

Note n° 49

Le projet de « futur collisionneur circulaire » (FCC) du CERN



Représentation artistique du tunnel du futur collisionneur circulaire (crédits : CERN)

Résumé

- Le CERN, organisation scientifique européenne à la pointe de la recherche mondiale en physique des hautes énergies, projette de construire le plus grand collisionneur de particules au monde, le FCC, sur le territoire de la France et de la Suisse.
- Le CERN a réalisé une étude de faisabilité sur la pertinence scientifique du projet, ses caractéristiques techniques et les impacts de sa construction.
- Le FCC aurait vocation à mener une recherche fondamentale plus exploratoire que celle permise par les installations existantes.
- Ses enjeux locaux et environnementaux doivent faire l'objet d'un débat public approfondi.

Dominique Voynet, députée

Anne-Catherine Loisier, sénatrice

Le CERN¹ est une organisation internationale née en 1954 de la volonté de faire renaître la recherche fondamentale européenne en physique des particules autour d'un projet commun après l'éclipse causée par la Seconde Guerre mondiale. L'idéal de coopération scientifique internationale qui en était un principe fondateur perdure à ce jour.

Le CERN contribue à l'avancée des recherches théoriques en physique des particules. Il les accompagne en construisant des accélérateurs² et des synchrotrons³, instruments qui permettent d'atteindre les très hautes énergies nécessaires à l'étude des constituants élémentaires de la matière⁴. Le LHC⁵, actuellement le plus grand collisionneur au monde, est son instrument emblématique, en particulier depuis la découverte du boson de Higgs en 2012. Le projet de « futur collisionneur circulaire » (FCC) du CERN s'inscrit dans cette dynamique combinée de théorie et d'expérimentation pour prendre le relais du LHC au cours de la décennie 2040 et maintenir l'Europe au premier plan de la physique des hautes énergies.

■ Le FCC, prochain instrument phare de la physique des hautes énergies ?

➤ Le modèle standard de la physique des particules

La physique des particules est la science qui s'intéresse aux **constituants fondamentaux de la matière**. Ses découvertes ont marqué le XX^e siècle et ses pionniers ont souvent été récompensés par un prix Nobel. Sa complexité théorique, les grands instruments qu'elle

nécessite et l'ampleur des collaborations internationales qu'elle appelle lui confèrent un prestige particulier au sein des sciences physiques modernes.

Les travaux conduits au XX^e siècle ont conduit à élaborer par petites touches un modèle théorique général, appelé **modèle standard de la physique des particules**. Formalisé au milieu des années 1970, il répertorie et catégorise l'ensemble des constituants fondamentaux de la matière ordinaire⁶ et décrit leurs interactions.

Dans le modèle standard, les particules élémentaires à l'origine de la matière sont les électrons et les quarks⁷. Les protons et les neutrons sont des assemblages de quarks⁸. Ils s'agrègent eux aussi pour former les noyaux des atomes : le nombre de protons dans le noyau caractérise l'élément chimique ; celui-ci peut exister en plusieurs versions, appelées isotopes, qui se différencient par le nombre de neutrons dans le noyau.

Le modèle standard explique les interactions⁹ entre ces particules par l'échange d'un autre type de particules, les bosons¹⁰. L'un d'eux occupe une place singulière dans le modèle : **le boson de Higgs**. C'est lui qui donne leur masse aux particules élémentaires, par l'interaction avec le champ de Higgs¹¹.

Le boson de Higgs était au début du XXI^e siècle la dernière particule du modèle standard dont l'existence n'avait pas fait l'objet d'une confirmation expérimentale. Sa détection en 2012 dans le LHC a été un événement majeur, marquant l'aboutissement du modèle standard et validant le cadre théorique qui lui avait donné naissance.

➤ Les collisionneurs de particules

Le collisionneur est l'instrument emblématique de la physique des particules. Son principe consiste à communiquer à des faisceaux de particules chargées (protons ou électrons) des énergies très élevées, donc des vitesses proches de la celle de la lumière¹². Ceci est obtenu grâce à des champs électromagnétiques¹³ qui guident et accélèrent les faisceaux, ou paquets successifs de plusieurs millions de particules chacun, dans un tunnel. Aux points d'observation, ils entrent en collision et les particules se désintègrent en produisant des particules nouvelles. Des milliards de collisions étant nécessaires pour obtenir des résultats significatifs, les collisionneurs produisent de très grandes quantités de données¹⁴.

Plus l'énergie de l'impact est élevée, plus les particules produites ont une masse importante. Les collisionneurs permettent ainsi d'observer certaines particules instables autrement inaccessibles¹⁵.

Les accélérateurs de particules¹⁶ sont soit circulaires, comme le LHC et le FCC, soit linéaires, comme le XFEL¹⁷ en Allemagne. Les deux types de collisionneurs coexistent au CERN, où certains accélérateurs linéaires de petite taille participent à la production des faisceaux du LHC, comme le LINAC 4.

L'avantage d'un collisionneur circulaire par rapport à un linéaire réside dans le fait que le même faisceau peut interagir des millions de fois, puisqu'il repasse au même point d'expérience à chaque tour. Dans un linéaire, en revanche, le faisceau ne circule que dans une seule direction et frappe une cible unique au bout du tunnel. Il faut donc produire des paquets de particules en continu pour alimenter le collisionneur. L'inconvénient d'un collisionneur circulaire est que les particules perdent de l'énergie lors de leur parcours¹⁸ ; cet effet est d'autant plus important que leur masse est faible : les électrons sont donc plus affectés que les protons. Ceci limite en pratique l'énergie maximale atteinte. Les pertes d'énergie diminuant lorsque le rayon de l'anneau augmente, on a intérêt à augmenter la taille des collisionneurs.

➤ L'ouverture d'un nouveau champ expérimental ?

Depuis la validation de l'ensemble du modèle standard, la physique des particules est entrée dans un moment charnière. Au cours de son histoire, les hypothèses théoriques ont souvent précédé les confirmations expérimentales permises par les collisionneurs, parfois de plusieurs décennies. Ainsi, entre la postulation du boson de Higgs et sa découverte, cinquante ans se sont écoulés. Mais aujourd'hui, la théorie principale du domaine est complète, et aucun modèle exploratoire ne fait consensus. Les chercheurs doivent donc se fonder sur les observations pour guider leurs travaux.

La découverte du boson de Higgs dans le LHC, plutôt qu'un aboutissement, peut ainsi être vue comme le commencement d'une nouvelle science centrée autour de l'étude de ses caractéristiques, encore mal connues¹⁹.

Le nombre relativement peu élevé de bosons de Higgs créés par le LHC n'en permet pas une analyse précise. C'est pourquoi les physiciens souhaitent la construction d'une « usine à Higgs », qui permettrait d'obtenir un nombre d'observations nettement supérieur grâce à l'augmentation de l'énergie des collisions. Elle n'aurait pas vocation à valider l'existence d'une particule prédite par la théorie, comme le LHC, mais à étudier précisément les caractéristiques du boson de Higgs et repérer d'éventuels écarts entre le modèle et les résultats. La mise en œuvre d'énergies plus élevées que dans le LHC ouvrirait aussi la possibilité de découvrir des particules inconnues. Ceci reste très conjectural.

Les scientifiques éprouvent des difficultés à convaincre les non spécialistes de l'intérêt d'une étude poussée du boson de Higgs, notamment à cause de son caractère très fondamental. La recherche en physique des particules est alors souvent promue comme pouvant aider à répondre aux grandes questions de la physique moderne, qui résistent encore au pouvoir explicatif du modèle standard.

Ces énigmes se situent en effet à l'intersection entre la cosmologie et la physique des particules. Ainsi, la matière observable dans l'Univers ne représente que 5 % de la quantité nécessaire pour expliquer la structure et le comportement de celui-ci dans le cadre des connaissances cosmologiques actuelles. La quantité manquante serait une « matière noire »²⁰ dont la nature reste inconnue et constitue l'une des grandes interrogations de la physique actuelle. De même, on ne sait toujours pas expliquer la prépondérance de la matière sur l'antimatière²¹, alors que le Big Bang aurait dû produire des quantités similaires des deux types.

Il est concevable que la poursuite des expérimentations en physique des particules permette d'éclairer ces questions très ouvertes. Toutefois, on peut difficilement évaluer aujourd'hui ce que des travaux aussi exploratoires pourraient apporter à la compréhension des lois fondamentales de la physique.

➤ Le projet de futur collisionneur circulaire

Les physiciens des particules ont fait part de leur intérêt pour un projet d'« usine à Higgs » dans la « stratégie européenne de physique des particules »²² publiée en 2014. Celle-ci a demandé au CERN de dessiner les contours d'un éventuel projet d'instrument de ce type. La stratégie suivante, publiée en 2020, en a fait une priorité et a chargé le CERN d'en étudier la faisabilité. Celui-ci a rendu les conclusions de son étude en mars 2025²³, donnant corps au **projet de « Futur collisionneur circulaire » (FCC)**. Il est attendu de la prochaine stratégie européenne, prévue pour janvier 2026, qu'elle valide l'intérêt scientifique du projet. Une décision finale serait alors prise en 2028.

L'étude de faisabilité recommande que le FCC accélère les particules à des énergies nettement supérieures à celles atteintes dans le LHC. Il serait alors capable de produire des milliards de bosons de Higgs²⁴.

Le FCC verrait deux phases se succéder. La première, le FCC-ee, serait le siège de collisions électron-positon. Cette phase de précision²⁵ durerait une quinzaine d'années et servirait à mesurer les caractéristiques du boson de Higgs. Un renouvellement majeur des instruments serait ensuite engagé, le tunnel étant conçu dès l'origine dans cette perspective. La deuxième moitié du siècle serait consacrée à des collisions proton-antiproton. Cette phase de plus haute énergie, le FCC-hh²⁶, serait à but exploratoire : en produisant plus de particules lourdes, elle augmenterait les chances de détecter des événements rares²⁷.

➤ Les autres projets de collisionneur dans le monde

D'autres projets de collisionneurs étaient précédemment envisagés dans le reste du monde²⁸. Depuis, le développement de l'ILC, un collisionneur linéaire japonais, semble à l'arrêt. Il serait par ailleurs trop peu performant par rapport aux critères de précision demandés pour le FCC. CLIC, le projet de collisionneur linéaire du CERN, a été relégué au second plan par rapport au FCC, qui est aujourd'hui l'un des seuls projets répondant au niveau d'ambition scientifique attendu.

En revanche, un projet chinois de collisionneur circulaire similaire au FCC, le CEPC, demeure d'actualité et suscite des préoccupations en tant que concurrent sérieux²⁹. La Chine ne dispose cependant pas de la longue expertise du CERN. Elle ne défend pas non plus les principes de science ouverte et de coopération internationale qui caractérisent le CERN et lui ont permis, autant que ses infrastructures, de rassembler les milliers de chercheurs contribuant à son rayonnement et à ses découvertes.

■ Un projet en phase d'instruction

➤ Le CERN, maître d'ouvrage du projet

Le CERN réunit 25 États membres³⁰, pour l'essentiel européens. Il est placé sous l'autorité du Conseil du CERN, où chaque pays est représenté³¹. **Ce Conseil sera l'organe décisionnaire pour le projet de FCC en 2028**, par un vote à la majorité qualifiée³².

Le FCC serait certainement l'un des plus grands défis technologiques, scientifiques et d'ingénierie du XXI^e siècle. Sa construction durerait une dizaine d'années pour un coût estimé à 15 milliards de francs suisses pour la première phase (FCC-ee). Ce coût recouvre la construction du tunnel et de l'ensemble de l'infrastructure de l'accélérateur. Les expériences seraient ensuite financées par des collaborations internationales entre instituts de recherche, comme pour le LHC³³.

Le CERN dispose d'un budget annuel d'environ 1,4 milliard de francs suisses, financé par les contributions des États membres au prorata de leur PIB. S'il est validé, le FCC nécessitera d'augmenter les contributions, mais l'impact devrait être contenu, de l'ordre d'une dizaine de pourcents. À ce stade, certains gros contributeurs manifestent des réticences, mais aucune position n'est encore arrêtée.

Une partie du montant (environ quatre milliards de francs suisses sur les quinze requis) pourrait être demandée aux États observateurs, dont le Japon et les États-Unis, en contrepartie de l'utilisation des installations. Le principe de fonctionnement du CERN est en effet de fournir le service, le tunnel et le collisionneur, et de laisser les coopérations internationales financer et gérer les expériences. Les États-Unis sont parmi les plus gros contributeurs aux instruments de mesure³⁴. Une autre piste consisterait à obtenir une augmentation de la contribution de l'Union européenne³⁵. La participation de mécènes privés est aussi à l'étude³⁶, mais leur part dans le budget du FCC resterait probablement très minoritaire.

Les modalités de financement du projet pourraient avoir des répercussions sur sa gouvernance. Si les États observateurs renforçaient leur participation, ils pourraient revendiquer un rôle accru dans le processus décisionnel. Le ministère des affaires étrangères défend toutefois la vocation européenne du CERN et sera attentif au maintien de son centre de gravité en Europe.

➤ La France, État hôte et partenaire impliqué

La France est avec la Suisse l'un des deux États hôtes du CERN, et à ce titre est particulièrement concernée par ce projet. Le CERN affirme procurer à la France un retour économique direct³⁷ et indirect positif. C'est un élément important de l'attractivité scientifique française et européenne, mais ceci a un coût : la contribution au CERN est la première dépense française au titre des très grandes infrastructures de recherche (TGIR), avec une enveloppe de 165,6 millions d'euros³⁸. Le financement du FCC ferait peser sur la France une contrainte sérieuse, tant en termes absolus qu'au regard des équilibres avec les autres TGIR.

Un comité interministériel piloté par la DGRI³⁹ suit l'étude de faisabilité et instruit le dossier. La préfecture de la région Auvergne-Rhône-Alpes, qui en fait partie, pilote le volet territorial du dossier⁴⁰.

La position française sur le FCC n'est à ce jour pas encore déterminée. Elle se fondera notamment sur sa pertinence scientifique et financière. L'ampleur de ses impacts environnementaux sera un autre facteur déterminant.

➤ La préparation du débat public

Le projet de FCC fera l'objet d'un débat public en France, conformément à la procédure applicable à tout projet ayant des impacts sur l'environnement⁴¹. Le débat se tiendra aux échelles locale et nationale et sera coordonné par la Commission nationale du débat public (CNDP), qui a préalablement mené une mission de conseil auprès du CERN afin de préparer la saisine. Cette mission s'est conclue par des recommandations visant à s'assurer de la qualité du débat⁴². Les garants de la CNDP recommandent notamment d'organiser le débat public le plus rapidement possible, avant que le projet ne soit trop avancé. Il a depuis été décidé que le débat s'ouvrira en 2026 pour disposer de suffisamment de temps avant l'échéance de 2028. Une autre recommandation

importante rappelle « la nécessité de maintenir ouvert le débat sur l'opportunité du projet »⁴³, pour permettre une réelle participation du public.

Ceci est d'autant plus important que l'information du public sur le futur projet a déjà commencé via différents canaux, en parallèle de l'étude de faisabilité. La CNDP constate à cet égard que l'idée d'un projet « déjà ficelé » est répandue parmi le grand public et certains élus locaux.

■ Enjeux locaux, enjeux environnementaux

Le tunnel du FCC aurait 90,6 km de circonférence, soit trois fois plus que le LHC⁴⁴. Creusé à une profondeur moyenne de 240 m⁴⁵, son emprise au sol concernerait l'Ain, la Haute-Savoie et la Suisse⁴⁶ avec une portion sous le lac Léman. Au-delà des questions de recherche fondamentale et de compétition scientifique mondiale, le FCC est ainsi avant tout un projet de grande infrastructure.

➤ Un projet ancré dans son territoire

Aux côtés des autres grandes organisations internationales basées à Genève, le CERN est un acteur local majeur, participant par son rayonnement et son attractivité à la prospérité économique de la région. Dans un contexte international qui fragilise la plupart des institutions genevoises, le FCC garantirait l'avenir du CERN pour plusieurs décennies.

La mission de conseil de la CNDP souligne ce contexte local particulier. Elle note d'ailleurs que si les habitants de l'Ain sont habitués à la présence du LHC et voient le CERN comme une source de dynamisme, ce n'est pas le cas en Haute-Savoie, qui n'a aujourd'hui que peu de liens avec le CERN. La CNDP rappelle aussi que plusieurs contraintes constituent des points d'inquiétude. En particulier, le chantier et l'éventuelle création de nouveaux emplois risquent d'aggraver la pression sur les transports et les infrastructures dans une région déjà saturée⁴⁷. Il s'agit là d'une préoccupation majeure exprimée par les élus locaux. Ceux-ci s'interrogent aussi sur la répartition des efforts et des retombées économiques dans un contexte marqué par la forte pression démographique et économique liée à la proximité de la Suisse.

Le collisionneur étant majoritairement souterrain, son emprise en surface est relativement faible. Des efforts ont été faits pour la réduire par rapport au plan initial. Le projet prévoit huit sites en surface⁴⁸, requérant environ 40 ha⁴⁹. L'évitement des terres agricoles et la proximité des réseaux de transport ont été des critères prioritaires dans le choix de leur emplacement. Le CERN estime ainsi que moins de 3 km de nouvelles voiries seraient nécessaires pour raccorder le chantier au réseau routier⁵⁰.

L'un des points les plus sensibles est celui des déblais. Le CERN estime à 16,4 millions de tonnes la quantité de molasse à excaver⁵¹. En comparaison, le tunnel de la ligne Lyon-Turin, situé dans la même région, conduira à extraire 37 millions de tonnes. Les modalités de stockage de ces déblais seront un critère important de l'acceptabilité du projet au niveau local.

➤ Des enjeux environnementaux au centre des débats

Les impacts environnementaux du projet ont déjà commencé à faire débat, avec une contestation portée par des acteurs associatifs locaux⁵² et dans des quotidiens nationaux⁵³. L'un des principaux points d'attention est la consommation d'électricité. Le FCC nécessiterait entre 1,1 et 1,8 TWh par an, ce qui correspond approximativement à la consommation d'une ville de deux cent mille habitants⁵⁴. Le CERN assure vouloir utiliser une électricité décarbonée pour alimenter le collisionneur, et optimiser la récupération de chaleur fatale. Deux nouveaux raccordements à la grille française de 400kV, gérés par RTE, seront nécessaires⁵⁵.

Plus localement, l'impact sur la ressource en eau est aussi un sujet de crispation. Le tunnel traverserait majoritairement de la molasse et éviterait les nappes phréatiques, mais l'une de ses portions se situerait dans une zone karstique où il risquerait d'affecter la circulation des eaux souterraines. Par ailleurs, le besoin en eau de refroidissement est estimé à un million de m³ par an pour les premières années d'expériences, puis 3 millions de m³ par an au maximum.

■ Conclusion

Le CERN a engagé le processus d'information du public avec un certain retard, malgré les efforts de communication actuellement déployés⁵⁶ ; il a pu donner le sentiment de ne pas avoir pris toute la mesure des attentes sociétales entourant le projet. Les fondements scientifiques du projet méritent d'être mieux expliqués, des questions techniques importantes restent en suspens, les conséquences sur la ressource en eau seront à clarifier, l'impact du changement climatique devra être étudié, et l'intégration territoriale de l'infrastructure envisagée est un sujet de préoccupation locale. L'acceptabilité du projet conditionnera son succès. Il faudra pour cela assurer une information plus complète de l'ensemble des parties prenantes du territoire.

Les pouvoirs publics vont être amenés à définir la position de la France sur l'intérêt de s'engager dans le projet de FCC. Or, dans le domaine de la physique des hautes énergies, l'expertise est très concentrée chez les acteurs mêmes qui peuvent avoir intérêt à ce que le projet aboutisse. Si l'on n'est peut-être pas fondé à constater un « monopole de l'expertise », cette situation place cependant l'administration dans une position de fragilité. L'Office attire donc l'attention sur la nécessité, pour l'administration, de constituer autour d'elle un vivier d'experts scientifiques et techniques d'horizons divers, capable d'éclairer le décideur politique en toute indépendance.

Sites Internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecst-index.asp>

<http://www.senat.fr/opecst>

Personnes auditionnées

- Une délégation du collectif CO-CERNés :
 - M. Jean-Bernard Billeter, membre de l'association Noé 21
 - Mme Elisabeth Charmot, membre d'EELV Savoie, de l'Association de concertation et de proposition pour l'aménagement et les transports (Acpat)
 - M. Félix Danlang, membre de l'association Noé 21
 - M. Thierry Lemmel
- Une délégation de la Commission Nationale du Débat Public (CNDP)
 - M. Marc Papinutti, président
 - Mme Ilaria Casillo, vice-présidente
 - Mme Brigitte Fargevieille et M. Jonas Frossard, garants sur l'étude de faisabilité du projet de futur collisionneur circulaire du CERN
- Une délégation du Ministère des Affaires Étrangères et de l'Europe
 - M. Frédéric Jung, directeur adjoint des Nations Unies, des organisations internationales, des droits de l'Homme et de la francophonie (NUOI),
 - Mme Valérie Brisset, directrice adjointe de la diplomatie culturelle, éducative, universitaire et scientifique
 - M. Jérémie Petit, chef de pôle « Affaires économiques et enjeux globaux », sous-direction des enjeux globaux et de la gouvernance des organisations internationales (NUOI/EG)
- En leur qualité d'acteur institutionnel
 - Mme Karen Amram, cheffe du département des grandes infrastructures de recherche au sein de la Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation (DGRI), et responsable du comité interministériel sur le sujet du projet de futur collisionneur circulaire du CERN
 - M. Michel Guidal, président du comité des Très grandes infrastructures de recherche (TGIR) du CNRS
- En leur qualité d'universitaire
 - M. Laurent Vacavant, directeur adjoint scientifique pour la physique des particules à l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du CNRS
 - Mme Nathalie Besson, physicienne des particules au CEA, cheffe du département de physique des particules de l'IRFU (Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers)
- En sa qualité d'ancien rapporteur de l'Office de la note scientifique sur les grands accélérateurs de particules
 - M. Cédric Villani, ancien député, ancien président de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques
- En sa qualité d'acteur associatif
 - M. Laurent Husson, directeur de recherche au CNRS en sciences de la Terre à l'Institut des Sciences de la Terre (ISterre) à Grenoble, membre de Scientifiques en Rébellion

Déplacement au CERN le 10 avril 2025

- M. Giovanni Anelli, Chef du groupe Transfert de connaissances
- M. Raphaël Bello, Directeur des finances et des ressources humaines
- M. Michael Benedikt, Chef de l'étude de faisabilité du futur collisionneur circulaire (FCC)
- M. François Briard, Chef de groupe ad interim, Portail de la science
- Mme Mar Capeans, Chef du département Site et génie civil
- M. Pierre Cardon, Chef de groupe Site Asset Management, département Site et génie civil
- Mme Manuela Cirilli, Conseillère pour les applications médicales, groupe Transfert de technologies
- M. Roberto Corsini, Coordination technique, CERN Linear Electron Accelerator for Research - CLEAR
- M. Benoît Delille, Chef de l'unité Santé & sécurité au travail et protection de l'environnement
- Mme Fabiola Gianotti, Directrice générale
- M. Grégoire Guillot, Systèmes de récupération de chaleur au CERN, département Site et génie civil
- Mme Susana Izquierdo, Aimants, supraconducteurs et cryostats, département Technologie
- M. Yann Léchevin, Étude de faisabilité du futur collisionneur circulaire (FCC)

- *M. Philippe Magnano, Chef de projet, construction du centre de données de Préveessin, département Site et génie civil*
- *Mme Malika Meddahi, Directrice adjointe des accélérateurs et de la technologie*
- *Mme Emma Sanders, Cheffe de la section des expositions*
- *M. Matteo Solfaroli, Chef de la section Opération du LHC, département Faisceaux*
- *Mme Charlotte Warakaulle, Directrice des relations internationales*

Rencontre avec la représentation permanente de la France auprès des Nations Unies à Genève et des organisations internationales en Suisse, le 11 avril 2025

- *Mme Claire Thuaudet, Chargée d'affaires*
- *M. Louis Belmont, conseiller CERN*
- *M. Thibault Le Gonidec, conseiller Affaires globales*

Déplacement auprès des élus locaux de l'Ain et de Haute-Savoie le 11 avril 2025

- *A la mairie de Ferney Voltaire*
 - *M. Daniel Raphoz, maire de Ferney-Voltaire*
- *Au pôle métropolitain du Genevois français*
 - *M. Christian Dupessey, président du pôle, maire d'Annemasse*
 - *M. Vincent Scattolin, vice-président de Pays de Gex Agglo, maire de Divonne-les-Bains*
 - *Mme Carole Vincent, maire de Neydens*
 - *M. Pierrick Ducimetière, maire de La Roche sur Foron*
 - *M. Florent Benoit, président de la communauté de communes du Genevois, maire de Vulbens*
 - *M. Julien Bouchet, vice-président de la communauté de communes du Genevois, premier adjoint de Saint-Julien-en-Genevois*
 - *M. Sébastien Javogues, président de la communauté de communes Arve et Salève*
 - *M. David Ratsimba, maire d'Eteaux, président de la communauté de communes du Pays rochois, conseiller départemental de Haute-Savoie*
- *A la communauté de communes du pays de Cruseilles*
 - *M. Jérémie Courlet, maire de Minzier*
 - *M. Jean-Marc Bouchet, conseiller délégué à la transition écologique de la CCPC et maire de Villy le Bouveret*
 - *M. Patrice Primault, maire de Cercier*
 - *Mme Brigitte Nanche, maire d'Allonzier-la-Caille*

Références

¹ Le CERN, souvent appelé Laboratoire européen pour la physique des particules, tient son acronyme de son nom originel : le Conseil européen pour la recherche nucléaire. Grâce aux progrès de la recherche, les particules qu'il étudie sont désormais nettement plus petites que le noyau des atomes, d'où le fait que son nom initial est désormais peu usité.

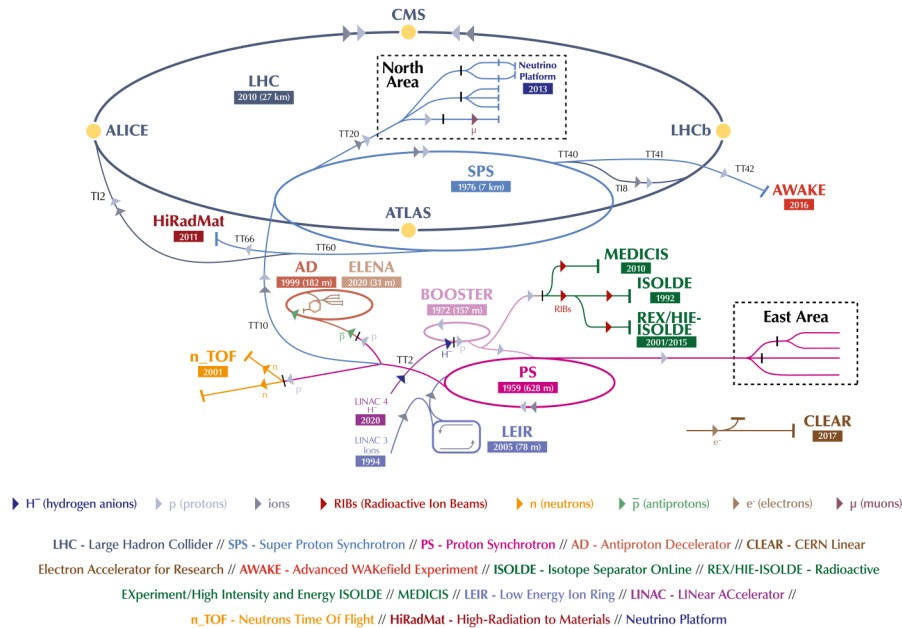
² Note scientifique de l'OPECST n° 12 - Les grands accélérateurs de particules, février 2019, M. Cédric Villani, député.

³ Un synchrotron est un accélérateur circulaire qui vise à étudier le rayonnement émis par des particules chargées en mouvement circulaire, justement appelé rayonnement synchrotron.

⁴ La chaîne des accélérateurs du CERN, construite au fil des années, est très complexe. Avant d'arriver au LHC, un faisceau est créé dans le LINAC 4, puis passe dans un booster, puis le PS et enfin le SPS. Certains de ces faisceaux s'arrêtent avant le LHC pour être observés par des instruments intermédiaires.

Un schéma de cette chaîne est montré ci-dessous (source : CERN - <https://home.cern/fr/science/accelerators/accelerator-complex>) :

The CERN accelerator complex Complexe des accélérateurs du CERN

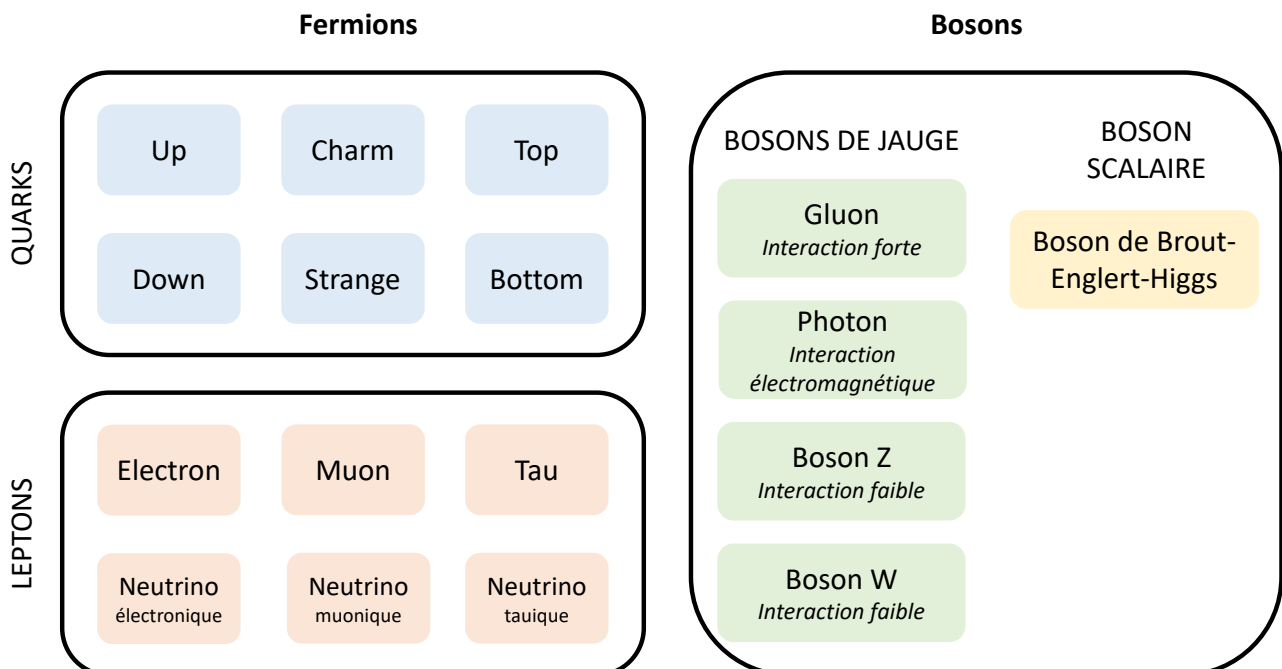


⁵ Large Hadron Collider (pour Grand collisionneur de hadrons) ; collisionneur qui est le siège de collisions entre protons et antiprotons.

⁶ « Ordinaire » par opposition à la « matière noire » dont il est question ci-après.

⁷ Le Modèle Standard complet est détaillé dans le tableau ci-dessous. Les particules constituant la matière ordinaire sont les **fermions**. Les **quarks** sont classés en trois familles d'énergies croissantes : up/down ; charm/strange ; top/bottom. Des assemblages de **quarks** sont appelés **hadrons** (ce qui inclut les protons et les neutrons). Les électrons appartiennent à un autre type de fermions, les **leptons**. Contrairement aux quarks, ils ne sont pas sensibles à l'interaction forte et ne s'assemblent pas entre eux. Les **bosons** sont les particules qui permettent les interactions entre particules. Parmi eux, le **boson de Higgs** occupe une place particulière. Enfin, à chaque particule correspond une **antiparticule** symétrique (voir note n° 21), non figurée dans ce tableau (par exemple, électron/positon, quark/antiquark...). Pour une introduction théorique plus poussée, voir par exemple André Rougé, *Introduction à la physique subatomique* (Palaiseau : Editions de l'Ecole polytechnique, février 2014).

Modèle Standard de la physique des particules



⁸ Les quarks étant des particules élémentaires instables, il faut beaucoup d'énergie pour les créer dans une installation expérimentale. La branche de la physique des particules qui les étudie est ainsi appelée la physique des très hautes énergies.

⁹ Les interactions décrites par le modèle standard sont l'interaction électromagnétique, bien connue, l'interaction forte, qui assemble les quarks et assure la cohésion du noyau, et l'interaction faible, responsable de la radioactivité β .

¹⁰ Le photon, la particule qui transporte la lumière, est par exemple le boson responsable de l'interaction électromagnétique. Il existe d'autres bosons, comme ceux associés à l'interaction faible : appelés bosons W et Z, ils ont été découverts au CERN.

¹¹ Notons ici que la masse d'un assemblage de particules élémentaires est inférieure à la somme des masses des particules qui le composent. L'écart, appelé « défaut de masse », est équivalent à l'énergie qu'il faut fournir pour dissocier complètement l'assemblage, qu'on appelle « énergie de liaison ». Celle-ci est liée aux interactions autres que celle de Higgs.

¹² Le cadre conceptuel applicable est alors celui de la relativité restreinte, où la notion d'énergie est plus pertinente que celle de vitesse, cette dernière étant toujours très proche de la vitesse de la lumière. Ainsi le LHC accélère ses faisceaux à une énergie de 6,5 Téraélectronvolt (TeV), une unité d'énergie très utilisée en physique des particules (<https://home.cern/fr/science/accelerators/accelerator-complex>). Le FCC-hh devrait atteindre des énergies d'environ 100 TeV (<https://home.cern/fr/news/news/accelerators/cern-council-reviews-progress-feasibility-study-next-generation-collider>).

¹³ Les champs électriques accélèrent les particules chargées alors que les champs magnétiques, produits par des aimants, les confinent et les guident. Le fonctionnement des collisionneurs est détaillé plus précisément dans la note de l'Office n°12.

¹⁴ Le LHC a par exemple vu 2400 millions de millions de collisions par expérience en 2016 (<https://home.cern/fr/news/news/accelerators/lhc-report-lhc-smashes-old-collision-records>).

¹⁵ Dans le modèle standard, il existe trois familles de particules de plus en plus lourdes, présentées au graphique de la note n° 7. Obtenir des particules d'une famille plus lourde depuis une famille plus légère est difficile car cela nécessite de fournir beaucoup d'énergie aux particules légères. Certaines familles sont formées de particules instables, qui n'existent pas hors de conditions telles que celles des collisionneurs. Les particules de toutes les familles du modèle standard ont été détectées.

¹⁶ Les collisionneurs sont une catégorie d'accélérateurs de particules qui provoquent des collisions entre particules.

¹⁷ Le Laser européen à électrons libres et à rayons X (en anglais European X-ray Free-Electron Laser, ou European XFEL) est un instrument de recherche comprenant un laser à rayons X produit par un accélérateur de particules linéaire de 3,4 km de longueur.

¹⁸ En effet, un faisceau de particules tournant au sein d'un collisionneur circulaire subit constamment une accélération centripète. Or toute particule chargée accélérée émet un rayonnement (c'est le principe des synchrotrons), ce qui lui fait perdre en énergie.

¹⁹ La valeur de la masse du boson de Higgs reste par exemple très incertaine.

²⁰ Cette matière est dite « noire » car elle n'est pas sujette à l'interaction électromagnétique, donc impossible à « voir » avec les instruments astronomiques. La seule autre interaction qui a des effets à longue distance étant l'interaction gravitationnelle, la matière noire ne peut donc être détectée que de façon indirecte, par ses effets gravitationnels : sa masse déforme l'espace-temps autour d'elle (selon la théorie de la relativité générale), ce qui modifie la trajectoire de la lumière issue des galaxies située derrière elle. Observer des déformations de l'image des objets situés en arrière-plan permet de déduire la présence de cette matière autrement invisible. C'est l'effet de lentille gravitationnelle (<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/essentiel-sur-matiere-noire.aspx>).

²¹ Le modèle standard permet l'existence de deux types de matière : la matière « ordinaire », celle qui nous entoure, et l'antimatière, qui est constituée de particules dont certaines propriétés sont l'opposé de celles des particules ordinaires ; à chaque particule ordinaire correspond donc une antiparticule. Une antiparticule peut interagir avec d'autres antiparticules de la même façon qu'une particule ordinaire peut interagir avec d'autres particules ordinaires ; mais la rencontre d'une particule et de son antiparticule doit aboutir à leur annihilation mutuelle, elles ne peuvent pas durablement coexister. Aucun élément du modèle standard ne justifie que l'un des deux types de matière prédomine sur l'autre ; de même, le modèle cosmologique du Big Bang prévoit qu'aux tout premiers temps de l'Univers, les quantités de matière et d'antimatière devraient avoir été égales. Or, l'antimatière n'est présente qu'en quantités infimes dans l'Univers observable.

²² La stratégie européenne de physique des particules est l'aboutissement d'une consultation des scientifiques européens, coordonnée par le CERN, sur les besoins en matière d'infrastructures de recherche. La dernière en date a été publiée en 2020 (<https://home.cern/sites/default/files/2020-06/Mise%20a%20jour%20Strategie%20europenne.pdf>).

²³ L'étude de faisabilité est accessible à l'adresse <https://home.cern/fr/news/news/accelerators/cern-releases-report-feasibility-possible-future-circular-collider>.

²⁴ Comme le LHC, il comporterait 4 puits, chacun hébergeant une expérience. Leur symétrie deux à deux permettrait ainsi de vérifier les résultats par redondance – ce qui n'est pas possible dans un collisionneur linéaire.

²⁵ Les collisions mettant en œuvre des protons peuvent donner des produits plus lourds que celles mettant en œuvre des électrons, ce qui peut conduire à découvrir de nouvelles particules. C'est la frontière en énergie. Les électrons permettent une mesure plus précise des paramètres de collision. C'est la frontière en intensité. Dans un cas comme dans l'autre, les collisions sont faites entre les particules et leurs antiparticules (protons avec antiprotons, ou électrons avec positons). Le faisceau de particules parcourt le collisionneur dans un sens, celui d'antiparticules circule en sens opposé jusqu'à l'endroit de la collision.

²⁶ « hh » pour « hadron-hadron », les hadrons en question étant surtout des protons et antiprotons.

²⁷ En particulier, l'auto-couplage du boson de Higgs est du plus grand intérêt (<https://www.in2p3.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/letau-se-resserre-sur-la-valeur-de-lauto-couplage-du-boson-de-higgs>). Il arrive très rarement, d'où l'intérêt de produire un nombre très élevé de bosons de Higgs pour augmenter les chances de l'observer. Par ailleurs, il n'est pas impossible que d'éventuelles particules non prévues par le modèle soient produites dans des gammes d'énergie encore non accessibles expérimentalement.

²⁸ Ils sont mentionnés dans la note de l'Office n°12 et la stratégie européenne de physique des particules de 2020.

²⁹ CEPC pour Circular Electron Positron Collider. Ce serait, comme pour le FCC, la première phase d'un instrument ayant vocation à évoluer pour réaliser ensuite des collisions proton-proton, le Super Proton-Proton Collider.

³⁰ L'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, le Danemark, l'Espagne, l'Estonie, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, Israël, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République tchèque, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Serbie, la Slovaquie, la Slovénie, la Suède et la Suisse. Le CERN compte aussi 9 États membres associés : Chypre, le Brésil, la Croatie, l'Inde, la Lettonie, la Lituanie, le Pakistan, la Turquie et l'Ukraine. Enfin, les États-Unis et le Japon ont un statut d'observateur pour ce qui concerne le LHC.

³¹ Les deux représentants de la France y sont l'Administrateur général du CEA et le Représentant permanent de la France auprès de l'Office des Nations unies à Genève et des organisations internationales en Suisse.

³² Le Conseil du CERN nomme aussi le directeur général de l'Organisation. Fabiola Gianotti, titulaire du poste depuis 2016, sera remplacée début 2026 par Mark Thomson, qui a déjà exprimé un avis favorable sur le FCC (<https://www.mediapart.fr/journal/fil-dactualites/071124/le-nouveau-patron-du-cern-dit-son-engagement-en-faveur-du-futur-super-accelereur>).

³³ Précisément, les 15 milliards de francs suisses comprennent les investissements liés au FCC-ee pour le CERN, et incluent aussi une contribution de 10 % au financement des quatre expériences. Les coûts d'exploitation sont estimés, pour le CERN, à environ 650 millions de francs suisses par an, électricité comprise.

³⁴ Même si la politique scientifique de l'actuelle administration américaine n'apparaît pas favorable aux coopérations internationales, les États-Unis ont montré leur intérêt pour le projet par le passé. De plus, pour ce projet de long terme, il n'est pas nécessaire d'obtenir une promesse d'engagement américaine dès maintenant.

³⁵ Ce n'est à ce stade qu'une piste de réflexion. L'Union européenne a cependant conscience du rôle central du CERN. La présidente de la Commission a ainsi défendu l'importance du CERN pour l'Europe lors de son discours au 70^{ème} anniversaire de l'organisation en 2024, ce qui fait écho au rapport Draghi sur la compétitivité européenne, qui mentionne le CERN comme une réussite européenne.

³⁶ Le Portail de la science, centre d'éducation et de communication grand public du CERN, a par exemple été financé par des fonds privés.

³⁷ Le CERN se fournit notamment en électricité sur le réseau français.

³⁸ Dans le périmètre du budget du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Ce coût n'est pas complet, les organismes de recherche publics prenant aussi en charge dans leur propre budget certaines activités liées au CERN. Par comparaison, ITER, deuxième ligne budgétaire des TIGR, correspond en 2023 à une dépense de 155 millions d'euros. En dehors des organisations internationales, dans la catégorie des « IR* » (cette catégorie regroupe les infrastructures de recherche qui relèvent d'une politique nationale et font l'objet d'un fléchage budgétaire ministériel), l'infrastructure la mieux dotée est la flotte océanographique française (FOF) avec 69,3 million d'euros.

³⁹ Direction générale de la recherche et de l'innovation, placée auprès du ministère chargé de la recherche.

⁴⁰ Les membres du comité interministériel sont

- pour le ministère de la Recherche : la Direction générale de la recherche et de l'innovation ;
- pour le ministère des Finances : le Secrétariat général pour l'investissement et la Direction du budget ;
- pour le ministère de l'Environnement : le Commissariat général au développement durable ;
- pour le ministère des Affaires étrangères : la Direction générale des affaires politiques et de sécurité, avec l'appui de la direction de la diplomatie culturelle, éducative, universitaire et scientifique ;
- pour le ministère de l'Intérieur : la Préfecture de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Des observateurs sont présents en appui : l'équipe projet du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ainsi que les délégués français au Conseil du CERN, et leur conseillers (CEA, CNRS et Représentation permanente des NU et OSI à Genève). Enfin, des experts sont conviés en sessions ouverte, en fonction des besoins, selon les ordres du jour.

⁴¹ La situation est toutefois particulière en raison du statut juridique du CERN, organisation internationale. Selon la mission de conseil de la Commission nationale du débat public (CNDP), le CERN a considéré qu'il lui était effectivement possible de saisir la CNDP dans ce cadre, ce qui a été confirmé par le ministère des affaires étrangères.

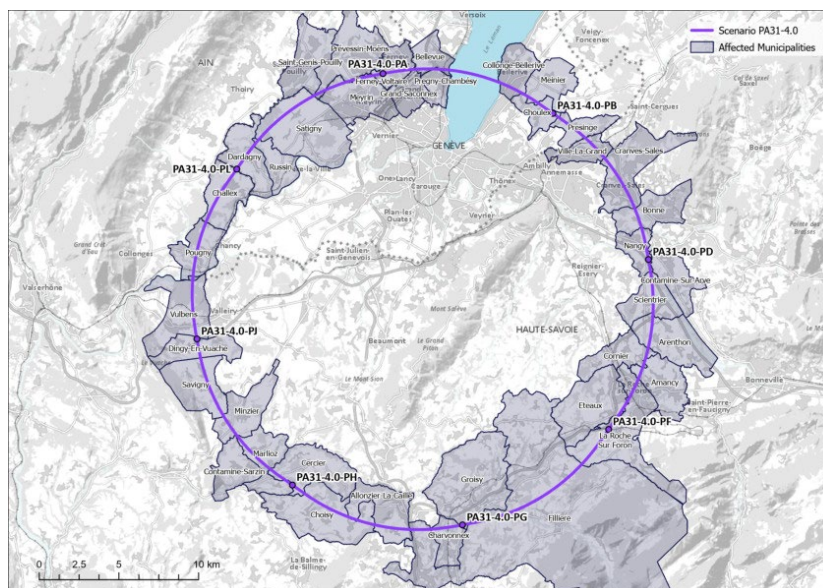
⁴² L'avis de la CNDP et ses recommandations sont accessibles à l'adresse <https://www.debatpublic.fr/projet-de-futur-collisionneur-circulaire-fcc-daccelerateur-de-particules-5952>.

⁴³ Puisque le projet est transfrontalier, le débat public sera en partie organisé en lien avec la Suisse. Cependant, des spécificités nationales demeureront. En particulier, la question du bien-fondé projet sera partie intégrante du débat public français, comme le veut la loi, contrairement au débat suisse qui laissera ce sujet hors des discussions.

⁴⁴ Le LHC est un anneau de 27 km de circonférence entre La Suisse et la France, en particulier dans le pays de Gex (Ain).

⁴⁵ Le puits d'accès le plus profond atteindrait une profondeur de 400 m sous la surface.

⁴⁶ Le scénario de référence pour l'emplacement du tunnel, proposé par l'étude de faisabilité du CERN, est le PA31-4.0. Le tracé de ce scénario est donné à la figure ci-dessous (source : CERN). Une version interactive de la carte est disponible sur le site du CERN : <https://cern.ch/fcc-overview>



⁴⁷ Le contexte local est détaillé au chapitre 2.2 du *Bilan de la mission de Conseil* de la CNDP (28 février 2025), « Réalisation d'une étude de contexte ».

⁴⁸ Correspondant aux quatre puits abritant les expériences scientifiques et aux quatre puits techniques servant à la construction et à la maintenance.

⁴⁹ Le CERN indique avoir diminué la surface nécessaire, qui était de 110 ha initialement (<https://home.cern/fr/science/cern/fcc-study-media-kit>).

⁵⁰ Le volume 3 de l'étude de faisabilité détaille les caractéristiques locales de chaque site de surface (<http://cds.cern.ch/record/2928194/?ln=fr>).

⁵¹ Le CERN mène des recherches pour valoriser ces matériaux excavés, avec le projet *Mining the future*. Il est cependant probable que la majorité de la molasse extraite du sol ne pourra pas être réutilisée.

⁵² Dont plusieurs associations regroupées au sein du collectif Co-Cernés.

⁵³ Une tribune signée par des scientifiques opposés au projet est parue dans *Libération* le 25 février 2025 : « Il faut renoncer au futur méga-collisionneur de particules du Cern, par 400 scientifiques » (https://www.liberation.fr/idees-et-debats/tribunes/il-faut-renoncer-au-futur-mega-collisionneur-de-particules-du-cern-par-400-scientifiques-20250225_5XHFW4JKRNFDPDJTH52UF3B5PR4/). Elle a été suivie dans le même journal d'une réponse d'autres scientifiques favorables au projet, le 11 mars : « Pourquoi l'Europe devrait approuver la construction du futur collisionneur de particules du Cern » (https://www.liberation.fr/idees-et-debats/tribunes/pourquoi-l-europe-devrait-approuver-la-construction-du-futur-collisionneur-de-particules-du-cern-20250311_PO4BBOMIX5CDDDNJNYEKXFTREY/).

⁵⁴ Cette énergie est comparable aux 1,3 TWh consommés actuellement chaque année par le CERN, dont 600 GWh pour le seul LHC.

⁵⁵ Une mise à niveau d'une troisième connexion existante à Préveressin, comprenant une liaison avec un site de surface à Ferney-Voltaire (à environ 4 km de distance), sera également requise. RTE a confirmé qu'aucune mise à niveau ou modification du réseau n'était nécessaire du fait du projet FCC. Les nouveaux « raccordements » mentionnés correspondent donc à des connexions locales au réseau existant, sans renforcement ni modification du réseau principal. Dans le cadre de ces démarches, RTE co-saisira avec le CERN la CNDP lors de la préparation du débat public. En complément, des connexions électriques assurées par Enedis pour six sites de surface et par Énergie de Seyssel pour le septième site de surface en France seront nécessaires pour garantir la fourniture d'énergie pendant la phase de construction.

⁵⁶ Cet effort passe notamment par l'organisation de réunions publiques et de permanences dans des communes de la région (L'actualité de l'étude FCC, Lettre des Territoires, 9^{ème} édition – octobre 2025).