

**Webinaire : Le projet du Cern : le faire, ne pas le faire ou faire chose ?  
En ligne, mardi 23 juin 2026**

---

<b>PARTICIPANTS :</b>	90 en ligne
<b>DÉBUT &gt; FIN :</b>	18h30 à 20h45

---

**Équipe du débat - Commission particulière du débat public (CPDP) :**

M. David CHEVALLIER - Président de la CPDP  
Mme Dominique Simon - Membre de la CPDP

**Intervenant.es**

Mme Jenny List - Staff scientist at DESY- Deutsches Elektronen-Synchrotron - Hamburg, Germany

Prof. Chiara Mariotti - Physicienne des particules INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Turin Emmy Noether laureate en 2018 de European Physical Society , Boston University

M. Arnaud Marsollier - Responsable de l'Éducation, des Communications et des Relations externes du CERN

Mme Brigitte Pépin-Donat - Docteure es sciences physiques Directrice de recherche honoraire CNRS

Prof. Paris Sphicas - Président de l'ECFA (European Committee for Future Accelerators). Membre du Secrétariat de la mise à jour 2026 de la Stratégie européenne pour la physique des particules.

M. Laurent Vacavant - Directeur Adjoint Scientifique pour la Physique des Particules CNRS IN2P3 Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules

M. Marc Winter - Physicien des particules, Directeur de recherche émérite IJCLab - Laboratoire de Physique des 2 Infinis Irène Joliot-Curie CNRS, Paris-Saclay et Paris-Cité

## M. David CHEVALLIER - CPDP

Je suis David Chevallier, le président de l'équipe du débat sur le projet d'accélérateur de particules porté par le CERN. On va démarrer ce premier webinaire. Le débat public a démarré le 2 juin, se termine le 1<sup>er</sup> octobre. On a déjà fait des réunions sur le territoire du projet. Une réunion également à Lyon et c'est notre premier webinaire. Il y en aura d'autres consacrés à l'opportunité et aux alternatives du projet. Ce soir, pour animer la réunion, il y aura également Véronique Morel et Dominique Simon, qui sont membres de l'équipe du débat et que vous verrez dans le temps de cette réunion, porter des questions ou animer des temps d'échanges.

Je précise tout de suite que ce webinaire est disponible en anglais. Si vous avez la volonté de passer en anglais, il vous suffit d'aller en bas de votre écran sur la petite icône + qui comporte trois petits points et vous trouvez l'icône ensuite avec le globe où c'est marqué *Interprétation*. Comme ça, vous pouvez suivre confortablement cette réunion du débat public en anglais. Et bien entendu, il y a traduction simultanée dans les deux langues français et anglais tout au long de la soirée.

On va passer à la diapo suivante de présentation des personnes qui sont dans le public. On vous propose de répondre à deux questions qui sont relatives à : où vous êtes situé.e pour justement repérer un peu d'où vous parlez géographiquement et ensuite une question pour savoir si vous êtes citoyen, membre d'une association, chercheur, etc.. Vous devez voir - en tous les cas, moi, je le vois - un questionnaire s'afficher. D'où venez-vous et qui êtes-vous ? Le temps qu'on vous laisse réfléchir à ces questions importantes et répondre, je vais juste vous présenter très rapidement la Commission nationale du débat public, qui est l'autorité administrative indépendante chargée de garantir le droit à l'information et à la participation de toutes les personnes aux décisions qui concernent l'environnement, c'est-à-dire aux décisions liées à des projets qui ont un fort impact environnemental. Et on précise toujours que ces débats publics tels qu'on les organise, ne sont pas des référendums, ce n'est pas la quantité qui nous importe, la quantité de « oui », de « non », de « je ne sais pas » ou d'autres réponses encore, mais bien l'argumentation qui nous importe.

Sur la diapo suivante, on vous donne l'objet d'un débat public. L'opportunité, les objectifs, les caractéristiques principales du projet, en l'occurrence le projet d'accélérateur dit FCC du CERN, mais aussi les enjeux socio-économiques ainsi que les impacts significatifs sur l'environnement et l'aménagement du territoire. Vous verrez, on aura l'occasion d'y revenir et particulièrement à la fin de la réunion, je vous donnerai les dates. Vous pouvez aussi les trouver sur le site Internet. Tous les rendez-vous qu'on propose sont articulés à partir de cet article de loi. Et ce soir, on va traiter en particulier de l'opportunité, c'est-à-dire : Est-ce qu'on fait ou pas ce projet ? Qui est le titre de cette soirée, mais également des alternatives.

On aura effectivement trois séquences ce soir. Tout d'abord, ce projet de FCC, d'accélérateur de particules, il vient d'une réflexion d'un plan stratégique qui a été décidé en amont et validé très récemment par le CERN. Donc, on va comprendre comment s'est élaborée la Stratégie européenne 2030 sur la physique des particules. Ensuite, on va aborder les options alternatives de collisionneurs, en se concentrant sur d'autres machines qui ont été d'ailleurs étudiées dans le cadre de la Stratégie, d'autres formes de machines, puisque là, on a une machine... Excusez-moi, on a une machine qui est en circulaire. Il y a d'autres formes, par exemple, linéaires. Et puis, dernière question importante dans le cadre d'un débat public : faire ou ne pas faire ou autrement. Qu'est-ce qui se passe si on ne fait pas ce projet ?

Et puis, en conclusion, puisqu'on est aussi encore dans une phase de démarrage du débat, on se posera aussi la question de comment on poursuit ce débat. Nous, on a des rendez-vous qui sont déjà programmés. Il y a d'autres choses qui peuvent être aussi inventées, qu'on ne connaît pas à ce stade et qui dépendent aussi de la volonté des uns et des autres de poursuivre cette réflexion, soit sur l'opportunité, soit sur d'autres alternatives.

On va tout de suite commencer par cette première séquence : Comment s'élaborent les choix stratégiques pour la physique des particules ? Sachant que j'ai déjà un peu répondu dans mon introduction qu'ils se décidaient dans le cadre d'une Stratégie européenne 2030 de la physique des particules. On va avoir deux intervenants qui vont nous expliquer un peu plus précisément comment ça s'est déroulé, ces choix, sur cette Stratégie européenne. Il s'agit de Paris Sphicas, Président de l'*European Committee for Future Accelerators*, membre du secrétariat de la mise à jour 2026 de la Stratégie européenne pour la physique des particules. Il nous expliquera aussi que cette Stratégie s'étale dans le temps, se renouvelle. Et puis, Laurent Vacavant, Directeur adjoint scientifique pour la physique des particules au CNRS et à l'IN2P3, au sein du CNRS. Je précise tout de suite qu'on a des intervenants passionnants et passionnés et qui ont aussi accepté un exercice qui est toujours difficile - on le comprend et on les remercie de l'avoir accepté - de présenter succinctement leurs propos, parfois à l'appui de diapositives ou pas. Mais ce qu'on veut, c'est à chacune des séquences, pouvoir laisser un temps d'échanges avec vous dans le public pour que les échanges soient nourris et correspondent bien aux attentes du public. Donc, je laisse tout de suite la parole à Paris Sphicas.

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Vous m'entendez, j'espère ?

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Oui, très bien. C'est très bien.

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Bonsoir à toutes et à tous. Merci pour votre invitation et pour l'occasion qui m'est donnée de vous présenter la Stratégie européenne pour la physique de particules ou ESPP, selon son acronyme. Comme c'était déjà dit, je suis le président de ECFA et j'ai participé aux travaux du Groupe européen de Stratégie en tant que membre du secrétariat, l'équipe centrale de quatre personnes qui ont piloté l'ensemble du processus. Prochaine slide, s'il vous plaît. Le rôle de l'ESPP... Non. Prochaine slide. Voilà. Non, celui-là, oui.... Voilà, on est là. Merci.

Le rôle de l'ESPP, c'est d'établir une feuille de route commune pour définir la Stratégie européenne pour l'avenir de la physique des particules. On a eu la première en 2006. En 2013, on a eu la décision de moderniser le LHC et de le transformer en une machine à haute luminosité. Et puis, en 2020, nous avons la première recommandation post-HL-LHC que l'Europe devrait évaluer la faisabilité technique et financière d'un futur collisionneur - à haute énergie, bien sûr - précédé éventuellement par une usine électron-positron consacrée à la physique du Higgs et aux interactions électrofaibles. En réponse, le CERN a lancé l'étude de faisabilité du FCC. Avant tout, je voudrais dire quelques mots pour justifier une telle attention prioritaire au Higgs.

Prochaine slide, s'il vous plaît. Le boson de Higgs, découvert en 2012 au CERN, est la manifestation d'un champ dans lequel toutes les particules se déplacent. Elles nagent dans une « mer de Higgs », si vous voulez. Elles ressentent une résistance, c'est-à-dire une inertie, et elles acquièrent une masse. Le Higgs correspond à une nouvelle forme d'interaction fondamentale, complètement nouvelle. Elle est très différente de l'électricité, du magnétisme, de la force responsable de la radioactivité ou encore de la force nucléaire qui maintient le noyau atomique ou de la gravité. Prochaine slide, s'il vous plaît.

L'existence même du Higgs et ses propriétés nous posent des véritables mystères. Le boson de Higgs est la particule du vide. Il apparaît spontanément à partir du vide, puis il y retourne.

Un vide qui, en mécanique quantique, est tout sauf vide. Voici une simulation du vide de l'interaction forte. De plus, la théorie moderne fonctionne extrêmement bien pour pratiquement tous les phénomènes observés. Pourtant, lorsqu'on calcule la masse du Higgs, elle prédit une valeur infinie. C'est clair que ce n'est pas le cas, parce que nous produisons chaque jour le Higgs au LHC.

Prochaine, s'il vous plaît. Non, pardon. On reste là... Puis, il y a un très grand nombre d'autres questions. Est-ce qu'on parle d'une seule particule ou est-ce qu'elle est composée d'autres éléments ? Et puis, est-ce qu'il interagit avec la matière noire dans l'univers ? De plus, la nature semble avoir choisi de ne pas être minimale. Ça, c'est vraiment unique. Comme si elle était allée à la photocopieuse pour faire des copies de toutes les particules qui constituent la matière, ces copies sont identiques aux originales, sauf qu'elles sont plus massives. Personne ne connaît pourquoi. Mais ce qu'on connaît est que le seul élément qui voit une différence entre les particules de l'atome et leur copie est le boson de Higgs. Prochaine s'il vous plaît.

La mise à jour actuelle avait comme... l'objectif était d'élaborer un plan visionnaire et concret pour le prochain projet phare au CERN. La stratégie devrait inclure l'option préférée pour le prochain collisionneur au CERN et prioriser les alternatives au cas où le plan préféré s'avèrerait non réalisable. Prochaine, s'il vous plaît. Je vous montre très rapidement le calendrier de mise à jour qui a été lancé en septembre 2024 et a mobilisé la communauté pendant un an et demi. Ce qui est très important de noter ici, c'est le caractère mondial de cette stratégie. Prochaine, s'il vous plaît. Nous avons reçu 266 contributions provenant de tous les continents et couvrant, entre autres, l'ensemble de grands projets candidats. Ensuite, nous les avons étudiées, discutées, débattues lors d'une grande conférence internationale en juin 2025. Et au cours du mois suivant, nous avons mené une évaluation approfondie de tous les projets proposés. Prochaine, s'il vous plaît.

Il est essentiel de vous montrer qui sont les acteurs qui ont mis à jour cette stratégie. Le Groupe de stratégie était composé de 70 membres, un représentant de chaque État membre du CERN, aussi des États membres associés. Il y avait aussi la Direction du CERN et le président du Conseil. Fait essentiel, il y avait le directeur de grands laboratoires européens de physique de particules, y compris deux grands labos français. On avait également des représentants des États observateurs, notamment les États-Unis et le Japon ainsi que la Commission européenne. Prochaine, s'il vous plaît. Nous avons mené une analyse extrêmement détaillée et exhaustive de l'ensemble des collisionneurs candidats. Nous avons étudié leur potentiel scientifique, leur degré de maturité technologique. Nous avons pris en compte les contributions de communautés nationales de physique de haute énergie et nous avons évalué leur capacité à ouvrir la voie vers la collision à des énergies de 10 TeV ou davantage. Le TeV, c'est l'unité utilisée pour mesurer l'énergie de collision entre particules. Malheureusement, je n'ai pas le temps d'entrer dans les détails. Prochaine, s'il vous plaît...

La conclusion : le prochain collisionneur préféré, c'est le FCC-ee. Il nous offrirait le programme de physique des particules à haute précision le plus vaste au monde, avec un potentiel de découverte exceptionnel grâce à tous les types de physiques qu'il peut faire. Sa faisabilité technique est démontrée par l'étude de faisabilité du FCC. Finalement, son périmètre et ses coûts sont bien définis et des modèles de financement crédibles existent. Le FCC nous permettrait de maintenir le leadership européen en physique de particules à haute énergie tout en favorisant les avancées technologiques et en générant des retombées sociétales.

Finalement, il nous ouvrirait également la voie à un collisionneur hadronique, réutilisant le tunnel et une grande partie des infrastructures offrant un potentiel de découvertes directes, bien au-delà de l'échelle de 10 TeV en énergie partonique. Merci.

## **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci à vous et merci d'avoir tenu dans les temps. Je J'ai vu en accélérant un peu la voix, mais ça restait très compréhensible. Merci beaucoup. On va tout de suite passer la parole à Laurent Vacavant, qui a participé au Groupe de travail et va nous donner son point de vue en tant que participant. C'est à vous.

## **M. Laurent VACAVENT - CNRS**

Bonsoir, merci. Dans ce qui suit, je vais vous expliquer comment la communauté française en physique des particules a contribué à ce processus de définition de la Stratégie européenne, tel que présentée par le précédent orateur. Il s'agissait, pour les scientifiques français, d'exprimer et de faire valoir nos priorités scientifiques. En premier temps - qui est sur cette figure illustrée avec la lettre A - c'est ce que j'appelle le travail en amont qui a permis de construire la contribution de la communauté française. Je vais y revenir plus longuement. Cette contribution a ensuite alimenté la réflexion au niveau européen - la stratégie ESPP - réflexion à laquelle la communauté française a pris pleinement part, à la fois via les groupes de travail, mais aussi lors du Grand symposium dont a parlé Paris, donc ce symposium à Venise en juin de l'année dernière. Sur la base de ces travaux, et par exemple, le travail dédié de comparaison des différents accélérateurs qui a été mené, la réflexion a ensuite été enrichie et a conduit à la synthèse au niveau européen qui vient de vous être présentée.

Qu'entend-on par la « communauté de physique des particules » en France ? La participation en France aux expériences de physique des particules du CERN, elle est portée par deux organismes de recherche : le CEA avec un laboratoire à Saclay - c'est le point rouge sur la carte - et le CNRS qui opère sur tout le territoire, 15 laboratoires en co-tutelle avec les universités - ce sont les points orange sur cette même carte. Cela représente une communauté d'environ 800 personnes actuellement, qui pourrait monter probablement autour d'un millier pour un projet comme FCC. À noter l'aspect formation qui est important puisqu'environ 150 jeunes préparent leur thèse de doctorat dans ce cadre. Ce sont donc toutes ces personnes qui ont réfléchi, travaillé et exprimé leur souhait dans le cadre de cet exercice de stratégie. Pour ce faire, à la Direction des instituts, nous avons simplement défini un cadre avec une organisation en groupes de travail et la tenue d'un grand symposium de conclusions qui permettrait de réunir la communauté française.

Une fois ce cadre fixé, la communauté a travaillé de façon totalement autonome et en toute indépendance. Les quatre groupes de travail thématiques sur des questions de physique ont été mis en place - ils sont listés sur la présentation - ainsi qu'un groupe transverse qui était spécifiquement en charge d'estimer quelle proposition de futurs collisionneurs étaient la mieux à même de répondre à ces différentes questions de physique. Le travail dans ces groupes s'est basé sur des contributions soumises par l'ensemble de la communauté française. Sur la planche suivante, vous avez 62 contributions qui ont été soumises dans le cadre de cet exercice en France par des individus, des laboratoires, des collectifs variés. Et sur cette planche, vous avez une représentation des différents thèmes abordés dans ces contributions. Avec sans surprise, beaucoup de contributions sur la nouvelle physique, l'étude approfondie du boson de Higgs, du modèle standard de la physique des saveurs, le choix du futur collisionneur, évidemment, mais aussi, comme vous pouvez le remarquer, une place significative pour les enjeux sociétaux, notamment les questions de soutenabilité environnementale.

Suite à ça, nous avons tenu ce symposium à Paris en janvier 2025, avec environ 300 personnes sur place et une retransmission dans les différents laboratoires. Ce symposium a permis de restituer les travaux et les conclusions des différents groupes de travail, d'en discuter tous ensemble, ainsi que des sujets plus transverses - comme vous pouvez le lire, si ce n'est pas trop petit, sur l'agenda - et ensuite d'amorcer le travail de synthèse grâce à un ensemble de

discussions très riches et intenses. Tout ceci a conduit à un document, le Document de la communauté française des physiciens des particules, qui a été soumis comme contribution à la Stratégie européenne. Ce document aborde de nombreux aspects de la physique des particules. En ce qui concerne le futur collisionneur, le document exprime le consensus fort qui a été obtenu et la position claire de la communauté en faveur du FCC-ee. Je vous lis quelques extraits du paragraphe sur ce sujet, vous pourrez lire le reste. C'est ce que j'ai souligné en jaune : *La communauté française a exprimé son fort soutien au projet de collisionneur FCC-ee en tant que prochaine installation phare du CERN. Ce projet s'appuie sur un programme de physique convaincant, abordant un large éventail de questions physiques. Il permettra de réaliser des avancées majeures.*

Un point important, c'était aussi la perspective, à très long terme, d'avoir possiblement une machine pour explorer les plus hautes énergies. Et le dernier point que je souligne, c'est le fait que la communauté française a indiqué que le CERN était le meilleur site au monde pour accueillir un projet de cette ampleur en termes d'expertise, de réseaux, de pratiques internationales, d'infrastructures, mais aussi de durabilité, y compris la disponibilité d'électricité avec un mix énergétique favorable. Et en particulier l'exigence de durabilité dans la conception et la construction de l'installation est considérée comme une nécessité par la communauté française.

Ça, c'était le choix principal, le choix du futur collisionneur que souhaite la communauté française. Si le FCC n'est pas faisable, on avait la question d'une éventuelle alternative et là, sur ce sujet, il n'y a pas eu de consensus au sein de la communauté française parce qu'aucune autre machine n'a un potentiel scientifique assez large pour satisfaire l'ensemble de la communauté. Dans la suite du processus, la représentation française a défendu comme alternative une version allégée du FCC-ee. On en parlera plus tard, je pense, dans les séquences suivantes. Conclusion : la communauté française en physique des particules a contribué à l'exercice de Stratégie européenne en se positionnant sur de très nombreux sujets. En ce qui concerne le futur collisionneur, elle a émis une préférence claire et argumentée pour FCC-ee. En cas de non-faisabilité, une version allégée du FCC-ee.

Il se trouve que cette position est exactement celle qui est ressortie des discussions au niveau de la Stratégie européenne. Ce processus de consultation de l'ensemble de la communauté nous est assez familier. On le pratique depuis plus de 20 ans, que ce soit au niveau du CERN, mais aussi au niveau français en physique des particules. Il a montré, encore une fois, je trouve, sa richesse et sa force. Pour terminer, je voudrais insister sur le fait qu'il s'agit d'une position « sur la science », que cela n'augure pas du choix de construire le FCC. Ce choix sera fait, a priori en 2028 par les autorités politiques et cette décision s'appuiera sur une instruction approfondie du projet faite par l'ensemble des services de l'État concerné, comme cela a déjà été le cas pour l'examen de l'étude de faisabilité du FCC. Je crois que mon temps est écoulé, donc je m'arrête là. Merci beaucoup.

## **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci beaucoup, Monsieur Vacavant. On va ouvrir un temps d'échanges, on va rouvrir le *chat*. Je n'ai pas précisé au démarrage que pour favoriser la concentration sur vos interventions, on ferme le *chat* pendant les temps d'interventions et on le rouvre sur les temps de questions. Donc, il est temps de poser vos questions. Peut-être des éléments de contexte : le débat public qui porte sur le projet de FCC, on a besoin de comprendre cette stratégie pour pouvoir débattre concrètement du projet de FCC, mais on ne débat pas de la stratégie elle-même. Donc, ça, point important. Autre élément important, les éléments que vous avez évoqués tous les deux, Paris Phiscas et Laurent Vacavant, vous pouvez les retrouver sur Internet et on a pu voir dans les diapos que vous avez diffusées, le nom de code ESPP, qui est le nom raccourci de la Stratégie européenne pour la physique des particules. Vous pouvez avoir ces éléments.

Le temps que vous prépariez vos questions... On a eu, sur ce démarrage de débat, des questionnements autour de l'absence du CERN sur la semaine dernière, je crois, qui étaient dus au fait que l'équipe du CERN était présente sur un événement qui s'appelle la *FCC Week*. Dans l'équipe du débat, on a pensé important que l'équipe du CERN puisse nous amener quelques éléments d'informations sur cette *FCC Week*. Je ne sais pas qui, du côté de l'équipe du CERN, peut répondre brièvement à cette question et peut-être amener les éléments qui permettent d'en savoir plus sur cet événement.

**M. Arnaud MARSOLLIER - CERN**

Monsieur le président, je suis Arnaud Marsollier et je suis porte-parole du CERN. Vous m'entendez ?

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Oui, très bien. Allez-y.

**M. Arnaud MARSOLLIER - CERN**

Pour expliquer d'abord la *FCC Week*. La *FCC Week*, c'est un événement qui a lieu une fois par an. C'est une conférence. Et c'est la conférence de toutes les personnes qui travaillent sur l'étude de faisabilité et qui travaillent sur le projet déjà depuis des années pour explorer toutes les perspectives que ça peut poser, que ce soit en termes de science, de technologie, d'installation territoriale, etc.. Donc, effectivement, cette conférence, elle avait lieu à Helsinki début juin. Mais je voudrais quand même juste souligner une chose, c'est que le CERN aurait très bien pu être présent. Je pense qu'il y avait quand même beaucoup de gens ici à Meyrin qui étaient présents ces jours-ci. Nous on regrette aussi de ne pas avoir été présents à Challex et à Cruseilles. On comprend bien que certaines personnes se sont émues de notre non-présence. Donc, pour nous, le dialogue est important. On a aussi regretté de ne pas pouvoir être présents pour ces occasions.

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Oui, c'est étonnant parce que... Enfin bref, on en reparlera, mais vous aviez été invités, mais on avait compris que l'équipe FCC n'étant pas disponible puisqu'il y a Helsinki, il était difficile pour les équipes du CERN qui ne connaissaient pas le projet de pouvoir être présentes.

Toujours est-il qu'on vous a posé des questions au démarrage de cette réunion, on va projeter les résultats. Vous venez pour 40 % de la Haute-Savoie, 12 % de l'Ain, 21 % d'autres départements français, 8 % de la Suisse et 19 % de pays européens. Est-ce qu'on peut les résultats sur la composition de...

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

Baisse le petit ascenseur, tu les trouveras.

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Je l'ai fermé. Du coup, je te laisse présenter les ...

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

J'y vais. 67% de citoyens - Il y a eu plusieurs réponses possibles pour vous permettre de préciser au mieux qui vous êtes - 67% ont coché la case citoyens, citoyennes, 2% d'élus, 17% membres d'une association, 2% membres du secteur économique, 33% chercheurs ou universitaires. Voilà.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci beaucoup. On va passer aux échanges avec le public. Véronique, est-ce que tu as des questions qui viennent du *chat*.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

J'ai une première question qui vient juste d'arriver que je vous livre de la part d'Elisabeth Charmot : « Nous avons bien compris l'intérêt pour les chercheurs français, voire du monde entier, mais ça n'en fait pas un intérêt général quand les limites planétaires sont quasi toutes atteintes et que le premier des soucis doit être la préservation du climat. »

Là, on est sur le thème : quid des questions environnementales dans le processus de décisions et dans la stratégie concernant ce projet d'équipement.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Très bien. Paris Phiscas, ou Laurent Vacavant vous souhaitez... Lequel de vous deux souhaite répondre ?

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Tout ce que je peux dire est qu'il faut faire des investigations scientifiques sur beaucoup de sujets. Même le FCC et la technologie qu'on va développer va insister, à quelques dimensions d'attaquer, entre autres aussi, le problème du climat. Et ce n'est pas juste le FCC, il y a plusieurs sciences, etc., qui doivent avancer pour attaquer ce problème. Mais ce n'est pas le seul problème qu'on a maintenant. Il faut continuer de découvrir et de faire de la science et de développer des technologies. Merci.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci à vous.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Pour l'instant, je n'ai pas d'autres questions dans le *chat*. Je ne vois pas de main levée, sauf si je n'arrive pas à voir tout le monde en même temps. Si. Voilà, une question qui arrive de la part de Chantal Dommage : À quoi servira cet outil sur une planète à 50 degrés ? On est bien toujours sur les questions environnementales. Laurent Husson : On entend beaucoup parler du consensus. Comment vous en êtes-vous assurés ? Avez-vous pu quantifier ce consensus ? Là, on est sur la communauté scientifique qui serait à l'origine de ce consensus. Quelle est-elle ? Comment peut-on quantifier ? Qui pourrait répondre à cette question ?

### **M. Laurent VACAVANT - CNRS**

Je peux apporter quelques éléments, si vous m'entendez ?

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

On vous entend très bien.

### **M. Laurent VACAVANT - CNRS**

Merci. Oui, effectivement, comme je l'ai indiqué, au niveau de la communauté française, il y a eu une discussion extrêmement large. Le consensus, c'était assez clair pour l'établir, je dirais, dans la mesure où quasiment la communauté était réunie ensemble, que ce soit en présentiel ou virtuellement. On a quand même une assez bonne idée du degré de consensus qui a conduit à la proposition française.

Sur les questions environnementales, je voulais compléter un petit peu ce qui a été dit par rapport à ce que j'ai dit dans ma présentation, c'est-à-dire que les physiciens dans la communauté française ne sont pas en vase clos et ils ont clairement exprimé des questions sur la durabilité de notre recherche. C'est quelque chose qui est une interrogation, je dirais constante. Vous avez vu qu'on encourage des travaux supplémentaires pour améliorer d'une part la machine - le CERN a déjà eu l'occasion de dire qu'il y a eu beaucoup de progrès de faits, puisqu'en cinq ans, il y a eu une réduction de 60% de l'emprise au sol, 60% de la consommation en eau, 18% de la consommation électrique. On espère qu'il y aura encore des progrès. Par ailleurs, le CNRS et les physiciens nous ont un peu donné une injonction à aussi réfléchir sur la façon dont nous faisons de la recherche. C'est un sujet qui est extrêmement débattu et pour lequel le CNRS a mis en place un Schéma directeur sur le Développement durable. Toute cette problématique de comment faire de la recherche dans une planète - peut-être pas à 50 - mais dans une planète qui se réchauffe, elle est discutée sérieusement et il y a des actions concrètes qui sont mises en place.

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Si je peux ajouter quelques mots, je peux vous dire que nous avons demandé à toutes les communautés européennes de la physique des hautes énergies leur vue sur le projet collisionneur. Entre les 25 États membres du CERN, les 24 ont indiqué que le FCC-ee, c'est le choix préféré. En plus, on a eu beaucoup de contributions dans les 266 dont je parlais. Et puis, pendant les discussions dans le Grand symposium et après ça, où les voix qui disaient : Le FCC-ee, c'est le meilleur choix. C'était clair que c'était une très très grande majorité. Et c'est ça qu'on appelle le consensus.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Très bien, oui. Ce qui vous est demandé, je vois dans le *chat*, c'est de quantifier ces éléments. J'imagine que vous avez sur le site internet de la Stratégie européenne ce genre de données vers lesquelles renvoyer. Vous pouvez peut-être les mettre dans le *chat*. Il y avait également une demande de précision puisque vous avez indiqué que le FCC pourrait contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique. Est-ce qu'il y a des éléments plus précis, plus concrets que vous pouvez présenter ?

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Premièrement, pour la question du plan B et le FCC-ee allégé...

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

On y viendra. On y viendra. On est sur le temps de la Stratégie européenne, donc ces éléments-là, effectivement, il y a plusieurs questions qui concernent plutôt les séquences d'après, donc on va rester sur celle-ci.

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

D'accord. Et puis, ce que j'ai dit au niveau du FCC-ee et la liaison avec le climat. Ce n'est pas le FCC-ee qui va résoudre le problème du climat. C'est les technologies, entre autres. Les technologies qu'on va développer sont liées à améliorer la situation. Et comme tout le processus scientifique demande toujours le développement de technologies qui nous assistent, dans ce cas, pour aller à 10 TeV, on aura besoin des aimants, des aimants supraconducteurs à haute température. Ça serait pour la planète une révolution si on arrive à ça dans 20 ans ou 25 ans d'ici. Ça va transformer beaucoup de choses qu'on fait. C'est juste un exemple : mais ce n'est pas la machine elle-même qui va le faire, c'est le développement de la machine.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Justement, il y a une ou deux questions « de science-fiction », je cite madame Trégou qui l'a posée : Quelles applications pratiques utiles à la société pourrait-on imaginer ?

### **M. Laurent VACAVANT - CNRS**

Je peux peut-être prendre le relais avec quelques exemples. Il y a déjà eu des applications assez connues de la physique des particules, notamment les aimants à grand champ qui servent pour l'imagerie médicale. Et puis également, ce qui est en train d'être mis en œuvre par le CERN, par exemple, pour le LHC à haute luminosité, ce sont des systèmes de conduction électrique à un supraconducteur à haute température qui permettent d'acheminer le courant sans perte. Ça, c'est un exemple très concret d'une application qui pourrait déboucher à terme sur un transport d'électricité plus efficace. Il y en a d'autres, des exemples.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Pour poursuivre sur l'idée du climat, il y a quand même énormément de questions sur ce thème-là. Je vous en relève une dernière, peut-être : Est-ce que ce ne serait pas un signal fort si les chercheurs du CERN entamaient un processus de décroissance seul capable de respecter les limites planétaires ?

### **M. Yann LECHEVIN - CERN**

Si je peux répondre, Yann Lechevin, pour le CERN. Je vous écoute avec attention et je veux aussi répondre à Elisabeth Charmot - qu'on connaît bien - et reprendre un peu aussi ce qu'on a discuté ensemble encore mercredi dernier. C'est-à-dire qu'en effet, la priorité du climat, ça ne veut pas dire que c'est une exclusivité. Et quand on parle de budget aussi, d'allocation de

ressources de budget, on rappelle en tout cas au niveau de la France - et là, je laisserai les Français me rectifier si je me trompais - mais je crois que le budget de la recherche globale au niveau du PIB de la France, c'est de l'ordre de 2%, donc ça veut dire qu'il en reste 98 pour aussi traiter d'autres sujets. Et sur ces 2%, c'est une seule fraction qui est attribuée à la physique des particules. Donc c'est vrai que c'est un choix, c'est une ambition, c'est ce qu'on a. Ça nous paraît être en tout cas en adéquation avec les enjeux actuels. Il s'agit de mutualiser des équipements là où d'autres les produiraient de façon individuelle. Là, on parle d'une collectivité, d'une communauté en tout cas, de physiciens et de scientifiques que ça intéresserait.

On parle de faire des choix aussi, sobres. Je veux dire l'emplacement sur la France. C'est aussi ce qui a été présenté par la France. L'emplacement actuel avec l'alimentation électrique, c'est quand même des sujets responsables, avec une alimentation électrique qui est décarbonée. Des réglementations environnementales en vigueur qui sont fortes, contraignantes et exigeantes. Je voulais juste vous dire que ça s'inscrit dans un cadre, il faut avoir un peu une image globale. Aujourd'hui, c'est un projet qui est certes dimensionnant à l'échelle du CERN, à l'échelle de l'humanité, je ne sais pas. Je ne me prononcerai pas là-dessus, mais il faut aussi mettre les choses un peu en perspective de ce dont nous parlons ce soir entre nous toutes et tous.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Il y a également des contributions sur l'efficacité énergétique sur le FCC, qui - je cite un participant - qui serait certainement la machine qui produit de loin le plus de résultats pour une consommation électrique donnée. Il y a également...

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Très bien. On va clore ce premier temps et passer à la seconde partie de présentation des alternatives. On a vu dans le *chat* qu'il y avait quelques questions qui portaient déjà là-dessus. Je passe la main à Dominique Simon, si tu nous entends ? Je crois que Dominique a quelques soucis de connexion, donc je vais lancer cette seconde séquence.

Dans les éléments qu'on a débattus, qui sont une obligation d'un débat public, il y a effectivement les questions d'alternatives. On a vu remonter cette question aussi dans les contributions qu'on a pu avoir sur les réunions publiques ou sur la plateforme. Sur la réunion d'ouverture, il y avait par exemple une personne qui nous demande, qui demande au CERN plutôt : Est-ce qu'on ne peut pas faire la même chose avec des infrastructures moins coûteuses et moins impactantes ? Les personnes qui ont lu le dossier de présentation du projet savent que des études ont été réalisées, qui ont identifié d'autres alternatives par le CERN lui-même. Et donc là, on va accueillir de nouveau Paris Sphicas, membre du CERN - j'ai envie de dire qu'on ne présente plus, puisque vous êtes déjà intervenus sur la première séquence - Chiara Mariotti, physicienne des particules à l'Institut National de Physique Nucléaire de Turin, et Jenny List, physicienne des particules. Je vous donne de nouveau la parole, Paris Sphicas, pour 6 minutes de présentation que je sais que vous respectez très bien. À tout de suite.

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Merci beaucoup. Alors, Comme vous voyez là, nous avons examiné plusieurs options pour le collisionneur phare : le FCC qui nécessiterait un tunnel de 91 km ; deux collisionneurs linéaires différents nécessitant chacun un tunnel d'environ 30 km ; deux projets réutilisant le tunnel du LHC, le LEP3 et le LHeC, ce dernier avec des collisions des électrons et des protons.

Une question essentielle est celle de l'étape suivante, et en particulier de la manière d'atteindre des énergies de collision de 10 TeV ou davantage, que ce soit pour des électrons ou pour les partons, c'est-à-dire les constituants du proton. Pour le FCC-ee, la suite est très claire. C'est remplacer les faisceaux d'électrons et de positrons par des faisceaux de protons, comme cela a été fait pour le LHC. Pour le collisionneur linéaire, il faudrait compter sur l'émergence d'une nouvelle technologie permettant d'atteindre des énergies plus élevées. L'accélération, par exemple, par du plasma. Pour le LEP3 et le LHC, il serait nécessaire de lancer un projet entièrement nouveau avec un nouveau tunnel. Enfin, nous avons également étudié la possibilité d'un collisionneur de muons - en bas - qui fonctionne comme un collisionneur électron-positron, mais dans une installation beaucoup plus compacte. À ce jour, les technologies nécessaires au collisionneur de muons et à l'accélération par plasma n'ont pas encore été démontrées.

Prochaine slide, s'il vous plaît. Ici, vous voyez le tableau récapitulatif comparant l'ensemble de machines étudiées. La deuxième et troisième colonne, exprimées en chiffres, nous indiquent la portée scientifique de chaque machine. Vous voyez la valeur du FCC-ee en comparaison avec les autres. La colonne suivante évalue leur compétitivité face à une machine de type FCC-ee en Chine, le CEPC. Vient ensuite l'état de maturité technologique de chaque projet, puis le coût de construction qui constitue évidemment un critère essentiel. Et enfin, tout à la droite, figure l'évaluation de la capacité de chaque option à ouvrir la voie à plus long terme vers les collisionneurs atteignant des énergies de 10 TeV et davantage.

Prochaine, s'il vous plaît. Vers l'identification d'un plan B. Toutes les autres options, autres que le FCC-ee, sont considérées comme des alternatives potentielles, si le FCC-ee n'était pas réalisable. Cependant, aucune de ces alternatives ne propose à ce stade un projet à la fois concret et porteur d'une vision à long terme, car elles ne satisfont pas à une ou plusieurs exigences attendues. Soit offrir un programme électron-positron d'une précision suffisante pour être compétitif, soit un collisionneur mature technologiquement, ou proposer une vision long terme convaincante pour l'exploration des plus hautes énergies accessibles.

Prochaine slide, s'il vous plaît. Non. Pardon.... C'est pourquoi la mise à jour de la stratégie a également examiné la possibilité d'un collisionneur fondé sur le concept de FCC-ee mais à coût réduit, ce qu'on appelle *descoped*. Malheureusement, ça vient au prix d'un potentiel scientifique diminué. Prochaine, s'il vous plaît. Vous avez la conclusion générale, où on a le plan A - c'est le FCC-ee, vous voyez toutes les couleurs vertes - et puis le FCC-ee *descoped*, c'est le plan B. Vous voyez dans la couleur jaune que le *descoped* FCC-ee perd beaucoup de pouvoir sur la physique. Vous comparez le 22 avec le 15, le 23 avec le 17. En plus, la compétitivité contre le CEPC. Mais c'est moins cher.

Prochaine, s'il vous plaît. Alors, la conclusion : le prochain collisionneur phare, le collisionneur circulaire futur électron-positron FCC-ee est recommandé comme l'option privilégiée pour le prochain projet phare. Une version allégée du FCC-ee constitue l'option alternative privilégiée pour le prochain projet phare du CERN, pour les raisons que je présentais. À ce stade, en l'absence d'éléments permettant de connaître les raisons pour lesquelles le FCC-ee ne serait pas réalisable, les autres options alternatives ne sont pas classées. C'est très important de dire qu'il s'agit d'un choix délibéré qui reflète l'écart considérable entre le FCC-ee et les autres options en termes de potentiel scientifique global et de perspectives d'avenir. Très important : si une version allégée du FCC-ee devait finalement s'avérer nécessaire, il resterait possible d'évoluer vers la configuration complète du FCC-ee si des ressources supplémentaires étaient obtenues ultérieurement, par exemple par les États-Unis, le Japon et les autres pays qui collaborent avec nous. Merci.

## M. David CHEVALLIER - CPDP

Monsieur Sphicas, je passe tout de suite la parole à Chiara Mariotti de l'INFN de Turin.

## Mme Chiara MARIOTTI - INFN

Oui, bonsoir. Je vais présenter une solution alternative que sont les collisionneurs électron-positron à haute intensité pour étudier la physique des particules avec grande précision. Prochaine. On l'appelle LEP3. LEP, ça veut dire *Large Electron Positron collider*. C'était le collisionneur avant LHC, dans le même anneau, dans le même tunnel que LHC, qui s'est terminé dans les années 2000. Une première partie, on l'avait appelée LEP1. On faisait des études de boson de  $Z^0$ . Deuxième partie, LEP2, c'était à énergie plus haute pour étudier les  $W$  et chercher les bosons de Higgs. Maintenant, si on revient sur le même anneau, mais à nouveau, électron-positron, on aura la phase III, donc LEP 3.

Prochaine, s'il vous plaît. Pour revenir un peu sur la physique, nous étudions les particules élémentaires, c'est-à-dire l'infiniment petit, dans le but de trouver une simplicité qui nous permette de comprendre la complexité de notre monde macroscopique. La prochaine, s'il vous plaît. Dans un collisionneur électron-positron, les collisions naissent de deux particules élémentaires. C'est une collision très simple de deux particules élémentaires. Cette simplicité, on la retrouve dans les particules créées lors de la collision, donc après les collisions. Cette simplicité nous permet de reconstruire les événements avec une très grande précision et une excellente efficacité.

Le prochain. Donc, dans le collisionneur LEP3, on arrive à produire tous les bosons, les  $Z$ , les  $W$ , les bosons de Higgs, qui se désintègrent ensuite en autres particules élémentaires. Dans l'état final, on a toutes les particules élémentaires, exceptés les *top quark*. On peut, comme j'ai expliqué, faire des mesures extrêmement précises. En même temps, on peut mener aussi de nombreuses recherches : des phénomènes encore inconnus ou des particules jamais observées. Avec toutes ces observations, on peut acquérir une compréhension plus profonde de l'univers et peut-être ouvrir la voie vers des nouvelles lois de physique.

Prochaine, s'il vous plaît. Le projet LEP3, c'est comme je l'ai dit dans le tunnel de LHC. Ça fait deux ans qu'une petite équipe a commencé à travailler sur cette alternative économique et aussi à plus petite échelle par rapport au FCC et au *linear collider*. La stratégie du LEP3 consiste à réutiliser autant que possible l'infrastructure existante du CERN et à exploiter au maximum la technologie déjà développée pour le FCC. Donc, on va utiliser le tunnel existant, les aimants des expériences ATLAS et CMS qui sont maintenant sous LHC et éventuellement certains sous-détecteurs.

La prochaine, s'il vous plaît. Les performances du LEP3 sont très bonnes et les chiffres que je présente aujourd'hui sont très récents, sont publics, mais quand même encore à confirmer. Et par rapport aux chiffres du document de la Stratégie que Paris vient de présenter, il y a une amélioration d'un facteur 2. Donc, si on compare au *linear collider*, le LEP3 a des performances comparables à celles du *linear collider*, si on parle, si on veut étudier le boson de Higgs, mais il a des performances supérieures pour les études du  $Z$  et  $W$ . Comparé à FCC, on est moins performant parce qu'on a besoin de deux fois plus de temps pour collecter la même quantité de données. On ne peut pas, comme j'ai déjà dit, produire des paires de *quark tops*. Et en plus, on a le problème des rayons de courbure du tunnel, qui est beaucoup plus petit par rapport à FCC, donc qui va entraîner une perte d'énergie bien plus importante.

Prochaine slide. On vient au coût, au génie civil. On veut utiliser le tunnel du LHC. C'est une infrastructure vieille de 40 ans, donc on doit quand même faire de la maintenance. Mais aussi, on a besoin d'élargir de 2, 3 mètres le tunnel autour des zones d'interaction Et donc, il y a un coût quand même des travaux de génie civil de 165 millions de francs, mais le coût final total

monte à 4 000 millions de francs, et quand même, c'est beaucoup moins par rapport aux autres parce qu'on a déjà le tunnel. Et ce que je veux souligner encore une fois - même si c'est déjà dit - ce sont les grands avantages du collisionneur LEP3 au FCC, et que l'infrastructure pourra être modifiée pour accélérer des protons ou des ions lourds, ce qui permet de passer à des énergies beaucoup plus élevées et à des nouvelles perspectives de recherche en physique.

Donc, pour finir, le LEP3 est un projet économique avec un très riche cas de physique. Il est donc la meilleure solution de repli. Si pour une quelconque raison FCC n'est pas faisable, ou intermédiaire si nous envisageons de passer directement à FCC-hh. Merci.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci. Parfait respect du timing, Chiara Mariotti. Merci beaucoup. On va écouter notre dernière intervenante, Jenny List, qui est de l'Université d'Hambourg. Vous nous entendez ? Vous êtes là ?

### **Mme Jenny LIST – DESY (Original)**

*Yes, I'm here. And first of all, my sincere apologies that I will speak in English. I hope the translation works well. If I speak French, it takes twice as long. Ok. So I'm happy to present you a linear collider as alternative. Next slide. prochain? So what is the main difference with regard to the circular colliders like FCC? Well, that's simply that particles will be accelerated and collided along a straight line. This saves quite a bit of energy, which means that these projects can study the Higgs with electric power consumption, which is very similar to the current LHC accelerator. And also, the total length can be around 30 km, very comparable to the LHC, if you would unroll the circle.*

*What has been discussed is a version which would have two collision points, but also additional beam-lines for technology R&D. And the initial costs to study the Higgs boson would be around 8.6 billion Swiss francs. And then after operating this and exploiting this for a number of years, one could then later expand this, spend again quite a bit of money, like 5.5 billion Swiss francs in a sort of "staged approach". And here on the photo, I see you that these things really exist. We have a small accelerator like this, 1.5 km, just here, next to where I am sitting in Hamburg.*

*Next slide, please. So, however, what I want to stress is really that the science goal is really the same for all the colliders we are discussing here. So there is no disagreement about the scientific priorities that really the Higgs boson and its closest siblings are in the center of where we need to go, but each project then has its own extras.*

*Next slide. Ok. Here, I elaborate on this a bit because this slightly complicated graph shows you the production rate of particles as a function of the energy. Next. And please bring all the next ones now in a row without me saying. So you see, depending on how much energy you have, you can have different kinds of groups of particles being produced. Next, next, please keep going. So stop... So you see the stuff in the green box is what has been explored of this whole plane, so to say, by previous colliders. What is roughly in the yellow circle is what both the FCC, or a linear collider, would explore. And then the circular colliders go for much, much, much higher rates of particle productions at lower energies, while the linear colliders aim to extend to higher energies, which is particularly interesting, for instance, because when you access deep processes with two Higgs bosons, in the same event, you can really understand the role of the Higgs boson in the phase transitions of the early universe, and ask whether the Higgs really boil the universe.*

*Next slide, please. So the design philosophy behind is really very much in the spirit of not asking for the maximum. So the question we asked is really: can we start with a proven technology, with well-understood costs and risks, and only with minimal cost, which would really enable this precision analysis of the Higgs as a first step, and then later on, explore this "two-Higgs" mode, but without further civil construction.*

*This is also in the cartoon on the bottom right, where you see as a function of time, a proposed running scenario. Keep going. Exactly... So here you see how 10 years later, you would invest more, go for higher energies, and what comes up then really is for the long-term future. And Paris explained this already, right. And I think it's a matter of taste whether you say, flexibility is a good thing or a bad. But in terms of science and technology, we hope, of course, for many new insights and many new developments. And in that sense, you could say, after such a span of time, we for sure have made progress in all the great things people are working on.*

*Next slide, please. So next, please. The environmental aspects already came up a lot in the discussion. I just want to highlight... Go on with the overlays, that's fine. That the construction cost, operation cost, power consumption, cooling needs, and also, as you see, the spending profile, so the expenditures per year, have been studied in great detail. And also, in particular for the linear colliders, a full life cycle assessment and a careful evaluation of the greenhouse gas emission budget has been done.*

*Please keep going. Last slide. So in summary, please, next slide... In summary, I think it's very clear that studying the Higgs bosons and its closest relatives is really key to understanding our universe. But FCC is by far the favorite approach for that, but it is not without alternative. So, a linear collider can do a significant part of the FCC physics program with tunnel length, cooling needs, power needs, very similar to the current LHC, and an initial cost of around 8 billion Swiss francs. And then once you add the two-Higgs mode, you have total costs comparable to the FCC-ee. At the same time, it gives you the opportunity to foster and leverage advanced accelerator technologies for the long-term development and decide your future based on choices for your upgrades on scientific and technological progress. Thanks.*

### **Mme Jenny LIST – DESY (Traduction)**

Oui, je suis là. Tout d'abord, je vous prie de m'excuser de m'exprimer en anglais. J'espère que la traduction sera correcte. Si je parlais français, cela prendrait deux fois plus de temps. Bien. Je suis donc heureuse de vous présenter un collisionneur linéaire comme alternative. Quelle est la principale différence avec les collisionneurs circulaires comme le FCC ? Eh bien, c'est simplement que les particules seront accélérées et entreront en collision le long d'une ligne droite. Cela permet d'économiser beaucoup d'énergie, ce qui signifie que ces projets peuvent étudier le boson de Higgs avec une consommation d'énergie électrique très similaire à celle de l'accélérateur LHC actuel. De plus, la longueur totale peut être d'environ 30 km, très comparable à celle du LHC, si l'on déroulait l'anneau. Ce qui a été évoqué, c'est une version qui comporterait deux points de collision, mais aussi des lignes de faisceaux supplémentaires pour la recherche et le développement technologique.

Les coûts initiaux pour étudier le boson de Higgs s'élèveraient à environ 8,6 milliards de francs suisses. Après plusieurs années d'exploitation, il serait possible d'étendre le dispositif, moyennant un investissement conséquent, de l'ordre de 5,5 milliards de francs suisses, selon une approche par étapes. Et comme vous pouvez le voir sur la photo, ces installations existent bel et bien. Nous avons un petit accélérateur de ce type, de 1,5 km, juste ici, à côté de l'endroit où je me trouve à Hambourg. Ce que je tiens à souligner, c'est que l'objectif scientifique est fondamentalement le même pour tous les collisionneurs dont nous parlons. Il n'y a donc aucun

désaccord sur les priorités scientifiques : le boson de Higgs et ses plus proches cousins sont au cœur de nos recherches. Chaque projet comporte cependant ses propres spécificités.

Diapo suivante. Je vais développer un peu ce point, car ce graphique légèrement complexe illustre le taux de production de particules en fonction de l'énergie. Suivante. Merci de faire défiler les suivantes sans que je n'aie à le dire... Vous voyez, selon la quantité d'énergie disponible, différents groupes de particules peuvent être produits. Suivant, continuez. Stop ... Vous voyez, la zone encadrée en vert représente ce qui a été exploré sur tout ce plan, pour ainsi dire, par les collisionneurs précédents. Ce qui est approximativement entouré en jaune correspond à ce que le FCC, ou un collisionneur linéaire, explorerait. Les collisionneurs circulaires visent des taux de production de particules beaucoup plus élevés aux basses énergies, tandis que les collisionneurs linéaires cherchent à atteindre des énergies plus élevées, ce qui est particulièrement intéressant, par exemple, car en étudiant les processus profonds impliquant deux bosons de Higgs dans un même événement, on peut comprendre le rôle du boson de Higgs dans les transitions de phase de l'Univers primordial et se demander si le Higgs est réellement à l'origine de l'ébullition de l'Univers.

Diapo suivante, s'il vous plaît. La philosophie de conception sous-jacente est donc de ne pas viser le maximum. La question que nous nous sommes posés est la suivante : Pouvons-nous partir d'une technologie éprouvée, dont les coûts et les risques sont bien maîtrisés, et ce, à moindre coût ? Cela permettrait, dans un premier temps, une analyse précise du boson de Higgs, puis, ultérieurement, d'explorer ce modèle à « deux bosons de Higgs », sans travaux de génie civil supplémentaires. C'est également illustré dans le dessin en bas à droite, où l'on voit, en fonction du temps, un scénario d'évolution proposé.

Poursuivons. Exactement... On voit donc ici comment, dans 10 ans, on investirait davantage, on privilégierait des énergies plus puissantes, et ce qui en résulterait concerne véritablement le long terme - Paris l'a déjà expliqué, n'est-ce pas. Et je pense que considérer la flexibilité comme un avantage ou un inconvénient est une question de « goût ». Mais en matière de science et de technologie, nous espérons, bien sûr, de nombreuses découvertes et de nombreux développements. Et en ce sens, on peut dire qu'après une telle période, nous avons assurément progressé dans tous les grands projets sur lesquels travaillent les chercheurs.

Diapo suivante, s'il vous plaît. Les aspects environnementaux ont déjà été largement abordés dans la discussion. Je tiens simplement à souligner - continuez avec les superpositions, c'est parfait - que le coût de construction, le coût d'exploitation, la consommation d'énergie, les besoins en refroidissement, et aussi, comme vous le voyez, le profil des dépenses, c'est-à-dire les dépenses annuelles, ont été étudiés en détail. Et aussi, en particulier pour les collisionneurs linéaires, une analyse complète du cycle de vie et une évaluation précise du bilan des émissions de gaz à effet de serre ont été réalisées.

En résumé, diapositive suivante... En résumé, il me semble évident que l'étude du boson de Higgs et de ses plus proches parents est essentielle à la compréhension de notre univers. Le collisionneur à deux bosons (FCC) est de loin l'approche privilégiée, mais il existe des alternatives. Un collisionneur linéaire peut réaliser une part importante du programme de physique du FCC, avec une longueur de tunnel, des besoins en refroidissement et en énergie très similaires à ceux du LHC actuel, et un coût initial d'environ 8 milliards de francs suisses. En ajoutant le mode à deux bosons de Higgs, les coûts totaux sont comparables à ceux du FCC-ee. Parallèlement, cela offre la possibilité de développer et d'exploiter des technologies d'accélérateurs avancées pour le développement à long terme et de définir l'avenir en fonction des choix d'améliorations scientifiques et technologiques. Merci.

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci beaucoup. Merci beaucoup à tous les trois pour vos interventions et le respect parfait des temps de parole qui nous laisse du temps pour des questions du public. Le *chat* est réouvert, donc vous pouvez poser vos questions, sur la question des alternatives. Je rappelle qu'on abordera la question de l'opportunité « ou on fait ou on ne fait pas ce projet » dans une troisième séquence. Peut-être le temps que vous prépariez vos questions, moi, j'avais une question pour Paris SpHICAS pour être sûr de bien comprendre. Le FCC *descopé*, c'est un projet en tant que tel ou c'est un FCC qui est *descopé* au départ et qui ensuite rejoint le projet de FCC-ee tel qu'il est présenté dans le dossier de présentation ?

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

Alors, merci pour la question. Le FCC *descopé*, il utilise le même tunnel, mais il n'y aura pas quatre points d'interaction, mais que deux. Il y aura aussi la puissance de RF, de *radio frequency*, qui fait l'accélération, qui sera diminuée à 30 mégawatts au lieu de 50 mégawatts. Ça diminue l'intensité des faisceaux et c'est là où on perd la physique. Mais finalement, ils ont des options, en ayant toujours le tunnel du FCC-ee.

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Mais il n'y a pas une option qui est de commencer par le FCC *descopé* pour aller ensuite vers le FCC-ee tel qu'il est présenté ?

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

Oui, c'est toujours possible. C'est ce que j'essayais de dire. On peut commencer avec le FCC *descopé* et s'il y a des ressources supplémentaires - par exemple par nos collaborateurs - on peut toujours aller au FCC-ee complet.

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

D'accord, très bien. Merci pour votre réponse. Je me tourne vers Véronique. Est-ce que des questions sont arrivées ?

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

Oui. Alors, quelques questions ou remarques qui ont plus trait à la première partie, donc je ne vais pas les relayer. Mais par contre, je vais garder de la première partie une question de Madame Beroujon. Est-il possible d'expliquer le choix d'un collisionneur circulaire plutôt qu'un collisionneur linéaire ? Est-ce qu'on a suffisamment d'éléments de réponse par rapport à cette question ? Et puis, peut-être... Lors de la première présentation : Qui a fait l'étude de comparabilité des différents collisionneurs ? Est-ce que c'est le CERN ? Si oui, n'est-il pas juge et partie ? Je cite *Isa*. Je suppose Isabelle.

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Qui veut répondre à cette question ?

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

Vous m'entendez peut-être ?

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Oui, vous pouvez prendre la première question ?

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

Un collisionneur linéaire ressemble à un duel. Nous avons les deux adversaires qui tirent chacun une balle. Si elle manque la cible, elle est perdue. Dans un collisionneur circulaire, c'est différent. La particule qui ne rencontre pas au premier passage, continue à circuler, elle revient et puis on a ces balles de nouveau. Ça veut dire que l'intensité de balles qu'on peut avoir est beaucoup plus large dans un collisionneur circulaire que dans un collisionneur linéaire. C'est ça l'intensité des faisceaux. Et c'est pour ça qu'on aura un très grand nombre de bosons de  $z$ , etc.. À l'autre sens, dans un collisionneur linéaire, on perd moins d'énergie pendant l'accélération. Et c'est pour ça que le collisionneur linéaire montré par madame List peut aller jusqu'à 500 GeV, mais le FCC et arrive à 365 au maximum. C'est ça la différence. Ça veut dire que le collisionneur linéaire est un peu mieux sur la physique du *top*, mais il perd tout de la physique de haute intensité sur le  $z$ , etc.. Et la somme des deux, c'est le résultat que je vous ai montré. Je ne sais pas si j'ai répondu à...

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

Il y a beaucoup de questions qu'on va garder pour la troisième partie, je pense, des questions sur des alternatives chinoises, etc..

**M. Arnaud MARSOLLIER - CERN**

Est-ce que vous voulez qu'on réponde au CERN juge et partie, peut-être ?

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

Oui, oui, effectivement.

**M. Arnaud MARSOLLIER - CERN**

C'était une des premières questions qui était évoquée. Déjà en introduction, on a entendu que la Stratégie a été validée par le CERN. Je voudrais juste préciser : le CERN, en fait, il appartient à 25 gouvernements. Ce sont ses États membres. Ce sont les États membres du CERN qui ont demandé à la Stratégie européenne - et donc au groupe de travail que Paris a mentionné - de faire des recommandations et d'organiser en fait, tout ce processus de consultation de la communauté européenne et mondiale. Donc, ce n'est pas le CERN en tant que tel qui fait cette consultation. C'est à la demande des États membres que se fait cette consultation avec un Groupe de la Stratégie qui est attaché au Conseil du CERN. C'est ça peut-être la confusion. Le Conseil du CERN étant les représentants des gouvernements des 25 États qui sont les propriétaires du CERN, si on peut le dire comme ça.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Donc, c'est les 25 États qui commandent au CERN de faire.

### **M. Arnaud MARSOLLIER - CERN**

Ce sont les 25 États qui commandent à la Stratégie européenne, pas au CERN, à la Stratégie européenne, donc le Groupe de la Stratégie européenne, qui inclut... Paris a montré un peu toutes les personnes qui ont été nommées, d'Europe et du monde entier, qui ont contribué à faire ce processus de stratégie.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Alors, peut-être une question de monsieur Daniel Dragon : Pourquoi le FCC-ee a-t-il la préférence de certains scientifiques ? Est-ce seulement un taux de réussite ? N'a-t-il pas plus de possibilités d'évolution que les collisionneurs linéaires ?

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Je peux vous montrer, si vous voulez, un slide dans le *backup*, le 23. C'est un petit sommaire. Je ne sais pas si... vous voyez... ?

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

On a aussi des questions sur le nombre de découvertes qui seraient plus importantes ou pas avec un collisionneur circulaire ou un linéaire. Mis à part le nombre de collisions, mais là, on est sur le nombre de découvertes. Si vous avez une réponse à cette question bien compliquée...

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

D'accord, merci. Nous avons élaboré ces diagrammes que vous voyez afin de comparer la portée scientifique des différentes machines. Le disque que vous voyez est divisé en 16 secteurs comme les parts d'une pizza, chacune correspondant à un domaine particulier de la physique que l'on souhaite explorer. Nous avons ensuite attribué différentes nuances à chaque secteur. Le noir signifie que la machine ne nous permet pas d'aller au-delà du HL-LHC. Nous n'apprenons rien de plus. Le blanc correspond à la meilleure performance atteignable parmi les machines considérées. Les différentes nuances de gris représentent des niveaux intermédiaires de connaissances. Plus le gris est clair, plus il y a de gains scientifiques. Plus il est foncé, plus le gain est limité. Vous avez le FCC-ee et puis les deux collisionneurs linéaires à leur maximum d'énergie dont on a parlé. Vous avez aussi un petit sommaire de maturité technique avec les couleurs vert, jaune, rouge.

Le coût : vous voyez que le coût total des machines est à peu près le même. Et puis la voie vers le 10++ TeV, 10 TeV ou davantage. Vous pouvez comparer vous-même la puissance des trois machines. Et si jamais vous pouvez aller au slide précédent, la 22... À gauche, vous avez le FCC-ee et ce qui arrive après le FCC-ee, quand on aura le FCC-hh, ça veut dire qu'on réutilise le tunnel, ça veut dire qu'on réutilise les milliards de francs qu'ont coûté le tunnel. Et ça sera le résultat final à droite. Alors ça, c'est le mieux qu'on peut faire, pour faire un petit sommaire d'un travail énorme par des centaines de physiciens pendant deux années. J'espère que ça vous aide à faire la comparaison vous-même.

### Mme Véronique MOREL - CPDP

J'ai une relance sur la question : Qui a fait l'étude de comparabilité qui conclut que le FCC est le meilleur projet phare pour le CERN ? La réponse de monsieur Marsollier ne semblait pas satisfaisante. Est-ce qu'on peut revenir un petit peu sur ce thème et préciser clairement qui a fait cette étude ?

### M. Paris SPHICAS - ECFA

J'ai essayé de vous présenter que le processus était un processus global qui a engagé des physiciens partout. Et puis, on avait un groupe qui avait des représentants de tous les pays membres du CERN, les pays associés, et aussi les États observateurs, les États-Unis, le Japon. On a eu aussi le chef du Groupe de physique, un total de 70. Et ça, c'est le groupe qui a fait l'analyse finale. Mais avant ça, on avait des mois d'analyse qui ont été faits par à peu près 200 personnes. Et puis, on avait des centaines de personnes, 600 personnes dans le Grand symposium, la grande conférence au milieu de... juillet, juin de 2025. Ce n'est pas le CERN qui l'a fait. C'est pour ça qu'on l'appelle la Stratégie européenne.

### Mme Véronique MOREL - CPDP

Est-ce que ça répond à la question ? Peut-être, effectivement, en dire un peu plus sur la manière dont, in fine, les différentes options ont été comparées. Par qui ? Il y a eu un groupe spécial de travail là-dessus, je pense. Est-ce que vous pouvez... Et puis, il y a une autre question qui est en train d'arriver et qui aurait pu être posée à la première séquence, comment on en est arrivé là stratégiquement ? Est-ce que d'autres disciplines scientifiques - ou de physique, d'ailleurs - ont été associées, en dehors de la physique des particules, aux réflexions ?

### M. Paris SPHICAS - ECFA

Merci. Je peux prendre la question si vous voulez. Est-ce qu'on peut montrer le slide numéro 26, s'il vous plaît ? Merci. Pour toutes les comparaisons qu'on a faites, on avait toujours des groupes d'experts. Dans ce cas, vous voyez l'évaluation par le Groupe de stratégie sur la comparaison de machines, de la technologie. Vous voyez les machines, c'est la première colonne. Il y a le CLIC, ça, c'est une version d'un collisionneur linéaire. Puis le FCC-ee. Et puis, ça continue... L'autre collisionneur linéaire, c'est la 5ème ligne. D'accord ?

Alors, vert-jaune-rouge, j'espère que je ne dois pas expliquer. Vous voyez la situation avec le FCC-ee au niveau de la machine, de la technologie qui est nécessaire pour le créer. Et puis, vous pouvez comparer avec les autres. À l'extrémité, il y a le *Muon Collider*, le collisionneur à muons, tout en bas, qui est tout en rouge. Ça, c'est une des évaluations qu'on a faites. Ça, c'est l'évaluation des machines. Pour ça, on a aussi été assisté par quatre très grands experts. Vous voyez le nom là, monsieur Bordry, monsieur Holtkamp, maintenant, il est le directeur général du *Fermilab* aux États-Unis. Lenny Rivkin, de PSI en Suisse, à Zurich. Et puis, on avait aussi Rainer Brinkmann, de DESY, qui est un vrai expert de collisionneurs linéaires. Ça, c'est un exemple de l'évaluation des accélérateurs eux-mêmes, des collisionneurs.

On avait aussi un autre groupe qui faisait la comparaison de physique qui arrive au diagramme *rosette*, si vous voulez, que je vous ai montré avant. On avait deux groupes qui se sont concentrés à la collaboration entre le CERN et le laboratoire européen : comment on peut partager le travail pour développer le FCC, etc..

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Comme le temps passe, on va peut-être quand même en garder un petit peu pour redonner la parole à Jenny List, parce que j'ai vu qu'elle a commenté, on revient un peu en arrière sur le linéaire versus le circulaire, même si cette discussion aura encore lieu dans la troisième partie. Mais je pense que vous vouliez ajouter quelque chose, Madame List.

### **Mme Jenny LIST – DESY (Original)**

*I just wanted to comment on the question, which of the proposed project is more likely to make a discovery? At the end, you will only be able to tell once you have made the discovery, because we don't know what is there to discover. As I tried to explain, these machines are very complementary. So, circular machines are very very good to search for very very rare processes at low energies. But of course, if new particles are a bit more heavy, then you need higher energies, which is what linear colliders can do better. So it really depends. And of course, however you judge this now, depends a bit on what maybe people think and suspect, what might be there to discover.*

*But I think that this is why we really focus on saying, we want to really scrutinize those particles, which we know that they are, like the Higgs boson and the top quark, because they are a sort of messengers who could tell us really where are the actual discovery of new particles is really... going to be made. So this will be these precise measurements will be guidance for the real discoveries*

### **Mme Jenny LIST – DESY (Traduction)**

Je voulais simplement réagir à la question : lequel des projets proposés a le plus de chances de mener à une découverte ? Au final, on ne pourra le dire qu'une fois la découverte faite, car on ignore ce qu'il y a à découvrir. Comme je l'ai expliqué, ces machines sont très complémentaires. Les collisionneurs circulaires sont particulièrement performants pour rechercher des processus extrêmement rares à basse énergie. Mais bien sûr, si les nouvelles particules sont un peu plus lourdes, il faut des énergies plus élevées, ce que les collisionneurs linéaires permettent de faire plus efficacement. Donc, tout dépend. Et bien sûr, l'évaluation actuelle dépend aussi des hypothèses et des suppositions quant aux découvertes potentielles. Mais je pense que c'est pourquoi nous insistons tant sur l'étude approfondie de ces particules, comme le boson de Higgs et le *quark top*, car elles sont en quelque sorte des messagers qui pourraient nous indiquer précisément où se situera la véritable découverte de nouvelles particules. Ces mesures précises nous guideront donc vers les véritables découvertes.

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Thank you... Merci beaucoup, Jenny List. Chiara Mariotti, vous avez demandé la parole aussi...

### **Mme Chiara MARIOTTI - INFN**

Oui, je suis tout à fait d'accord avec ce que Jenny a dit sur l'importance de la physique de précision pour comprendre ce qu'on peut attendre. Mais bien sûr, pour vraiment avoir un accélérateur de découvertes, c'est plutôt en accélérant des protons, donc des particules composées, pas des électrons, parce qu'on peut aller à plus haute énergie et on a des états... On peut produire beaucoup plus de physique. Donc, c'est en effet les machines hadroniques, donc les machines qui accélèrent des particules composées de quarks qui sont plutôt

favorables pour faire des découvertes. Par contre, avec les machines à électrons, on a des états... On a des situations très simples, comme je l'ai dit dans mon slide, mais on a l'énergie bien définie et des situations de physique, des processus de physique bien définis. C'est ça qu'on préfère en principe, avoir un accélérateur circulaire parce qu'après, on peut passer à accélérer des particules composées, comme les protons.

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

C'est l'étape suivante qui emmène sur ce choix-là, c'est ça ?

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

Oui. Ce n'est pas juste l'étape suivante, si vous me permettez.... Est-ce qu'on peut voir le slide numéro 47?

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

On ne va pas avoir beaucoup de temps, Monsieur Sphicas...

**M. David CHEVALLIER - CPDP**

Oui, on est plutôt en train de terminer cette séquence...

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

Si vous pouvez le faire sans le slide, c'est bien aussi.

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

À la gauche, vous avez la performance, la physique de la précision et à la droite, la physique BSM. Ça veut dire la physique de découverte. Alors, le tout, on va..

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

BSM, c'est *Beyond Standard Model*. Autant être précis. Et la physique de la précision, c'est ce qu'on obtient avec des énergies plus basses, c'est ça ?

**M. Paris SPHICAS - ECFA**

Exactement.

**Mme Véronique MOREL - CPDP**

Voilà. Autant que ça soit clair pour tout le monde.

### **M. Paris SPHICAS - ECFA**

Les deux cas, c'est toujours pour la même machine. À gauche, il y a les études très précises du Higgs, par exemple, qu'on connaît. Et à droite, il y a de la physique nouvelle qu'on ne connaît pas, le potentiel. Vous avez la comparaison dans la boîte rouge à gauche, c'est le FCC-ee où il est dit 15 ans, et puis les deux collisionneurs linéaires. Ça, c'est le programme de physique de précision.

À droite, vous avez la physique de découverte. Encore une fois, on se concentre dans la boîte rouge. Le FCC-ee, sans avoir l'extension pour le hh, vous voyez toujours... Ah, le plus haut est le mieux dans ce cas. Vous voyez la comparaison pour les découvertes entre le FCC-ee et les deux autres machines linéaires. Et finalement, à droite, vous avez le tour qui est deux fois plus que le linéaire, c'est le FCC-hh. C'est là où on a la puissance de découverte maximum. Alors ça, c'est une autre manière de comparer...

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

C'est ce qu'on comprend, oui.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Merci beaucoup. On va clore ce temps. Je note quand même dans le *chat* qu'il y a beaucoup de questions qui concernent la gouvernance, sujet qui a été abordé à la réunion d'ouverture, mais qui visiblement mérite qu'on s'y attarde peut-être de nouveau à un autre moment du débat. Il y a aussi des questions sur le projet en Chine. On a plutôt prévu de présenter sur la séquence 3, donc on va aborder cette séquence 3 et je note notamment une proposition de Charles Naville sur l'idée de faire le LEP3, qui est devenu le LEP3 de Chiara Mariotti, et en parallèle de collaborer avec le CEPC, équivalent au FCC. Voilà une proposition d'alternative qui naît ce soir et qu'on pourra peut-être discuter dans le temps tout à l'heure après la présentation par nos intervenants. Mais Dominique, je te laisse présenter ce temps-là ?

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Oui, ce temps arrive bien pour compléter déjà ce qui vient d'être discuté. Et vraiment là, on est dans la discussion qui fait le titre de ce webinaire « Faire, ne pas faire, faire autrement ». Alors, nous allons commencer cette séquence en abordant le « ne pas faire », parce que pour l'instant, nous avons évoqué les alternatives, mais nous n'avons pas évoqué le scénario que dans le jargon de la Commission du débat public, on appelle le « scénario zéro », où on ne fait pas. On demandera à monsieur Marsollier, pour le CERN, de bien vouloir nous dire comment se présenterait ce scénario zéro. Ensuite, nous donnerons la parole à trois personnes qui, de là où elles sont, apporteront un point de vue sur cette question « Faire, ne pas faire, faire autrement ». Ces points de vue sont différents, sont complémentaires. En tout cas, ont été pensés... le mélange des trois a été pensé pour aider chacun ici, les citoyens qui s'intéressent à ce projet, à se forger une idée, en tout cas à prendre à bord tous les éléments qui sont importants pour penser ça.

Je demande tout de suite à Monsieur Marsollier de bien vouloir nous parler. Ce n'est pas facile pour un porteur de projet de parler de scénario zéro, mais ça fait partie, ça fait vraiment partie du débat public. Et merci par avance, dans les six minutes qui vous sont allouées de bien vouloir nous en parler.

## M. Arnaud MARSOLLIER - CERN

Merci beaucoup. Je vais essayer donc. Je vais essayer de prendre différentes perspectives pour essayer d'expliquer ce qui se passe si on ne faisait pas le FCC-ee. Et je vais commencer par la science parce que c'est ce dont on vient de parler. Et je pense que Paris Sphicas a montré, tous ces graphes, ce qu'ils expliquent, c'est que clairement, le FCC-ee, c'est la meilleure machine, c'est la meilleure chance qu'on peut avoir de continuer l'exploration de la matière et en particulier du boson de Higgs, qui est cette particule tellement spéciale qu'on voudrait la cartographier un peu mieux que d'avoir une photo un peu floue comme on a aujourd'hui.

Aujourd'hui. Je voudrais être bien clair sur une chose. Si on décide en 2028 de pas faire le FCC, on n'a pas le CERN qui ferme, on n'a pas tout qui s'arrête du jour au lendemain. On a aujourd'hui le grand collisionneur de hadrons, qui est une machine extraordinaire, qui nous a permis de découvrir le boson de Higgs, qui va continuer de fonctionner encore pendant quelques années. Mais c'est clair que si on ne fait pas la FCC-ee, il y aura un trou d'air, comme on peut dire.

Peut-être pour faire un parallèle avec l'astrophysique, parce que je comprends bien que des fois, la physique des particules, ça paraît un petit peu abstrait. Ce qu'on fait avec un accélérateur de particules, c'est un peu comme d'avoir un très grand microscope. Si on fait le parallèle avec l'astrophysique, en astrophysique, on va utiliser des télescopes pour observer les galaxies et explorer le fond de l'univers. On a à peu près 1 000 à 2 000 observatoires sur Terre qui fonctionnent ensemble. Ne pas faire FCC-ee, ça reviendrait en fait à arrêter tous les télescopes du jour au lendemain. D'une certaine manière, ça voudrait dire ne plus avoir d'instrument pour continuer à explorer la physique des particules.

Slide suivant, s'il vous plaît. Alors, pour le CERN, ce que ça voudrait dire - pas dans l'immédiat, mais à moyenne échéance - ça voudrait dire considérablement réduire l'attractivité du CERN. C'est un scénario qui est quand même plein d'incertitudes. Évidemment, on imagine que les gouvernements qui ont demandé cet exercice de Stratégie européenne relanceront une stratégie pour décider ce que c'est que le plan C - puisque là, on a vu le plan A, c'est FCC-ee, le plan B, c'est FCC-ee *descopé*. La question, c'est : Si on fait ni l'un ni l'autre, qu'est-ce qu'on pourrait faire ? Et aujourd'hui, on n'a pas la réponse.

Évidemment, ne pas faire pour le CERN, ça veut dire aussi prendre le risque, sans aucun doute, que le projet puisse se faire sur un autre continent, par exemple. Il faut bien rappeler aussi les fondements du CERN. Le CERN a été créé juste après la Seconde Guerre mondiale pour éviter la fuite des cerveaux. Mais si un grand projet pour la physique des particules allait ailleurs - puisqu'en fait, la physique des particules, c'est quelque chose qui est très concentré, on n'a pas plein de télescopes sur la Terre, on a juste un instrument - mais évidemment, ça voudrait dire que cette fuite des cerveaux, les physiciens, ils iront là où il y aura une grande machine. Ça, c'est à peu près certain.

En fait, ce serait aussi un peu une rupture anthropologique, j'ai envie de dire. Parce que dans l'immédiat, si on ne fait pas cette machine, ça veut dire que pendant un bon moment, on n'aura pas de machine. Ça voudrait dire qu'on arrête la recherche en physique des particules pendant un moment. Et donc, c'est un peu comme... si on pense à ce que c'est que la nature humaine, c'est un peu si on était à l'époque de Christophe Colomb en lui disant que d'aller explorer des nouveaux territoires, ce n'était pas vraiment si utile. Et je suis certain qu'à l'époque de Christophe Colomb, il y avait beaucoup de problèmes sur la Terre.

Ce serait aussi renoncer à des bénéfices technologiques majeurs. On sait que les industries, par exemple, qui travaillent avec le CERN nous disent - et c'est mesuré, il y a des chiffres, on pourra peut-être évoquer ça - on sait que ça rend plus compétitives les industries qui travaillent avec le CERN. Parce que les technologies qu'on développe au CERN sont uniques, on est les seuls à faire ça, on pousse vraiment les technologies. Et comme expliquait Paris tout

à l'heure, en faisant ça, on crée des technologies qui sont évidemment utiles pour la société. Et puis, je voudrais revenir sur vraiment qu'est-ce que ça voudrait dire de manière fondamentale aussi de ne pas faire ce projet : ça enverrait un très mauvais signal pour la recherche fondamentale. Et en fait, il n'y a pas différentes recherches fondamentales. Là, on essaie de mettre la recherche sur le climat en opposition avec la recherche en physique des particules. Il faut bien comprendre, pour faire de la recherche sur le climat, par exemple, il faut des instruments de pointe, il faut des fusées pour envoyer des satellites, il faut des centres de calcul, il faut des *data centers*. La recherche sur le climat, on la fait avec tout ça. Tout ça, certaines technologies, viennent très directement de la physique. Donc, si vous coupez la physique fondamentale d'un côté, vous n'arrivez pas non plus à faire le reste de la recherche fondamentale qui est tellement essentiel pour la société.

Slide suivant. Pour l'Europe, ça voudrait dire très clairement une perte de *leadership* sur la physique des particules. Encore plus si un grand projet se fait ailleurs. Ça, je pense que j'ai été clair là-dessus. Et j'ai parlé aussi un peu des retombées économiques et industrielles. Je pense qu'il faut quand même bien voir aujourd'hui qu'en Europe, on voit que l'industrie est en difficulté dans des domaines multiples. On peut parler de l'industrie de grande consommation, on peut parler de la chimie. Vous allumez votre radio tous les jours, on entend que Brandt va fermer, on entend que Duralex est en difficulté. Dans la région, on sait que Salomon, maintenant, délocalise. Et donc là, ici, on a, au cœur de la région, un moteur pour l'innovation, un moteur aussi pour faire avancer à un certain nombre d'innovations. Et ça, c'est une réalité. Et puis, évidemment, ne pas faire le FCC, ça voudrait dire aussi réduire le rôle très formateur de milliers de jeunes chercheurs, d'ingénieurs et techniciens qui viennent se former au CERN.

Slide suivant, s'il vous plaît. Alors, pour la France aussi, je pense que c'est important de le dire, ça a été un peu mentionné, mais l'activité de la physique des particules, ce n'est pas simplement au CERN à Genève. Il y a énormément de laboratoires du CNRS, du CEA, qui sont impliqués dans les recherches du CERN, qui contribuent. On a des laboratoires à Annecy, à Lyon, à Grenoble, Paris, Saclay, Clermont-Ferrand. Évidemment, si on ne fait pas un projet comme le FCC, ça veut dire une réduction d'activité aussi pour tout ce tissu qui est lié aux universités et qui est lié à toute l'activité scientifique dans toute la France.

Juste pour rappeler une chose : la contribution de la France au CERN, c'est de l'ordre de 160 millions par an pour un budget de la recherche qui est de l'ordre de 65 milliards. Ça veut dire que pour 100 € dépensés dans la recherche en France, c'est moins de 0,50 € qui vont au CERN. Donc, ne pas faire un projet FCC, ça voudrait dire ne pas dépenser ces 160 millions par an qui sont dépensés de manière intelligente dans la durée en s'alliant avec des pays européens autres. Et ça voudrait dire aussi pour la région... slide suivant, ne pas avoir ces investissements énormes de la France, mais de tous les États européens, de tous les États membres associés et des contributeurs étrangers qui veulent venir faire ce projet. Ça voudrait dire se couper de plusieurs centaines de millions par an d'investissement pour la région et sur plusieurs années, de milliards d'investissement pour cette région. Donc, ça signifierait une perte économique et d'emplois, ça, c'est indéniable. Et ça réduirait aussi l'attractivité touristique de la région. Voilà pour un panorama très rapide.

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Rapide... Mais voilà. Merci. Merci à vous. Maintenant, c'est madame Pépin-Donat, qui est physicienne et directrice de recherche honoraire au CNRS, qui va prendre la parole pour un point de vue, je pense, un peu différent.

## Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – CNRS – Co-CERNés

Bonjour. Je voudrais commencer par dire que nous, les êtres humains, nous sommes de bien petites choses. Des poussières du cosmos. Et si nous condensons l'histoire de l'univers en une année, le cosmos naît le 1<sup>er</sup> janvier, le système solaire avec notre petite Terre le 2 septembre, la première trace de vie le 9 septembre, l'homo sapiens arrive le 31 décembre à 23 h 48. Et au cours de l'ultime seconde de cette année cosmique, l'être humain fait deux guerres mondiales. Il largue deux bombes atomiques, pose un homme sur la lune, et faisant preuve d'une démesure dans ses activités, il nuit gravement au reste du vivant, gaspille l'eau potable qui lui est indispensable et modifie même le climat se mettant ainsi en péril lui-même. Le CERN ne semble pas échapper à cette démesure. Son histoire démarre très joliment dans une Europe traumatisée par la bombe atomique. Il met des accélérateurs de particules au service des chercheurs et des chercheuses du monde entier pour élargir les connaissances sur les particules nucléaires, sans but d'applications ni de retombées économiques, pour la paix. C'est l'image de ce que devrait être cette belle épopée humaine qu'est la recherche fondamentale. Cette tentative de décryptage par les êtres humains des lois de la nature dont ils font partie et qui permet à l'humanité, curieuse, imaginative, créative, de se constituer avec rigueur et objectivité un bien commun à usage illimité, à consommer sans modération : le savoir objectif, les connaissances objectives.

C'est une magnifique aventure humaine, non pas parce que l'être humain soit beau, mais parce que la tâche est immense et qu'elle ne peut être que collective et donc œuvrer pour la paix. Chaque être humain, en s'appuyant sur ce socle de connaissances, peut se forger un avis éclairé pour aborder un problème aussi complexe soit-il. La recherche fondamentale est un rempart contre l'obscurantisme, une arme contre toute forme de dictature dogmatique, et donc il faut la défendre à tout prix.

Mais voilà, comme je vous l'ai dit, la démesure semble avoir touché le CERN. Du premier accélérateur qui tenait quasiment dans une main, le CERN en est arrivé au LHC de 27 kilomètres de circonférence et projette maintenant le FCC de 91 km de circonférence. Et Frank Zimmermann, du CERN, qui était en charge de la présentation du projet FCC-hh à Venise en 2025, a même publié en 2022 l'ébauche d'un accélérateur de 11 000 km sur la Lune. Alors, on en est peut-être arrivé à se demander si la technologie n'a pas pris le pas sur l'imagination, au CERN, et sur la créativité. Et je voudrais vous citer une phrase du roman *Tovaangar* de Céline Minard ou Atlal, membre de la tribu des Gros cerveaux, dit : « Les Gros cerveaux sans objet de quête ont tendance à s'engager dans les premiers tunnels venus ». Il ajoute : « Je ne suis pas convaincu de pouvoir sortir sans ligne directrice, mais je suis sûr du contraire, à vrai dire ».

Ne nous y méprenons pas, la recherche fondamentale dont le CERN est un organisme n'est pas l'apanage des gros cerveaux. Un titre à vrai dire qui ne signifie pas grand-chose. C'est notre épopée à nous, les êtres humains, depuis notre apparition à 23 h 59 min et 20 sec de l'année cosmique. On peut parfois se demander si le CERN, en poursuivant sa course au gigantisme, en utilisant la méga technologie depuis des dizaines d'années, ne finit pas par rentrer en collision avec les valeurs belles et incontournables de la recherche fondamentale. Je les liste très rapidement : la recherche fondamentale est au service de la société, donc éthique. Le comité d'éthique du CNRS, qui est le référent « recherche fondamentale » au CERN pour la France, existe depuis 1994. Il vise à éclairer la liberté de recherche au regard de ses devoirs et responsabilités vis-à-vis de la société.

L'article 43 a élargi son champ d'action du vivant à l'environnement en 2022. Et je vous en cite deux extraits : « Le COMETS - donc c'est le Comité d'éthique du CNRS - estime d'abord que la prise en compte des impacts environnementaux de la recherche doit être considérée comme relevant de l'éthique de la recherche, au même titre que le respect de la personne humaine et de l'animal d'expérimentation ». Et un deuxième extrait : « Le monde de la recherche doit ainsi se demander dans quelle mesure le fait de développer ou d'utiliser tel grand équipement -

jumeaux numériques, accélérateur de particules, grand calculateur - est susceptible d'engendrer des impacts néfastes pour la biosphère, de conforter à moyen ou long terme des modes de production ou de consommation non-durables ». C'est donc à la société de juger si la construction et le fonctionnement du FCC sont compatibles avec cet article 43 du Comité d'éthique.

La deuxième valeur de la recherche fondamentale, c'est qu'elle est collaborative et pour la paix, et sans contrainte de temps. Or, le CERN a supprimé son rôle d'observateur à la Russie en 2022 et fait une compétition très malsaine avec la Chine. C'est presque un poème. On aura la plus grosse machine avant la Chine, le FCC, avant le CEPC. Mais voilà, suite à l'avis défavorable de son premier prix Nobel de physique, la Chine a stoppé le projet CEPC en 2025. Et pourtant, le CERN continue à avancer le projet. FCC à marche forcée, prétextant qu'ils veulent garder la suprématie. Alors, on peut se demander s'il y a une autre raison cachée. Et puis, peut-on vraiment envisager la...

**Mme Dominique SIMON - CPDP**

Madame Pépin-Donat ?

**Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Oui. Pardon, je n'entends pas.

**Mme Dominique SIMON - CPDP**

Si vous pouvez vous orienter vers votre conclusion. Voilà, on est...

**Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Oui, D'accord, sans la Russie et sans la Chine... J'aurais beaucoup d'autres valeurs à développer, comme la validation paritaire qui est très difficile avec des technologies si développées. Donc, j'en arrive à la conclusion. Il me semble que nous ne sommes pas aux alternatives technologiques, mais à la question essentielle du pourquoi. C'est-à-dire : Est-il opportun ou non pour la société de réaliser un tel projet ? Question qui doit être traitée en tout premier lieu, selon les textes de la CNDP, avant le « comment ». Et alors que nous subissons des vagues de chaleur d'une intensité et d'une fréquence sans précédent, y compris pendant ce débat public, nous espérons que le CERN se demandera enfin si contribuer au réchauffement climatique, au gaspillage de l'eau potable, à la disparition des terres arables, à l'utilisation de ressources limitées, à une consommation d'énergie énorme, ne relève pas, pour construire et pour faire fonctionner ces accélérateurs gigantesques, ne relève pas d'un aveuglement ou d'un égoïsme. Donc, j'arrête puisque je crois que j'ai dépassé mon temps...

**Mme Dominique SIMON - CPDP**

Merci beaucoup, madame Pépin-Donat. Vous aurez l'occasion peut-être de reprendre la parole pendant les échanges de questions-réponses. Maintenant, La parole est à Marc Winter, Directeur de recherche émérite à l'IJCLab - IJC pour Irène Joliot-Curie - du CNRS. Vous allez, Monsieur Winter, nous apporter un peu votre lecture, votre point de vue sur les éléments qu'on peut prendre en compte quand on réfléchit à cette question de « faire, ne pas faire ou faire autrement ».

## M. Marc WINTER - CNRS

Merci de me donner la parole. Bonjour à toutes, à tous. J'interviens dans ce débat un peu parce que j'ai à peu près 50 ans d'expérience en physique des particules, que j'ai passé de nombreuses années au CERN. J'ai notamment travaillé pendant toute la durée du LEP sur cette machine qui est aussi un collisionneur plus ou moins. Et ce dont on parle aujourd'hui, en fait, c'est un prolongement, une extension. - ça a été un peu dit par Paris Sphicas - d'une longue expérience qui passe par des accélérateurs intermédiaires. Et vous noterez que tous, au CERN, ont été circulaires. Ça a influencé très certainement la confiance qu'on peut mettre dans l'avenir en passant par un accélérateur circulaire plutôt que linéaire. Et j'aimerais un peu commenter cet aspect-là.

Alors, la deuxième planche, s'il vous plaît. Voilà. Cette planche-là, elle revient un peu sur les comparaisons qu'on peut faire à distance entre ces deux options - circulaire ou linéaire - parce que ce sont deux manières alternatives de se projeter dans l'avenir. Je pense que ça a été assez bien dit par les présentateurs précédents. Le collisionneur FCC, il prévaut sur certains points que j'ai essayé de résumer. Il prévaut en termes de nombre de bosons Z, mais aussi pour l'étude des W, pour d'autres aspects de la physique également, qui apparaissent aux énergies les plus basses, celles qui étaient accessibles aux énergies du LEP il y a une trentaine d'années. C'est indéniable que c'est la meilleure machine pour ça.

En ce qui concerne le nombre de bosons de Higgs et le type de production - ça intervient - c'est beaucoup moins clair. J'ai mis deux chiffres, 2,7 millions de bosons pour un FCC-ee, 2,3 pour un linéaire. C'est illustratif de la faible différence. En revanche, il y a un autre point très important, c'est la taille de la communauté scientifique qui peut s'emparer d'un FCC-ee au moyen de quatre expériences qui fonctionnent en parallèle et qui vont les impliquer, alors que sur un ILC, par exemple, on ne peut mettre que deux expériences.

Finalement - ça a été bien marqué par Paris Sphicas en particulier - un élément important, c'est la projection vers l'avenir et qui passe par le fait que le tunnel du FCC-ee préfigure un collisionneur de protons qui serait à la frontière en énergie ultime de ce siècle. Et la chose importante qui n'a peut-être pas été dite, c'est que, quels que soient les résultats du LHC, c'est un objectif qui est plus ou moins incontournable à première vue, d'aller à la plus grande énergie possible. D'où la taille, pour répondre à certaines questions. C'est la taille qui impose, c'est la taille qui permet d'aller à cette énergie. Plus petit, on peut moins bien.

Les collisionneurs linéaires, eux, comme l'a dit Jenny, se distinguent par leur capacité à fournir des énergies de collision qui sont sensiblement supérieures. Et donc, on ouvre des voies à de nouveaux processus physiques qu'on peut étudier directement. Ils ont des effets sur le boson Z qu'on peut indirectement analyser avec un collisionneur circulaire. Mais ça n'est pas la même chose d'accéder directement ou indirectement. On peut en discuter. Ensuite, ils se distinguent par leur infrastructure de taille plus modeste, mais pour ceux qui n'aiment pas les grands tunnels, bien entendu, 30 kilomètres, c'est encore beaucoup. C'est à peu près la taille du LHC. Et ce qui est important peut-être, c'est de savoir que cette infrastructure d'une trentaine de kilomètres peut s'implémenter progressivement dans le temps pour répondre aux possibilités de financement du moment et des contraintes auxquelles est exposé ce type de projets.

Et puis, finalement, il y a derrière ce type de technologies un degré d'innovation technologique qui est vraiment élevé. Il y a plus de 30 ans de R&D sur ces accélérateurs linéaires et l'impact sociétal - comme ça a été évoqué en passant par Jenny - est indéniable. Et alors, évidemment, il y a un point philosophique, c'est qu'ils n'engagent pas le choix de l'accélérateur qui pourrait leur succéder pour la fin du siècle. Ce qui dégage à la fois la possibilité d'exploiter les progrès de la R&D accélérateurs et les résultats scientifiques à venir.

Planche suivante, s'il vous plaît. Alors, si on ne fait pas de nouveau tunnel, on réemploie le tunnel du LEP LHeC, c'est-à-dire ce qu'a présenté Chiara Mariotti. Il y a deux options considérées : un collisionneur électron-positon, un autre électron-proton/ion. Clairement, ce sont des programmes scientifiques qui sont moins ambitieux. Est-ce qu'on peut encore les qualifier de projets phares ? D'un point de vue général, je pose cette question parce qu'elle peut avoir une importance sur le financement du domaine. La communauté impliquée est plus réduite, le degré d'innovation technologique est plus modeste. À la nuance près que LHeC peut permettre de mettre en place un démonstrateur de recyclage de l'énergie qui peut être vraiment d'un intérêt générique. Mais évidemment, c'est un peu une pièce d'attente pour la prochaine génération de collisionneurs qui sera plus ambitieuse et qui va intégrer tous les développements de R&D qu'on aura faits. Et on espère que, moyennant ce coût modéré de LEP3, par exemple, on aura plus de moyens dégagés pour la R&D de la génération suivante. C'est quand même pondéré par le fait que le budget du CERN serait maintenu étant donné que le projet pourrait ne pas être considéré comme un projet phare. Je ne l'invente pas.

Et alors, finalement, ma dernière planche, c'est ce qu'on appelait la solution zéro, le repli zéro, qu'Arnaud, à mon avis, a très bien décrit. Et donc, je ne vais pas beaucoup rentrer dans le détail de cette planche, mais le leitmotiv continuera, de pouvoir augmenter l'énergie de collision et les taux d'interaction des faisceaux et de s'approcher de toutes les capacités que l'on peut de faire une étude poussée du boson de Higgs. On ne voit pas d'alternative aujourd'hui à cause de son rôle absolument singulier et central sur notre histoire de l'univers. L'effort sera concentré sur la R&D accélérateurs, les détecteurs de rayonnement, le traitement des données - c'est un aspect, je ne rentre pas dans les détails.

L'impact environnemental et les préoccupations d'opérations qu'on a aujourd'hui pour le climat seront incluses dans cette R&D. Il n'y a pas à en douter. Elles seront fortement incluses. Le rôle de la science à ce niveau-là, de la science fondamentale, n'est pas à considérer comme marginal. Je pense que beaucoup de physiciens se sentent responsables, co-responsables de la nécessité de faire un effort dans le sens qui a été souligné plusieurs fois ce soir. En même temps, préparer la prochaine génération d'accélérateurs dont, évidemment, on peut laisser le champ complètement ouvert. Et je cite là, différents types de collisions qu'on pourrait envisager en fonction d'éventuels nouveaux résultats scientifiques et en fonction des progrès de la R&D pour chacune de ces options de collision.

Alors, l'impact sur la science et au-delà - je passe très vite parce qu'Arnaud a plus ou moins mentionné ce que je veux dire - c'est qu'il y a des ralentissements qui vont s'opérer. Le progrès de la connaissance en physique fondamentale pour les particules, mais pas seulement, pour la cosmologie, pour l'astrophysique, il y aura un ralentissement des avancées technologiques, ça a été dit par Arnaud. Il y aura un déficit de perspectives dans le domaine. Une perte de compétences, une perte d'expertise - ce n'est pas la même chose - une perte d'attrait pour les jeunes scientifiques. Il y aura un déficit de formation des nouvelles générations : master, doctorat, post-doc. Il y aura des...

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

On va vous demander de conclure rapidement, s'il vous plaît.

### **M. Marc WINTER - CNRS**

Oui, je conclus. Ces jeunes irriguent la société. La plupart ne restent pas dans la recherche. Il y aura un déficit de dynamique et de compétitivité face au reste du monde, à un moment critique pour l'Europe et sa culture. Et donc, ma question, à débattre : Est-il judicieux de

différer ? Dans quel but ? il faut savoir quel est le coup d'après, pourra-t-on corriger, rattraper le retard un jour ? Merci.

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Merci beaucoup de cette intense contribution. Et nous allons écouter maintenant Nathalie Besson, qui vient du CEA, l'IRFU, qui est l'autre opérateur de recherche qui est très impliqué dans la physique des particules française, pour nous dire comment elle et son institut répondent à cette question : Faire, ne pas faire, faire autrement.

### **Mme Nathalie BESSON - CEA**

Merci. Est-ce que vous m'entendez correctement ? Parfait. Donc, privilège de celle qui passe en dernier, je vais vous dire des choses que vous avez déjà entendues. Donc, ça va faire une sorte de conclusion. En commençant par la physique des particules, qui est l'étude du contenu en énergie de l'univers et des lois de la nature au niveau le plus fondamental. Elle est décrite par un modèle qu'on appelle le modèle standard de la physique des particules, dont la dernière des particules, le boson de Higgs, a été découverte au Grand collisionneur de hadrons du CERN en 2012. C'est une théorie quantique dont on dit qu'elle est robuste et prédictive et elle décrit remarquablement bien trois des quatre interactions fondamentales de la nature, mais elle laisse encore des questions très fondamentales ouvertes. Par exemple, qu'est-ce qui s'est passé dans les tous premiers instants de l'histoire de l'Univers ? Qu'est-ce qui a causé la disparition de l'antimatière ? Quelle est la nature de ce qu'on appelle la matière noire ? Qu'est-ce que l'énergie noire ? Et par exemple, est-il possible de réconcilier la gravitation avec les trois autres interactions fondamentales ?

On a donc une discipline qui est dans un état, une situation qui n'est pas inédite, mais qui est pour le moins intéressante. On a un modèle, le modèle standard, qui apparaît comme la manifestation à basse énergie d'un modèle plus complet à plus haute énergie, sans qu'on dispose encore d'indices, ni expérimental ni théorique, qui nous indique quelle est la physique au-delà du modèle standard et à quelle énergie elle se manifeste. Et dans cette situation, on dispose de deux voies de recherche complémentaires. La première qui consiste à chercher de nouvelles particules directement dans des collisions de particules à très haute énergie. Et l'autre qui consiste à mesurer précisément les paramètres du modèle standard à la recherche de déviations par rapport aux prédictions théoriques. Ça, ça nécessite ce qu'on appelle une grande statistique, c'est-à-dire beaucoup de collisions, pour la plus grande précision possible et pour permettre d'étudier les processus rares.

Les processus physiques les plus sensibles à la présence de physique non standard impliquent en particulier les particules les plus massives que sont le *quark top*, qui est le quark le plus lourd, les médiateurs de l'interaction faible, à savoir les bosons W et Z, et le boson de Higgs. Et en particulier, le boson de Higgs, ça a été dit, il a un rôle particulier à jouer parce qu'il a une place singulière dans l'histoire de l'Univers. Dans les tout premiers millièmes de seconde de l'histoire de l'Univers, il y a énormément d'événements, dont une phase dite d'inflation qu'on comprend encore mal, la création des particules élémentaires et le mécanisme de Higgs. Caractériser ce mécanisme, qui est celui qui donne une masse aux particules massives, c'est important pour deux raisons : à cause du moment où il a lieu dans l'histoire de l'univers et à cause de la nature unique du boson de Higgs au sein du modèle. Et en fait, ça peut apporter des réponses à des grandes questions comme l'asymétrie matière/antimatière de l'Univers, la dynamique de l'inflation ou même un lien avec l'expansion de l'Univers.

Donc, le boson de Higgs, il connecte profondément la physique des particules à la cosmologie et donc les différentes échelles. Il revêt donc une importance vraiment capitale en sciences. Et

d'ailleurs, depuis sa découverte, il y a une espèce de consensus international qui a été atteint sur la nécessité d'une « usine à Higgs », que ce soit au CERN, avec l'exercice de mise à jour de la Stratégie européenne en physique des particules - dont on parle aujourd'hui - aux États-Unis, lors du dernier exercice de prospective qui s'est conclu en 2023 et qui identifie le soutien à une usine à Higgs située en dehors des États-Unis comme une priorité, ou encore, ça a été dit plusieurs fois, en Chine, où il y a des études extrêmement poussées qui continuent, qui sont menées sur un collisionneur similaire à FCC-ee, et la Chine a exprimé son soutien à FCC-ee si celui-ci devait se faire. La Chine rejoindrait l'effort international.

Une fois les priorités scientifiques identifiées, évidemment, la question se pose de l'infrastructure nécessaire au programme. Il y a eu un énorme travail d'analyse - Paris en a parlé, d'autres en ont parlé - des contributions de toute la communauté qui ont été faites. En particulier, le groupe de travail numéro 2 du Groupe de Stratégie européenne a émis deux rapports qui ont déjà été montrés, peut-être sous une forme un peu différente, qui comparent les différents projets de collisionneurs, un en termes de maturité technique, de coûts et de performances techniques, et l'autre en termes de portée scientifique. Ce sont les deux tableaux que vous avez là.

Que ce soit pour la physique ou pour les aspects technologiques, le meilleur projet qui soit aussi susceptible d'être prêt après le HL-LHC, c'est le FCC-ee. Il offre, par rapport aux alternatives, la plus grande précision sur un plus vaste ensemble de paramètres, et - ça a été dit aussi plusieurs fois - il permet une phase à haute énergie ultérieure. En particulier, il produira par an environ 750 000 Higgs, soit environ 10 fois plus que le LEP3 et 20 fois plus que les linéaires en moyenne annuelle.

Lors de l'écriture des recommandations qui ont été faites au Conseil du CERN par les membres du Groupe de Stratégie européenne, les organismes français, CEA et CNRS, étaient représentés. Ils portaient des éléments de discussion qui avaient été préparés en coordination avec le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Espace. Ces éléments sont que le futur projet doit assurer un haut niveau d'ambition scientifique, être prêt pour prendre le relais après le HL-LHC et maintenir le leadership européen du CERN au long terme. Et ça, ça correspond au FCC-ee.

Alors, pour conclure, évidemment, la science, ce n'est pas le seul paramètre. C'est le paramètre de départ, mais ce n'est pas le seul paramètre. Il y a aussi des impacts financiers, environnementaux, sociétaux. Et c'est très important de peser le pour et le contre et de se poser la question de savoir si le gain en connaissance, en développement technique, en formation des jeunes, en retombées économiques, vaut le coup - que vous pouvez écrire COUP ou COÛT - coût financier et environnemental. Et c'est particulièrement important pour la France, qui est un des deux États hôtes du CERN. Donc, ça a été dit, on peut choisir de ne pas faire le FCC-ee. Là, on renonce, entre autres choses, à étudier avec précision le seul mécanisme testable directement dans les tous premiers instants de l'Univers.

On prend aussi le risque qu'un programme similaire soit fait en Chine. Alors évidemment, si un programme similaire est fait en Chine, la science est préservée à l'international, mais l'Europe perdrait son leadership en physique des hautes énergies, une partie de sa communauté scientifique et de ses capacités expérimentales, mais aussi, à terme, le pôle d'attractivité et le *booster* technologique qu'est le CERN. Et on peut choisir aussi de le faire, mais de le faire bien, dans les règles de l'art. Ça a été mentionné probablement dans d'autres meetings, le tracé du FCC a été défini en appliquant les méthodes qui ont été établies par le ministère français de l'Environnement pour les études d'impact, en considérant les enjeux territoriaux et environnementaux, dans l'optique de limiter l'impact, tout en disposant d'une installation scientifique de classe mondiale. Et ce n'est pas fini. Des optimisations sont encore en cours, que ce soit sur le coût financier - ça a été mentionné - et aussi pour réduire au

maximum l'empreinte environnementale du projet, par exemple en travaillant sur les matériaux, en particulier béton et acier.

Donc, pour conclure, rien n'est encore tranché. Il y a des optimisations qui sont faites, des études d'autres infrastructures qui sont en cours. L'indispensable débat public a lieu en ce moment, on y est. Et donc, il y aura beaucoup de travail d'analyse et de concertation qui va avoir lieu pendant encore deux ans, au sein de chaque État membre du CERN, pour qu'il puisse prendre une décision éclairée et collégiale en 2028. Je vous remercie.

**Mme Dominique SIMON - CPDP**

Merci beaucoup. Alors, nous abordons maintenant la phase des échanges avec le public. Mais David me faisait remarquer que nous étions un peu en retard par rapport à notre agenda. On va quand même prendre ce temps-là avec votre permission. Et donc à vous maintenant de nous faire part des questions et des observations que ces regards croisés vous ont inspiré. Peut-être en attendant, je peux poser une question ? Il m'a semblé voir apparaître dans votre présentation, Monsieur Winter, un critère de communauté scientifique impliquée. Est-ce que ça fait partie des éléments qui ont été aussi pris en compte dans l'évaluation respective des différentes options ?

**M. Marc WINTER - CNRS**

Je pense que ça a joué. Vous m'entendez ? Je pense que ça a joué un rôle. Je n'étais pas moi-même directement associé à cette réflexion, mais ce que je comprends, c'est que le CERN, notre communauté européenne ayant bien le sentiment qu'elle représente le principal projet sur accélérateur dans le monde, se sent une responsabilité de capacité d'accueil qu'elle a déjà montrée avec le LHC à l'heure actuelle et essaie de maintenir cette capacité d'accueil pour un projet futur. Et ça, il me semble naturel que l'on tienne compte de cet aspect-là. Et à ce titre-là, d'autant que le FCC est un projet qui a ces deux phases, d'abord des collisions électron-positon et ensuite, proton-proton, évidemment, c'est d'une certaine manière sécurisant pour toute une communauté dans le monde, pour un avenir qui est relativement lointain. Y compris - si je peux me permettre d'ajouter ça - pour la communauté chinoise qui a souligné que si le FCC se faisait, elle se joindrait à la communauté européenne, enfin, elle rejoindrait le CERN, pour participer aux expériences. Je ne sais pas si ça répond à votre question.

**Mme Dominique SIMON - CPDP**

Tout à fait. C'était en tout cas un point important.

**M. Marc WINTER - CNRS**

C'est non-dit. Je le dis avec un peu de retenue parce que c'est non-dit. Mais clairement, ça doit rester dans l'esprit.

**Mme Dominique SIMON - CPDP**

Alors, Qu'avons-nous comme questions dans le *chat* ?

### **Mme Véronique MOREL - CPDP**

Je crois que j'ai quelques questions... certaines que j'avais gardées des étapes précédentes, mais qui reviennent : Est-ce que la possibilité de ne pas faire le FCC a été discutée à Helsinki ? Le cas échéant, il reste 15, 20 ans pour discuter d'un autre futur pour le CERN. Et dans la même veine... Je l'avais, je l'ai perdue... Si on ne fait pas le FCC, il n'y a pas rien. Il y a quand même de la place pour d'autres projets qu'on a vus dans la deuxième partie. Notamment une solution alternative - je l'ai retrouvée - quasiment quatre fois moins chère en réutilisant le tunnel actuel.

### **M. Arnaud MARSOLLIER - CERN**

Oui, Arnaud Marsollier pour le CERN. Sur la question d'Helsinki, comme j'ai essayé d'expliquer, la réunion à Helsinki, c'est la réunion de la collaboration FCC. Donc, la question à Helsinki n'est pas : Est-ce qu'on fait le FCC ou pas ? Les gens qui travaillent là approfondissent les études sur le FCC et préparent la décision du Conseil pour 2028. Donc, c'est ça l'objet de la réunion d'Helsinki. Ce n'est pas les alternatives. Les alternatives ont été très largement discutées, comme Paris l'a expliqué, pendant tout le processus de la Stratégie européenne. Et je pense qu'on a bien démontré ce soir qu'en fait, c'était un processus éminemment démocratique, avec vraiment le monde entier qui a été consulté, en réalité. Et donc, à un moment donné, effectivement, le processus s'arrête. Et là, on est dans une phase où le projet est considéré, FCC-ee, avec une décision attendue en 2028.

### **Mme Ursula BASSLER - CERN**

Oui, Ursula Bassler aussi du CERN. Moi, je voulais juste dire un mot sur la Chine. Donc, effectivement, la Chine a un petit collisionneur actuellement et ils ont, pendant les derniers quinze ans, fait d'énormes efforts pour construire une communauté de physiciens des accélérateurs qui leur permettait de suivre le projet FCC et de proposer un projet similaire sur le sol chinois. Par contre, il faut quand même dire aussi qu'en Chine, il n'y a aucune expertise pour construire actuellement un projet d'une telle taille. Actuellement, en Chine, le projet n'était pas retenu dans le Plan à cinq ans qui était décidé cette année. Les physiciens chinois ont signalé qu'ils aimeraient bien travailler avec nous au CERN.

Mais maintenant, il faut quand même voir que si on veut faire le FCC en Europe, c'est aussi pour l'industrie européenne. Comme la Chine est une société très « transactionnelle », il faut que nous, on préserve nos intérêts dans cette transaction et qu'on évalue de manière très précise sur quels aspects on voudrait travailler avec la Chine et quelle industrie et quelle technologie nous souhaitons vraiment avoir en Europe autour de ce projet.

### **Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Je peux intervenir ? Excusez-moi, est-ce que je peux intervenir ?

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Qui parle là ?

### **Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Brigitte Pépin-Donat.

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Oui, bien sûr, allez-y.

### **Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Non, je voulais dire quand même qu'en Chine, un prix Nobel de physique a eu le courage de s'opposer au projet en disant qu'étant donné les impacts environnementaux, il était complètement irraisonnable pour la société de faire ce projet. Ça a suscité une énorme controverse et finalement, le projet a été abandonné par le Gouvernement, au moins pour les cinq prochaines années. Donc, il y a quand même des voix de scientifiques qui s'opposent. Et j'en ai aussi retenues au symposium de 2025 à Venise, qui était destiné à définir la politique de stratégie de physique des particules, et il y a quand même des chercheurs qui se sont fortement opposés à ce projet de FCC, et notamment en disant - et ça, ce n'est pas déjà il y a 40 ans, quand le LEP devait être construit et quand ensuite, il est devenu le LHC - il y a quand même des voix qui s'opposent très fortement et elles ne sont pas si minoritaires que ça. Et en fait, il y a beaucoup de personnes... Parce que moi, j'entends toujours : Le CERN a inventé le boson de Higgs, a découvert le boson de Higgs. Je suis désolée, ce sont Higgs et des collègues qui ont théorisé le boson de Higgs en 1964. Le CERN l'a juste démontré expérimentalement, la mise en évidence expérimentalement. D'ailleurs, c'est Higgs et ses collègues qui ont eu le prix Nobel. Ce n'est pas le CERN.

### **Mme Ursula BASSLER - CERN**

Est-ce qu'on peut répondre à cette intervention ? Le boson de Higgs était prédit par François Englert, de Brout et Peter Higgs, mais il y a beaucoup de prédictions en sciences. Et si on ne fait pas l'expérience pour les valider ou les invalider, on n'a pas avancé du côté scientifique. La raison pour laquelle les trois théoriciens ont eu le prix Nobel, c'est que le Comité Nobel ne donne pas le prix Nobel en sciences à une organisation, mais uniquement à des individus. Et donc, c'était bien sûr eux qui étaient les plus à même d'être récompensés. Merci.

### **Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Monsieur Rubia a eu le prix Nobel, il était au CERN. Et c'est... monsieur Rubia, je pense, a eu le prix Nobel parce que Fermi était décédé. Il y a quand même... et je ne sais pas, il me semble que la théorie de la gravitation a fort bien tenu le coup pendant deux siècles. On n'est pas obligé de valider un concept. L'atome, il a été émis 400 ans avant Jésus-Christ. On n'a pas coupé la Grèce en petits morceaux pour montrer que c'était vrai. C'était quand même un concept scientifique très intéressant, me semble-t-il.

### **Mme Ursula BASSLER - CERN**

Si je peux me permettre, la gravitation, on la vérifie tous les jours expérimentalement.

### **Mme Brigitte PEPIN-DONNAT – Co-CERNés**

Oui, je suis tout à fait d'accord. Mais la gravitation, vous savez, c'est madame Fabiola Gianotti qui dit : « Pour la gravitation, chacun peut vérifier qu'une pomme qui se détache d'un arbre tombe partout sur Terre ». Ce qui est un petit peu plus embêtant au CERN, c'est que je ne vois pas qui peut vérifier les observations étant donné la méga technologie qui est mise en œuvre. Comment voulez-vous qu'un scientifique normal puisse vérifier, quand vous avez des

multitudes de particules qui se forment, quand les deux faisceaux se rentrent l'un dans l'autre, qu'ensuite... [*propos brouillés par des interventions*]

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Si vous me permettez, madame Pépin-Donat... On va se perdre... [*propos brouillés*]. Ok... Est-ce qu'on pourrait éventuellement imaginer de poursuivre cet échange après ce webinar sous une forme à inventer, mais il y a une plateforme participative qui est faite pour ça. Je pense qu'il y a beaucoup de questions-là, qu'on voit dans le *chat*, qu'on ne va pas pouvoir toutes prendre. Mais ça pose la question, effectivement, de la suite qu'on donnera à ce webinar. Je vous vois depuis très longtemps... Oui. Une main levée, celle de monsieur Naville. On vous donne la parole à une condition, c'est que vous soyez super rapide. Merci.

### **M. Charles NAVILLE - Participant**

Bonjour, vous m'entendez ? Est-ce que ça marche ? Je suis stupéfait qu'en France, on est capable de travailler avec les Chinois sur le projet ITER. Et là, sur le CERN, c'est-à-dire aussi de la physique nucléaire, etc., on n'est pas capable. Est-ce qu'il faut aller retrouver et rechercher le Général de Gaulle pour parler avec les Chinois ? Est-ce qu'ils sont des pestiférés ? Je ne comprends pas. Moi aussi, je suis physicien. Je m'occupe du sous-sol. Ce n'est pas la grande physique, mais voilà... Je pose la question.

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Merci Je ne sais pas si quelqu'un veut prendre ça à bord. Sinon, je vois plein de mains levées. Du côté... Allez. Si c'est rapide en 30 secondes, vous pouvez... Monsieur Vacavant, Monsieur Winter. Et c'est tout ce que j'ai vu, oui. Et puis, on terminera là, si vous voulez bien.

### **M. Laurent VACAVANT - CNRS**

Oui, merci. Peut-être rapidement, je crois que tout le monde est prêt à travailler avec la Chine. Il y a beaucoup de discussions.

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

On ne vous entend pas bien, monsieur Vacavant.

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Tu peux parler plus fort ?

### **M. Laurent VACAVANT - CNRS**

Oui, pardon. Je disais que les Chinois ne sont pas pestiférés. On collabore beaucoup avec eux et on verra comment se décide l'avenir de ces deux projets. Je voulais intervenir par rapport à la question qui est revenue dans l'intervention de madame Pépin-Donat sur les opposants, pour rappeler - c'était quand même un peu l'objectif de la discussion aujourd'hui - je pense qu'on n'a peut-être pas tout à fait réussi à expliquer qu'on n'a pas manqué de discussions et qu'effectivement, les gens qui étaient contre le projet avaient toute liberté pour en discuter,

exposer leur point de vue. Et finalement, c'est un consensus qui a émergé. Ce n'est pas une unanimité, c'est un consensus assez fort. Je pense que ce processus de stratégie, il est extrêmement puissant, mais il est mal connu. Je pense qu'il n'y a pas beaucoup d'autres disciplines qui conduisent la même chose. Et je me demande si on ne devrait pas à l'avenir faire un peu plus de pédagogie sur ce processus en invitant des gens comme madame Pépin-Donat, par exemple, à voir comment les choses se passent complètement. Merci.

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

Ouvrir les portes. Ouvrir les portes, c'est ça ? Merci. Monsieur Winter ?

### **M. Marc WINTER - CNRS**

Oui, j'avais en fait une question très générique à vous poser, à vous, Dominique, ou à Monsieur Chevallier. J'ai l'impression qu'on est dans un moment du projet où il faut que tous les citoyens fassent remarquer leur soutien, posent leurs questions, essaient de comprendre, etc.. Et que peut-être qu'il n'est pas clair pour tout le monde qu'on n'en est pas encore à avoir décidé sur quoi que ce soit de ce projet. On veut intégrer - je dis « on » - la communauté scientifique veut intégrer les remarques du public et en tenir compte au maximum pour optimiser ce qu'on peut imaginer du projet - je dis bien ce qu'on peut imaginer - en intégrant toutes les critiques, les plus négatives soient-elles, parce que très souvent, on voit bien qu'il y a des détails qui n'ont pas encore été pris en compte.

Et le fait que ces détails ne soient pas encore pris en compte génère peut-être des angoisses, des tensions auprès du public qui, en fait, n'ont pas lieu d'être. Parce qu'on est encore dans un stade où on va en tenir compte. Est-ce que je me trompe ?

### **Mme Dominique SIMON - CPDP**

David, je te laisse prendre la suite et fermer...

### **M. David CHEVALLIER - CPDP**

Et conclure, effectivement, parce qu'on est sur la fin de ce temps d'échanges. Comme on l'a déjà exprimé à plusieurs occasions, un débat public, c'est ce qu'on appelle une « participation amont ». Participation amont ça veut dire que le projet n'est pas décidé et que donc, il a aussi des aspects qui ne sont pas déterminés. Pour autant, un débat public, ce n'est pas un travail sur l'optimisation ou l'explication de détails. C'est comme on l'a fait ce soir, travailler aussi sur les opportunités et les alternatives. Puisque le projet n'est pas décidé, il est encore temps d'imaginer le fait que le projet n'existe pas, ce qu'on a vu ce soir avec la présentation d'un scénario zéro, si le projet ne se faisait pas, et une présentation fine des alternatives. Pour nous, dans ce temps de débat, c'est un moment important à vivre pour le débat public, au regard des alternatives qui ont été présentées ce soir, mais d'autres qui pourraient émerger dans le temps du débat.

D'ailleurs, c'est peut-être aussi un appel que je fais, je relaie celui de Dominique tout à l'heure : le débat, n'en est pas encore à la fin de son premier mois, il est encore temps de travailler ces questions. Et si des personnes, ce soir, en regardant le *replay*, sont intéressées de travailler cette question, des alternatives, de l'opportunité - comprise au sens où on fait ou ne fait pas ce projet - c'est notre rôle, nous, équipe du débat, que de les appuyer et de travailler avec eux pour faire émerger leurs remarques, leurs avis, etc., que ce soit par le biais de la plateforme ou par d'autres éléments qu'on pourrait proposer dans le temps du débat.

Ensuite, j'ai vu dans le *chat* des personnes qui estiment que les « pour » ont trop parlé ou les « contre » se sont trop exprimés. C'est effectivement les tonalités qu'on voit dans les réunions publiques du débat public. On parle aussi à partir de ces perceptions et on voit que dans une même soirée, les opinions sont différentes. Je rappelle juste que nous, on n'a pas d'opinion sur le projet, qu'on est neutre par rapport au projet et qu'on cherche à avoir un débat qui soit contradictoire pour que toutes les idées et les avis soient posés et que, comme on l'a vu ce soir d'ailleurs, le maximum de questions puisse être posé, que ce soit au CERN ou à d'autres acteurs.

Je vous invite - du coup on peut peut-être passer aux diapos qui présentent la suite du débat - en particulier sur deux réunions qui peuvent être très en relais de celle-ci. L'une sur le retour d'expérience sur le LEP et le LHC, qui est un webinaire qui se tiendra le 20 juillet de 18h30 à 20h30, qu'on mène avec la Concertation suisse. Et puis, le 7 août, une conférence-débat sur la science et nous à l'Observatoire de la Lèbe dans l'Ain, qui prendront la suite de cette famille de questions que l'on a appelées « Sciences et société » et qui inclut « Opportunité et alternatives ». Et puis, la prochaine réunion le 2 juillet à Annemasse, « Chantier et gestion des matériaux excavés ». J'ai vu que dans le *chat*, il y avait des questions qui étaient en lien avec cette problématique-là. Vous pouvez assister à cette réunion qui se tiendra en présence, avec possibilité de la suivre sur *YouTube*. Et même modalité le 8 juillet à Saint-Julien-en-Genevois, une réunion sur « Eau et hydrogéologie » en présence et sur *YouTube*. Également, le 26 août, un forum du débat qu'on est en train de préparer avec toute la place donnée aux acteurs et également le retour de la contribution du Groupe citoyen jeunes sur les sciences et société.

Et puis, on va passer la toute dernière diapo. Sur le mois de septembre avec « les impacts et opportunités socio-économiques » le 8 septembre. « La question des coûts et du financement ». « Cycle complet, énergie, le raccordement ». Une réunion d'approfondissement le 24 septembre et le 30 septembre, la réunion de clôture du débat dans le Pays de Gex. Et on vous remet aussi la toute dernière diapo, toutes les façons de contribuer au débat, notamment par la plateforme participative, avec la possibilité de poser des questions et d'avoir des réponses, les avis et d'autres modalités qui vous permettent de participer d'une manière ou d'une autre, et notamment les débats mobiles que nous, on mène sur le territoire durant le temps du débat.

Merci beaucoup à toutes et à tous pour ce temps d'échanges et toutes ces contributions. Je vous donne rendez-vous soit sur la plateforme du débat dès que vous quittez cette réunion, soit sur les prochains temps de réunion du débat. Merci beaucoup.