;
- ↳ Concentration des travaux lourds aux sites d'expériences pour réduire l'impact aux sites techniques (moins de poussière, bruit, trafic)⁸⁵.

Réduire

- ↳ Phasage et séquençage du chantier pour limiter les nuisances sonores⁸⁶ ;
- ↳ Bâtiments insonorisés (structure en béton armé) pour les équipements les plus bruyants, tels que les compresseurs pour la cryogénie ;
- ↳ Traitement acoustique des ventilations et installation d'écrans acoustiques si nécessaire.

Compenser

- ↳ Intégration paysagère des sites (architecture, plantations), écrans visuels ; avec un besoin d'ajuster le scénario aux attentes territoriales⁸⁷.

⁸⁴ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 211

⁸⁵ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 8

⁸⁶ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 263

⁸⁷ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 65

5.1.7 Les terres excavées générées par la phase chantier

Le volume de matériaux excavés *in situ* serait de l'ordre de **6,3 millions de m³** (soit **14,7 millions de tonnes**) sur une période d'environ 5 ans. Ce volume pourrait correspondre, approximativement, à **8,1 millions de m³ foisonnés**, sur 5 ans (le foisonnement d'un matériau désigne son augmentation de volume après son extraction)⁸⁸. Le détail par site est donné sur le tableau suivant.

La molasse serait le type de roche prédominant, représentant 96 % du volume total des matériaux. La moraine constituerait 1,5 % des matériaux excavés, tandis que le calcaire représenterait les 2,5 % restants⁸⁹.

Volume et répartition par site des terres excavées				
Site	Localisation	Volume in-situ (en milliers de m3)	Volume foisonné (en milliers de m3)	% du Total
PA	Ferney-Voltaire, Ain, France	1378	1791	22%
PB	Presinge, Genève, Suisse	148	192	2%
PD	Nangy, Haute-Savoie, France	1274	1656	20%
PF	Eteaux, Haute-Savoie, France	165	215	3%
PG	Charvonnex et Groisy, Haute-Savoie, France	1365	1774	22%
PH	Cercier et Marlioz, Haute-Savoie, France	312	406	5%
PJ	Dingy-en-Vuache et Vublens, Haute-Savoie, France	1289	1676	20%
PL	Challex, Ain, France	241	313	4%
Injecteur	Prévessin-Moëns, Ain, France	122	159	2%
TOTAL		6,3 millions de m³	8,1 millions de m³	100%

⁸⁸ Une densité de 2,6 t/m³ est considérée pour la molasse. Il s'agit de la densité in situ, c'est-à-dire avant prise en compte du foisonnement. Le facteur de foisonnement assumé est 1,3. La densité résultante pour la molasse excavée est donc de 2.6/1.3 = 2 t/m³, portant le total des matériaux excavés à approximativement 16.4 Mt.

⁸⁹ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, 1.1.9 Matériaux excavés, à partir de la p. 21

En 2025, la **Stratégie de Gestion et d'Usage des Matériaux Excavés** a été élaborée pour l'étude de faisabilité du FCC (voir annexe 9.3). Les études continuent avec la mise en place d'un contrat de consultance sur la période mars 2026 – mars 2028 pour l'établissement d'un Plan préliminaire de gestion des matériaux d'excavation sur les éléments suivants :

- ↳ Classification préliminaire des matériaux excavés ;
- ↳ Gestion des matériaux pollués ;
- ↳ Options de valorisation et d'élimination ;
- ↳ Inventaire des exutoires (sites de valorisation/élimination) ;
- ↳ Logistique sur les sites de surface ;
- ↳ Transport hors site ;
- ↳ Cadre réglementaire et permis ;
- ↳ Traçabilité et suivi des matériaux ;
- ↳ Analyse des risques et mesures d'atténuation ;
- ↳ Estimation des coûts.

Les investigations de sous-sol, prévues jusqu'à fin 2026, fourniraient des informations sur les niveaux de pollution géogénique (d'origine naturelle) dans les endroits investigués dans la phase 1 des études souterraines.

Les solutions envisagées pour le transport des matériaux excavés

Concernant le transport des matériaux excavés, deux solutions spécifiques ont fait l'objet d'études de faisabilité technique.

La **création d'accès ferroviaires**, avec une analyse de la faisabilité technique de la construction des embranchements ferroviaires industriels à proximité des sites de surface dans le but d'évacuer les matériaux excavés. Des emplacements potentiels à proximité des lignes ferroviaires existantes ont été identifiés et la faisabilité de la création d'embranchements a été examinée. Il apparaît qu'un raccordement serait réalisable aux sites suivants :

- ↳ **PJ – Vulbens** : un nouvel embranchement pourrait être envisagé sur la ligne existante entre Vulbens et Valleiry, d'une longueur de 1,5 km.
- ↳ **PL – Challex** : un nouvel embranchement pourrait être envisagé via la gare existante et inutilisée de Collonges.

A ce stade des études, la faisabilité technique d'un raccordement aux accès ferroviaire reste incertaine pour les sites PA – Ferney Voltaire, PB – Presinge, PF – Eteaux et PG – Groisy –Charvonnex. Elle apparaît irréalisable pour les sites PD – Nangy et PH – Cercier, car il n'existe pas de possibilité de raccordement à moins de 10 km.

Toutefois, cette analyse se focalise uniquement sur des critères de faisabilité technique. Si le projet venait à se poursuivre, des critères liés à la faisabilité sociale et aux impacts environnementaux devraient être approfondis dans une nouvelle étude, avant toute prise de décision. A ce stade, il est estimé que chaque nouvel accès ferroviaire nécessiterait un espace d'environ 400 mètres par 400 mètres, soit 1,6 ha de terrain.

La création de **liaisons par convoyeurs** permettrait d'éviter l'utilisation de camions, et donc de réduire les nuisances. Des études de cas sont en cours pour les sites de surface PG – Charvonnex et PJ – Vulbens. Ces convoyeurs viseraient à créer des raccordements jusqu'aux accès autoroutiers :

- ↳ **Pour le site PJ – Vulbens**, le convoyeur pourrait être créé jusqu'à la station-service de l'autoroute à Valleiry (distance 700 m) et/ou jusqu'à un nouvel accès ferroviaire au nord de Vulbens (1 565 m) en dehors de toute zone résidentielle. Il devrait traverser la route départementale RD 1206.
- ↳ **Pour le site PG – Charvonnex**, le convoyeur pourrait être créé jusqu'à l'aire de service de l'autoroute à Groisy (distance d'environ 800 m) et/ou jusqu'à un nouvel accès ferroviaire au nord de l'autoroute (925 m). La plus grande difficulté, quoique techniquement réalisable, serait la traversée de l'autoroute A410 pendant une période d'environ 8 ans.

Il convient de souligner que les conclusions de ces deux études de cas s'appliqueraient également aux autres sites de surface. Si une phase de projet préparatoire est lancée, des variantes de conception technique détaillées pour les tracés et les technologies de convoyage dans le cadre d'une hypothèse de construction devraient être élaborées pour les huit sites et seraient soumises pour autorisation dans le cadre de la procédure d'autorisation environnementale du projet.

Dans le cadre des études de la faisabilité de raccordement au réseau ferroviaire, une étude parallèle de liaison des sites de surface à ces sites d'accès ferroviaire par convoyeur à bande sera réalisée, afin d'éviter l'utilisation de camions pour l'acheminement des matériaux d'excavation.

L'entreposage des matériaux excavés

A ce stade, aucune étude spécifique pour les stockages intermédiaires (entreposage) n'a été effectuée, car les types et le dimensionnement des stockages temporaires dépendent des filières d'utilisation et valorisation qui seront retenues.

Pendant le creusement des tunnels, une partie des surfaces des 8 sites de surface serait destinée à l'entreposage des matériaux excavés en vue de leur envoi vers les exutoires identifiés. Le plan préliminaire de gestion des matériaux excavés, en cours d'élaboration, déterminerait ces éléments à l'horizon 2028. Les études se concentrent principalement sur les localisations les plus proches aux sites de sorties des matériaux, afin de minimiser les transports, sources de nuisances.

A titre indicatif, un tri des matériaux excavés en 3 fractions ou plus est prévu en surface sur la base d'une classification préliminaire effectuée en souterrain :

- ↳ Une ou plusieurs fractions pour les matériaux pollués (obligation réglementaire de tri dans les deux pays hôtes),
- ↳ Une fraction pour les matériaux non pollués fines (argiles et sables),
- ↳ Et une fraction pour les matériaux non pollués restants.

Un tri plus détaillé pourra être mis en œuvre, selon les caractéristiques minéralogiques et chimiques de matériaux extraits, l'espace à disposition et les filières retenues. Une procédure de tri et de stockage temporaire sur place serait définie et mise en œuvre, détaillant aussi les procédures de mesure pour la confirmation du caractère non-pollué des matériaux ou l'évaluation du niveau de pollution le cas échéant. Le respect des recommandations de stockage temporaire dans les lignes guides des deux pays hôtes serait assuré, en particulier en ce qui concerne la protection des milieux naturels adjacents des sites (protection des eaux de surface, protection du sol etc.). Les matériaux entreposés sur place seraient acheminés le plus vite possible vers les exutoires identifiés, afin de minimiser le temps et le dimensionnement des stockages temporaires.

Le devenir des matériaux excavés

Sur la base des projets effectués dans le passé (comme le HL-LHC), approximativement 15 à 30% des matériaux excavés dans la région sont soit considérés pollués, soit n'ont pas de filières de valorisation techniquement et économiquement viables à cause de leur caractéristiques chimiques, minéralogiques et géo- mécaniques. Ces matériaux devront être envoyés vers des décharges appropriées selon le taux de pollution ou les caractéristiques chimiques-minéralogiques des matériaux (dangereux, non-dangereux, inertes en France, selon la classification B, E etc. en Suisse).

La fraction restante serait principalement envoyée en valorisation volumique (comblement de carrières, remblais) et des études sont en cours pour évaluer l'éventuelle possibilité d'implémentation de filières de valorisation matière (par exemple, la fabrication de ciment, de matériaux de construction ou de sols reconstitués). L'étude socio-économique sur les filières de valorisation innovantes (par exemple la reconstitution des sols, fabrication de ciment, etc.) indiquerait si les modes de valorisation auront lieu d'être considérés.

Afin de définir les filières de valorisation qui seraient les plus adaptées aux matériaux excavés, il est nécessaire de connaître les propriétés chimiques, géomécaniques et minéralogiques des matériaux. Les résultats des investigations de sous-sol apporteraient des informations essentielles pour mieux adapter la

stratégie de gestion des matériaux excavés.

Cette gestion dans le cadre du projet FCC s'inscrirait dans les principes définis par la directive-cadre européenne sur les déchets, qui privilégie la prévention, la réutilisation et la valorisation des matériaux lorsque cela est techniquement et environnementalement possible.

Dans cette logique, les matériaux excavés seraient considérés non pas uniquement comme des déchets, mais également comme une ressource potentielle, dans la mesure où leurs caractéristiques géologiques et géotechniques le permettraient.

L'approche envisagée s'inscrit dans le cadre des politiques publiques en vigueur, qui fixe un objectif de valorisation des matériaux à hauteur de 70 %. Toutefois, les résultats des investigations de sous-sol permettront de confirmer ou d'infirmer cette intention. Ainsi, le CERN pourrait obtenir une vision sur les pourcentages de réemploi et de remblai au cours de l'année 2027, avant une consolidation des données début 2028 dans un plan préliminaire de gestion des matériaux d'excavation.

Pour l'étude de faisabilité, une distribution arbitraire a été étudiée en considérant que les matériaux excavés non pollués seraient valorisés en remblaiement de carrières et que les matériaux pollués seraient gérés en décharges spécifiques selon leur niveau de pollution. Un inventaire des carrières existantes de part et d'autre de la frontière franco-suisse a été effectué, en prenant en compte les établissements avec une autorisation préfectorale au-delà de 2033 et en considérant une disponibilité en volume correspondant à 80% du volume déclaré dans l'autorisation (pour prendre en compte d'autres éventuels projets concurrents).

L'étude a montré que le volume de matériaux excavés pourrait être entièrement géré par le dépôt des matériaux pollués selon leur caractéristiques et le remblaiement des carrières. Pour aller plus loin sur ce sujet, une étude pour la définition du plan préliminaire de gestion des matériaux d'excavation, qui se déroule entre mars 2026 et mars 2028, inclut la révision de ces inventaires et la prise de contact avec les exploitants des carrières pour une validation directe sur la capacité d'acceptation des matériaux envisagés, en considérant aussi d'éventuels projets concurrents.

Les filières de valorisation

Plusieurs options de valorisation des matériaux excavés dans le cadre du projet FCC sont envisagées dans la stratégie développée jusqu'à maintenant :

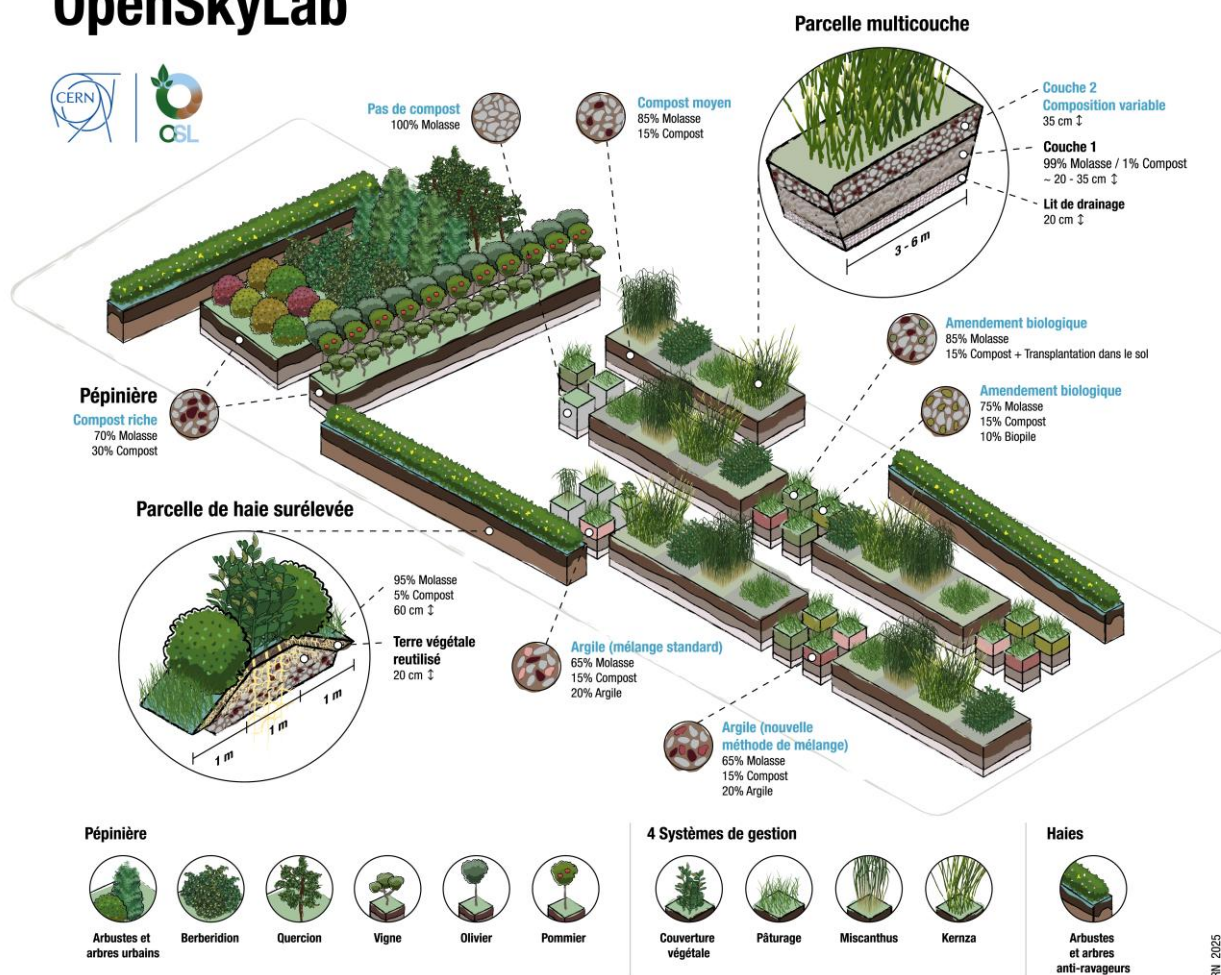
- ↳ Les matériaux pourraient être réutilisés pour les besoins d'aménagement du projet (voies de chantier, aménagements paysagers) ainsi que pour des travaux de terrassement et de renaturation, notamment pour le remblayage de carrières et de mines, sous réserve du respect des critères environnementaux applicables.
- ↳ Les fractions calcaires, sableuses et graveleuses pourraient être valorisées dans la production de chaux, de ciment ou de béton, éventuellement après traitement (tamisage et lavage).
- ↳ Une partie de la molasse pourrait également être utilisée comme matériau technique pour la couverture de tranchées, la réalisation d'écrans acoustiques ou l'aménagement de chemins agricoles et forestiers.
- ↳ Le développement de nouveaux matériaux de construction intégrant une fraction de molasse (par exemple pour le béton projeté ou des éléments de construction comprimés) serait également envisagé.
- ↳ À titre de projet scientifique innovant en cours d'expérimentation : la molasse pourrait être transformée en sols reconstitués destinés à la réhabilitation de friches, à l'aménagement d'espaces récréatifs ou forestiers et à l'amélioration de sols pollués ou dégradés ; dans le respect des réglementations en vigueur dans les États hôtes.

Ce dernier point évoque donc la possibilité d'utiliser la molasse pour la construction de sols fonctionnels à partir de composants naturels. Un champ de 1 hectare a été mis à disposition par le CERN pour mettre en place le projet de développement "OpenSkyLab". L'objectif d'OpenSkyLab est d'étayer scientifiquement la possibilité de produire un substrat fonctionnel à partir de molasse pour plusieurs utilisations potentielles. Les possibles exutoires considérés pour le substrat reconstitué à partir de molasse

comprennent les jardins urbains, les pépinières d'arbres, le réaménagement des friches industrielles, les couvertures routières, les merlons anti-bruit le long des axes routiers importants, les chemins forestiers et éventuellement la base pour les haies surélevées de séparation des champs agricoles. Ce projet repose sur une collaboration internationale réunissant des universités, des instituts de recherche et des entreprises spécialisées dans l'ingénierie des sols et l'agronomie.

Les premières cultures, effectuées sur un substrat constitué de molasse, enrichi par un pourcentage limité de compost (10 à 30%), et du fumier, ainsi que d'une quantité variable d'argile, ont montré des résultats prometteurs.

OpenSkyLab



Pour la lecture du schéma : La molasse est transformée en substrat fonctionnel par construction de sols (mélange avec compost et structuration en horizons). Différents usages sont illustrés : pépinières, parcelles agricoles avec haies surélevées, systèmes de gestion (cultures, couvert végétal, pâturage) et infrastructures paysagères. Le schéma détaille également la structure du sol reconstitué incluant couche de drainage et horizons fonctionnels. Cette approche vise une valorisation locale et durable des matériaux excavés. Au centre du schéma, différents amendements montrent comment la molasse excavée peut être transformée en substrat reconstitué, utilisé pour créer des sols capables de supporter diverses formes de végétation.

Cette approche repose sur la construction de sols, une technique consistant à combiner des matériaux minéraux (ici principalement la molasse), et des apports organiques (compost), afin de reconstituer des horizons de sol fonctionnels.

Le détail montre la composition type du substrat :

- ↘ Couche de drainage (~20 cm) : assure l'évacuation de l'eau
- ↘ Couche de support (~20–35 cm) : composée d'environ 99 % de molasse et 1 % de compost
- ↘ Couche supérieure (~35 cm) : composition variable adaptée aux usages (culture, végétation, etc.)

La couche de support pourrait avoir des épaisseurs différentes dans les applications à grande échelle pour aménagement paysager ou pour renaturation des sites.



Opérations sur l'emprise du projet OpenSkyLab. Crédit image : Staudinger, Christiana; Debit, Ines; Pueyo, Corentin Lucas

5.1.8 L'intégration paysagère et la renaturation des sites de surface

Pour favoriser une intégration paysagère harmonieuse des différents sites d'accès aux infrastructures souterraines, des images de projection sont rassemblées dans une « boîte à idées », autour de trois axes majeurs :

- > **Architecture** : valoriser l'emploi de matériaux locaux, le traitement des façades et le design architectural afin d'inscrire les équipements dans leur environnement bâti et de respecter le caractère local.
- > **Paysages** : s'appuyer sur la topographie naturelle et les atouts du site pour réduire l'impact visuel, tout en créant des espaces favorables à la biodiversité et à l'activité agricole et sylvicole.
- > **Communauté** : aménager des espaces conviviaux permettant à la population locale de se réunir, notamment pour des activités de loisirs, tout en offrant des opportunités de médiation scientifique

Les concepts architecturaux mettent l'accent sur l'intégration durable et esthétique au sein de l'environnement. Pour atteindre ces objectifs, les concepteurs adopteraient des approches modernes telles que les toitures végétalisées, les techniques de construction innovantes et les expressions de façade. Ces méthodes atténuent la domination visuelle des structures industrielles. Elles facilitent une transition harmonieuse entre les bâtiments et le paysage environnant.

Si le projet se poursuit, les priorités suivantes seraient étudiées :

- ↘ **Renaturation** : les efforts de restauration améliorent les écosystèmes locaux en favorisant la biodiversité et en augmentant la résistance aux changements environnementaux.
- ↘ **Utilisation du terrain naturel** : en intégrant les structures dans le paysage existant, les concepteurs réduisent au maximum les perturbations visuelles et maintiennent la continuité du terrain naturel.
- ↘ **Utilisation du terrain** : l'installation sur un terrain naturel, boisé, réduit au maximum la visibilité des installations dans l'environnement et permet une meilleure intégration paysagère.
- ↘ **Tampons verts** : la mise en place de barrières végétales réduit l'impact visuel et environnemental des installations, en favorisant la flore et la faune locales. L'aménagement paysager garantit une intégration subtile des installations dans l'environnement, permettant à la nature de prospérer tout en masquant les éléments d'infrastructure.
- ↘ **Paysage ininterrompu** : en insérant les constructions dans le relief et le paysage, la nature peut s'étendre sans interruption au-dessus, tandis que les installations peuvent être partiellement cachées à la vue.

Ce sujet de l'intégration paysagère est majeur pour le CERN et doit être consolidé avec les autorités compétentes de chacun des États hôtes, en lien étroit avec les élus et les populations locales pour chacun des sites de surface.

Pour ce qui est des raccordements au réseau de transport d'électricité RTE (présentés en partie 3.7), les volets paysagers ne sont pas définis au stade actuel du projet. Le débat public renseignera le maître d'ouvrage sur les enjeux locaux à prendre en compte dans le design et le chiffrage des solutions. Le paragraphe 3.7.1 explique comment l'implantation et les caractéristiques des ouvrages RTE à construire sont progressivement définis, et le paragraphe 7.3.2 donne un focus sur l'encadrement de la concertation à venir pour les ouvrages RTE après le débat public et piloté par le préfet.

Des études préliminaires de conception pourraient débuter en 2027 et préciseraient les principes architecturaux ainsi que les plans des sites de surface. Ce premier travail préliminaire sera rendu avant la décision du Conseil du CERN en y associant le public et les autorités locales.



Image hypothétique d'illustration architecturale artistique à l'emplacement du site PD à Nangy, France

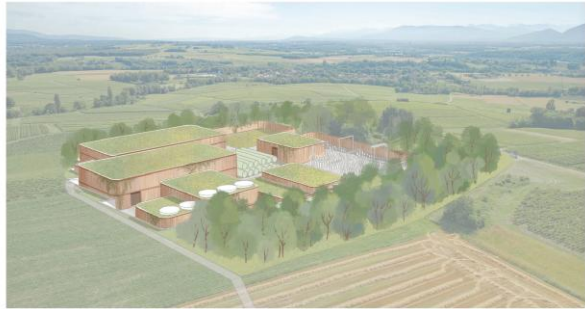


Image hypothétique d'illustration architecturale artistique à l'emplacement du site PL à Challex, France

Ces images artistiques et illustratives permettent de donner des idées à titre indicatif ; elles n'engagent pas la solution finale retenue.

5.2 LES PRINCIPAUX ENJEUX DE LA MAÎTRISE DES RISQUES

Le CERN devrait réaliser une **étude préliminaire de dangers** permettant d'identifier les risques pour chacune des étapes du projet. Cette étude permettrait d'identifier en amont les différents scénarios d'accidents et d'évaluer quantitativement les différents dangers, en phase de travaux comme en phase d'exploitation. Ces études seraient mises à jour au fur et à mesure de l'évolution du projet.

Pour chacune des phases, il faudrait distinguer deux grands types de risques :

- > Les risques technologiques et d'infrastructures liés aux installations et aux activités du CERN ;
- > Les risques naturels et climatiques et la résistance des installations à ceux-ci. Une étude de vulnérabilité spécifique serait jointe au Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale : elle étudierait la résilience des infrastructures face aux inondations, glissements, événements climatiques ainsi que la mise en place de barrières physiques ou plans de repli.

Focus : Y a-t-il un risque que le projet FCC crée un trou noir ?

- ↳ Bien que le FCC-ee soit sensible à des échelles d'énergie via des mesures de précision, les énergies des électrons et positons entrant en collision ont été déjà abondamment atteintes au sein du LHC et il est certain qu'elles ne sont pas suffisantes pour former un trou noir car elles restent en-deçà de l'échelle de la gravitation quantique.

5.2.1 Les risques technologiques et d'infrastructures

A ce stade, les principaux risques identifiés sont les suivants :

- > Les risques liés à un dysfonctionnement des installations, en termes de température, bruit ou champ électromagnétique ;
- > Les rayonnements ionisants et non-ionisants liés aux champs magnétiques, d'UV, de lasers ou de radiofréquence* ;
- > La présence de substances nocives ;
- > Les incendies et leurs propagations ;
- > Un acte malveillant ou de cybercriminalité ;
- > Les dysfonctionnements électriques liés à un choc ou un arc électrique.

L'étude de dangers permettrait de mieux déterminer les risques liés à l'existence de ces dangers.

5.2.1.1 Les rayonnements ionisants et la gestion des déchets radioactifs

L'origine des rayonnements ionisants

Un rayonnement ionisant est de l'énergie qui est transportée par des particules ou des ondes, par exemple un rayonnement électromagnétique (rayons X, rayons gamma) ou des neutrons⁹⁰. Il se produit notamment lorsque des atomes instables se désintègrent* (radioactivité) pour former des atomes

⁹⁰ Site du CERN, Les rayonnements au CERN : <https://voisins.cern/fr/radiation>

stables. La radioactivité naturelle dans des roches, le Soleil et l'espace produisent des rayonnements ionisants que nous pouvons détecter sur Terre. La radioactivité produite artificiellement, par exemple par des accélérateurs ou des centrales nucléaires, émet les mêmes types de rayonnement ionisant que la radioactivité naturelle. A forte dose, les rayonnements ionisants peuvent s'avérer dangereux et endommager les tissus vivants. En règle générale, la dose efficace reçue, mesurée en sievert (Sv), est une quantité qui permet de quantifier l'effet sur la santé des rayonnements.

Actuellement, les personnes vivant à proximité des sites du CERN reçoivent une dose annuelle maximale comprise entre 0,01 et 0,02 millisieverts par des activités du CERN, soit moins de 1% de la dose annuelle reçue de sources naturelles comme les rayons cosmiques, le radon ou les examens médicaux. À titre de comparaison, la dose annuelle moyenne de la population est de 5,6 millisieverts en Suisse (effets des activités médicales et des voyages en avion compris) et de 3,7 millisieverts en France (effets des activités médicales et des voyages en avion compris)⁹¹.

Le projet FCC : rayonnements ionisants et production de déchets radioactifs

Pour le FCC, les effets des rayonnements ionisants attendus sont négligeables : à proximité des sites de surface, la dose efficace annuelle serait inférieure à 0,01 millisievert/an, bien en-deçà du rayonnement ionisant ambiant naturel, de l'ordre de 0,8 millisievert/an⁹². A titre de comparaison, les applications médicales, tant en France qu'en Suisse, sont celles qui contribuent le plus à l'exposition aux rayonnements ionisants artificiels. En France, elles représenteraient environ 1,5 millisievert/an par habitant, soit 34 % de l'exposition totale aux rayonnements. De même, en Suisse, les applications médicales contribueraient à hauteur d'environ 1,49 millisievert/an par habitant⁹³.

Aucune production de déchets radioactifs n'est attendue pendant la phase de construction.

En phase d'exploitation, la production de radioactivité est une conséquence inévitable de l'interaction entre les faisceaux de particules et les matériaux des accélérateurs et des expériences. Elle concerne principalement des éléments métalliques et des câbles, issus en grande partie des travaux de maintenance et d'amélioration.

- > La majorité des déchets radioactifs produits serait de très faible activité. Ces matériaux proviendraient principalement des éléments situés à proximité des chambres à vide des accélérateurs ainsi que des équipements constituant les détecteurs situés dans les cavernes expérimentales.
- > Des déchets de faible et moyenne activité pourraient également être produits, mais en quantités nettement plus limitées. Certains secteurs de l'accélérateur seraient plus activés, notamment les absorbeurs et collimateurs de faisceau, ainsi que les zones proches des points d'interaction. Les déchets de faible et moyenne activité proviendraient principalement de ces zones.
- > Aucun déchet de haute activité ne serait généré.

Des études de quantification des niveaux de radioactivité et des volumes sont en cours. Des résultats plus précis seront disponibles au fur et à mesure de l'avancement de la conception technique.

⁹¹ Ibidem

⁹² Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 178

⁹³ Ibidem

La gestion des déchets radioactifs

L'objectif premier est de réduire le niveau de radioactivité produite au niveau le plus bas raisonnablement possible, afin de permettre la libération des matériaux conformément à la réglementation et leur réintégration dans des filières de recyclage conventionnelles.

La réduction de la quantité de déchets radioactifs ainsi que leur gestion sont prises en compte dès les phases de conception, d'exploitation et de mise hors service des accélérateurs et des expériences.

La réutilisation ou le recyclage des matériaux radioactifs, avant leur élimination vers des centres d'entreposage et de stockage des déchets radioactifs, sont envisagés dans la mesure où ces opérations sont raisonnables et économiquement réalisables.

Lorsqu'il n'est plus possible de réutiliser les matériaux radioactifs, ceux-ci sont pris en charge dans le cadre d'un processus spécifique de gestion des déchets. Après réception et regroupement par type, ils sont traités dans une installation du CERN, où ils sont démontés, triés, compactés et conditionnés conformément aux critères des filières d'élimination.

Selon un accord tripartite signé en 2010 entre la France, la Suisse et le CERN, les déchets radioactifs produits par l'Organisation sont pris en charge par les deux États hôtes, conformément aux filières mises en place et à leur législation nationale :

- ↳ **En France**, le CERN fait appel à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) pour la prise en charge de ses déchets de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC).
- ↳ **En Suisse**, le CERN met en œuvre la procédure de libération, qui permet de reclasser comme déchets conventionnels les déchets dont les mesures démontrent qu'ils ne sont plus « radioactifs », conformément à l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP). Les déchets de faible et moyenne activité (FAMA) sont, quant à eux, destinés à l'entreposage et au stockage final dans les installations de la NAGRA (Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs).

5.2.1.2 Présence de produits chimiques

Au CERN, il existe une réglementation qui définit les obligations de sécurité minimales de protection des personnes et de l'environnement face aux risques pouvant découler des produits chimiques. Ces obligations se traduisent soit par des aménagements de l'infrastructure, soit par la mise en place de mesures organisationnelles. Par exemple, une des obligations organisationnelles est de répertorier tous les produits chimiques présents sur les sites. La même approche serait appliquée dans le cadre du FCC

Les principales activités identifiées à ce stade qui pourraient impliquer l'utilisation de produits chimiques sont :

- ↳ **Pour le génie civil en phase chantier :**
 - ↳ Produits de construction comme le ciment, explosifs, peintures, produit de congélation de sol, résines, huile de coffrage, colles et mastics.
- ↳ **Pour la phase exploitation :**
 - ↳ **Distribution électrique** : dans les sous-stations électriques, transformateurs haute tension isolés avec de l'huile minérale et des disjoncteurs isolés aux SF6 ou futur produit de substitution ;
 - ↳ **Cryogénie** : des fluides pour compresseurs ;
 - ↳ **Refroidissement à eau** : des produits de traitement tels que des produits chimiques anti-corrosifs, des biocides et antitartres pourraient être injectés de manières contrôlées selon les normes applicables ;
 - ↳ **Expériences** : Un programme de recherche et développement est en cours concernant les gaz utilisés pour la détection de particules afin d'éviter les gaz avec un potentiel de réchauffement global élevé.

5.2.1.3 La gestion du risque incendie

Concernant les risques d'incendie en souterrain, une méthodologie d'évaluation basée sur la performance a été utilisée pour caractériser les scénarios possibles et dimensionner les mesures compensatoires nécessaires, qu'elles soient techniques ou organisationnelles. Cette approche est la mieux adaptée à ce type d'installation et acceptée par les autorités. Ces études ont déjà fait l'objet d'une revue par des experts externes et sont mises à jour au fur et à mesure de l'évolution du projet.

Pour les bâtiments de surface, le CERN appliquerait une approche prescriptive, en respectant la législation de l'État hôte (France, Suisse) en matière de lutte contre l'incendie.

5.2.2 Évaluation des risques sismiques et des vibrations du sol

Les principaux risques externes identifiés sont liés aux risques de vibrations. Les vibrations peuvent être dues aux activités sismiques, aux mouvements du sol, aux conditions météorologiques et aux sources artificielles telles que les activités de construction et les machines. Les risques sismiques varient en fonction de la localisation.

La France est divisée en cinq zones d'activité sismique, selon l'article D563-4 du Code de l'environnement. Les sites étudiés sont situés dans des zones d'activité sismique modérée ou moyenne. Les sites PA – Ferney-Voltaire, PL – Challex et PJ – Vulbens sont situés dans des zones d'activité 3 (modérée), tandis que les sites PG – Groisy – Charvonnex, PF – Eteaux et PD – Nangy sont situés dans des zones d'activité 4 (moyenne). En Suisse, selon la norme SIA 261, le modèle de risque sismique classe les sites en cinq zones ; le site PB de Presinge serait situé dans la zone Z1b (niveau 2), caractérisé par une faible activité sismique.

Des études géophysiques menées dans le cadre des investigations souterraines sur les sites (SSI) ont permis d'améliorer la compréhension des structures souterraines.

En outre, les données des sondages préliminaires ont révélé la présence de petits karsts⁹⁴ et de traces d'hydrocarbures, et des interprétations géophysiques provisoires ont identifié une faille de glissement est-ouest traversant les montagnes de la Mandallaz, bien que cela doive encore être confirmé par les sondages en cours. En collaboration avec l'Université de Genève, les résultats définitifs des investigations de sous-sol devraient apporter des éléments complémentaires sur ce risque.

Le CERN lance une étude d'aléa sismique pour la définition des exigences parasismiques des structures du FCC.

⁹⁴ Le karst est constitué de formes superficielles et souterraines qui résultent de la dissolution de roches carbonatées (calcaires, dolomies) par l'eau rendue acide par le gaz carbonique de l'air des sols. Les vides ainsi créés permettent l'écoulement et le stockage de l'eau souterraine.

5.3 LES MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES : ASSURER LA PROTECTION DES PERSONNES, DES BIENS ET DE L'ENVIRONNEMENT

Le CERN peut établir ses propres règles de sécurité, lorsque ceci est nécessaire à son bon fonctionnement. Pour cela, il tient compte de la législation et de la réglementation en vigueur dans les États hôtes (la France et la Suisse), des règlements et directives de l'Union européenne, ainsi que des réglementations, normes et directives internationales.

5.3.1 Les mesures de sécurité du tunnel en phase chantier

Le CERN étudie la sécurité, la ventilation et les aspects logistiques de la construction du FCC pour évaluer les risques importants que présenteraient le tunnel de 5,5 m de diamètre interne et les 11 km des longueurs d'avancement du tunnelier en matière de sécurité et de logistique, en particulier avec un seul moyen d'accès et d'évacuation.

Il a été démontré qu'en utilisant la technologie actuellement disponible, le tunnel pouvait être construit en toute sécurité et que le taux d'avancement supposé du tunnelier pouvait être atteint. Il a également été démontré que les exigences en matière de ventilation étaient satisfaites sur toute la longueur du tunnel, les spécifications des conduits et des ventilateurs ayant été calculées pour assurer une alimentation en air frais adéquate au niveau du front d'excavation. Enfin, des mesures de sécurité, telles que des chambres de refuge, ont été définies pendant la phase chantier pour garantir que les activités de construction respectent les normes nationales et internationales en vigueur.

Une attention particulière serait également apportée à la sécurité routière. Une stratégie de déplacement et de sécurité serait définie, une fois que les solutions de mobilité auront été choisies.

Des mesures de sécurité de l'environnement seraient également définies et dépendraient du scénario de chantier arrêté.

5.3.2 Les mesures de sécurité du tunnel en phase d'exploitation

Le CERN s'engage à développer les axes clés de sécurité suivante : environnement, santé et sécurité au travail, gestion des déchets radioactifs et préparation aux situations d'urgence.

5.3.2.1 Environnement

Un système de surveillance de l'environnement⁹⁵ serait mis en place dès que la nouvelle infrastructure de recherche serait entièrement construite :

- ↳ Surveillance des eaux de rejet à travers des stations de mesure qui fonctionneraient en continu.
- ↳ Échantillonnage des eaux de traitement : ces stations servent à prélever périodiquement des échantillons d'effluents résiduels de procédés, tels que le recyclage et le traitement de l'eau.
- ↳ Surveillance du bruit avec des stations de mesures qui fonctionneraient en continu et enregistreraient les niveaux de bruit sur les sites de surface et les zones sensibles situées à proximité.
- ↳ Surveillance météorologique, à travers des stations équipées d'anémomètres et de pluviomètres destinés à évaluer la distribution des substances potentiellement radioactives et des fumées en cas d'incendie. Une coopération avec les services météorologiques nationaux est envisagée pour l'échange de données.
- ↳ Une surveillance radiologique serait mise en place sur site et hors site avant, pendant et après l'exploitation, à travers des paramètres définis afin de démontrer le respect des contraintes et des limites de dose. Avant la mise en service de l'accélérateur, une campagne de mesures de référence (« point zéro ») permettrait de déterminer l'état radiologique initial de l'environnement sur l'ensemble des sites du FCC. Ces mesures seraient réalisées par les États hôtes en tant qu'autorités indépendantes. Durant

⁹⁵ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, p. 210

la phase d'exploitation du FCC, le CERN étendrait son programme de surveillance environnementale, en accord avec les États hôtes, permettant le suivi de l'ensemble des paramètres radiologiques pertinents tout au long de la durée d'exploitation et au-delà. Le CERN transmettrait régulièrement les résultats de ces mesures aux États hôtes, en complément des dispositifs de surveillance mis en œuvre par ces derniers. Ce dispositif prévu pour le FCC est en cohérence avec les pratiques actuellement en vigueur.

5.3.2.2 Santé et sécurité au travail

Au CERN, la santé et la sécurité au travail reposent sur une approche intégrée, qui assure à la fois la prévention, l'évaluation et le contrôle des risques professionnels des hommes et femmes qui font vivre le laboratoire. Plusieurs axes structurent cette démarche et continueraient de l'être avec le projet de FCC :

- > **La formation du personnel** : sensibilisation aux risques spécifiques du chantier et de l'exploitation (radioactivité, travail en espace confiné, risques chimiques, etc.).
- > L'accompagnement des diverses parties prenantes dans l'**application des règles de sécurité**, promeut l'amélioration continue via le retour d'expérience et veille au respect des exigences réglementaires par des audits et inspections.
- > Ce dispositif est complété par la **médecine du travail**, qui contribue à la protection de la santé physique et psychologique des personnes, ainsi que par la formation du personnel et leur sensibilisation aux risques spécifiques.

5.3.2.3 Préparation aux situations d'urgence

La conception de l'infrastructure

Le concept de sécurité du FCC prévoit, pour l'évacuation en situation d'urgence, la mise en œuvre conjointe d'un confinement dynamique par ventilation et d'un confinement statique par compartimentage, complétés par des véhicules autonomes pour les évacuations, des cages d'escalier sur-pressurisées et des ascenseurs sécurisés, selon la localisation au sein de l'infrastructure.

Des dispositifs spécifiques seraient prévus pour prévenir et réagir en cas d'incendie : matériaux résistants au feu, détecteurs et alarmes incendies, portes coupe-feu, protocole d'intervention.

La formation du personnel et des services d'urgence

↘ Deux axes principaux seraient développés pour la préparation aux situations d'urgence :

- > **La réalisation d'exercices réguliers** : évacuation, intervention incendie, gestion des incidents techniques ou environnementaux ;
- > **En collaboration avec les autorités publiques, la formation des services d'urgence et d'intervention aux enjeux spécifiques du CERN**, notamment de l'exposition aux rayonnements ionisants et d'interventions dans des tunnels.



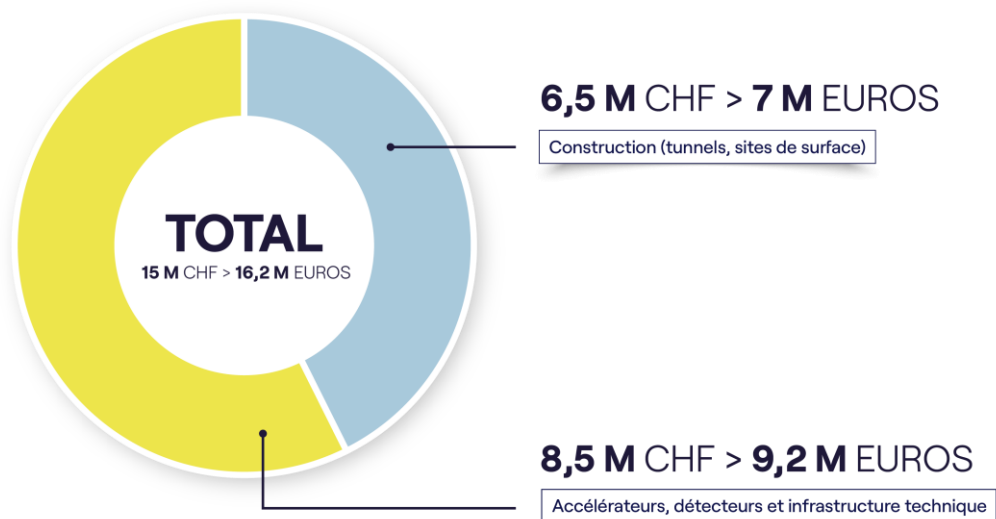
6. LES COUTS ET LE FINANCEMENT PREVISIONNELS

6.1 LE COÛT DE L'INVESTISSEMENT PRÉVISIONNEL

L'investissement prévu pour le programme s'élève à 15 milliards de francs suisses (soit environ 16 milliards d'euros) sur 15 ans. Les tableaux ci-dessous donnent le détail de ce montant en francs suisses, selon deux types d'approche. Il s'agit d'estimations en date de 2025.

Éléments	Montants en milliers de francs suisses Estimation de 2025
Accélérateurs	5 156 000
Injections et lignes de transfert	589 000
Ingénierie civile	6 087 000
Infrastructure technique	2 974 000
Expériences	288 000
Développement territorial	188 000
Total	15 282 000

Nature de coût (part estimée)	Décomposition des coûts par nature (part estimée) Répartition indicative basée sur l'analyse du Project Breakdown Structure (PBS) du FCC et des coûts 2025
Travaux (génie civil) Tunnels, puits, bâtiments, excavation	≈ 40%
Équipements Accélérateurs, radio-fréquence*, aimants, cryogénie	≈ 45%
Études & ingénierie Design, prototypage	≈ 5-10%
Foncier & aménagement Accès, réseaux, sites	≈ 5%
Environnement Déblais, compensations, conformité	≈ 5-10%



Répartition des coûts d'investissement pour le projet FCC-ee

6.2 LE FINANCEMENT PRÉVISIONNEL

La charge budgétaire est ainsi largement mutualisée et s'inscrit dans la continuité des mécanismes qui assurent déjà le fonctionnement du CERN depuis sa création : barème des contributions des États membres définis à partir de critères tels que le revenu national net (RNN), le produit intérieur brut (PIB) et de taux de change. L'ensemble de ces éléments sont d'abord analysés et recommandés par le Comité des finances qui émet, par la suite, des recommandations au Conseil du CERN qui doit approuver et voter le budget de l'exercice N+1.

De plus, le calendrier de financement s'étend en réalité sur une période d'au moins 30 ans, compte tenu des différentes phases de réalisation et d'exploitation. Cette progressivité, combinée à la réutilisation des constructions, tunnels et infrastructures techniques pour les étapes suivantes du projet de FCC, garantirait que l'investissement soit soutenable à long terme. En ce sens, la viabilité financière du programme serait assurée par l'engagement collectif et pérenne des États membres du CERN.

Le projet pourrait être financé à partir du budget annuel du CERN avec une augmentation annuelle de 1,5 % des frais des États membres pour une période limitée de huit ans. Les contributions des États associés et non membres seraient également annuelles et seraient convenues sur la base de la participation au programme. Ce modèle pourrait tout de même bénéficier de contributions externes.

Une potentielle ouverture du financement du projet à des investisseurs privés est également étudiée. La faisabilité et les conditions de financement ne sont pas encore connues à ce stade. Toutefois, le 18 décembre 2025, le CERN a annoncé des promesses de dons du secteur privé (particuliers et fondations philanthropiques) à hauteur de 860 millions d'euros. Cette option entraînerait une modification des statuts du CERN, uniquement pour recevoir des fonds privés, sans impact sur la gouvernance actuelle⁹⁶.

Par ailleurs, une contribution potentielle de l'Union européenne, notamment via le budget pluriannuel (Multiannual Financial Framework, MFF), pourrait également être envisagée pour ce type de projet structurant. Certains mécanismes de financement européens dédiés à des projets ambitieux (« moonshot »)⁹⁷ pourraient, à ce stade exploratoire, représenter une part significative du financement total. Cette piste reste toutefois à confirmer et dépendra des orientations politiques et budgétaires futures de l'Union européenne.

Si le projet se poursuit, ces différentes options seront analysées par le CERN, notamment afin de mieux saisir les avantages et inconvénients de chaque approche, ainsi que les cadres contractuels à mettre en place pour respecter les principes fondamentaux du CERN (mise à disposition publique des données, interdiction d'utilisation à des fins militaires, coopération des programmes de recherche).

⁹⁶ <https://home.cern/fr/news/press-release/cern/private-donors-pledge-860-million-euros-cerns-future-circular-collider>

⁹⁷ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/document/download/a64d902e-c508-4694-a0da-60504d071f82_en?filename=ec_rtd_mff-moonshots.pdf

6.3 RAPPORT BÉNÉFICES / COÛTS

Analyse socio-économique et environnementale – état des études passées et à venir :

↳ Études réalisées à ce jour :

- ↳ CSIL, & European Organization for Nuclear Research. (2025). Socio-economic impacts of the lepton collider-based research infrastructure (V03.00). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15421975>
- ↳ WIFO, Estimation of the FCC impact on value added and employment. (2023) <https://www.wifo.ac.at/en/publication/70741/>
- ↳ Crescenzi, R., & Piazza, G. (2024). Recommendations to increase the socio-economic impact of the Future Circular Collider for Member States (1.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13166167>
- ↳ Alix, L., Bibet-Chevalier, A., & Gorgerino, F. (2024). Identification of potential territorial and regional opportunities (1.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12699181>

↳ Etude à venir si le projet se poursuit :

- ↳ Évaluation socio-économique complète selon le cadre réglementaire en France.
- ↳ Développement de plans visant à maximiser les retombées, sur la base des résultats de l'évaluation socio-économique, en concertation avec les parties prenantes concernées.

Les analyses réalisées jusqu'à la fin de l'étude de faisabilité en 2025 intègrent les paramètres identifiés, quantifiés et monétisables relatifs à l'économie, à l'environnement et à la société. Elles se focalisent sur l'infrastructure et le fonctionnement du projet FCC-ee : il ne serait pas réaliste de faire aujourd'hui des études sur un potentiel deuxième collisionneur compte tenu de son échéance lointaine (à l'horizon 2070).

La dernière étude en date, « Impacts socio-économiques de l'infrastructure de recherche fondée sur un collisionneur de leptons », a été intégrée au volume 3 de l'étude de faisabilité⁹⁸. Conduite selon les méthodes recommandées en Europe (Commission Européenne, Banque européenne de l'Investissement, Organisation de coopération et de développement économiques), l'analyse couvre l'ensemble du cycle de vie du projet FCC-ee (2024-2064) et intègre les externalités environnementales, tant négatives que positives, les plus importantes, selon les normes ISO 14007/14008, ainsi que la valeur sociétale.

Cette évaluation ne peut être que différentielle entre une situation sans projet (appelée « contrefactuelle ») et une situation avec mise en œuvre du projet (appelée « option de projet »). Ainsi, les résultats indiquent la différence entre la création et la destruction de valeur du projet par rapport à l'absence de projet. Afin de comparer des coûts et des bénéfices de nature différente, ceux-ci doivent être exprimés dans une unité commune, qui est, par convention, l'unité monétaire.

L'horizon d'analyse est de 40 ans, avec une actualisation des coûts et bénéfices futurs pour estimer :

- ↳ La Valeur Actualisée Nette (VAN) : la différence entre les bénéfices potentiels actualisés et les coûts potentiels actualisés, incluant les externalités, sur l'ensemble de la durée du projet ;
- ↳ Le Ratio Coût-Bénéfice : le rapport entre la somme actualisée des bénéfices et celle des coûts.

⁹⁸ Futur Collisionneur Circulaire, Etude de faisabilité – Volume 3, 4.8. Performances socio-économiques, 311 – 333 Etude complète disponible ici (en anglais) : <https://zenodo.org/records/15421975>

Focus : taux d'actualisation retenu et traitement des incertitudes

Le taux d'actualisation social (Social Discount Rate – SDR) retenu pour l'évaluation est de 2,8 %. Ce taux résulte d'une combinaison des différents taux d'actualisation sociaux appliqués dans les États membres du CERN ainsi que dans l'UE27 (référence : <https://zenodo.org/records/6675063>).

Les incertitudes associées aux estimations ont été modélisées à l'aide d'une approche de type **simulation de Monte Carlo**. Toutefois, compte tenu du fait que l'évaluation socio-économique réalisée à ce stade reste fortement influencée par plusieurs sources d'incertitude – notamment liées aux coûts, aux bénéfices ainsi qu'aux externalités positives et négatives – les résultats issus de ces simulations ne sont pas inclus dans le rapport à ce stade.

L'analyse couvre la période d'observation du projet FCC-ee, depuis la phase de conception avec les premiers investissements significatifs en 2024 (diagnostics environnementaux et investigations du sous-sol) jusqu'à la fin de la phase d'exploitation en 2064. Les coûts et bénéfices considérés interviennent à des horizons temporels différents selon les chaînes d'impact. À titre d'exemple, les effets sur l'agriculture et la sylviculture sont évalués sur un horizon de 35 ans après leur survenance, tandis que les effets liés à la formation de capital humain s'étendent jusqu'à la fin du siècle. L'actualisation sociale est utilisée afin de ramener l'ensemble des coûts et bénéfices analysés à un même point dans le temps.

Les valeurs présentées ici sont indicatives et sujettes à des incertitudes ainsi qu'à des fourchettes. Ces incertitudes seront prises en compte lors d'une évaluation plus approfondie ultérieure. Par ailleurs, elles sont liées à la connaissance des coûts et des bénéfices, à la capacité de les quantifier et de les exprimer en termes monétaires, ainsi qu'à la possibilité de concrétiser les retombées.

Le coût total actualisé intégrant les externalités négatives est estimé à environ 20 milliards de francs suisses (soit environ 21,5 milliards d'euros). L'estimation conservatrice des retombées les plus certaines, actualisées, s'élève à environ 24 milliards de francs suisses (soit environ 26 milliards d'euros).

Dans le cas d'un deuxième collisionneur, le FCC-hh qui pourrait succéder au FCC-ee, la valeur des infrastructures mises en place serait estimée à environ 2,5 milliards de francs suisses (soit environ 2,7 milliards d'euros), serait une potentielle retombée supplémentaire. D'autres retombées, également identifiées, quantifiées et monétarisées, concernent le développement de systèmes informatiques ouverts ainsi que certaines externalités environnementales positives. Leur valeur, estimée à environ 6,4 milliards de francs suisses (soit environ 7 milliards d'euros), n'a pas été prise en compte dans l'estimation du ratio coût-bénéfice en raison des incertitudes de déploiement.

En plus de cette analyse différentielle, il existe une valeur économique mesurable en termes de valeur ajoutée. La méthode standard pour modéliser ces effets est l'analyse entrées-sorties, reconnue par la Communauté européenne. Les retombées analysées par cette méthode se décomposent en :

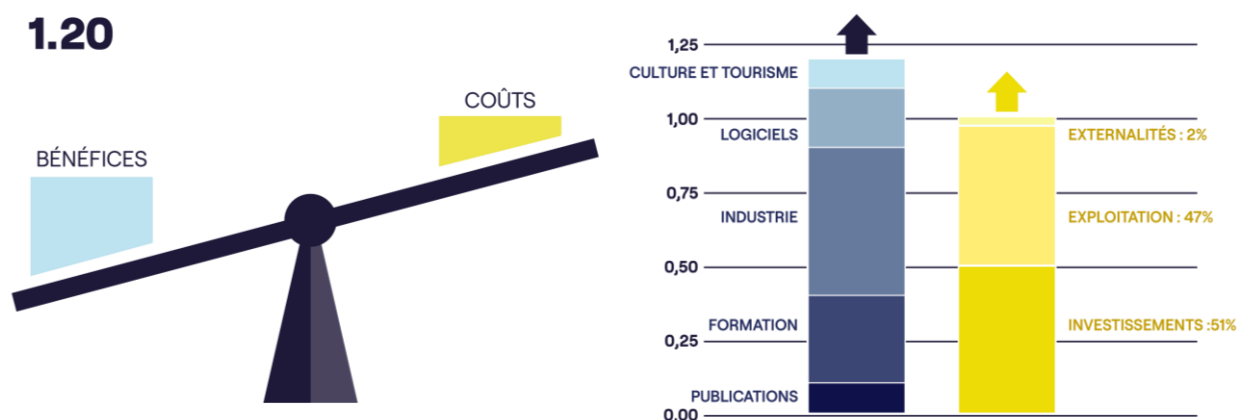
- > Des effets directs (emplois, dépenses) de 20,3 milliards de francs suisses (soit 19,3 milliards d'euros), correspondant aux dépenses initiales du maître d'ouvrage et aux emplois directement mobilisés par le projet ;
- > Des effets indirects (emplois et dépenses des fournisseurs) de 13,15 milliards de francs suisses (soit 12,5 milliards d'euros), correspondant à l'activité générée chez les fournisseurs tout au long de la chaîne d'approvisionnement, en réponse à la demande initiale – sans double comptabilisation des dépenses directes ;
- > Des effets induits (effets économiques générés dans l'économie par les participants au projet via

leurs dépenses) de 16,35 milliards de francs suisses (soit 15,5 milliards d'euros), correspondant aux effets économiques additionnels résultant des dépenses de consommation des ménages (salariés et acteurs économiques) soutenus par les effets directs et indirects.

Au total, la valeur ajoutée pour l'économie du projet FCC-ee s'élève à environ 49,8 milliards de francs suisses (soit 47,3 milliards d'euros) sur l'ensemble du cycle de vie du projet. Environ 520 millions de francs suisses (soit 495 millions d'euros) seraient dépensés annuellement pendant la phase d'exploitation pour la fourniture de ressources et de services dans les deux États hôtes.

RAPPORT BÉNÉFICES/COÛTS

1.20



Il convient de préciser que cette analyse a été effectuée en phase exploratoire du projet de FCC, avec des données aujourd'hui actualisées ou réduites. Inversement, l'analyse du cycle de vie est incomplète à ce jour.

L'étude conclut que le FCC peut constituer un investissement durable et justifiable pour la société, tout en respectant les standards européens, suisses et français en matière de protection de l'environnement. Cela suppose toutefois une planification afin de concrétiser pleinement le potentiel des retombées identifiées et quantifiées.

Les montants présentés correspondent aux estimations d'investissement brut issues de l'analyse socio-économique réalisée en 2024, exprimées en valeur non actualisée.

Les valeurs dites « actualisées » reflètent une approche en valeur actuelle nette, intégrant l'actualisation des coûts et bénéfices futurs sur l'ensemble du cycle de vie du projet aux prix d'aujourd'hui. Le ratio bénéfice/coût de 1,2 correspond ainsi au rapport entre la somme actualisée des bénéfices et celle des coûts.

Ces résultats reposent sur un jeu de données antérieur à la finalisation de l'étude de faisabilité 2025 et peuvent donc présenter des écarts liés à l'actualisation des estimations de coûts. Ce décalage reflète le caractère itératif des exercices d'estimation et d'évaluation socio-économique. Les mises à jour ultérieures permettront d'assurer une cohérence complète des hypothèses et des résultats.

Le détail de cette analyse socio-économique et environnementale est le suivant (estimation 2024) :

Poste	Mesure (quantité physique)	Monétisation (facteurs unitaires)	Non actualisé (milliards de francs suisses)	Actualisé (milliards de francs suisses)
(A) Coûts				19,7
Coûts d'investissement	Infrastructures génie civil et techniques, injecteur et collisionneur électron-positon et 4 expériences	Coût moyen estimé du scénario de base	16,2	10,2
Coûts de personnel	258 000 personnes-années	Salaires actuels et estimations réalisées par un cabinet indépendant ⁹⁹	16,8	7,5
Coûts d'exploitation	Entretien périodique, réparation, biens et services, ressources et consommables (p.ex. électricité et eau), support pour les collaborations internationales	Estimations à partir des éléments financiers du CERN (2023)	4,4	1,9
Coûts de démantèlement	Démantèlement du FCC-ee	Projections sur la base des coûts de démantèlement du LEP	0,2	0,1
(B) Externalités négatives				354
Gaz à effet de serre (GES)	<ul style="list-style-type: none"> > Construction : 526 671 tCO₂eq > Exploitation : entre 305 250 tCO₂eq et 508 750 tCO₂eq 	Coût social du carbone : <ul style="list-style-type: none"> > 192 €/tCO₂eq en 2024 > Jusqu'à 1 037 €/t en 2050 > (Conversion en CHF 2024) 	0,6	0,3
Rayonnements ionisants (public)	<ul style="list-style-type: none"> > Exposition d'une population dans un périmètre de 	Valeur du man-sievert ¹⁰⁰ : 4 500 €/man. Millisievert (données)	<0,05	<0,05

⁹⁹ Source en anglais: Provision of corporate development organisational, financial, legal and tax consultancy services at CERN", Deloitte

¹⁰⁰ L'unité de la dose collective, utilisée en radioprotection pour quantifier l'exposition totale d'un groupe de personnes

	<p>300 m autour de 8 sites : ~ 1 522 personnes</p> <p>> Exposition maximale : 0.01 millisievert/an</p>	EDF 2020 converties en CHF 2024)		
Bruit de chantier	<p>> Exposition d'une population dans un périmètre de 100 à 200 m selon topographie</p> <p>> Dépassements ponctuels des seuils identifiés pour les sites PB (Presinge) et PH (Cercier)</p> <p>> ~13 personnes exposées (pondérées)</p>	Coût social de la gêne (Min. Écologie FR 2018) : ~185,37 €/pers. Pour une exposition à 45 dB	<0,05	<0,05
Perte de services écosystémiques	76,2 ha réservés (≈92% FR, 8% CH)	<p>Moyennes des valeurs de la méthode « Ecosystem Services Valuation Database »¹⁰¹ :</p> <p>> Forêt: 533 €/ha/an</p> <p>> Terres agricoles: 574 €/ha/an</p> <p>> (conversion en CHF 2024)</p>	<0,05	<0,05
Coût social des émissions de gaz à effet de serre et de la pollution atmosphérique liées au trafic de poids-lourds	8,2 Mm ³ excavés	Pollution de l'air exprimée en euros par km produit, selon le poids et le type de véhicules	<0,05	<0,05
(C) Bénéfices principaux				
Production scientifique (articles publiés par les 4 expériences, articles produits à la base des articles publiés par les expériences)	<p>> Estimation du nombre de produits scientifiques publiés par les 4 expériences: 38 008</p> <p>> Chiffre total des publications</p>	Coût marginal de production (temps×salaire) par produit Valeur d'une citation : ~110 CHF	6,5	2,8

¹⁰¹ Socio-economic impacts of the lepton collider-based research infrastructure, p.65

	scientifiques produits à la base du programme de recherche: 526 782			
Formation des jeunes chercheurs	<ul style="list-style-type: none"> > 74 448 personnes de ≤30 ans considérés pour la monétarisation de la formation > Participation dans le projet entre 1-5 ans, avec une moyenne à 3,78 ans 	Primes de salaires par secteur entre 2 et 10% (médiane 6%) sur la vie professionnelle d'un technicien, ingénieur ou scientifique	20,7	5,0
Retombées pour les fournisseurs industrielles de haute technologie	6,895 Md CHF d'investissements à intensité technologique (TI) variable	Multiplicateur profit / ventes : 3,06 (TI élevé), 1,96 (TI modéré)	17,6	9,6
Logiciels ouverts pour la modélisation et simulation des détecteurs utilisés par d'autres organisations	95 institutions contributrices + 30 utilisatrices	Coûts évités par utilisateur (D-contribution)	7,4	4,4
Bénéfices culturels – visiteurs sur les sites	5,573 millions de visites attribuables au FCC-ee	Méthode du coût de voyage (transport + temps + dépenses locales)	4,5	2,1
Bénéfices culturels – visiteurs en ligne	1,7 milliard d'impressions 83 millions d'engagements 183 millions de visites web	Coût d'opportunité du temps (pondéré par PIB/hab.)	0,2	0,1
Coûts totaux incluant les externalités négatives			(A+B)	20 020
Bénéfices principaux totaux			(C)	Env. 24 000
Valeur actuelle nette de référence			(C) + (A+B)	3 954
Taux bénéfice/coût (BCR) de référence				1.20



7. LA PARTICIPATION DU PUBLIC ET DES PARTIES PRENANTES

7.1 QUELLE EST LA PLACE ACCORDÉE À LA PARTICIPATION DU PUBLIC DANS LE PROCESSUS DE DÉCISION DU CERN ?

Les démarches de débat public en France interviennent en amont de la prise de décision, lorsqu'il est encore possible de débattre de l'opportunité du projet, de ses caractéristiques et de ses enjeux. En Suisse également, cette concertation permet d'échanger sur la justification scientifique du projet et de débattre de ses caractéristiques et de ses enjeux.

L'ensemble des arguments exprimés, en France et en Suisse, sera traité de la même manière par le CERN, indépendamment du statut des personnes qui les portent. La réponse du CERN au processus de participation du public engagé sera publiée cinq mois après sa clôture, au plus tard. La décision finale d'investissement, c'est-à-dire de réaliser le projet ou non, sera prise par le Conseil du CERN en 2028 au plus tôt. Cette décision, prise par les États membres, ne signifierait pas nécessairement le début de la construction, qui resterait soumise aux autorisations administratives françaises et suisses.

7.2 UN DIALOGUE TERRITORIAL DÉJÀ ENGAGÉ AVEC ET DANS LES DEUX ÉTATS HÔTES

Depuis le lancement des études, de nombreux échanges ont eu lieu avec les acteurs français et suisses, tant au niveau national que local. Début 2021, un Comité tripartite constitué du CERN, de la France (Préfecture de région et Mission permanente de la France auprès des organisations internationales et des Nations Unies à Genève) et de la Suisse (la Mission permanente de la Suisse auprès des organisations internationales, de l'Office des Nations Unies et des autres organisations internationales à Genève (DFAE), le Secrétariat d'État à la Formation, à la Recherche et à l'Innovation (SEFRI) et Conseil d'État du canton de Genève) a été installé et examine exclusivement les aspects d'implantation territoriaux, environnementaux, socio-économiques sur le sujet du projet de FCC.

Le dialogue territorial avec les collectivités s'est structuré autour de plusieurs temps dédiés, permettant des échanges réguliers et approfondis. Des instances ont été créées pour instaurer un dialogue bilatéral avec les collectivités territoriales. Ce dialogue s'est matérialisé à travers plusieurs formats : réunions publiques, rencontres avec les exécutifs locaux, échanges avec les associations représentatives, ainsi que des entretiens ciblés avec les responsables territoriaux.

Réunion publique du 27 mai 2025 de présentation de l'étude de faisabilité du projet FCC



En termes de dialogue avec le grand public, les démarches et les rencontres sont résumées dans le tableau suivant.

FRANCE

En juin 2024, le CERN a saisi la Commission nationale du débat public (CNDP) pour assurer une mission de conseil, dès la phase préliminaire du FCC, avant même la saisine formelle pour l'organisation du débat public. Le 3 juillet 2024, la CNDP a désigné Mme Brigitte FARGE-VIEILLE et M. Jonas FROSSARD, pour assurer cette mission de conseil. M. Jonas FROSSARD a été remplacé par M. David CHEVALLIER en septembre 2025.

Cette saisine servait à encadrer le dialogue préalable mené par le CERN depuis 2024 et à préparer la saisine à venir de la CNDP sur le projet de FCC. Les actions réalisées :

- ↳ **2024** : sept réunions publiques, en Haute-Savoie et dans l'Ain ;
- ↳ **27 mai 2025** : réunion publique de présentation de l'étude de faisabilité ;
- ↳ **Automne 2025** : cinq permanences organisées en France.

SUISSE

Le CERN collabore étroitement avec les représentants du Canton de Genève ainsi que la Confédération. Les actions réalisées :

- ↳ **2024** : deux réunions publiques d'information ont été organisées en Suisse, avec le soutien des communes concernées.
- ↳ **27 mai 2025** : réunion publique de présentation de l'étude de faisabilité ;
- ↳ **Automne 2025** : une permanence organisée sur le Canton de Genève (commune de Presinge).

7.3 LES DISPOSITIFS DE PARTICIPATION DÉPLOYÉS EN FRANCE ET EN SUISSE

Deux dispositifs distincts de participation sont mis en œuvre : le débat public pour la France et la concertation pour la Suisse, selon des modalités adaptées aux réglementations et pratiques de la démocratie participative propres à chaque État est organisé. Les calendriers sont les suivants :

- > Entre le 2 juin et le 1^{er} octobre 2026 pour la France, sous l'égide de la Commission nationale du débat public (CNDP) ;
- > Entre le 18 mai et le 2 octobre 2026, pour la Suisse, sous l'égide de deux tiers garants experts du dispositif. Un consortium mandaté par le CERN a été mis en place pour organiser et animer le dispositif de participation.

Les deux équipes en charge du dispositif de participation, respectivement en Suisse et en France, agissent en lien afin de garantir à tous les habitants une symétrie d'information et d'ouverture à la participation à propos de ce projet dont les infrastructures seraient implantées dans les deux pays.

7.3.1 En France, un débat public encadré par la Commission Nationale du Débat Public

Le projet de FCC entre dans le champ de la saisine obligatoire de la CNDP en application des articles L121-8-I et le R 121-2 du Code de l'environnement, compte tenu du montant prévisionnel de l'investissement envisagé. Dans les deux mois suivant la clôture du débat public, deux documents seront publiés :

- ↳ Un compte-rendu établi par la CPDP ;
- ↳ Un bilan dressé par le président de la CNDP.

Le CERN et RTE disposeront ensuite de trois mois pour répondre aux questions et recommandations émises par la CPDP, et rendre publique leur décision relative à la poursuite des études sur le FCC et le raccordement électrique associé. La CNDP publiera ensuite un avis portant sur la complétude et la qualité des réponses des porteurs de projet au regard des questions du public et des recommandations de la CPDP.

7.3.2 La contribution de RTE au débat public

Concernant les raccordements au réseau public de transport (RPT), RTE attend de ce débat public qu'il permette la concertation en amont du projet, autour des conditions d'insertion sur le territoire des nouvelles infrastructures (postes et lignes électriques) et de leurs caractéristiques. La participation du public permettra ainsi de nourrir les prochaines étapes de concertation avec l'État et les parties prenantes en application de la circulaire du 21 mars 2025 relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité (voir chapitre 3.7).

Focus : Les procédures associées aux raccordements RTE

Concernant son raccordement électrique, si le projet de FCC porté par le CERN est poursuivi à l'issue du débat public, l'aire d'étude puis les emplacements et fuseaux pour la construction des nouveaux postes et liaisons électriques à 400 000 volts et 225 000 volts seront validés par l'État (ministre et/ou préfet) dans le cadre de la concertation dite « Ferracci ». L'objectif de cette concertation, décrite dans la circulaire du 21 mars 2025 relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution d'électricité, est de définir, avec les représentants des territoires concernés (élu, associations, organisations professionnelles, etc.) et les services de l'État, les caractéristiques du projet de raccordement électrique en intégrant les enjeux environnementaux. RTE portera à la connaissance des parties prenantes impliquées dans la concertation dite « Ferracci », les observations du public recueillies lors du débat public via son bilan et ses enseignements.

Suite à cette concertation dite « Ferracci », les demandes d'autorisations administratives pourront ensuite être déposées. Il s'agit notamment de déclarations d'utilité publique (DUP) pour les postes et lignes électriques le cas échéant, au titre du Code de l'expropriation et du code de l'énergie.

La DUP prononce le caractère d'intérêt général d'un projet et permet, si besoin, la mise en œuvre des procédures d'expropriation et de mises en servitude légales, nécessaires dès lors que les démarches d'achat (pour les postes) ou conventionnement amiable (pour les lignes) ne peuvent aboutir avec les propriétaires concernés. Pour un projet de ligne électrique d'une tension égale à 400 000 volts, l'arrêté de DUP est pris par le ministre chargé de l'énergie, après instruction de la demande par le préfet. Pour les lignes à 225 000 volts et les postes, l'arrêté de DUP sera pris par le préfet de département. L'instruction des demandes de DUP pour les postes et les lignes électriques comportera une nouvelle phase de participation du public.

Au-delà des déclarations d'utilité publique, le projet pourrait faire l'objet d'autres demandes d'autorisations en tant que de besoin (au titre du code de l'urbanisme, du code de l'environnement, du code de l'énergie, etc.).

7.3.3 En Suisse, une participation du public ancrée dans les usages

En septembre 2025, le canton de Genève, avec l'aide des autorités fédérales, a proposé un cadre stratégique pour le processus de concertation suisse à venir, qui se résume en trois composantes principales :

- ↳ La mise en place d'une instance territoriale de suivi de la concertation, composée de représentants du CERN, de la Confédération, et pour le canton du Secrétariat Général du Département du territoire, du Service de Participation citoyenne de l'Office d'urbanisme, de la Direction de la planification cantonale de l'Office d'urbanisme et deux ou trois autres représentants.
- ↳ Un dispositif de tiers de confiance indépendant du CERN et des parties prenantes du projet, bénéficiant d'une expertise reconnue dans le domaine de la concertation. Le tiers de confiance veille au respect des principes et des règles de la concertation telles qu'elles sont définies dans « l'état de l'art » de ce domaine, au regard notamment du caractère impartial de l'information ; de la qualité de l'écoute, de la pluralité de l'expression et de la production des points de vue ; de la sincérité du traitement des résultats intermédiaires et finaux ; de la transparence de la restitution. Il ne prend pas part au débat.
- ↳ Un objectif d'évaluation en continu pour évaluer la démarche au fur et à mesure de son déroulement, d'identifier les points faibles et les éléments d'amélioration, de manière à faciliter son ajustement.

Deux tiers de confiance ont été mandatés : Dominique Bourg et Chantal Balet, qui auront en charge le suivi de la concertation suisse et la co-rédaction du bilan de cette dernière.

7.4 LES SUITES DU DÉBAT PUBLIC FRANÇAIS ET DE LA CONCERTATION SUISSE

Si le projet est poursuivi, le public continuera d'être associé aux différentes phases, notamment au travers d'une concertation continue sous l'égide de garants désignés par la CNDP pour la France et d'un Consortium, accompagné par des tiers de confiance, pour la Suisse.



8. GLOSSAIRE

LES INSTALLATIONS DU CERN

> ACCÉLÉRATEUR

Dispositif complexe, situé généralement dans un tunnel, qui accélère des faisceaux de particules chargées et les porte à des énergies élevées. On utilise des champs électriques pour accélérer les particules et des aimants pour les guider et les focaliser. Les faisceaux peuvent entrer en collision entre eux ou avec une cible fixe.

- ↳ Un collisionneur circulaire est un accélérateur dans lequel deux faisceaux, accélérés en sens opposé, interagissent en des points de collision déterminés.
- ↳ Un accélérateur linéaire (linac) sert souvent de premier maillon dans la chaîne d'accélération.
- ↳ Un synchrotron est un accélérateur dans lequel le champ magnétique courbant les orbites des particules augmente avec l'énergie de ces dernières, ce qui permet d'obtenir des orbites circulaires avec un rayon de constante.

> CAVITÉ RADIOFRÉQUENCE

Pour accélérer les particules, les accélérateurs sont dotés de cavités radiofréquence (RF) : ce sont des enceintes métalliques qui abritent un champ électromagnétique. Les particules chargées qui pénètrent dans ce champ reçoivent une impulsion électrique qui les fait accélérer. Dans le Grand collisionneur de hadrons (LHC), 16 cavités RF sont placées dans quatre réfrigérateurs cylindriques appelés cryomodules, ce qui leur permet de fonctionner à un état supraconducteur.

> FAISCEAU

Dans un accélérateur, les particules sont rassemblées en un faisceau. Les faisceaux peuvent contenir des milliards de particules et peuvent être divisés en paquets. Chaque paquet mesure ordinairement plusieurs centimètres de long, mais seulement quelques millimètres, voire micromètres de large.

> INJECTEUR

Système qui fournit des particules à un accélérateur. La chaîne d'injection du LHC est constituée de plusieurs accélérateurs successifs.

> LHC (LARGE HADRON COLLIDER)

Grand collisionneur de hadrons ; le plus grand accélérateur du CERN et au monde.

> PS (PROTON SYNCHROTRON)

Accélérateur qui sert à accélérer des particules (ions et protons), soit pour envoyer les faisceaux* directement dans des expériences, soit pour alimenter des accélérateurs* plus puissants.

> SPS (SUPER PROTON SYNCHROTRON)

Supersynchrotron à protons. Accélérateur fournissant les faisceaux (ions et protons) pour des expériences du CERN, et préparant également ceux du LHC.

LES NOTIONS CLÉS DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

> PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

Les particules élémentaires sont les plus petits « grains de matière », d'une taille bien inférieure à celle des atomes. Elles ne sont pas observables à l'œil nu et nécessitent des accélérateurs* pour comprendre leur comportement.

Ces particules se répartissent en deux groupes : les quarks et les leptons.

- ↳ Les différents quarks sont les quarks u et d, les quarks c (charmés) et s (étranges), et les quarks t (top) et b (bottom).
- ↳ La catégorie des leptons regroupe l'électron et le neutrino de l'électron, le muon et le neutrino mu, le tau et le neutrino tau.

Les physiciens ont développé une théorie appelée « Modèle standard » pour mieux les comprendre. Ils valident et affinent ce Modèle à l'aide d'expériences qui permettent d'observer la présence réelle de certaines particules, parfois bien après qu'elles ont été incluses dans le Modèle, comme le boson de Higgs par exemple.

Quatre forces, ou interactions, fondamentales assurent la cohésion des particules. Elles sont portées par des particules appelées bosons. La force électromagnétique est portée par le photon ; la force faible par les bosons W, chargés, et par le boson Z, neutre ; la force forte par le gluon ; enfin, la gravité est probablement portée par le graviton, qui n'a pas encore été découvert. Les hadrons sont des particules sensibles à la force forte. Ils comprennent les mésons, particules formées d'une paire quark-antiquark, et les baryons, particules formées de trois quarks. Le pion et le kaon sont deux types de mésons. Les neutrons et les protons sont des baryons ; les neutrons contiennent un quark u et deux quarks d ; les protons contiennent deux quarks u et un quark d.

> ANTIMATIÈRE

À toute particule de matière correspond une antiparticule. Les antiparticules chargées portent une charge électrique opposée à celle de leur partenaire de matière. Bien que les antiparticules soient excessivement rares dans l'Univers aujourd'hui, on pense que matière et antimatière ont été créées en quantités égales lors du Big Bang.

> ANTI-PROTON

L'anti-proton est l'antiparticule du proton (voir Antimatière).

> ATOME

Tout élément de notre Univers, du Soleil à notre corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux, est composé d'atomes. De taille très petite - un dixième de milliardième de millimètre -, ils sont composés de trois types de particules :

- ↳ Les **protons**, chargés positivement ;
- ↳ Les **neutrons**, non chargés (les protons et les neutrons composent le noyau) ;
- ↳ Les **électrons**, chargés négativement, qui gravitent autour du noyau. Un électron est une particule qui porte une charge électrique négative. Les électrons forment la couche extérieure « réactive » des atomes qui interagissent avec d'autres atomes et forment les liens chimiques qui maintiennent les molécules groupées, formant les corps de matière qui nous composent et sont tout autour de nous. Des flux d'électrons entre deux points génèrent un courant électrique.

> **BOSON DE HIGGS**

Particule dont l'existence a été théorisée dans les années 1960 et vérifiée grâce au Grand collisionneur de hadrons (LHC) en 2012, et que les physiciens associent au mécanisme par lequel les particules acquièrent une masse.

> **DÉSINTÉGRATION DE PARTICULE**

La désintégration d'une particule est le processus spontané par lequel une particule subatomique instable se transforme en plusieurs autres particules.

> **ELECTRON**

Un électron est une particule qui porte une charge électrique négative. Les électrons forment la couche extérieure « réactive » des atomes qui interagissent avec d'autres atomes et forment les liens chimiques qui maintiennent les molécules groupées. Des flux d'électrons entre deux points génèrent un courant électrique.

> **HADRON**

Particule subatomique, c'est-à-dire de taille inférieure à un atome, contenant des quarks, des antiquarks et des gluons, et qui est donc soumise à la force forte. (Voir particules)

> **ION**

Atome auquel on a enlevé (ion positif) ou ajouté (ion négatif) un ou plusieurs électrons.

> **ISOTOPE**

Forme légèrement différente d'un même élément chimique. Les isotopes se distinguent les uns des autres par le nombre de neutrons contenus dans leur noyau, le nombre de protons étant identique.

> **KLYSTRON**

Les klystrons sont des tubes à vide spécialisés qui amplifient les ondes radio à haute fréquence par un facteur pouvant atteindre un million.

> **LUMINOSITÉ**

En physique des particules, la luminosité mesure la capacité d'un accélérateur de particules à produire le nombre d'interactions requis. Plus la luminosité produite par un accélérateur de particules est élevée, plus les expériences reçoivent de données. Une plus grande luminosité signifie donc des résultats plus précis et une probabilité accrue d'observer les phénomènes les plus rares.

> **MATIÈRE**

La matière que nous connaissons est formée de molécules, elles-mêmes constituées d'atomes.

> MATIÈRE NOIRE ET ÉNERGIE SOMBRE

Seule 4 % de la matière de l'Univers est visible. Le reste se trouve sous forme :

- ↳ **De matière noire (26 %) :** est une matière hypothétique qui ressentirait la gravitation et n'interagirait que par interaction faible avec la matière ordinaire. Elle échappe à la détection mais elle expliquerait pourquoi notre Univers se compose de galaxies, d'amas de galaxies mais aussi de vides immenses.
- ↳ **D'énergie sombre (70 %) :** les physiciens estiment que près de 70 % du contenu énergétique de l'Univers serait dû à une composante qui n'est ni matière, ni rayonnement. Cette composante exotique, appelée énergie noire, pousse l'Univers à accélérer son expansion depuis près de six milliards d'années. La nature de cette énergie noire constitue un des grands mystères contemporains de la cosmologie.

> MODÈLE STANDARD

Ensemble de théories rassemblant les connaissances actuelles sur les propriétés des particules fondamentales.

> MUON

Particule non stable, semblable à l'électron, mais de masse environ 200 fois supérieure.

> NEUTRON

Particule subatomique de charge électrique nulle. Les neutrons sont présents dans le noyau des atomes, liés avec des protons par l'interaction forte.

> NEUTRINO

Particule neutre qui n'interagit que très faiblement en traversant la matière.

> NOYAU

Le noyau atomique est la région du centre d'un atome, constituée de protons et de neutrons, que l'on appelle collectivement les nucléons. La taille du noyau est environ 100 000 fois plus petite que celle de l'atome et concentre quasiment toute sa masse.

> SPIN

Le spin est une propriété intrinsèque des particules que l'on peut se représenter comme la rotation de la particule sur elle-même.

> PLASMA

Le plasma est un gaz ou milieu ionisé, c'est-à-dire composé d'électrons et d'ions. Les ions plasmas sont souvent décrits comme le quatrième état de la matière, aux côtés des gaz, des liquides et des solides.

> PLASMA QUARKS-GLUONS (QGP)

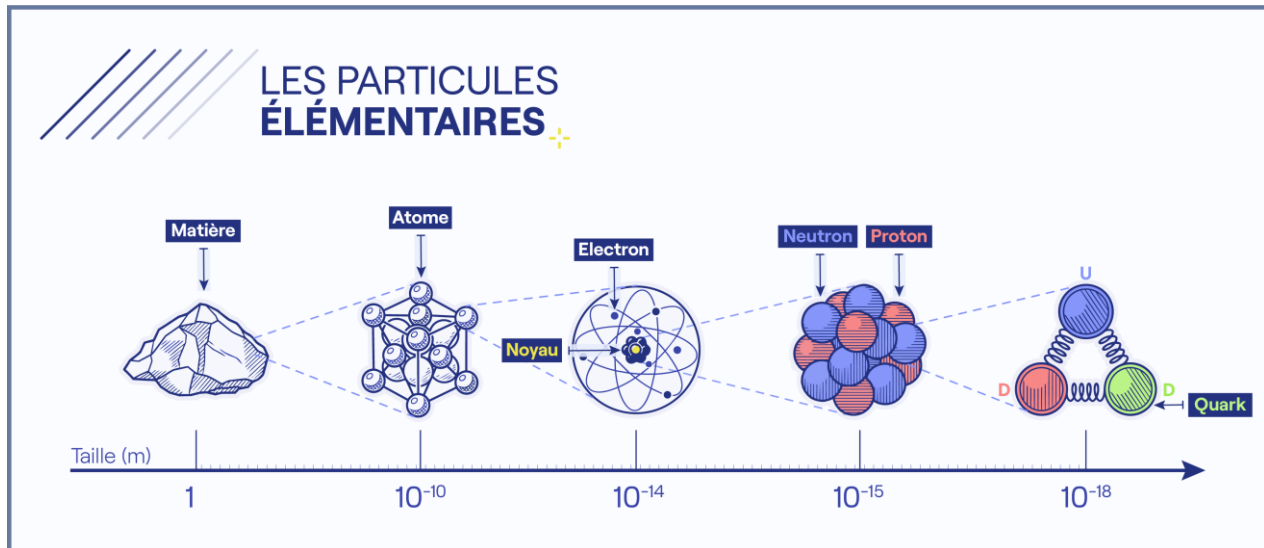
Type de plasma dans lequel les protons et les neutrons se dissocieraient en leurs parties constitutives ; cet état de la matière aurait existé immédiatement après le Big Bang.

> POSITON (OU POSITRON)

Particule strictement de même masse que l'électron, mais chargée positivement, donc considérée comme étant l'antiparticule de l'électron (anti-électron).

> PROTON

Particule subatomique portant une charge électrique élémentaire positive. Les protons sont présents dans les noyaux atomiques, où ils sont liés à des neutrons par l'interaction forte à l'exception du noyau d'hydrogène ordinaire.



Les unités de mesures et d'énergie

> ÉLECTRONVOLT (EV)

Unité de mesure de l'énergie ou de la masse utilisée en physique des particules.

Un eV étant extrêmement petit, ses multiples, le MeV (million d'électronvolts) et le GeV (milliard d'électronvolts), sont d'usage plus courant. La toute dernière génération d'accélérateurs de particules atteint des énergies de plusieurs milliers de milliards d'électronvolts (de l'ordre du TeV).

A titre d'illustration, le Grand Collisionneur de Hadrons (LHC), le plus grand collisionneur actuel, permet de faire entrer en collision des particules à une énergie d'environ 13,6 TeV.

> GIGAWATT (GW)

Unité de mesure de la puissance électrique. 1 GW = 1 000 mégawatt (MW) = 1 milliard de watts.

> TESLA (T)

Unité de mesure d'induction et de densité de flux magnétique (symbole T), valant un weber par mètre carré. Il s'agit ainsi de l'unité de mesure de l'intensité d'un champ magnétique, notamment utilisée pour mesurer celui des aimants. A titre d'illustration, un aimant test conçu par le groupe Aimants du CERN a atteint un record en générant un champ maximal de 16,2 teslas, contre une intensité de 8,2 teslas pour les aimants dipôles actuels du LHC. A titre de comparaison, les performances réelles du système d'imagerie médicale par résonance magnétique vont de 1,5 teslas à 3 teslas.

> VOLTAMPÈRE (VA)

Unité de mesure de la puissance électrique apparente. Le kilovoltampère (kVA) est une unité de puissance (typiquement la puissance que peut délivrer un compteur d'une installation domestique), distincte du kilowatt-heure (kWh), qui est une mesure de la consommation d'énergie électrique. On retrouve le kilovoltampère (1 kVA = 1 000 voltampères), le mégavoltampère (1 MVA = 1 million de voltampères), le gigavoltampère (1 IVA = 1 milliard de voltampères) et le téravoltampère (1 TVA = 1 000 milliards de voltampères).



9. ANNEXES

9.1 STRATÉGIE EUROPÉENNE POUR LA PHYSIQUE DES PARTICULES

- ↘ L'ensemble des recommandations de la Stratégie européenne est consultable ici : <https://europeanstrategy.cern/>
- ↘ Le document explicatif relatif à la mise à jour 2020 de la Stratégie européenne pour la physique des particules est disponible ici : <https://cds.cern.ch/record/2721050?ln=fr>
- ↘ La Stratégie européenne pour la physique des particules : mise à jour 2026 – document de délibération du Groupe de stratégie européen, disponible ici : https://cds.cern.ch/record/2957411/files/Update%20European%20Strategy_Deliberation%20Doc_2026.pdf?version=1

9.2 L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ DU PROJET DE FUTUR COLLISIONNEUR CIRCULAIRE

- ↘ Les 3 volumes de l'étude de faisabilité du projet de FCC sont consultables en anglais ici : <https://home.cern/fr/news/news/accelerators/cern-releases-report-feasibility-possible-future-circular-collider>
- ↘ Le site francophone dédié à l'étude de faisabilité et le volume 3 traduit en français sont consultables ici : <https://home.cern/fr/news/news/accelerators/cern-releases-report-feasibility-possible-future-circular-collider>

9.3 STRATÉGIE DE GESTION ET D'USAGE DES MATÉRIAUX EXCAVÉS (2025)

- ↘ La stratégie de gestion et d'usage des matériaux excavés publiée en janvier 2025 est consultable dans son intégralité ici : <https://zenodo.org/records/14923266>

9.4 SYNTHÈSE DES CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS D'IMPLANTATION DU FUTUR COLLISIONNEUR CIRCULAIRE (2023)

- ↘ La synthèse des contraintes et opportunités d'implantation du Futur Collisionneur Circulaire, publiée en décembre 2023, résume la méthode adoptée par le groupe de l'étude FCC pour élaborer un scénario d'emplacement équilibré. Elle est consultable dans son intégralité ici : <https://zenodo.org/records/10369593>

9.5 BILAN DE LA MISSION DE CONSEIL DE LA COMMISSION NATIONALE DU DÉBAT PUBLIC (CNDP) POUR LA PARTIE FRANÇAISE

- ↘ Le bilan de la **première mission de conseil** auprès du CERN visant à la préparation de la saisine de la CNDP, menée par les garants Brigitte Fargevieille et Jonas Frossard, remis le 28 février 2025, est disponible en ligne à cette adresse : <https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2025-03/Mission%20d%27appui%20et%20de%20conseil%20CERN%202024%20-%202025%20version%20finale.pdf>
- ↘ Le bilan de la **seconde mission de conseil** auprès du CERN visant à la préparation de la saisine de la CNDP, menée par les garants Brigitte Fargevieille, Jonas Frossard et David Chevallier, remis le 3 novembre 2025, est disponible en ligne à cette adresse : https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2025-11/Mission%20%20conseil%20CNDP%20-%20FCC%20CERN%20_0.pdf

DOSSIER DE PRÉSENTATION

DÉBAT PUBLIC EN FRANCE, SOUS L'ÉGIDE DE LA COMMISSION NATIONALE
DU DÉBAT PUBLIC, DU **2 JUIN** AU **1^{ER} OCTOBRE 2026**

↳ <https://www.debatpublic.fr/projet-accelérateur-particules>

CONCERTATION PUBLIQUE EN SUISSE, SOUS L'ÉGIDE DE TIERS GARANTS
EXPERTS, DU **18 MAI** AU **2 OCTOBRE 2026**

↳ <https://www.concertation-fcc-cern.ch/la-plateforme-du-cern-4008>