SPECIAL PROTON

December 2022

PROTON SPÉCIAL

Décembre 2022

What future for CERN ?

Quel futur pour le CERN ?

Index

Editorial p. 4
Éditorial p. 6

CERN bringing nations together (article from the 50th CERN's anniversary Proton) p. 8
La recontre des nations (article du Proton du 50e anniversaire du CERN) p. 9

CERN's institutional framework, a factor of success (article from the 50th CERN's anniversary Proton) p. 10
Le cadre institutionnel du CERN, facteur de succès (article du Proton du 50e anniversaire du CERN) p. 11

Building cathedrals p. 12
La construction de cathédrales p. 13

CERN's future scientific programme p. 15
Le futur programme scientifique du CERN p. 16

Preserving CERN's uniqueness p. 18
Préserver l'unicité du CERN p. 20

A brief reflection on the Future of CERN: the FCC physics case p. 23
Une brève réflexion sur l'avenir du CERN : la physique du FCC p. 28

CERN: Where fundamental research breeds Innovation p. 34
Le CERN : là où la recherche fondamentale engendre l'innovation p. 38

A big future for Accelerators at CERN p. 43
Un avenir en grand pour les Accélérateurs au CERN p. 44

Talking about what we are doing p. 46
Parler de ce que nous faisons p. 49

Editorial

Staff Association

English version

The Proton, a publication of the Staff Association, has accompanied, for decades, all the important events of the Organization and its staff. Sensing the concern of the staff[1], on this so important question of what the future for CERN is, we decided to propose a new issue. The aim of this publication is to give an open forum to active and retired staff scientists to share their vision and ideas on the subject.

We would like to thank all the authors for their contributions, which offer diverse and complementary insights on the subject.

In order to discuss, as we will do here, the means that the future could and even should offer to the CERN community and its users, it would be necessary to begin by explaining the scientific reasons for building a new accelerator. We will not do so here, since they are discussed in several of the articles that follow.

Instead, we want to recall how the reasons that justified the creation of the great European laboratory that is CERN are still valid today and will remain so tomorrow, as well as to recall the framework in which the construction of a new machine must be supported.

Ensuring a future for CERN is justified and even necessary

The first ideas for the creation of a European Laboratory for Particle Physics were born at the end of the second World War, a very difficult time when everything in Europe had to be (re)built. Scientists and politicians believed that (re)building European research was a priority. They were well aware that the solutions to the technical problems facing society almost always depend on fundamental research conducted upstream. The remark made by B. G. Casimir[2] summarizes it well: "*there is hardly any example of innovation in the twentieth century that is not indebted to fundamental scientific thought*"!

Today, despite the apparent distance that separates the life of society in our Member States, Associate Member States and beyond, from particle physics, the latter has directly benefited society through important innovations, spanning direct applications in use in medicine today through, hopefully in the future, to the treatment of nuclear waste. Society also benefits from the use of many technologies created by CERN for its own needs. The best known and most popular is obviously the Web, but there are many others in a wide variety of fields, such as medical imaging or Big Data... And we must not forget the application of CERN innovations in fields where its staff are leading specialists: high magnetic fields, cryogenics and very low temperatures, modelling, statistical methods, and many others...

But of course, CERN is first and foremost the place of major discoveries marking the validation stages of various physical theories. Thus, CERN is today as it was imagined by its founders: a centre of excellence in its field of research and in many others. It is, without question, the world's leading laboratory for particle physics.

1 76.4% of respondents to the latest AP survey in September and October 2022 are concerned about the future of the organization

2 Please refer to the article by J.-P. Revol, page 34.

What was the vision of the Laboratory's founding fathers to which it owes its success?

- The founding values of the Laboratory: "The scientists [...] represent the combination of centuries of investigation and study [...] to show the power of human spirit. So I appeal to them not to consider themselves as technicians but as guardians of this flame of European unity so that Europe can help preserve the peace of the world." (Refer to the article "CERN bringing nations together", page 8).
- The institutional framework of the Laboratory (refer to the article "CERN's institutional framework, a factor of success", page 10).
- The provision of the financial resources, of course, by the member and associated member states for the operation of the Laboratory and the experiments, under conditions that are, at times, restrictive for some. The institutional framework is also another factor of success

But nothing could have been possible without:

- The will of the successive managements, always anxious to maintain the climate and the spirit of the work relations which existed when the Organization employed only a few hundred people. Its Staff Association, united and strong in its representation of all categories of personnel, has always endeavoured to act in concert with the Management and the supervisory bodies of the Organization. Their objective has been to promote social excellence based on labour law and social protection on a par with that of a State, and an employment policy in line with that of the best employers in the high-tech and research sectors in Europe.
- The excellence of its staff developed through the Laboratory's policy of attracting, retaining and motivating staff of the highest quality and integrity from all its member states
- The ability of the Laboratory to attract and bring together a large scientific community of users from all over the world who are highly motivated, active, and committed to acting in a spirit of openness and peace. This spirit is reflected, for example, in the welcoming of researchers from non-member and even non-associated states, such as the USSR during the cold war period. This spirit is also reflected in the functioning of international collaborations of large and small experiments. This spirit should inspire many other bodies in the world.
- But also, the quality of the equipment. The tradition to which their construction abides must be emphasised: respect for financial and time constraints and technical quality which ensures their reliability and durability. One of the effects of this is the "maximum profitability" of the investments, which allows the Laboratory to have, to this day, machines in operation that are more than sixty years old!

Can we expect to have the means and support to realize a large future project?

The technical resources that the FCC would require in terms of magnetic field intensity and energy are much greater than those currently available to CERN. Are these seriously conceivable in the current situation of lasting crisis? Let us rather hope that, in the time frame of this project, new means will be available for the design of powerful magnets that consume less energy and for the use of electrical energy not derived from fossil fuel.

But it also appears desirable to reinforce the support given to the Laboratory and its FCC, by allowing the development of various projects, developed on a reasonable scale:

- In ways that are complementary to CERN's main activities, to encourage the circulation of new ideas
- • In activities that are useful to society and where CERN already has usable expertise, as other laboratories such as DESY in Europe or SLAC in the USA have done.

Supporting the future of the Laboratory

Today, the world is facing, and will continue to face, numerous economic and climatic difficulties, to which list conflicts have recently been added, including Europe's doorstep.

In this situation, it is feared that the political authorities of some Member States may be tempted in the future to reduce the resources allocated to fundamental research, in particular to particle physics.

It is up to the Laboratory Management, to the staff delegates, as well as to the managers of the national laboratories concerned, to play their role in front of the supervisory bodies of the Organization and to all those who intervene in the decisions that concern us all. This is to explain to them not only the scientific reasons, but also all those that we have just briefly mentioned, which justify the need to ensure a future for this Laboratory and for the research of the Community associated with it.

In creating CERN, its founding fathers wanted to ensure Europe's place in the fundamental field of particle physics research. The principles on which they ensured its operation and the means they wanted to give it have enabled Europe to occupy the leading position in the world in this field of research. It must keep this position in order to continue to serve science and to contribute to the good of humanity.

Éditorial

Association du personnel

Texte original en français

Le Proton, publication de l'Association du personnel, a accompagné, depuis des décennies, tous les évènements importants de l'Organisation et de son personnel. Sentant l'inquiétude de celui-ci[1], sur cette question si importante du futur pour le CERN, nous avons décidé de publier un nouveau numéro. Donner une tribune libre à des scientifiques membres du personnel actifs et retraités, pour qu'ils partagent leur vision et leurs idées sur le sujet tel est l'objectif de cette publication.

Nous remercions vivement tous les auteurs pour leurs contributions offrant des éclairages divers et complémentaires sur le sujet.

Pour évoquer, comme nous allons le faire ici, les moyens que l'avenir pourrait et même devrait offrir à la Communauté du CERN et de ses utilisateurs, il faudrait commencer par exposer les raisons scientifiques de la construction d'un nouvel accélérateur. Nous ne le ferons pas ici puisqu'elles sont discutées dans plusieurs des articles qui suivent.

Nous voulons plutôt rappeler en quoi les raisons qui ont justifié la création de ce grand Laboratoire qu'est le CERN restent encore valables aujourd'hui et le resteront demain tout comme rappeler le cadre dans lequel le soutien à la construction d'une nouvelle machine doit s'inscrire.

Assurer un avenir au CERN est justifié voire nécessaire

Les premières idées de création d'un Laboratoire européen pour la physique des particules sont nées dès la fin de la seconde guerre mondiale, époque bien difficile où tout en Europe était à (re)construire. Les scientifiques et les politiques ont pensé que reconstruire la Recherche européenne était une des priorités. Car ils savaient bien en effet que les solutions aux problèmes techniques qui se posent à la société s'appuient presque toujours sur des recherches fondamentales menées en amont. La remarque faite jadis par B. G. Casimir[2] le résume bien : « *il n'y a guère d'exemple d'innovation du vingtième siècle qui ne soit redevable à la pensée scientifique fondamentale* » !

Aujourd'hui, une apparente distance sépare la vie de la société dans nos États membres, États membres associés et celle de la physique des particules. Pourtant, cette dernière a fait directement bénéficier la société d'innovations importantes, par applications directes, que ce soit en médecine, ou comme on peut l'espérer aujourd'hui, dans le traitement des déchets nucléaires. La société bénéficie aussi de l'utilisation de nombreuses applications techniques réalisées au CERN pour ses propres besoins. La plus connue et la plus populaire est évidemment celle du Web, mais on pourrait en citer bien d'autres dans des domaines très variés, comme l'imagerie médicale ou les Big Data…sans oublier l'application des innovations du CERN dans des domaines où son personnel est un spécialiste de pointe : champs magnétiques élevés, cryogénie et très basses températures, modélisation, méthodes statistiques et bien d'autres…

Mais bien sûr, le CERN est d'abord le lieu de grandes découvertes marquant les étapes de validation de grandes

1 76.4% des personnes qui ont répondu au dernier questionnaire de l'AP en date de septembre et octobre 2022 se disent inquiètes pour le futur de l'Organisation.

2 Se référer à l'article de J.-P. Revol, page 38.

théories physiques. Ainsi, le CERN est aujourd'hui tel qu'il a été imaginé par ses fondateurs : un pôle d'excellence dans son domaine de recherche et dans bien d'autres. Il est, sans conteste, le premier Laboratoire mondial en physique des particules.

A quelle vision de ses pères fondateurs le Laboratoire doit-il ses succès ?

- Aux valeurs fondatrices de l'Organisation : « Les scientifiques [...] représentent effectivement l'assemblage de siècles de recherches et d'études [...] pour démontrer le pouvoir de l'esprit humain. je les exhorte donc à ne pas se considérer comme des techniciens, mais comme les gardiens de la flamme de l'unité européenne afin que l'Europe puisse contribuer à préserver la paix mondiale. » (Se référer à l'article « La rencontre des nations », page 9).
- Au cadre institutionnel de l'Organisation (se référer à l'article « Le cadre institutionnel du CERN, facteur de succès », page 11).
- Aux ressources financières bien sûr, que les États membres et États membres associés lui fournissent pour son fonctionnement et ses expériences, dans des conditions parfois contraignantes pour certains.

Mais ces succès n'auraient pu être possible sans :

- La volonté des Directions successives, toujours soucieuses de maintenir le climat et l'esprit des relations de travail qui existaient, lorsque l'Organisation n'occupait que quelques centaines de personnes. Son Association du Personnel, unie et forte de sa représentativité de toutes les catégories de Personnel, s'est toujours efforcée d'agir en concertation avec la Direction et les instances de tutelle de l'Organisation. Leur objectif a été d'y promouvoir une excellence sociale basée sur un Droit du Travail et une Protection Sociale, à la hauteur de celles d'un État, et une politique de l'emploi conforme à celle des meilleurs employeurs dans les secteurs à la fois de la haute technologie et de la Recherche en Europe.
- L'excellence de son personnel développée grâce à la politique du Laboratoire visant à attirer, garder et motiver un personnel de la plus haute qualité et intégrité venant de tous ses États membres.
- La capacité du Laboratoire à attirer et rassembler une Communauté scientifique d'utilisateurs nombreux, venus du monde entier, extrêmement motivés, actifs, soucieux d'agir dans un esprit d'ouverture et de paix. Cet esprit se traduit par exemple par l'accueil de chercheurs venus d'États non-membres et même non Associés. Cet esprit se traduit aussi dans le fonctionnement des collaborations internationales des grandes comme des petites expériences. Cet esprit devrait inspirer bien d'autres instances dans le monde.
- Mais aussi, la qualité des équipements. Il faut souligner la tradition à laquelle leur construction est soumise : respect des plannings financiers et temporels et qualité technique qui en assurent la fiabilité et la durabilité. On peut en souligner un des effets : une « rentabilité maximum » des investissements qui permet au Laboratoire d'avoir aujourd'hui en fonctionnement des machines ayant plus de soixante ans !

Pourrons-nous espérer disposer des moyens et du soutien pour réaliser un grand projet futur ?

Les moyens techniques qu'exigerait le FCC en intensité de champs magnétiques et en énergie sont bien supérieurs à ceux dont le CERN dispose actuellement. Est-ce sérieusement envisageable dans la situation de crise durable que nous traversons ? Espérons plutôt qu'à l'échelle de temps sur laquelle se déroulera ce projet, on disposera de moyens nouveaux pour concevoir des aimants puissants et moins gourmands en énergie et pour recourir à une énergie électrique d'origine non fossile.

Mais il apparait aussi souhaitable de renforcer le soutien apporté au Laboratoire et à son FCC, en permettant d'y développer des de projets divers, à une échelle raisonnable :

- Dans des voies complémentaires aux activités principales du CERN, pour favoriser la circulation de nouvelles idées
- Dans des activités utiles à la société et où le CERN dispose déjà d'une expertise utilisable, comme l'ont fait d'autres Laboratoires comme DESY en Europe ou SLAC aux USA.

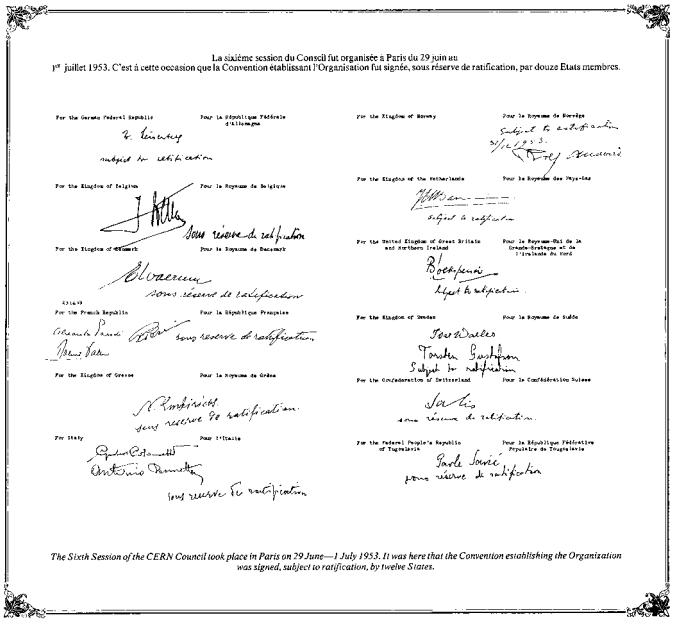
Soutenir l'avenir du Laboratoire

Aujourd'hui le Monde fait face, et pour longtemps, à de nombreuses difficultés économiques et climatiques auxquelles se sont rajoutées plus récemment des conflits y compris aux portes de l'Europe.

Dans cette situation, on peut craindre que les instances politiques de certains États Membres soient tentées à l'avenir de réduire les ressources allouées à la recherche fondamentale, en particulier à celles de physique des particules.

Il appartient à la Direction du Laboratoire, aux délégués du Personnel, ainsi qu'aux responsables des laboratoires nationaux concernés, de jouer chacun leur rôle face aux instances de tutelle de l'Organisation et à toutes celles qui interviennent dans les décisions qui nous concernent tous. Ceci pour leur expliquer non seulement les raisons scientifiques, mais aussi toutes celles que nous venons d'évoquer brièvement et qui justifient la nécessité d'assurer un avenir à ce Laboratoire et aux Recherches de la Communauté qui lui est associée.

En créant le CERN, ses pères fondateurs ont voulu assurer à l'Europe sa place dans le domaine fondamental de la Recherche en physique des particules. Les principes sur lesquels ils ont assuré son fonctionnement et les moyens qu'ils ont voulu lui donner, ont permis à l'Europe d'occuper aujourd'hui la première place dans le monde dans ce domaine de Recherche. Elle doit la conserver pour continuer à servir la science et au-delà contribuer au bien de l'humanité.


La sixième session du Conseil fut organisée à Paris du 29 juin au 1er juillet 1953. C'est à cette occasion que la Convention établissant l'Organisation fut signée, sous réserve de ratification, par douze États membres.

The Sixth Session of the CERN Council took place in Paris on 29 June—1 July 1953. It was here that the Convention establishing the Organization was signed, subject to ratification, by twelve States.

PROTON - NEWSLETTER OF THE CERN STAFF ASSOCIATION No. 9 OCTOBER 2004

50TH ANNIVERSARY

CERN bringing nations together

The acronym "CERN" has become a trademark for scientific and technical excellence. It is less well known that CERN has made considerable contributions to a better understanding and to building confidence between people from different traditions, mentalities, religions and political systems.

This started at the time of its foundation when two initiatives were amalgamated: the first came from physicists like E. Amaldi, P. Auger, F. Perrin and L. Kowarsky who had recognised that Europe would only be competitive on a worldwide scale if its forces were united. The second was initiated by politicians. Denis de Rougemont, the famous Swiss writer, founded the Institute of European Culture at Lausanne after World War II. Here European politicians were considering the creation of a scientific laboratory to bring scientists together for peaceful work.

"I hope that the scientists at CERN will remember that they have other duties than exploring further into particle physics."
I. Rabi, Nobel-Prize Winner

Birthplace: Florence

The two initiatives formed the basis for a proposal to the UNESCO General Conference at Florence in June 1950 which I consider to be the real birth of CERN. I. Rabi, the American Nobel-Prize winning physicist, had formulated this motion and when he was invited to give a speech at the 30th anniversary of CERN he said: 'Europe had been the scene of violent wars..for 200 years. Now we have something new in the founding of CERN. [...] I hope that the scientists at CERN will remember that they have other duties than exploring further into particle physics. They represent the combination of centuries of investigation and study [...] to show the power of human spirit. So I appeal to them not to consider themselves as technicians but as guardians of this flame of European unity so that Europe can help preserve the peace of the world.'

CERN: A worldwide role

During the past 50 years, CERN, the oldest European organization, has not only contributed to bringing Europe together but has extended this role to the whole world. Worldwide international cooperation was a natural consequence of the unique installations which CERN built and operated, starting with the ISR, followed by the SPS (in particular its mode of operation as proton-antiproton collider) and culminating with LEP. Often the argument is made that it is relatively easy to establish cooperation between physicists in basic science since they have the same motivations, communicate by their 'lingua franca' broken English, and detest secrecy. But activities concerning large facilities are not limited to scientists. Administrators have to be involved and when it comes to major decisions even those at the highest political levels must agree. In this way the spirit of collaboration bred at the level of scientists radiates into many other layers of society. Many examples could be given. CERN was the first organization to conclude an agreement with the Soviet Union at the end of the 1960s establishing a cooperation with the laboratory at Protvino. This agreement became a model for a similar agreement between the Soviet Union and the USA. The cooperation between the JINR at Dubna and CERN provided the only bridge for cooperation between physicists from Western Germany and the GDR during the cold war. At LEP, physicists from the People's Republic of China and Taiwan worked together for the first time in the same experiment, certainly not without the blessing of the highest authorities.

In some cases help could be given to individual scientists who had entered into conflict with their governments by drawing the attention of the authorities to the fact that cooperation with CERN would be endangered unless these individual cases could be settled in good spirit.

Tolerance, understanding and solidarity

Once I invited the ambassadors of the Disarmament Conference in Geneva to visit CERN. At the end of their visit they stated that they had learned that one of the main objectives of CERN was to collide particles whereas it was their task to avoid collisions between countries. But, they added, CERN was doing better, even as far as their objective was concerned.

The most recent offspring of CERN is the SESAME project in the Middle East, a synchrotron radiation laboratory founded under the auspices of UNESCO, following exactly the model of CERN. It is located near Amman in Jordan with Members like Egypt, Israel, Iran, Jordan, Palestine, Pakistan, Turkey and others. Apart from promoting science and technology in the region, the idea was to transfer the spirit of CERN according to the slogan 'Science for Peace'.

The efforts made by Member States to develop and maintain CERN are not only justified by CERN's enormous contributions to the progress of science but also by helping to improve human relations in various parts of society. The politically neutral organization of CERN was certainly an important element; however, the prerequisite of such a success was and is the attitude of CERN staff which has during the whole 50 years of CERN's existence distinguished itself by demonstrating tolerance and understanding for people of other cultural environments and by social solidarity with the disadvantaged inside and outside the Organization.

Herwig Schopper, former Director-General of CERN, Chairman of the SESAME interim Council

PROTON - LETTRE D'INFORMATION DE L'ASSOCIATION DU PERSONNEL DU CERN N° 9 OCTOBRE 2004

LE CERN A 50 ANS

La rencontre des nations

L'acronyme CERN est devenu l'emblème de l'excellence scientifique et technique. On sait moins cependant que le CERN a apporté une contribution considérable à l'accroissement de la compréhension et à la promotion du lien de confiance entre des personnes dont les traditions, la mentalité, la religion et le système politique sont différents.

Cet esprit était déjà présent dès la fondation du CERN où deux initiatives ont été associées. La première initiative émanait de physiciens comme E. Amaldi, P. Auger, F. Perrin et L. Kovarsky, qui avaient admis que l'Europe ne pouvait être compétitive à l'échelle mondiale que si ses forces s'unissaient. La seconde initiative a été lancée par des hommes politiques. Après la Seconde Guerre mondiale, le célèbre écrivain suisse Denis de Rougemont organisa en effet la première Conférence européenne de la culture, à Lausanne. Lors de cette conférence, des hommes politiques européens ont envisagé la création d'un laboratoire de recherche fondamentale afin de rassembler des scientifiques autour de travaux à caractère pacifique.

***«J'espère que les scientifiques du CERN se souviendront qu'ils ont d'autres devoirs que celui d'explorer plus avant la physique des particules.»* I. Rabi, Prix Nobel**

Lieu de naissance: Florence

Ces deux initiatives ont formé la base d'une proposition, soumise lors de la Conférence générale de l'UNESCO tenue à Florence en juin 1950, que je considère comme l'origine réelle du CERN. Cette proposition avait été exposée par I. Rabi, le physicien américain et lauréat du Prix Nobel. Lorsqu'il fut invité à donner un discours à l'occasion du 30e anniversaire du CERN, I. Rabi déclara: «L'Europe a été le théâtre de guerres violentes [...] pendant 200 ans. Nous avons désormais quelque chose de nouveau avec le CERN. [...] J'espère que les scientifiques du CERN se souviendront qu'ils ont d'autres devoirs que celui d'explorer plus avant la physique des particules. Ils représentent effectivement l'assemblage de siècles de recherches et d'études [...] pour démontrer le pouvoir de l'esprit humain. Je les exhorte donc à ne pas se considérer comme des techniciens, mais comme les gardiens de la flamme de l'unité européenne afin que l'Europe puisse contribuer à préserver la paix mondiale.»

Un CERN à vocation mondiale

Au cours de ses 50 années d'activité, le CERN, la plus ancienne des organisations européennes, a non seulement contribué à réunir l'Europe, mais a élargi ce rôle au monde entier. Cette coopération internationale mondiale était d'ailleurs une conséquence naturelle des installations uniques construites et exploitées par le CERN, depuis les ISR, suivis par le SPS (en particulier son mode de fonctionnement en tant que collisionneur proton-antiproton) pour culminer avec le LEP.

On prétend volontiers qu'il est relativement facile d'établir une coopération entre les physiciens des sciences fondamentales, parce qu'ils ont les mêmes motivations, ils communiquent dans un anglais approximatif, leur «lingua franca», et ils abhorrent le secret. Mais les activités liées à de grandes installations ne se limitent pas à celles des scientifiques. Des administrateurs sont impliqués et, lorsqu'il s'agit de décisions majeures, les hommes politiques, au plus haut niveau, doivent donner leur accord. De ce point de vue, on peut avancer que l'esprit de collaboration manifesté par les scientifiques se propage dans les multiples autres couches de la société.

Au CERN, les exemples ne manquent pas pour étayer ce propos. A la fin des années 1960, le CERN a été la toute première organisation à conclure un accord avec l'Union soviétique afin d'établir une collaboration avec le laboratoire de Protvino. Cet accord a d'ailleurs été le modèle pour un accord du même type entre les États-Unis et l'Union soviétique. La coopération entre le JINR, à Doubna, et le CERN a constitué l'unique pont permettant la collaboration entre physiciens de l'Allemagne de l'Ouest et de la RDA pendant la guerre froide. Enfin, avec le LEP, des physiciens de la République populaire de Chine et de Taiwan ont, pour la première fois, uni leurs efforts dans la même expérience, ce qui a pu se faire bien entendu uniquement avec la bénédiction des plus hautes autorités des deux pays.

Dans certains cas, une aide pouvait également être offerte à des scientifiques en conflit avec leur gouvernement. On attirait alors l'attention des autorités concernées sur le fait que la coopération avec le CERN pouvait être compromise si le cas en question ne se réglait pas de façon satisfaisante.

Tolérance, compréhension et solidarité

A l'occasion d'une Conférence sur le désarmement qui se tenait à Genève, j'ai invité les ambassadeurs à visiter le CERN. A l'issue de cette visite, ceux-ci ont précisé avoir appris qu'un des objectifs principaux du CERN était de créer des collisions entre particules, tandis que leur tâche consistait à éviter les collisions entre pays. Ces ambassadeurs ont toutefois ajouté que le CERN faisait mieux, et ce même dans leur propre domaine.

Le CERN a fait plusieurs émules. Le dernier descendant du CERN n'est autre que le projet SESAME, au Moyen-Orient. Ce laboratoire dédié au rayonnement synchrotron et fondé sous les auspices de l'UNESCO, a été construit sur l'exact modèle du CERN. Situé près de la ville d'Amman, en Jordanie, SESAME compte parmi ses membres l'Egypte, Israël, l'Iran, la Jordanie, la Palestine, le Pakistan, la Turquie et bien d'autres pays encore. Si le projet a pour but de promouvoir la science et la technologie dans la région, il véhicule aussi l'esprit du CERN, suivant le slogan: «La science pour la paix».

Il n'est donc pas vain de prétendre que les efforts réalisés par les États membres pour maintenir et développer l'excellence du CERN sont non seulement justifiés par la contribution énorme du CERN aux progrès de la science, mais aussi par l'aide apportée dans l'amélioration des relations humaines dans diverses catégories de la société. Si la position politiquement neutre du CERN constitue sans doute un élément essentiel à la création d'un tel esprit d'ouverture, une telle réussite trouve cependant son origine dans l'attitude du personnel du CERN.

Au cours des 50 ans d'existence de l'Organisation, le personnel s'est distingué par une tolérance et une compréhension envers les autres environnements culturels, ainsi que par une solidarité sociale envers celles et ceux dans le besoin, à l'intérieur comme à l'extérieur de l'Organisation.

Herwig Schopper, ancien Directeur général du CERN, Président du Conseil provisoire de SESAME

PROTON - NEWSLETTER OF THE CERN STAFF ASSOCIATION No. 9 OCTOBER 2004

A SOCIAL LABORATORY

CERN's institutional framework, a factor of success

CERN is fifty years old and has come a long way from its creation on 1 July 1953, with its modest beginning in the Cointrin villa, to the established International Organization for Research set in the Franco-Genevan countryside. It is today a master European laboratory that also embodies a Europe of Science that is wide open to the rest of the world.

The impressive "Globe of Innovation" presented by the Swiss Confederation, which will be located in front of the CERN entrance, will appropriately symbolize this anniversary and this evolution.

The reason for CERN's success is, of course, the fruit of the remarkable work of its researchers, engineers and technicians, not to mention the continued support of its Member States. However, another less-mentioned factor because it is less spectacular, has played a decisive role over the past fifty years, the *institutional framework* which has accompanied this success, two aspects of which deserve to be mentioned: the way in which it has been run, in other words its *governance* and the *international status* it has on the territory of its Host States, Switzerland and France.

Governance

The governance has its roots in the International Convention signed by 11 Western European countries and Yugoslavia in Paris on 1 July 1953. The whole spirit of CERN could already be found in this straightforward, precise and concise document of twenty articles that created the *European Organization for Nuclear Research* and outlined the framework of its mission. Over the years the application of this Convention by men and also by some women who truly believed in this adventure, led to the elaboration of a successful governance.

It is based on an efficient *decision-making mechanism* composed of two bodies with specific and complementary competences: on the one hand, the *Council*, composed of Member State delegations, the sovereign collegial body; and on the other, the *Director-General*, the Executive of the Laboratory. It is the task of the former to approve the general policy and of the latter to run, manage the resources, and represent the Organization.

It is the Director-General, a scientific figure of international repute, in direct contact with the scientific community, who is the mainspring of decisions. His proposals are discussed and finalized at the meetings of the Council's subsidiary committees (Scientific Policy Committee, Finance Committee, Committee of Council now the Restricted Council) and approved by Council at its two brief and restrained annual ordinary sessions in June and December

The procedure is also restrained: led by the participants, scientists and managers, it is pragmatic, it avoids excessive formalism, verbal formality and it looks for concrete solutions. In general, consensus is preferrred to voting.

This way of proceeding has helped establish close ties and a climate of trust between Member States and the general Management and is particularly crucial for a proper management of the Organization; this climate is reinforced by the conviviality of the meals always taken together during these meetings.

Openness to Europe and to the world

Besides efficient decision-making, openness has been one of the keywords of CERN's mission: openess to Europe and to the world.

On a *scientific level* first, where it has served as a foundation for the organization of research. Two examples illustrate this. Research is carried out by *multinational teams* bringing together researchers from universities and institutes from both Member States and non-Member States. Similarly the mechanism of the CERN *Experiment Selection* Committees brings together on an equal footing, members of universities and European institutes and of CERN.

This openness was widely expressed also at the *political level*. As early as 1965, their was close collaboration with the URSS, with the construction of machines and the exchange of researchers. Then at the end of the 1980s, to respond to the attractiveness exerted by CERN, the fall of the Berlin Wall, and the needs of the LHC project in the pipeline at that time, CERN adopted a series of measures: a policy for non-Member States which soon met with considerable success; a policy of attracting new countries from central Europe; a more vigorous policy of cooperation for the LHC project, bringing together for the first time non-European countries, not only to exploit the machine and its experiments, but also to build them. Lastly, a new, more reasonable membership policy directed at European countries based on a preliminary candidature mechanism.

The international status of CERN

It would be difficult not to emphasize, on CERN's 50th anniversary, the major role played in the success of CERN by the international status granted by its Host States – France and Switzerland – when they welcomed CERN on their territory, and, last but not least, by Geneva where CERN has its seat.

In fact the territorial foundation had for the laboratory an essential influence, both for its geographical location as an international institution and the installation of its scientific and technical infrastructure, present and future. With the passing of time we can measure the importance of these aspects.

Its Host States granted CERN the usual facilities given to International Organizations to allow them to run independently on their territory. Moreover, CERN drew a remarkable benefit from the cooperation of its Host States and from their exemplary spirit of collaboration which enabled it to meet the unusual requirements of its activities: large areas of land, establishment over the French-Swiss border, building of a cross-border tunnel, ad hoc international agreements, not to mention the agreements signed to facilitate access to CERN of the numerous members of scientific communities setting up home in France and Switzerland in view of participating in CERN work and experiments.

In conclusion, we can appreciate the manner in which the smooth running of CERN as an institution has contributed to its success. It has helped create a profound synergy between the dedication of the physicists and the commitment of the Member States, the concentration of efforts and resources on research as well as on the completion of very high standard equipment, including remarkable innovations such as the invention of the Web. Finally, it has helped in enabling CERN to give Europe strong pre-eminence in particle physics and in the management of large research projects.

Let us hope that CERN will continue on the journey it started 50 years ago for many more years to come.

Jean-Marie Dufour,
Honorary legal counsellor of the Organization

PROTON - LETTRE D'INFORMATION DE L'ASSOCIATION DU PERSONNEL DU CERN **N° 9 OCTOBRE 2004**

LABORATOIRE SOCIAL

Le cadre institutionnel du CERN, facteur de succès

Le CERN a cinquante ans: que de chemin parcouru entre sa création le 1er juillet 1953, ses modestes débuts dans la villa de Cointrin et la grande Organisation internationale de recherche établie dans la campagne franco-genevoise. C'est aujourd'hui un maître-laboratoire européen en même temps qu'il incarne une Europe de la science largement ouverte au monde.

L'impressionnant «Globe de l'innovation», offert par la Confédération suisse, qui se situera devant l'entrée du CERN, symbolisera avec à propos cet anniversaire et cette évolution.

Les raisons du succès du CERN sont évidemment le fruit des travaux remarquables de ses chercheurs, de ses ingénieurs, de ses techniciens, sans oublier le soutien continu des États membres. Mais un autre facteur moins souvent évoqué parce que moins spectaculaire a été aussi déterminant au cours de ces cinquante années, *le cadre institutionnel* qui a accompagné ces succès, dont deux aspects peuvent mériter l'attention: la manière dont il a été conduit, c'est-à-dire *sa gouvernance*, ainsi que le *statut international* dont il bénéficie sur le territoire de ses États-hôtes, la Suisse et la France.

La gouvernance

La gouvernance a sa source dans la Convention internationale signée à Paris le 1er juillet 1953 par onze États européens de l'Ouest et la Yougoslavie. Tout l'esprit du CERN est déjà, en creux, dans ce document clair, précis, bref de vingt articles qui crée l'*Organisation européenne pour la recherche nucléaire* et trace, sans entrer dans les détails, le cadre de sa mission. L'application au cours des années de cette Convention par des hommes, et aussi quelques femmes, qui croyaient vraiment à cette aventure, conduira à l'élaboration d'une gouvernance réussie.

Elle repose en premier lieu sur un *appareil de décision* efficace, composé de deux organes aux compétences précises et complémentaires: d'un côté, le *Conseil*, composé des délégations des États membres, organe collégial souverain; de l'autre, le *Directeur général*, Exécutif du Laboratoire. Au premier revient l'approbation de la politique générale, au second la conduite, la gestion des ressources et la représentation de l'Organisation.

C'est le Directeur général, personnalité scientifique de réputation internationale, en relation directe avec la Communauté scientifique, qui est le moteur de la décision. Ses propositions sont débattues et finalisées dans les réunions des comités subsidiaires du Conseil (Comité des directives scientifiques, Comité des finances, Comité du Conseil devenu Conseil restreint), et approuvées par lui lors des deux sessions ordinaires annuelles (juin et décembre), brèves et sobres.

Sobre, aussi, la procédure: conduite par des acteurs, scientifiques et gestionnaires, elle est pragmatique, évite le formalisme excessif, la solennité verbale et recherche les solutions concrètes. Au vote on préfère en général le consensualisme.

Cette façon de procéder a contribué à établir un lien étroit et un climat de confiance entre les États membres et la Direction générale, particulièrement déterminant pour la bonne gestion de l'Organisation, que renforce encore la convivialité des repas toujours pris en commun lors des réunions.

Ouverture à l'Europe et au monde

À côté de l'efficacité dans la décision, l'ouverture a été un des maîtres-mots de la mission du CERN: ouverture à l'Europe et au monde.

Sur le *plan scientifique* d'abord où elle a servi de fondement à l'organisation de la recherche. Deux exemples l'illustrent: la pratique des recherches effectuées par des *équipes multinationales*, associant chercheurs d'Université et d'instituts extérieurs d'États membres et d'États non membres. De même, le mécanisme des Comités de *sélection des expériences* effectuées au CERN, rapprochant sur une base paritaire, membres des universités et instituts européens et du CERN.

Cette ouverture s'est largement exprimée aussi sur le *plan politique*. Dès 1965 par une coopération étroite avec l'URSS, par la construction de machines et l'échange de chercheurs. Ensuite, dès la fin des années 1980, pour répondre à la fois à l'attraction exercée par le CERN, à la chute du mur de Berlin et aux exigences du projet LHC en préparation, le CERN a mis en place une série de mesures: politique des États non membres qui rencontre aussitôt un succès considérable, politique d'accueil solidaire des nouveaux pays d'Europe centrale, politique de coopération renforcée pour le projet LHC associant pour la première fois des États non européens non seulement à l'exploitation d'une machine et ses expériences, mais à leur construction. Enfin, en direction des États européens une politique nouvelle d'adhésion plus raisonnable reposant sur un mécanisme de candidature préalable.

Le statut international du CERN

Il serait difficile de ne pas souligner, à l'occasion de ce cinquantième anniversaire, le rôle majeur joué dans le succès du CERN par le statut international que ses États hôtes – la France et la Suisse – lui ont reconnu en l'accueillant sur leur territoire, sans oublier de mentionner Genève où le CERN a son siège.

En effet, l'assise territoriale avait pour le laboratoire une incidence essentielle à la fois pour son implantation géographique en tant qu'institution internationale mais aussi pour la mise en place de son infrastructure scientifique et technique présente et à venir. Avec le recul du temps, on mesure encore mieux l'importance de ces aspects.

Le CERN s'est vu reconnaître par les États hôtes les facilités habituellement accordées aux Organisations internationales pour permettre leur fonctionnement indépendant sur leur territoire. Mais il a de surcroît bénéficié, de la part de chacun d'eux, d'une coopération et d'un esprit de collaboration exemplaires qui lui ont permis de faire face aux exigences souvent inhabituelles que ses activités nécessitaient régulièrement: mise à disposition de surfaces de terrains importantes, établissement de part et d'autre de la frontière franco-suisse, construction d'un tunnel transfrontalier, arrangements internationaux ad hoc, sans oublier les accords passés pour faciliter l'accès au CERN et l'installation, en France et en Suisse, de nombreux membres des communautés scientifiques venant participer aux travaux et aux expériences du CERN.

En conclusion, on peut apprécier la manière dont son bon fonctionnement institutionnel a contribué à la réussite du CERN. Il aura facilité la création d'une profonde synergie entre la détermination des physiciens et l'engagement des États membres, la concentration d'efforts et de ressources sur une recherche et la réalisation d'équipements de très haute qualité, incluant de remarquables innovations comme l'invention du Web. Il a finalement contribué à ce que le CERN, donne à l'Europe une large prééminence en physique des particules et dans la gestion des grands projets de recherche.

Souhaitons au CERN de poursuivre encore de très nombreuses années dans cette voie qu'il a ouverte il y a cinquante ans.

Jean-Marie Dufour,
Conseiller juridique honoraire du CERN

Building cathedrals

Alvaro De Rújula - Retired physicist from CERN

Original text in English

My first contact with CERN was in 1963, when I was a summer student. The CERN cafeteria, continuously busy, was open 7/7, day and night. Technicians wore green fatigues and experimental physicists sported white nurse-like overalls. All of these garments were provided and washed by CERN upon request. The showers competed with the cafeteria as a morning meeting place. Administrators and theorists dressed formally, the latter often worked with slide rules. We summer students did not have to suffer the paternalizing label of "summies".

In the 1960's there were dozens of simultaneously running experiments. I was part of a "large" one[1], which lasted for three months from beginning to end and consisted of the cited summer student, three physicists and one technician. The latter, Franco Francia, was a true fact-totum, also for many years the president of CERN's Staff Association. Suppose that he had asked me, or anybody else for that matter, to write about CERN in a future extending for decades. If Franco and I read such a document nowadays, only two things are certain: it would be all wrong and we would laugh our heads off. It is in this conscious spirit that I have accepted to write what you are reading.

"a successful CERN future demands an unwavering unity of purpose"

For a moment I shall continue to write around my CERN background. This may allow the reader to compare it with his or hers, thus individuating things that one may agree to try to keep or to change in the future.

My experience of many years at CERN was generally very positive. This is, of course, particularly easy for theorists, who are allowed to do (almost) precisely as they wish. We can work on whatever we choose, alone, or in teams of our choice, allowing for pleasant collaborations. My contacts with experimentalists were also systematically positive. A very negative aspect of many a theorist is that we tend to view ourselves as a superior ilk of human being. I know of no cure for that, with only one exception: the theory division is actually run by its secretaries, generations of which have always been incredibly efficient and friendly. They are the superior ones.

1 For the initiated: Measurement of the e+ Polarization in Muon Decay by Means of Bhabha Scattering, J. Duclos, J. Heintze, ADR and V. Soergel, Phys.Lett. 9 (1964) 62. The measurement established the "V-A" nature of the purely leptonic weak interactions and was to remain the most precise one for decades.

Very similar words can be said about the computer-help people and the library, the other entity with which theorists (used to) have frequent interactions.

My only bad experiences at CERN had to do with powerful people in the administration, such as some housing-office employees, the occasional head of the Pension Fund and one or two past DGs. My first recommendation: choose the right people in these positions.

The most amazing thing about CERN is the extent to which collaborations involving thousands of students, technicians, engineers and physicists – even theorists nowadays – manage to work quite well. This is due to the existence and strong appeal of a common goal. In my opinion, this "community sense" does not extend sufficiently to the non-scientists present at CERN. The laboratory houses a few excellent communicators, and some truly awful ones. In the olden days, Carreras Rafel used to give "lunchtime science talks" in the Main Auditorium. These were very successful, I am told, in spreading the passion for science to people relatively distant from it. One should make similar and systematic efforts to enthuse CERN's non-scientists about basic science and its impact on society. Such in-person attempts to promote communal bonds are obviously particularly important in these work-from-home days. My second recommendation: choose the right speakers for the mentioned talks.

Long ago the general public and even the mayors of neighboring municipalities thought that CERN was a dangerous institution conducting some sort of secret nuclear research. The situation began to change when the Staff Association organized the first Open Day. This evolved into the considerable effort now made by CERN in public relations. But, in my opinion, not all of the impressions we give are positive. The quality of the Courier has gone down. The web may have been invented at CERN but finding most things in the https://home.cern/ pages requires doing it from Google. The facilities being built above the Route de Meyrin – I have personally checked this with considerable statistics – are believed by practically everybody to be paid by CERN, subtracting from its scientific budget. All but the last of these opinions reflect my own personal views, the consequent recommendations are perhaps to be discussed with the responsible people.

There is the question of the future of CERN's research. Very welcome developments have recently taken place. Some examples are the start of several "small" experiments, such as the ones doing "very forward" physics at the LHC, the many developments concerning medical and imaging techniques and the modest effort to contribute to the understanding of climate issues. My recommendation here would be to continue strengthening this widening of CERN's activities.

Finally, there is the multibillion euros question: the planning of future large facilities such as the future colliders and the accompanying large detectors. Dealing wisely with the concrete details of this issue is made particularly difficult by the uncertainties implied by the impending global-warming disasters, the war in Ukraine, the rise of extremisms, the dominance of fast and fake news and the fact that "*it is difficult to make predictions, particularly about the future*" – a quote sometimes attributed to Niels Bohr, a founding father of CERN.

The construction of future accelerators and detectors is very much akin to the building of cathedrals. It involves thousands of people of different expertise and branches of knowledge. It may take an irritatingly long time. And, alas, it may require stops and restarts, budgetary and design modifications and dealing with all sorts of difficulties associated with external factors. Above all, a successful CERN future demands an unwavering unity of purpose. The only judicious recommendation, I believe, is to confront CERN's destiny in a secular spirit of cathedral-building.

La construction de cathédrales

Alvaro De Rújula - Physicien retraité du CERN

Version française

"le succès de l'avenir du CERN exige une unité de but inébranlable"

Mon premier contact avec le CERN remonte à 1963, alors que j'étais étudiant d'été. La cafétéria du CERN, continuellement occupée, était ouverte 7/7, jour et nuit. Les techniciens portaient des treillis verts et les physiciens expérimentaux des combinaisons blanches dignes d'une infirmière. Tous ces vêtements étaient fournis et lavés par le CERN sur demande. Les douches faisaient concurrence à la cafétéria comme lieu de rencontre du matin. Les administrateurs et les théoriciens s'habillaient de manière formelle, ces derniers travaillaient souvent avec des règles à calcul. Nous, les étudiants d'été, n'avions pas à subir l'étiquette paternaliste de « summies ».

Dans les années 1960, des dizaines d'expériences étaient menées simultanément. Je faisais partie d'une « grande »[1] expérience, qui a duré trois mois du début à la fin et à laquelle participaient l'étudiant d'été cité, trois physiciens et un technicien. Ce dernier, Franco Francia, était un véritable fact-totum, homme à tout faire, également président de l'Association du personnel du CERN pendant de nombreuses années. Supposons qu'il m'ait demandé, ou à n'importe qui d'autre d'ailleurs, d'écrire sur le CERN dans un futur qui s'étendrait sur des décennies. Si Franco et moi lisions un tel document aujourd'hui, deux choses seulement sont sûres : tout serait faux et nous serions morts de rire. C'est dans cet esprit, conscient de tout ceci, que j'ai accepté d'écrire ce que vous lisez.

Pour l'instant, je vais continuer à écrire autour de mon parcours au CERN. Cela permettra peut-être au lecteur de le comparer avec le sien, et ainsi de distinguer les choses que l'on peut accepter de garder ou de changer à l'avenir.

Mon expérience de plusieurs années au CERN a été généralement très positive. C'est, bien sûr, particulièrement facile pour les théoriciens, qui sont autorisés à faire (presque) exactement ce qu'ils souhaitent. Nous pouvons travailler sur ce que nous voulons, seuls ou dans des équipes de notre choix, ce qui permet des collaborations agréables. Mes contacts avec les expérimentateurs ont également été systématiquement positifs. Un aspect très négatif de nombreux théoriciens est que nous avons tendance à nous considérer comme une espèce supérieure d'être humain. Je ne connais pas de remède à cela, à une seule exception près : la division de théorie est en fait dirigée par ses secrétaires, dont plusieurs générations ont toujours été incroyablement efficaces et amicales. Ce sont elles qui sont supérieures. On peut dire la même chose des personnes chargées de l'assistance informatique et de la bibliothèque, l'autre entité avec laquelle les théoriciens ont (avaient) de fréquentes interactions.

Les seules mauvaises expériences que j'ai eues au CERN étaient liées à des personnes puissantes de l'administration, comme certains employés du bureau des logements, le responsable occasionnel du fonds de pension et un ou deux anciens DG. Ma première recommandation : choisissez les bonnes personnes à ces postes.

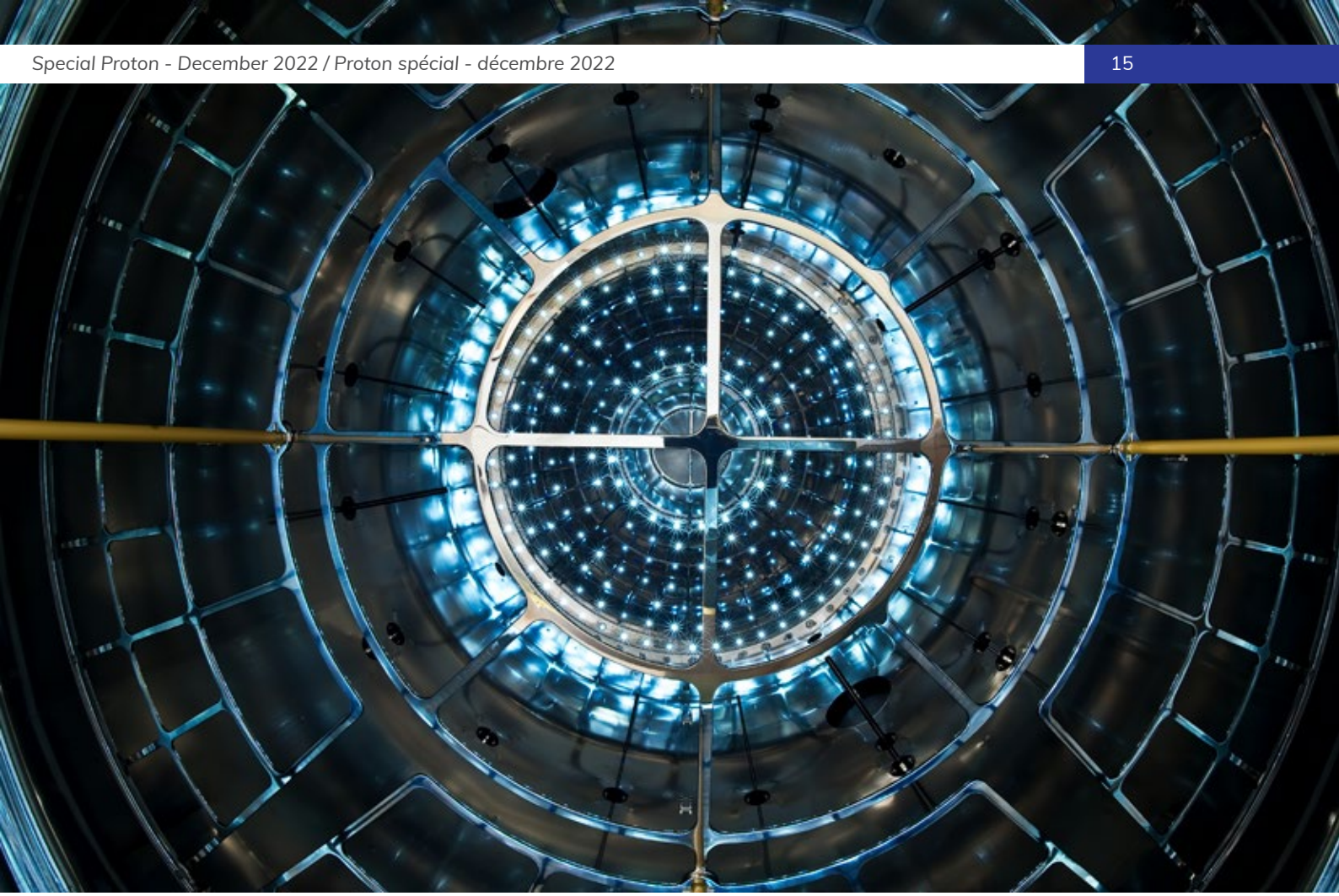
Ce qui est le plus étonnant au CERN, c'est la mesure dans laquelle les collaborations impliquant des milliers d'étudiants, de techniciens, d'ingénieurs et de physiciens – même des théoriciens de nos jours – parviennent à fonctionner assez bien. Cela est dû à l'existence et au fort attrait d'un objectif commun. A mon avis, ce « sens de la communauté » ne s'étend pas suffisamment aux non-scientifiques présents au CERN. Le laboratoire abrite quelques excellents communicateurs, et d'autres vraiment horribles. Autrefois, Carreras Rafel avait l'habitude de donner des « conférences scientifiques à l'heure du déjeuner » dans l'auditorium principal. On m'a dit qu'elles réussissaient très bien à transmettre la passion de la science à des personnes relativement éloignées de celle-ci. Il faudrait faire des efforts similaires et systématiques pour enthousiasmer les non-scientifiques du CERN pour la science fondamentale et son impact sur la société. Ces tentatives de promouvoir les liens communautaires en personne sont évidemment particulièrement importantes en ces jours de travail à domicile. Ma deuxième recommandation : choisir les bons orateurs pour les conférences mentionnées.

Il y a longtemps, le grand public et même les maires des communes voisines pensaient que le CERN était une institution dangereuse menant une sorte de recherche nucléaire secrète. La situation a commencé à changer lorsque l'Association du personnel a organisé la première journée portes ouvertes. C'est ainsi qu'est né l'effort considérable déployé aujourd'hui par le CERN en matière de relations publiques. Mais, à mon avis, les impressions que nous donnons ne sont pas toutes positives. La qualité du Courrier a baissé. Le web a peut-être été inventé au CERN, mais pour trouver la plupart des choses dans les pages de https://home.cern/, il faut le faire à partir de Google. Les installations en cours de construction au-dessus de la Route de Meyrin – j'ai personnellement vérifié ce point avec des statistiques considérables – sont considérées par pratiquement tout le monde comme étant payées par le CERN, soustrayant ainsi des fonds à son budget scientifique. Toutes ces opinions, à l'exception de la dernière, reflètent mon point de vue personnel ; les recommandations qui en découlent devraient peut-être être discutées avec les personnes responsables.

Il y a la question de l'avenir de la recherche au CERN. Des développements très positifs ont eu lieu récemment. Citons par exemple le démarrage de plusieurs « petites » expériences, comme celles qui font de la physique « très vers l'avant » au LHC, les nombreux développements concernant les techniques médicales et d'imagerie et le modeste effort pour contribuer à la compréhension des questions climatiques. Ma recommandation ici serait de continuer à renforcer cet élargissement des activités du CERN.

Enfin, il y a la question des milliards d'euros : la planification des futures grandes installations telles que les futurs collisionneurs et les grands détecteurs qui les accompagnent. Traiter judicieusement les détails concrets de cette question est rendu particulièrement difficile par les incertitudes qu'impliquent les catastrophes imminentes liées au réchauffement de la planète, la guerre en Ukraine, la montée des extrémismes, la domination des nouvelles rapides et fausses et le fait qu' « *il est difficile de faire des prédictions, en particulier sur l'avenir* » – une citation parfois attribuée à Niels Bohr, un des pères fondateurs du CERN.

La construction des futurs accélérateurs et détecteurs s'apparente beaucoup à celle des cathédrales. Elle implique des milliers de personnes aux compétences et aux connaissances différentes. Elle peut prendre un temps exagérément long. Et, hélas, elle peut nécessiter des arrêts et des redémarrages, des modifications budgétaires et de conception et la gestion de toutes sortes de difficultés liées à des facteurs externes. Par-dessus tout, le succès de l'avenir du CERN exige une unité de but inébranlable. La seule recommandation judicieuse, à mon avis, est d'affronter le destin du CERN dans un esprit séculaire de construction de cathédrales.



CERN's future scientific programme

Prof. Jasper Kirkby - CLOUD Spokesperson

Original text in English

High-luminosity LHC will be CERN's flagship accelerator for the next 20 years. Beyond that is planned CERN's next big accelerator, the Future Circular Collider (FCC), which will be seven times the LHC's energy, four times its circumference and, at an estimated $23B, four times its cost. To put this in context, $10B buys a James Webb telescope. The LHC was approved and funded for a clear and compelling scientific purpose – to find the Higgs – but the scientific goals of the FCC are more speculative. The case for the FCC is to search for unknown new physics and to make precision measurements of the decays of the Higgs and other known particles. Can this capture the imagination of society and effectively compete for research funds with the likes of the breath-taking images and deeper understanding of the universe from the James Webb telescope?

"I suggest that CERN should broaden its value to science and society"

CERN is the world's leading high-energy accelerator laboratory, but its past successes do not guarantee its future. How can CERN stay relevant and valued by society? Is the FCC proposal alone sufficient to steer CERN through an uncertain future? I suggest that CERN should broaden its value to science and society in order to enhance support for the laboratory and, in turn, for the FCC. To do this, CERN should embrace scientific research in non-traditional fields that are both important for society and where it has special expertise and can have a big impact. CERN is already doing this with spin-off technologies such as medical imaging from its particle physics research programme. However, here I am proposing diversification of CERN's *research* base. Although CERN has avoided significant diversification so far, it is a path that almost all other high energy accelerator laboratories have eventually followed. For example, research at both SLAC and DESY is now mainly centred on high brightness, ultra-short X-ray pulses from Free-Electron Lasers (FEL). Perhaps it is time for CERN to consider a measured diversification?

The CLOUD experiment provides an example of CERN's participation in a non-traditional field. CLOUD is widely considered to be the world's leading experiment for laboratory studies of atmospheric aerosol particle formation. Indeed, CLOUD is the world's first – and, so far, unique – laboratory experiment to reach the demanding technical performance required to measure aerosol formation under controlled atmospheric conditions. It was CERN know-how with UHV materials, ultraclean gas systems and other technologies that built the CLOUD chamber. Changes of aerosols since preindustrial times are recognised as the largest source of uncertainty limiting the ability of climate models to make precise projections of future warming. In view of the importance of

CLOUD's science and its unprecedented performance, scientific publications from the experiment so far have included ten articles in Nature or Science, which attract high media interest.

To effectively diversify requires playing to CERN's strength: its staff and their technical excellence. The CERN staff have world-class expertise in a wide range of technologies associated with the design, construction and operation of the LHC. Likewise, CERN and the particle physics community are at the forefront of data management and processing – so-called Big Data. Here I propose that CERN could have a major impact on climate modelling. Climate change is perhaps the most important scientific issue currently facing society, and it will be increasingly important for decades to come. CERN could bring to bear its expertise in big data, computer modelling, software optimisation, machine learning and rigorous statistical analyses. A community of particle physicists supported by CERN could collaborate with Europe's climate research institutes and national climate modelling centres. This interdisciplinary effort would also help to integrate atmospheric experiments and observations more closely with climate modelling, following the culture of experimental particle physics. At present, global climate models are built at the end of the research chain, separated from experiments. The synergistic combination of climate modellers and particle physicists could lead to rapid advances in the predictive power of climate models.

How could CERN explore this possibility? Projects such as these need to be initiated and driven from below, by the scientific community. However, some encouragement is needed from CERN. I suggest a workshop could be held at CERN, sponsored by CERN and the World Meteorological Organization (WMO), where the particle physics and climate modelling communities could meet and exchange views. With appropriate encouragement and support from CERN management, a proto interdisciplinary collaboration could form. A modest diversification of CERN's research along these lines could result in a leap in the realism and predictive power of climate models while not drawing away significant resources from CERN's particle physics programme. A highly-visible and highly-valued scientific involvement of CERN in climate models would greatly enhance support for the FCC.

Le futur programme scientifique du CERN

Prof. Jasper Kirkby - Porte-parole du CLOUD

Version française

Le LHC à haute luminosité sera l'accélérateur phare du CERN pour les 20 prochaines années. En attendant le prochain grand accélérateur du CERN, le futur collisionneur circulaire (FCC), aura une énergie sept fois supérieure à celle du LHC, une circonférence quatre fois supérieure et un coût quatre fois supérieur, estimé à 23 milliards de dollars. Pour mettre cela en contexte, 10 milliards de dollars permettent d'acheter un télescope James Webb. Le LHC a été approuvé et financé dans un but scientifique clair et impérieux – trouver le boson de Higgs – mais les aspirations scientifiques du FCC sont plus spéculatives. Les objectifs scientifiques du FCC sont plus incertains. L'objectif du FCC est de rechercher une nouvelle physique inconnue et d'effectuer des mesures de précision des désintégrations du boson de Higgs et d'autres particules connues. Ce projet peut-il captiver l'imagination de la société et rivaliser efficacement avec les images à couper le souffle du télescope James Webb, qui permet de mieux comprendre l'univers ?

"Je suggère que le CERN élargisse sa contribution pour la science et la société"

Le CERN est le premier laboratoire d'accélérateurs de haute énergie au monde, mais ses succès passés ne garantissent pas son avenir. Comment le CERN peut-il rester pertinent et apprécié par la société ? La proposition du FCC suffit-elle à elle seule à guider le CERN hors d'un avenir incertain ? Je suggère que le CERN élargisse sa contribution pour la science et la société afin de renforcer le soutien au laboratoire et, par conséquent, au FCC. Pour ce faire, le CERN devrait se lancer dans la recherche scientifique dans des domaines non traditionnels qui sont à la fois importants pour la société et dans lesquels il possède une expertise particulière et peut avoir un impact important. Le CERN le fait déjà avec des technologies dérivées de son programme de recherche en physique des particules, comme l'imagerie médicale. Cependant, je propose ici une diversification de la base de *recherche* du CERN. Bien que le CERN ait évité jusqu'à présent une diversification importante, c'est une voie que presque tous les autres laboratoires d'accélérateurs de haute énergie ont fini par suivre. Par exemple, les recherches menées à SLAC et à DESY sont désormais principalement axées sur les impulsions de rayons X ultracourts à haute luminosité émises par les lasers à électrons libres (FEL). Peut-être est-il temps pour le CERN d'envisager une diversification mesurée ?

L'expérience CLOUD est un exemple de la participation du CERN dans un domaine non traditionnel. CLOUD est largement considérée comme l'expérience la plus importante au monde pour les études en laboratoire de la formation des particules d'aérosols atmosphériques. En effet, CLOUD est la première – et, jusqu'à présent, la seule – expérience de laboratoire au monde à atteindre les performances techniques exigeantes requises pour mesurer la formation d'aérosols dans des conditions atmosphériques contrôlées. C'est le savoir-faire du CERN en matière de matériaux UHV, de systèmes de gaz ultra-propres et d'autres technologies qui a permis de construire la chambre CLOUD. Les changements survenus dans les aérosols depuis l'époque

préindustrielle sont reconnus comme la plus grande source d'incertitude limitant la capacité des modèles climatiques à faire des projections précises du réchauffement futur. Compte tenu de l'importance de la science de CLOUD et de ses performances sans précédent, les publications scientifiques de l'expérience comprennent jusqu'à présent dix articles dans Nature ou Science, qui suscitent un grand intérêt de la part des médias.

Pour se diversifier efficacement, il faut jouer sur la force du CERN : son personnel et son excellence technique. Le personnel du CERN possède une expertise de classe mondiale dans un large éventail de technologies associées à la conception, à la construction et à l'exploitation du LHC. De même, le CERN et la communauté de la physique des particules sont à l'avant-garde de la gestion et du traitement des données – ce qu'on appelle le Big Data. Je propose ici que le CERN puisse avoir un impact majeur sur la modélisation du climat. Le changement climatique est peut-être le problème scientifique le plus important auquel la société est actuellement confrontée, et il sera de plus en plus important dans les décennies à venir. Le CERN pourrait mettre à profit son expertise en matière de Big Data, de modélisation informatique, d'optimisation des logiciels, d'apprentissage automatique et d'analyses statistiques rigoureuses. Une communauté de physiciens des particules soutenue par le CERN pourrait collaborer avec les instituts européens de recherche sur le climat et les centres nationaux de modélisation climatique. Cet effort interdisciplinaire permettrait également d'intégrer plus étroitement les expériences et observations atmosphériques à la modélisation du climat, en suivant la culture de la physique expérimentale des particules. À l'heure actuelle, les modèles climatiques mondiaux sont construits à la fin de la chaîne de recherche, séparés des expériences. L'association synergique des modélisateurs du climat et des physiciens des particules pourrait permettre d'améliorer rapidement le pouvoir de prédiction des modèles climatiques.

Comment le CERN pourrait-il explorer cette possibilité ? Les projets de ce type doivent être initiés et dirigés depuis la base par la communauté scientifique. Cependant, un encouragement de la part du CERN est nécessaire. Je suggère l'organisation d'un atelier au CERN, parrainé par le CERN et l'Organisation météorologique mondiale (OMM), où les communautés de la physique des particules et de la modélisation climatique pourraient se rencontrer et échanger leurs points de vue. Avec les encouragements et le soutien appropriés de la direction du CERN, une proto collaboration interdisciplinaire pourrait se former. Une modeste diversification des recherches du CERN dans ce sens pourrait permettre d'améliorer le réalisme et le pouvoir prédictif des modèles climatiques sans pour autant retirer des ressources importantes au programme de physique des particules du CERN. Une participation scientifique très visible et très appréciée du CERN aux modèles climatiques renforcerait considérablement le soutien au FCC.

Preserving CERN's uniqueness

Michelangelo Mangano - Senior scientist

Original text in English

This article is not a vision – meant as a prophecy – of what CERN will be, but rather a vision – meant as a dream – of how I would like it to continue being and evolve. Had I written this few years back, it would have been a very short note, limited to a "change nothing" message. These days, things evolve very fast, and the old vision of what and how CERN should be is challenged daily, sometimes in unexpected ways and by unexpected events.

The key element of my vision for CERN is, rather trivially, to preserve its unique role in science as the leading accelerator facility. Particle physics is not a temporary offspring of human creativity, like some technology that dominates the present, but is bound to become obsolete and be replaced, sooner or later. What our community developed, i.e. the Standard Model (SM), is today's equivalent of Newton's law of gravity: it's there to stay forever, and future understanding of the universe will build on it, not override it. The SM is a milestone in a process started with Demokritos et al, a milestone that preludes, as a result of its own shortcomings, to future surprises, developments, and novel milestones. Particle physics is the science that, today, follows in Demokritos' and Newton's footsteps, and our community has the responsibility, and must be committed, to endure, for the progress of science, and ultimately for the benefit of humanity. A responsibility and commitment that, 30 years ago, would have seemed totally obvious; but that today are being put in doubt by pressure from other sciences, and which find skeptical even many in our own community, in view of technological, timescale, political and financial challenges looming over the horizon. The way we got this far, or at least the way we completed in the past 40-50 years the last several steps towards establishing the SM, has been by building powerful accelerators and colliders. To the best of our (my?) knowledge, this remains the best way to move forward. Fundamental physics has made important steps in the last decades using instruments other than colliders. The fields of astroparticle physics and cosmology, or of neutrinos, provide obvious examples. Observations from these experiments have opened new questions: What's the origin of neutrino masses? What's the origin of dark matter? What drives inflation, or generates dark energy? Can they also provide answers to these questions?

The way we describe the microscopic world today is by representing fundamental phenomena in terms of particles and interactions. Understanding a new phenomenon amounts to singling out the underlying interactions and the particles involved, encoding them into a piece of a Lagrangian, which then allows to calculate and predict all of the manifestations induced by those interactions and particles. All experimental measurements, at colliders and beyond, contribute to collect evidence of new phenomena and to build a picture. What is unique of accelerators is the ability to directly produce and study fundamental particles and forces. The direct observation of a cosmic dark matter particle in an underground detector would not diminish the role of a collider, which in addition could then try to directly produce this particle and probe in a broader way its interactions. Typical examples include the generation of dark matter particles in the decay of a Higgs boson, or of other more exotic states such as supersymmetric partners. To find a slot for dark matter in the fundamental Lagrangian, to put it in a more general context of a new sector of interactions that could explain its origin and raison d'être, is a task best tackled by colliders. The unavoidable exceptions, e.g. axions or other more exotic dark matter candidates, not accessible to colliders, can dilute the strength of this statement, but not falsify it. The exploration of the Higgs boson and of the mechanism of electroweak symmetry breaking, a cornerstone of the SM, are furthermore the prototypical example of the unique and indispensable role played by colliders in driving progress in particle physics. Today, there is no known alternative to colliders to clarify the origin of the Higgs boson. So, colliders must go on.

"Today, there is no known alternative to colliders to clarify the origin of the Higgs boson. So, colliders must go on."

The line of reasoning in the previous paragraphs was the paradigm that guided progress in particle physics in the second half of the XX century. But by the time the LHC turned on, most of the laboratories that contributed to the development and success of accelerator physics had turned, or were turning, in different directions, investing in alternative approaches. Nothing wrong, a lot of physics is being learned as a result. But, as the last big giant in the world of accelerator and collider laboratories, CERN must not be tempted to dilute its resources and follow the general trend of broad diversification. CERN must remain fully committed to providing science with the most ambitious collider projects, focusing its resources and investments to push the energy frontier. As the path of the LHC is firmly established, CERN must accept the challenge posed by the next steps, which will unavoidably require long-term investments, R&D and construction, building on its established and unique competence, infrastructure and governance, which, it's fair to assume, will not be easily reproducible in a different context. CERN's commitment to take charge of and lead the mission to fully explore the origin of the Higgs boson, with the approval of a project following the LHC, must be firm.

The last European Strategy update reached conclusions consistent with this vision, although leaving some room of ambiguity in the details, to reflect the existence still of different perspectives on the best way to move forward and on the optimal balance between timescales, costs, technological challenges and performance targets. This notwithstanding, the proposed Future Circular Collider emerges as the top candidate, and the ongoing feasibility study mandated by Council will hopefully confirm this vision and turn it into reality.

Politicians are not trained or required to judge the strength of a scientific case. This judgement can only come from scientists. The concept, often heard, that the physics case of a future project must be clear and strong enough to convince politicians, is a red herring. What politicians are good at, is to judge whether the scientific community is convinced and unanimous behind a given science case. Strong conviction and unanimity are essential to promote projects of the scale of a future collider. An element of my dream vision, therefore, is to see the community build this consensus, over the next few years, in terms as strong as what we witnessed in the 80's and 90's, leading to the approval of the LHC.

The community must accept the cost of this resolution, with the challenge set by the long timescales and the need to focus and channel resources. The approval of the next project by the end of the 2020's will redefine our attitude even towards the long wait for data: the confidence that the project will ultimately be realized is infinitely powerful in motivating scientists, compared to a simple hope and continued postponement, which lead to immense frustration, waste of energies and resources, and ultimately to disaffection and loss of engagement.

Building this consensus and the continued motivation of the young generations are, by and large, a cultural challenge. So the second topic I'd like to address in formulating my vision is the evolution of the culture of CERN. Once upon a time, scientists (experimental, detector, theoretical and accelerator physicists as well as engineers) used to just do the science, fully coordinated with and encouraged by a supportive administration. A key ingredient in this separation of roles was the trust, which allowed scientists to focus on their work and fully dedicate their energy and creativity to planning and building the best tools, minimizing the distraction set by formal procedures and administrative tasks, under the assumption that everyone would act in good faith with the sole intent of pushing the frontier of knowledge.

The focus on research remains our key aspiration, but more and more it is diverted to, or distracted by, administrative duties and procedures. Administrative skills (including those related to coordination activities and soft skills in general) emerge today as importantly as scientific ones in the assessment of the scientists' performance: something we have got used to, and which has its value, but which must be carefully weighed against the need to require scientists fully concentrate on what they are supposed to do best, namely the science. Leadership potential of young scientists is often judged on the basis of coordination roles they undertook. Coordination skills are important in the context of today's large experimental collaborations, as well as for theorists, whose CV is enriched by convener-ship appointments in working groups. But these components of a young scientist's profile are becoming more and more prominent in the construction of their career, taking energy away from scientific creativity, which must remain the ultimate overarching quality.

Rules and procedures are becoming pervasive, and their fulfillment sometimes requires more effort than the actions they apply to. Critical tasks like evaluation and recruitment of research fellows or staff are subject to ever-evolving norms, whose content rarely improves, and often risks affecting, the effectiveness of the selection process.

Nowadays a 1-day trip to give an invited seminar at a university, at no cost to CERN, forces upon us a sequence of form-filling, EDH signatures and authorizations, prior to and after the trip (I counted more than 10 steps in a recent example). This overloads the system and carries costs (time spent by different people to fill or review forms, personnel to develop and maintain the relative software and databases, etc.): cui prodest?

The above points, and others even more important, which would be out of place to raise here, signal a cultural change, at CERN and in the community. Space for initiative, creativity and flexibility have been pillars of HEP and CERN's culture for decades; joint with the intellectual challenge of exploring the universe, this cocktail made our field the most attractive among all sciences for young researchers. Properly filling EDH forms and compliance to strict protocols better not become the leading intellectual challenges we leave to the next generation of scientists, whom we need to attract to carry out our long-term scientific vision!

Of course, it would be naïve to assume that large-scale projects like the LHC can be carried out without a firm control and administration, including at the level of scientific coordination. And it is clear that the expansion of rules and controls at CERN reflects a similar expansion witnessed in all sectors, notably in the Universities and research institutions that participate at CERN. Checks and controls are a common practice in doing science; for example, there is not a single bolt in an LHC experiment whose mission, need and functionality have not been reviewed and endorsed by a scientific committee, in coordination with the experiments. But there seems to be no effort to properly assess the value for and impact on the scientific outcome of newly designed and imposed rules. At CERN we all share a common culture and work ethics, successfully established in the course of CERN's existence. A better coordination and fine tuning between administration and scientists would greatly help in fulfilling the balance between the needs of science and of its administration.

CERN nevertheless leads the way in several aspects of the development and expansion of our culture, both within the community and beyond. Fantastic examples are the outreach efforts at many different levels, or the recently established commitment to open science in multiple sectors, from the access to scientific publications and experimental data, to the development and sharing of open software and hardware. These actions increase the sensitivity to the importance of our mission, underscore the unique role played by CERN, and are essential to build the unanimous support, even from the public, needed to undertake the future big steps.

Other labs in the world are down-sizing, and even closing, their libraries, forgetting their role in the development and sustainment of scientific research. CERN is instead just undertaking a major renovation of its world-class library, which will make it more beautiful, hospitable and inviting, encouraging the young generation of scientists to explore knowledge "the old way". Another way for CERN to cultivate and preserve its unique culture!

Coming back to the first part of these reflections: it may take decades to see the fruits of the current plans for a future collider at CERN, and several of us will not have the fortune to still be primary actors in those scientific adventures. But my vision is that each of us remains committed to the grandiose mission that CERN was created to carry forward, and that all parties stay together to coherently and effectively work towards the mission's fulfillment. Protecting and transmitting to the new generations CERN's culture and values must be a keystone in our mission.

Préserver l'unicité du CERN

Michelangelo Mangano - Scientifique senior

Version française

Cet article n'est pas une vision entendue comme une prophétie – de ce que sera le CERN, mais plutôt une vision – entendue comme un rêve – de la manière dont j'aimerais qu'il continue à être et à évoluer. Si j'avais écrit ce texte il y a quelques années, il aurait été très court et se serait limité à un message du type « ne changez rien ». De nos jours, les choses évoluent très vite, et l'ancienne vision de ce que devrait être le CERN est remise en question quotidiennement, parfois de manière inattendue et par des événements inattendus.

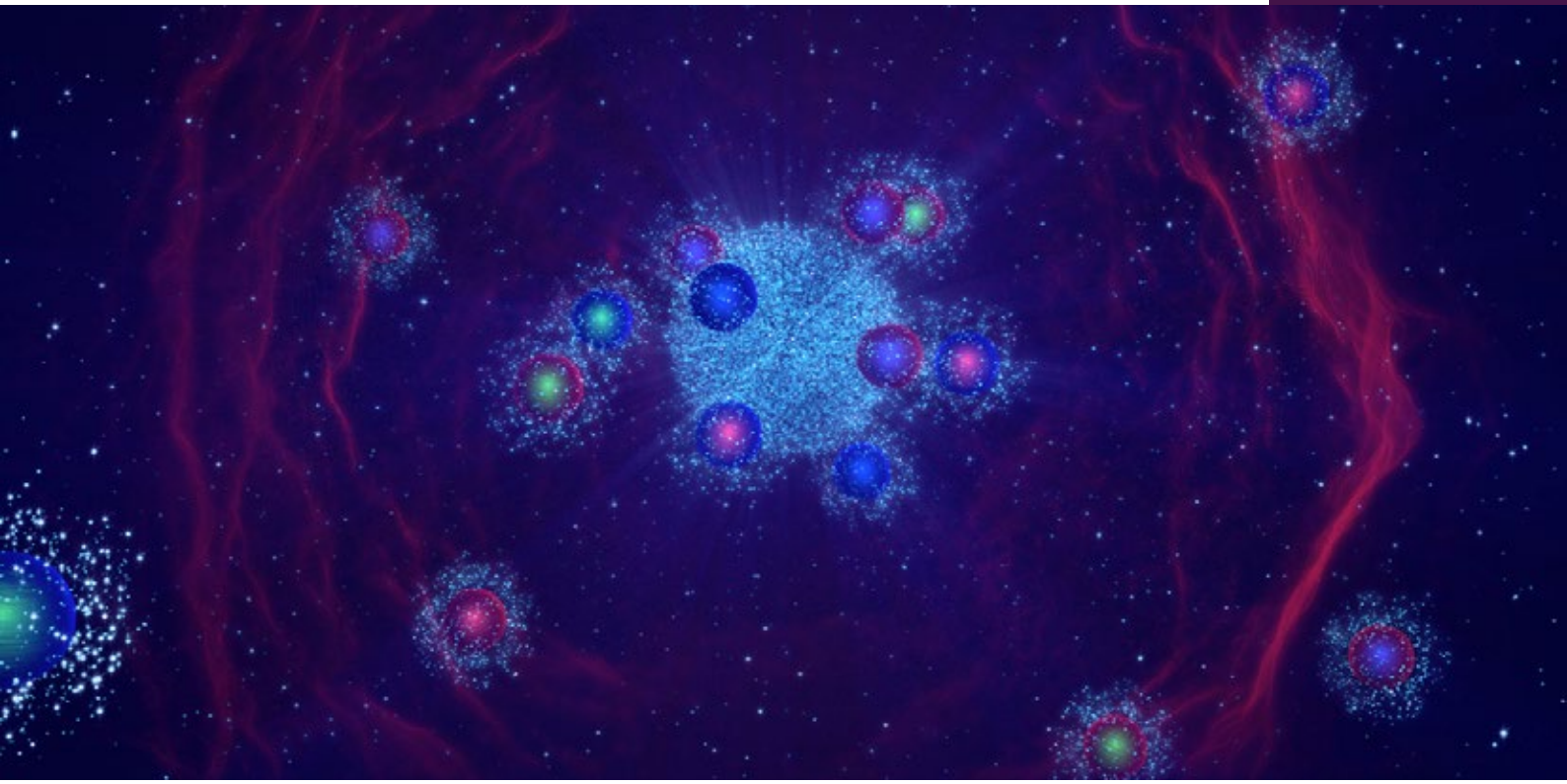
"Aujourd'hui, il n'existe aucune alternative connue aux collisionneurs pour clarifier l'origine du boson de Higgs. Les collisionneurs doivent donc continuer."

L'élément clé de ma vision du CERN est, assez triviale, de préserver son rôle unique dans la science en tant que principale installation d'accélérateurs. La physique des particules n'est pas un rejeton temporaire de la créativité humaine, comme une technologie qui domine le présent, mais elle est appelée à devenir obsolète et à être remplacée, tôt ou tard. Ce que notre communauté a développé, c'est-à-dire le modèle standard (MS), est aujourd'hui l'équivalent de la loi de la gravité de Newton : il est là pour toujours, et la compréhension future de l'univers s'appuiera sur lui, sans l'ignorer. Le MS est un jalon dans un processus entamé par Demokritos et al, un jalon qui prélude, en raison de ses propres lacunes, à des surprises, des développements et de nouveaux jalons futurs. La physique des particules est la science qui, aujourd'hui, suit les traces de Demokritos et de Newton, et notre communauté a la responsabilité, et doit s'engager, à perdurer, pour le progrès de la science, et finalement pour le bénéfice de l'humanité. Une responsabilité et un engagement qui, il y a 30 ans, auraient semblé totalement évidents, mais qui sont aujourd'hui mis en doute par la pression des autres sciences, et qui laissent sceptiques même beaucoup de membres de notre propre communauté, au vu des défis technologiques, temporels, politiques et financiers qui se profilent à l'horizon. La construction d'accélérateurs et de collisionneurs puissants nous a permis d'arriver jusqu'ici, ou du moins d'achever au cours des 40 à 50 dernières années les dernières étapes de l'établissement du MS. Au meilleur de nos (mes ?) connaissances, cela reste la meilleure façon d'avancer. La physique fondamentale a franchi des étapes importantes au cours des dernières décennies en utilisant des instruments autres que les collisionneurs. Les domaines de la physique des astroparticules et de la cosmologie, ou des neutrinos, en sont des exemples évidents. Les observations de ces expériences ont ouvert de nouvelles questions : Quelle est l'origine des masses des neutrinos ? Quelle est l'origine de la matière noire ? Qu'est-ce qui alimente l'inflation, ou génère l'énergie noire ? Peuvent-elles également apporter des réponses à ces questions ?

La façon dont nous décrivons aujourd'hui le monde microscopique consiste à représenter les phénomènes fondamentaux en termes de particules et d'interactions. Comprendre un nouveau phénomène revient à isoler les interactions sous-jacentes et les particules impliquées, à les coder dans un morceau de Lagrangian, ce qui permet ensuite de calculer et de prédire toutes les manifestations induites par ces interactions et ces particules. Toutes les mesures expérimentales, dans les collisionneurs et au-delà, contribuent à recueillir des preuves de nouveaux phénomènes et à dresser un tableau. Ce qui est unique dans les accélérateurs, c'est la possibilité de produire et d'étudier directement des particules et des forces fondamentales. L'observation directe d'une particule de matière noire cosmique dans un détecteur souterrain ne diminuerait pas le rôle d'un collisionneur, qui pourrait en outre essayer de produire directement cette particule et sonder de manière plus large ses interactions. Parmi les exemples typiques, citons la production de particules de matière noire dans la désintégration d'un boson de Higgs, ou d'autres états plus exotiques tels que les partenaires supersymétriques. Trouver une place pour la matière noire dans le Lagrangien fondamental, la placer dans le contexte plus général d'un nouveau secteur d'interactions qui pourrait expliquer son origine et sa raison d'être, est une tâche à laquelle les collisionneurs sont les mieux placés pour s'attaquer. Les exceptions inévitables, par exemple les axions ou d'autres candidats de matière noire plus exotiques, non accessibles aux collisionneurs, peuvent diluer la force de cette affirmation, mais pas la falsifier. L'exploration du boson de Higgs et du mécanisme de rupture de la symétrie électrofaible, pierre angulaire du MS, est en outre l'exemple type du rôle unique et indispensable joué par les collisionneurs dans les progrès de la physique des particules. Aujourd'hui, il n'existe aucune alternative connue aux collisionneurs pour clarifier l'origine du boson de Higgs. Les collisionneurs doivent donc continuer.

Le raisonnement exposé dans les paragraphes précédents était le paradigme qui a guidé les progrès de la physique des particules dans la seconde moitié du XX^{e} siècle. Mais au moment de l'allumage du LHC, la plupart des laboratoires qui ont contribué au développement et au succès de la physique des accélérateurs s'étaient tournés, ou étaient en train de se tourner, dans des directions différentes, investissant dans des approches alternatives. Il n'y a rien de mal à cela, on apprend beaucoup de physique en conséquence. Mais, en tant que dernier grand géant dans le monde des laboratoires d'accélérateurs et de collisionneurs, le CERN ne doit pas être tenté de diluer ses ressources et de suivre la tendance générale à une large diversification. Le CERN doit rester pleinement engagé à fournir à la science les projets de collisionneurs les plus ambitieux, en concentrant ses ressources et ses investissements pour repousser la frontière de l'énergie. La voie du LHC étant fermement établie, le CERN doit accepter le défi posé par les prochaines étapes, qui nécessiteront inévitablement des investissements à long terme, de la R&D et de la construction, en s'appuyant sur ses compétences, son infrastructure et sa gouvernance établies et uniques, qui, on peut le supposer, ne seront pas facilement reproductibles dans un contexte différent. L'engagement du CERN à prendre en charge et à diriger la mission d'exploration complète de l'origine du boson de Higgs, avec l'approbation d'un projet faisant suite au LHC, doit être ferme.

La dernière mise à jour de la stratégie européenne a abouti à des conclusions cohérentes avec cette vision, tout en laissant une certaine place à l'ambiguïté dans les détails, afin de refléter l'existence de perspectives encore différentes



sur la meilleure façon d'avancer et sur l'équilibre optimal entre les délais, les coûts, les défis technologiques et les objectifs de performance. Quoi qu'il en soit, le Future Circular Colliderproposé apparaît comme le meilleur candidat, et l'étude de faisabilité en cours mandatée par le Conseil confirmera, espérons-le, cette vision et la transformera en réalité.

Les politiciens ne sont pas formés ou tenus de juger de la solidité d'un dossier scientifique. Ce jugement ne peut venir que des scientifiques. Le concept, souvent entendu, selon lequel les arguments physiques d'un projet futur doivent être clairs et suffisamment solides pour convaincre les politiciens, est un mirage. Ce que les politiciens savent faire, c'est juger si la communauté scientifique est convaincue et unanime derrière un argumentaire scientifique donné. Une conviction et une unanimité fortes sont essentielles pour promouvoir des projets de l'ampleur d'un futur collisionneur. Un élément de ma vision rêvée est donc de voir la communauté construire ce consensus, au cours des quelques prochaines années, dans des termes aussi forts que ceux auxquels nous avons assisté dans les années 80 et 90, ce qui a conduit à l'approbation du LHC. La communauté doit accepter le coût de cette résolution, avec le défi que représentent les longs délais et la nécessité de concentrer et de canaliser les ressources. L'approbation du prochain projet d'ici la fin des années 2020 redéfinira notre attitude, même à l'égard de la longue attente de données : la certitude que le projet sera finalement réalisé est infiniment puissante pour motiver les scientifiques, par rapport à un simple espoir et à un report continu, qui entraînent une immense frustration, un gaspillage d'énergie et de ressources, et finalement une désaffection et une perte d'engagement.

La construction de ce consensus et la motivation continue des jeunes générations sont, dans l'ensemble, un défi culturel. Le deuxième sujet que j'aimerais aborder pour formuler ma vision est donc l'évolution de la culture du CERN. Il fut un temps où les scientifiques (physiciens expérimentaux, des détecteurs, théoriciens et des accélérateurs, ainsi que les ingénieurs) se contentaient de faire de la science, en totale coordination avec une administration qui les soutenait et les encourageait. Un ingrédient clé de cette séparation des rôles était la confiance, qui permettait aux scientifiques de se concentrer sur leur travail et de consacrer pleinement leur énergie et leur créativité à la planification et à la construction des meilleurs outils, en minimisant les distractions liées aux procédures formelles et aux tâches administratives, en partant du principe que chacun agirait de bonne foi avec la seule intention de repousser la frontière de la connaissance.

L'accent mis sur la recherche reste notre principale aspiration, mais il est de plus en plus détourné vers, ou distrait par, des tâches et procédures administratives. Les compétences administratives (y compris celles liées aux activités de coordination et les compétences non techniques en général) sont aujourd'hui aussi importantes que les compétences scientifiques dans l'évaluation des performances des scientifiques : c'est une chose à laquelle nous nous sommes habitués et qui a sa valeur, mais qui doit être soigneusement mise en balance avec la nécessité d'exiger des scientifiques qu'ils se concentrent pleinement sur ce qu'ils sont censés faire de mieux, à savoir la science. Le potentiel de leadership des jeunes scientifiques est souvent jugé sur la base des rôles de coordination qu'ils ont assumés. Les compétences en matière de coordination sont importantes dans le contexte des grandes collaborations expérimentales d'aujourd'hui, ainsi que pour les théoriciens, dont le CV est enrichi par des nominations à des postes d'animateur dans des groupes de travail. Mais ces éléments du profil d'un jeune scientifique prennent de plus en plus d'importance dans la construction de sa carrière, ce qui prive d'énergie la créativité scientifique, qui doit rester la qualité suprême.

Les règles et les procédures deviennent omniprésentes, et leur respect exige parfois plus d'efforts que les actions auxquelles elles s'appliquent. Des tâches essentielles comme l'évaluation et le recrutement des chercheurs ou du personnel sont soumises à des normes en constante évolution, dont le contenu améliore rarement, et risque souvent d'affecter, l'efficacité du processus de sélection.

Aujourd'hui, un voyage d'une journée pour donner un séminaire invité dans une université, sans frais pour le CERN, nous oblige à remplir une série de formulaires, à signer des EDH et à obtenir des autorisations, avant et après le voyage (j'ai compté plus de 10 étapes dans un exemple récent). Cela surcharge le système et entraîne des coûts (temps passé par différentes personnes pour remplir ou réviser les formulaires, personnel pour développer et maintenir les logiciels et bases de données correspondants, etc.) : cui prodest?

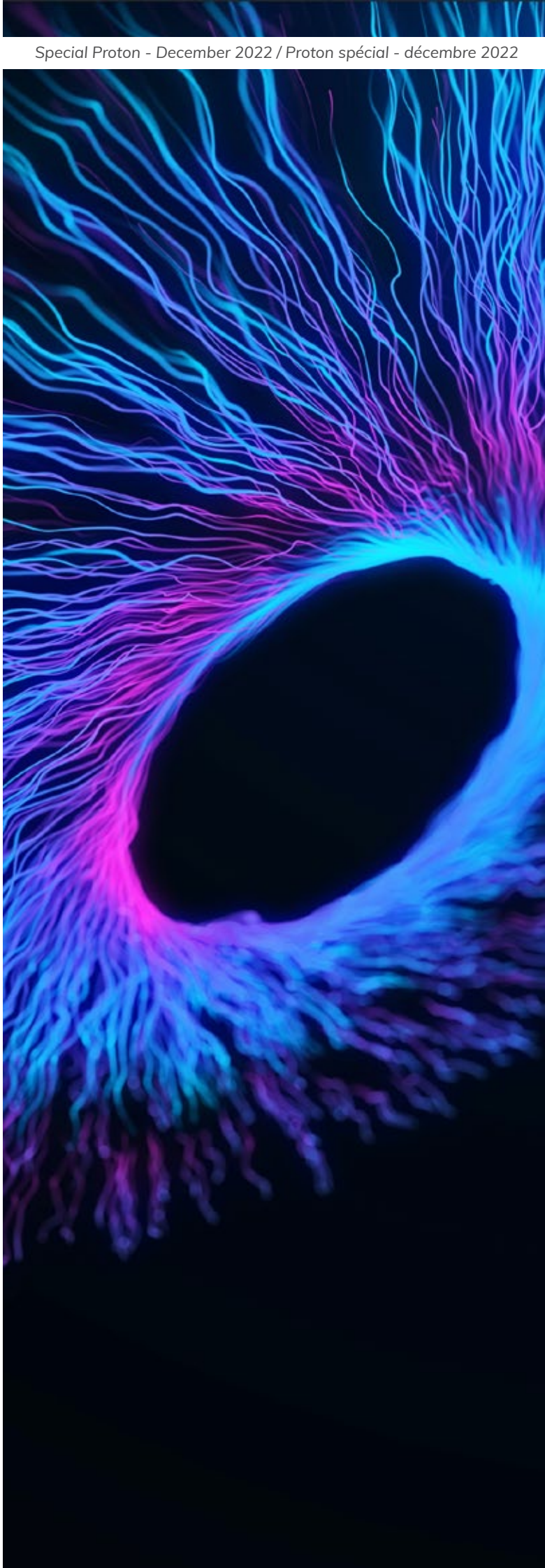
Les points ci-dessus, et d'autres encore plus importants, qu'il serait déplacé d'évoquer ici, signalent un changement culturel, au CERN et dans la communauté. L'espace pour l'initiative, la créativité et la flexibilité sont des piliers de la culture du HEP et du CERN depuis des décennies ; joint au défi intellectuel de l'exploration de l'univers, ce cocktail a fait de notre domaine le plus attractif de toutes les sciences pour les jeunes chercheurs. Remplir correctement les formulaires EDH et se conformer à des protocoles stricts n'ont pas intérêt à devenir les principaux défis intellectuels que nous laissons à la prochaine génération de scientifiques, que nous devons attirer pour mener à bien notre vision scientifique à long terme !

Bien sûr, il serait naïf de penser que des projets de grande envergure comme le LHC peuvent être menés à bien sans un contrôle et une administration fermes, y compris au niveau de la coordination scientifique. Et il est clair que l'expansion des règles et des contrôles au CERN reflète une expansion similaire observée dans tous les secteurs, notamment dans les universités et les institutions de recherche qui participent au CERN. Les vérifications et les contrôles sont une pratique courante dans le domaine scientifique ; par exemple, il n'y a pas un seul boulon d'une expérience LHC dont la mission, la nécessité et la fonctionnalité n'ont pas été examinées et approuvées par un comité scientifique, en coordination avec les expériences. Mais aucun effort ne semble être fait pour évaluer correctement la valeur et l'impact sur les résultats scientifiques des règles nouvellement conçues et imposées. Au CERN, nous partageons tous une culture et une éthique de travail communes, établies avec succès au cours de l'existence du CERN. Une meilleure coordination et une mise au point entre l'administration et les scientifiques aideraient grandement à réaliser l'équilibre entre les besoins de la science et ceux de son administration.

Le CERN montre néanmoins la voie dans plusieurs aspects du développement et de l'expansion de notre culture, tant au sein de la communauté qu'au-delà. Des exemples fantastiques sont les efforts de sensibilisation à de nombreux niveaux différents, ou l'engagement récemment établi en faveur de la science ouverte dans de multiples secteurs, depuis l'accès aux publications scientifiques et aux données expérimentales, jusqu'au développement et au partage de logiciels et de matériels ouverts. Ces actions sensibilisent davantage à l'importance de notre mission, soulignent le rôle unique joué par le CERN et sont essentielles pour obtenir le soutien unanime, même de la part du public, nécessaire pour entreprendre les futures grandes étapes.

D'autres laboratoires dans le monde réduisent, voire ferment, leurs bibliothèques, oubliant leur rôle dans le développement et le soutien de la recherche scientifique. Le CERN vient au contraire d'entreprendre une rénovation majeure de sa bibliothèque de classe mondiale, qui la rendra plus belle, plus accueillante et plus invitante, encourageant ainsi la jeune génération de scientifiques à explorer le savoir « à l'ancienne ». Une autre façon pour le CERN de cultiver et de préserver sa culture unique !

Pour en revenir à la première partie de ces réflexions : il faudra peut-être des décennies pour voir les fruits des plans actuels pour un futur collisionneur au CERN, et plusieurs d'entre nous n'aurons pas la chance d'être encore les acteurs principaux de ces aventures scientifiques. Mais ma vision est que chacun d'entre nous reste attaché à la mission grandiose pour laquelle le CERN a été créé, et que toutes les parties restent ensemble pour travailler de manière cohérente et efficace à l'accomplissement de cette mission. La protection et la transmission aux nouvelles générations de la culture et des valeurs du CERN doivent être la clé de voûte de notre mission.



A brief reflection on the Future of CERN: the FCC physics case

Prof. Hans Peter Beck - CERN user - member of the ATLAS collaboration

Original text in English

Understanding the Universe deeper and farther in the face of crisis

Understanding nature and how it works is what enabled mankind stepping out of its caves and developing to modern society of today. A long path lies behind us, which by no means has been a straight-line development, but one with backlashes and sidesteps. Curiosity and ingenuity go hand in hand and lead to new insights, which lead to new technologies that enable new tools to drive curiosity and the questions that can be tackled further. This is the virtuous cycle that drives modern society not only from a scientific perspective but affects all aspects of life. Understanding the global threats of today, climate crisis, CO_2 free energy, pollution, fresh water, biodiversity, etc. is vital. This is why the United Nations have adopted in their 2015 resolution the 2030 Agenda for Sustainable Development[1], where 17 specific goals of highest priorities are defined. The role fundamental science has in these 17 goals was a non-issue initially and simply forgotten. A dangerous omission, when considering the role fundamental science has in driving the virtuous cycle and the role fundamental science has, when it comes to understanding the real scale of the problems that need solving. Without curiosity driven fundamental research, the role of CO_2 in the atmosphere would not be understood, without satellites initially built for pure scientific curiosity, as a byproduct the real scale of pollution, ice-shield thinning, aerosols, and their global interplay would neither be understood today. Without understanding the problem at its core, any action will be limited to a fighting of symptoms rather than providing real and long-lasting solutions. It is for these reasons that this year is declared the International Year of Basic Sciences for Sustainable Development[2]:

> ***Basic sciences*** *are instrumental in all areas of our lives: even the World Wide Web, which you are using right now, was invented at CERN out of the need for global collaboration on fundamental physics experiments, and it was developed using powerful algorithms.*
>
> ***The International Year of Basic Sciences for Sustainable Development 2022*** *is a key moment of mobilization to convince economic and political leaders, as well as every citizen, of the importance of taking into account and mastering basic sciences to ensure a balanced, sustainable and inclusive development of the planet.*

The 2020ies are facing difficult periods owed to the COVID19 pandemic, the war in Ukraine, the energy crisis, the energy transition to master, of aggravating global environmental concerns and with a climate crisis to shelter from and finally to tame. Why far-reaching and seemingly expensive research tools like the FCC shall be built or even be considered in such challenging times could be seen as non-appropriate or even as an egoistic endeavour by those pushing for it.

"Beyond the Standard Model physics does not contradict the Standard Model with whatever has been measured so far, but it offers a window to see behind the horizon the Standard Model imposes."

The contrary is true, as can be exemplified when looking back. CERN was conceived in the outgoing 1940ies, when Europe was shattered after World-War-II and was inaugurated in 1954 after lengthy and finally successful discussions, with the aim to conduct research of a pure scientific and fundamental character. In addition, CERN shall not be concerned with work for military requirements and the results of its experimental and theoretical work shall be published or otherwise made generally available.

Conceiving and finally building FCC is what guarantees the long-term future of CERN maintaining and continuing the initial ideas and spirit of fundamental research. This is the very reason why CERN was built seven decades ago. The mission stays: CERN shall continue conducting pure fundamental scientific research. This guarantees CERN to be a place where the future is paved and where nations work together on the challenging quest to understand the Universe deeper and farther than ever before. And thereby, be a hub where people can learn, exchange ideas, advance, and, as it is true for most young people when they arrive first, to leave the organization for new challenges to master, where their new acquired skillset will allow for solutions to evolve that otherwise would not be even thinkable.

The Standard Model of Particle Physics – a true marvel of scientific achievement and insight

Understanding the innermost constituents of our world, the elementary particles, and how these interact to build up matter is not a new discipline. It started in prehistoric times when people tried to figure out 'what is inside'? Surely, only more systematic approaches have led to an understanding of the nature of atoms and the elements these are built out of. Interestingly, understanding the innermost of matter required particle acceleration from the first moment on, when the study of cathode rays at keV energies was marking the high energy frontier of the late 1890ies. Elementary particles or bound states made up of elementary particles, could only be found using accelerators, starting from cathode rays to ever bigger and bigger scales. Sure, relevant discoveries have been made using cosmic accelerators instead of man-made devices

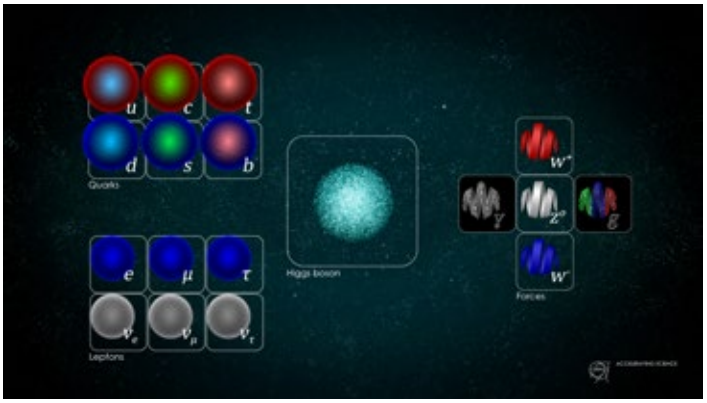
1 https://sdgs.un.org/goals

2 https://www.iybssd2022.org

when studying cosmic rays, but still, acceleration is what lies at the start of the process. Surprisingly not only constituents of matter were found, but three families of elementary particles could be established, with only the first family being responsible to build stable matter we conceive in our daily lives. Two extra families, with more massive and non-stable counterparts of their first family partner particles exists and have been studied extensively at CERN and other places conducting particle physics research.

The study of the innermost of matter has led to much more than 'just' knowing about the smallest objects in the Universe, of which many are apparently not even part of the stable matter around us. Three families of particles exist and how they interact with each other is exquisitely described by the Standard Model of Particle Physics[3]. The word 'Model' draws way short with respect to what it really stands for. The Standard Model is as close to the Theory of Everything as we can conceive today. It is a quantum-field theory, incorporating special relativity and quantum mechanics. The Standard Model was developed not single-handedly, but by many eminent physicists over decades, with major steps achieved in the late 1960ies and early 1970ies. Only with the Higgs discovery at CERN in 2012 by the ATLAS and CMS collaborations at the LHC, the Standard Model of Particle Physics was completed also empirically.

One could easily think that the task for CERN is now done, and all is known what is to be known. Again, such shortsightedness could be easily fatal in the further development of mankind and its ability to tackle major global problems that need solutions.



The Standard Model of Particle Physics allows not only to understand small particles and their interactions, but it also allows to understand the Universe and its infancy, when shortly after the Big Bang all there was, was a hot gas of elementary particles. All further evolution of the Universe, and the abundancies of the lightest elements in the Universe is determined by the Standard Model of Particle Physics. However, for the formation of stars and galaxies one more force is required that stubbornly refuses to be described in a quantum field theoretical approach and stays outside the realm of particle physics. This force is gravity, and it gives us the first and strongest hint that the Standard Model is not complete. Indeed, the abundancies of heavier elements in the Universe require nuclear fusion reactions in the core of stars to cook them, further it needs super novae and even heftier cataclysmic cosmic events like neutron star mergers to fuse the heavy and superheavy elements. One can state today that all the gold we find on Earth was once created in a cataclysmic cosmic event, creating the debris out of which our solar system could form. A good mixture of light and heavy elements was left to form a new sun with planets orbiting, among these: Earth.

Apart from gravity not being an incorporated force in the Standard Model, modern physics has now a tool in its hands that basically allows to understand all experimental data ever collected within one single mathematical framework – the Standard Model.

Beyond the Standard Model

Having at hand a good theory that allows understanding one's environment is an invaluable achievement. But does it really work at all scales? To metaphorically explain the concept of 'Beyond Standard Model' the 'Beyond Flat Earth Model' metaphor comes in handy. One can easily describe Earth being flat in one's local environment. Indeed, at the scale of a soccer field, flat adequately describes all four corners of the soccer field and when building a house, no architect would ever need to correct the shape and inclinations of the walls considering a finite Earth radius. However, when enlarging scales, a flat Earth description will fail to adequately describe the true nature of Earth. First, at moderately enlarged scales, small deviations between a flat model Earth and true nature Earth will emerge. Deviations that will lead to discussions and being incorporated in model parameters, such as mountains or valleys. However, at larger scales, such discussions will not be possible anymore and a 'Beyond Flat Earth Model', i.e. spherical Earth will need to replace the original world view. It is important to note that old data and experiments made a smaller scales will be equally valid in a flat Earth and also in a spherical Earth model. But only the latter model makes sense on all scales. In turn, the deviations measured between true nature Earth and the flat Earth model allow to know precisely the Earth's radius, even with experiments done at only moderate scales, much smaller than Earth's radius. Precision in the experimental setup and the measurements made is what it takes that even at smaller scales the Earth's radius can be determined accurately.

Beyond the Standard Model physics is similar. It does not contradict the Standard Model with whatever has been measured so far, but it offers a window to see behind the horizon the Standard Model imposes, and it allows to interpret possible deviations measured at places where the Standard Model fails describing nature appropriately. But first, such deviations need to be firmly established, and so far, none have yet been substantiated firmly enough. There are, however, many hints that the Standard Model is indeed suffering and deviations are gently building up in several analyzes currently conducted by the LHC collaborations. More data and a firm understanding of systematic effects when analyzing data will by guiding principles in the years to come when LHC and later HL-LHC will continue being the major work horse of particle physics and for challenging the Standard Model further and further.

Precision is what is really needed, as the scale of what can be reached with the LHC is set. From a pure statistical point of view, doubling the amount of data does not lead to a doubling of the precision of a measurement; it only leads to an improvement of the square root of two, i.e. ca 40% increase in precision. To double precision, four times as much data are needed and to gain an order of magnitude in precision, two orders of magnitude more data are needed. This is the exact reason why the LHC needs regular upgrades and will evolve in its HL-LHC version, as otherwise, no significant increase of precision is possible. At some moment, even with HL-LHC,

3 The particles of the 1st family are the electron, the electron-neutrino, the up- and the down quark. These are those relevant to form the stable matter around us. The 2nd family particles are the muon, the muon-neutrino, the strange- and the charm quark. The 3rd family particles are the tau, the tau-neutrino, the top- and the bottom quark. All particles interact with each other via photon, W-boson, Z-boson, and gluon exchanges. Their masses are defined via the Brout-Englert-Higgs mechanism, which demands the existence of the Higgs particle.

increasing precision further will be prohibitively expensive and the need for a new device will become evident. Current planning foresees this date to be reached by the second half of the coming decade in ca. 2038.

The European Strategy for Particle Physics

The European Strategy for Particle Physics[4] is the cornerstone of Europe's decision-making process for the long-term future of the field. Mandated by the CERN Council, it is formed through a broad consultation of the grass-roots particle physics community, it actively solicits the opinions of physicists from around the world, and it is developed in close coordination with similar processes in the US and Japan to ensure coordination between regions and optimal use of resources globally.

The 2020 update of the European Strategy for Particle Physics proposes a vision for both the near-term and the long-term future. It aims to significantly extend knowledge beyond the current limits, to drive innovative technological development, and to maintain Europe's leading role in particle physics, within the global context.

It proposes an electron-positron Higgs factory as the highest-priority next collider. For the longer term, the European particle physics community has the ambition to operate a proton-proton collider at the highest achievable energy. Accomplishing these compelling goals will require innovation and cutting-edge technology.

The Future Circular Collider

The process of defining the details on how the European Strategy of Particle Physics shall be implemented, which machines shall be built and where in the world these shall be constructed has not yet concluded. The Future Circular Collider (FCC) and whether it shall collide electrons with positrons, or whether it shall be used to collide protons is currently under study. I am discussing in the following how I see the project evolving, which offers one possible scenario on how to implement the European Strategy of Particle Physics, but where no decisions have been made yet.

The FCC is currently a study project only, with the aim to establish the feasibility on how to implement best the European Strategy. In its overall implementation, it aims to provide both, highest possible energy scale and utmost precision measurements. In that sense, the FCC, which comes in two flavours, one that collides electrons on positrons (FCC_{ee}) and one that collides hadrons (FCChh), which shall both profit from the same underground tunnel of ca. 91 km circumference and passing below Lake Geneva and the Salève mountain. Building a machine of that scale comes with substantial costs and is accompanied with non-trivial engineering challenges that need solving. Although costs seem high, these could also be seen in perspective to the gross domestic product of a typical member state. Comparing the GDP of the early 1990ies, when LHC needed to be decided on and today's GDP, when FCC is in discussion, the affordability of LHC in percentage of 1990ies GDP and the affordability of FCC in percentage of nowadays GDP are easily comparable. Costs alone should thereby not be seen as a reason for not building FCC, although finding the resources and how to share contributions and responsibilities between host states, member states, and non-member states will lead to negotiations where solutions will need to be found.

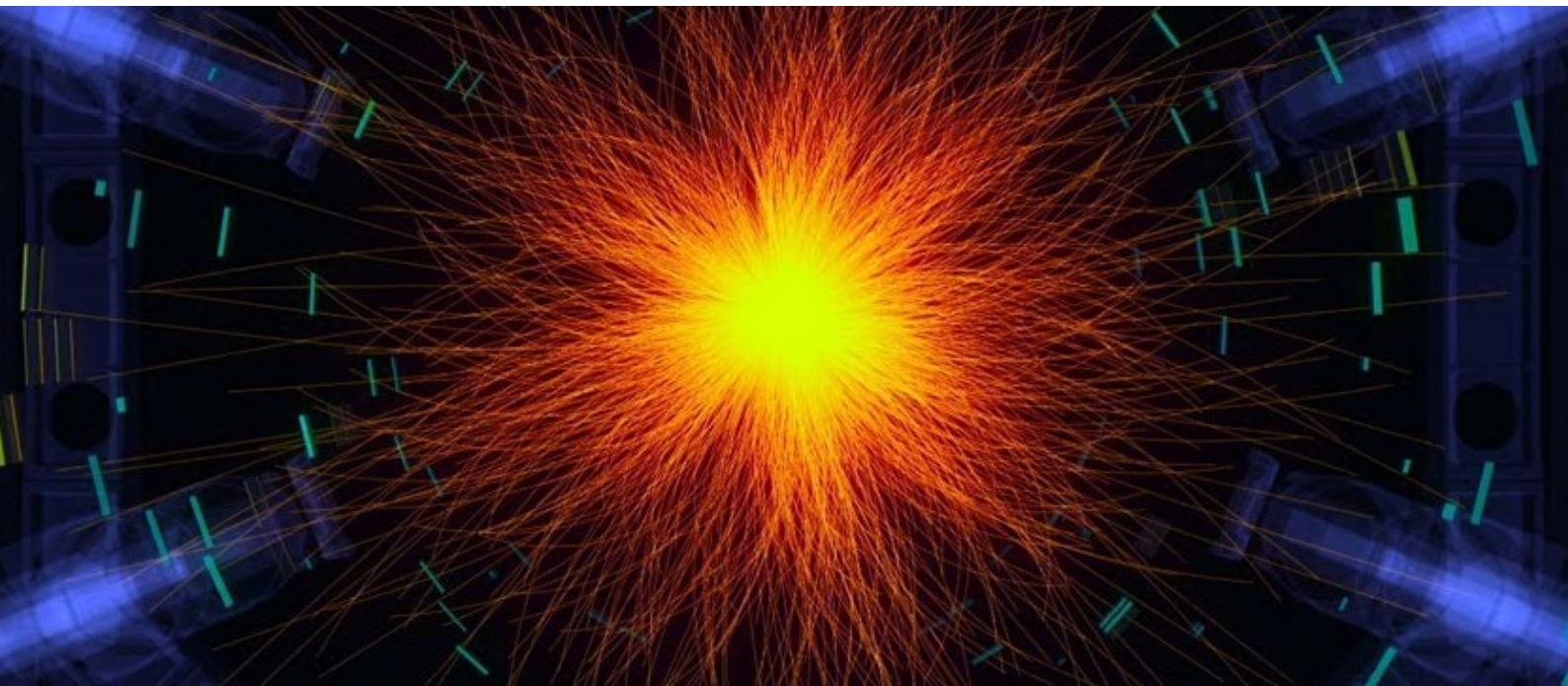
A big difference between the physics cases for the LHC and the FCC, however, is the "no-loose theorem", upon which the LHC was decided. It was absolutely clear then, that once the LHC was built and operational, either the Higgs boson would be discovered, or, if not, another mechanism would necessarily by discovered. Theory clearly predicted a fail-down of the Standard Model predictions at LHC scales in case of a possible no-Higgs scenario. With the Higgs discovery ten years ago in 2012, the "no-loose theorem" was fulfilled, the Standard Model confirmed, and no-Higgs scenarios excluded.

For the FCC, no such "no-loose theorem" exists. However, scale and precision are all what matters when advancing science. In particular, advances are not necessarily or simply reduced to the existence or not of new particles. The quest of science is to advance understanding and knowledge, and not about collecting more items or objects, which one could also consider stamp collection[5]. If nature provides new particles, these will importantly be studied and incorporated in a new Beyond Standard Model theory. If nature does not provide new particles accessible at FCC, then this is important knowledge to gain. However, much more will be gained also in this case, where advancing on the precision front will again be key for understanding nature better and more profoundly.

Increase in precision of observations is what makes headlines these days when seeing the stunning images of the James

4 https://europeanstrategy.cern/european-strategy-for-particle-physics

5 Paraphrasing Rutherford, who used the term 'stamp collecting' in a slightly different context.



Webb telescope in contrast to the now fading images of the older Hubble telescope. There is no difference when thinking of what FCC will be able to do. Precision is what will lift the usefulness of the Standard Model to absolutely new scales, when it shall be used as the tool to understand not only the innermost of matter, but much more importantly, to understand the early Universe and its evolution.

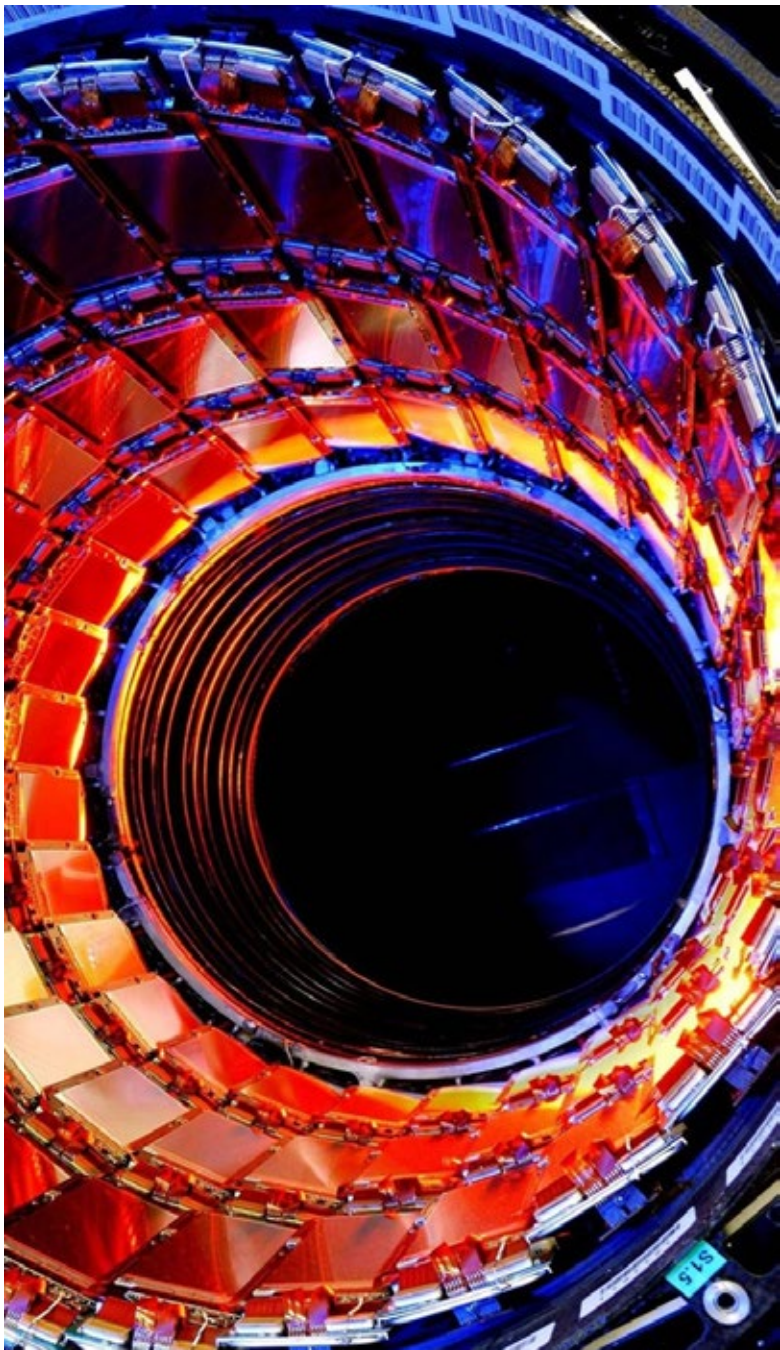
But the absolute goal will remain, find those scenarios, where measurements and Standard Model predictions are in firm conflict. These conflicts between theory and data deliver the crucial hints of how to move forward from the Standard Model world view to a Beyond Standard Model view of the world. This situation is similar to the analogy developed above, when evolving out of a flat Earth model into a spherical Earth view, which also allows to understand what lies behind the horizon and even of what is not yet thinkable today.

Measuring with high precision possible deviations from the Standard Model requires knowing all Standard Model parameters at their utmost precision. Many parameters, like e.g. the electron mass, or the electromagnetic coupling strength are known from specific laboratory setups and experiments that do not need an accelerator complex to be known precisely. However, many parameters that are decisive to the Standard Model are best measured in electron-positron collisions at sufficiently high energy. In particular collisions at a centre of mass energy of 91 GeV, corresponding to the Z boson mass, are of highest scientific value[6]. Indeed, what has been achieved at LEP in the 1990ies and what will be possible with FCC_{ee} when providing collisions at and around the Z boson mass peak will be absolutely stunning and dwarf the step made from Hubble to the James Webb telescope, when such a comparison shall even be made. The increase of Z bosons produced and measured when comparing LEP with what FCC_{ee} will be offering is a factor of about 500'000. I.e. LEP would have to be run 500'000 times longer than it actually did in the 1990ies to achieve similar statistical gains, clearly impossible to even think about. In addition, high precision detector layouts with high granularity sensors, requiring fast data acquisition and large-scale data handling will allow systematic uncertainties being small enough to not pose a limiting factor that the huge statistical gain offers. Needless to say that designing, building, commissioning and operating detectors for FCC_{ee} is a challenge of its own that, like for the LHC detectors, will require large experimental collaborations to form that can take up the challenges ahead of them.

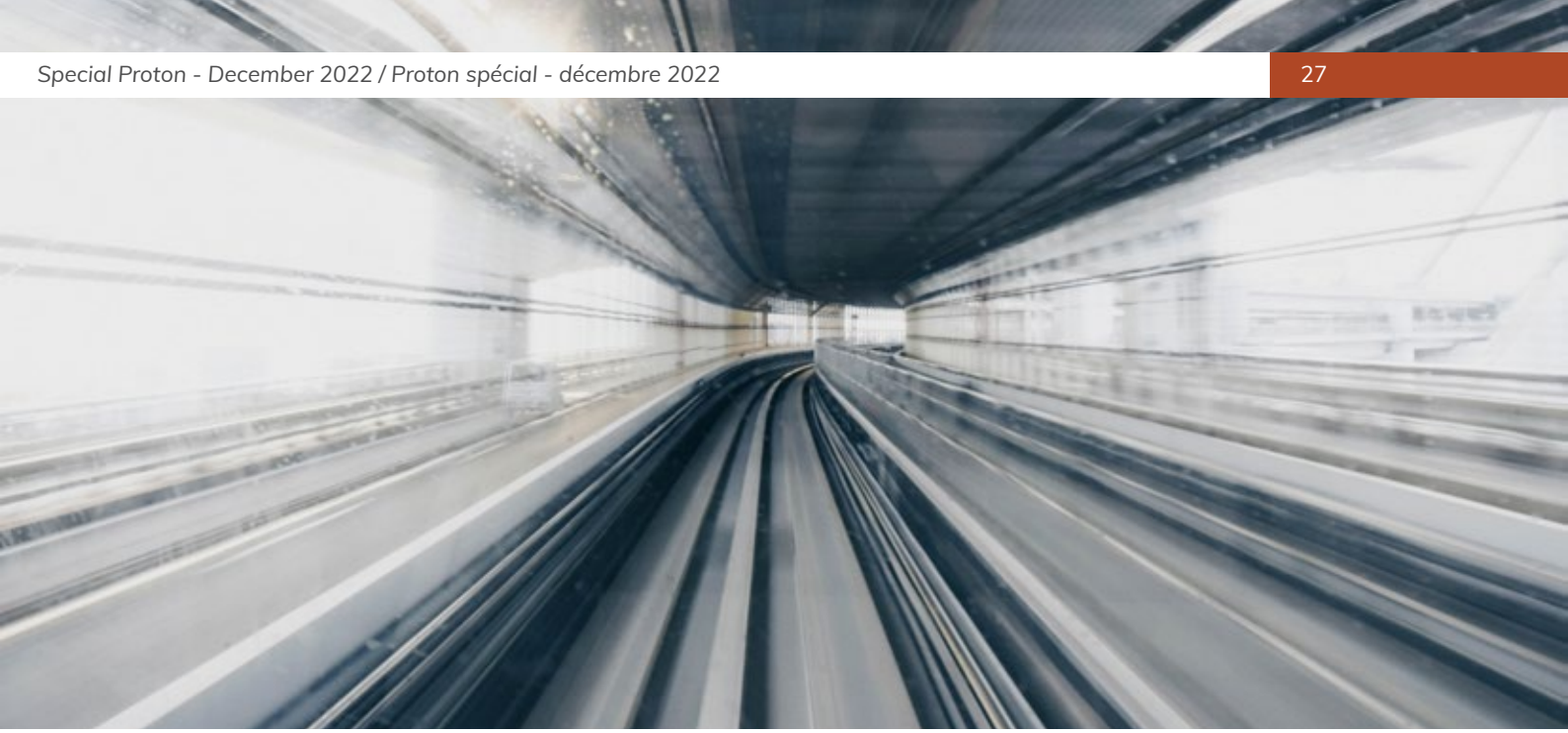
Initially FCC_{ee} for precision and for searches

The 5×10^{12} Z bosons FCC_{ee} will produce when running during an initial period at the Z peak resonance, will not only allow for measuring crucial Standard Model parameters at high precision, it will also provide searches for new physics. Z bosons decay in ca. 10% of cases into charged leptons, and in ca. 70% of cases in pairs of quarks, with another ca. 20% into neutrinos that can't be measured with the detectors at the FCC_{ee}. These leptonic decays offer an unprecedented window to probe lepton flavour universality and its possible violation. Lepton flavour universality violation (LFUV) is of highest interest today where Belle-II at KEK and LHCb at the LHC are claiming possible, but still not fully confirmed signals of LFUV, which could also imply the existence of a new type of particles called leptoquarks. Establishing the existence of leptoquarks would lead to a complete new set of interactions between elementary particles, which is already of highest scientific interest, and additionally would offer a new view into the early history of the Universe. When Z bosons at the FCC_{ee} decay to pairs of b-quarks high statistic samples of boosted B mesons can be expected, making even very rare B meson decays accessible to experimentation, naturally extending LHCb's physics program. The Z boson line-shape will reveal whether the Z-boson is the only particle with mass of ca. 91 GeV or whether new elusive particles are hidden just below the dominant Z peak resonance. This is obviously a speculative scenario, but it makes the point that new physics can lurk at places which have not necessarily been considered before, but that become of high interest, once precision allows to look further and deeper.

FCC_{ee} doesn't stop at the Z peak resonance, which simply defines its warm-up phase to establish those precision measurements upon those further measurements and searches will be firmly girded. FCC_{ee} shall take extensive data at the so-called Higgs-Z associated production energy, which is at about 240 GeV. At this energy, the objective set out by the European Strategy of a Higgs factory is met. About 10^6 Z+H events will be produced and measured, allowing for precisely measuring the Higgs boson and its decay channels by many factors better than HL-LHC will be able to. Again here, high precision knowledge of the Standard Model parameters will allow for searches of deviations from Standard Model predictions and thereby exploring possible Beyond Standard Model physics. Especially the almost background free Higgs



6 The scale of electroweak physics is defined by the weak boson masses and it is the Z boson which allows to collect the largest and cleanest data sample to precisely measure the electroweak sector of the Standard Model.



sample will allow to test a possible sub-structure of the Higgs boson, or the existence of new decay channels of the Higgs, if it possibly couples directly or indirectly to Dark Matter particles that otherwise can't be seen.

FCC_{ee} may also be able to produce Higgs bosons directly, without associated bosons, when precisely colliding electrons with positrons at the Higgs mass energy of 125.25 GeV. This is easier said than made, as the Higgs is a very narrow resonance and electron-positron collisions must take place at the exact energy of the resonance. Still, this, if successful, allows for a direct measurement of the Higgs line shape and in particular its width, revealing any possible sub-structure of the Higgs boson, if any.

FCC_{ee} is an ultra-versatile machine, capable of also colliding electrons with positrons at and above the production threshold for generating pairs of charged W bosons, and at even higher energies also pairs of top-quarks. The W mass is one of those parameters where gaining precision is of utmost value, as it is tightly related with other direct observables, in particular with the top-quark mass and the Higgs mass. If the measured values of the W- and Higgs boson masses, and the top-quark mass should turn out to be in contradiction with each other, Beyond Standard Model Physics is discovered and the exact value of the measured discrepancy sets the scale of where new physics will also manifest directly – likely in the form of at which scales new particles will manifest.

Ultimately FCC_{hh} for searches with precision

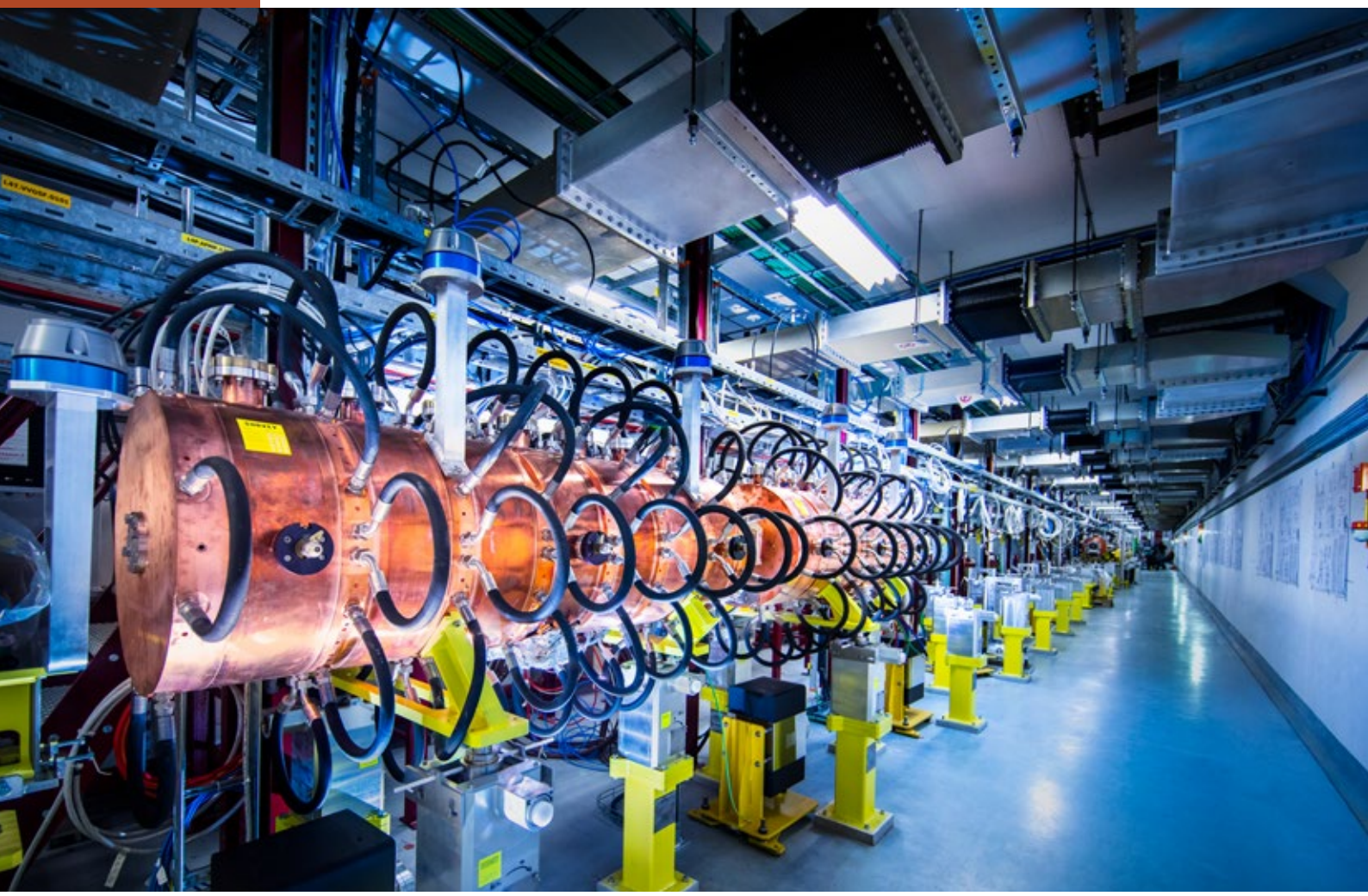
FCC_{hh} will collide hadrons in the same 91km circumference tunnel, after FCC_{ee} has finished its scientific life and has been dismantled. Once built, it will define the high-energy frontier of the 21st century. Equipping a 91 km long tunnel with superconducting dipole magnets, operating at field strengths of 16 to 20 Tesla or even higher, is what it will take to substantially increase the collision energy LHC offers today. With a factor larger than three in circumference and magnetic field strength increase by a factor of two or even more, when compared with LHC, a collision energy of about six to eight times of today's LHC collision energy can be envisaged. A rigorous magnet R&D program is needed over more than one or more decades to develop such type magnets that will not only offer the much-needed performances but need also to be affordable, constructable in large numbers and operatable reliably. High-temperature superconducting magnets will be required to keep cooling infrastructure and helium needs at an acceptable level. These superconducting magnets might be using ReBCO (Rare-earth barium copper oxides), which are a family of candidate compounds capable conducting large electric currents with zero resistance at temperatures higher than the boiling point of liquid nitrogen at 77 K.

There are good reasons to believe that FCC_{hh} cannot be built as the direct next flagship accelerator for CERN as a successor to HL-LHC. Magnet R&D, however, needs to be pushed, such that FCC_{hh} will be conceivable realistically once FCC_{ee} will have reached its end of operation. Surely, this might be disappointing to those who want to see FCC_{hh} operational still in their active and professional lifetime. However, FCC_{hh} will profit much from an accomplished physics program at FCC_{ee} when also the scales for direct manifestation of new observables will likely be known.

Final remarks

Accelerators like the LHC or a future FCC depend on a functioning accelerator complex built of multiple stages of pre-accelerators, which all need supporting infrastructure to build, operate and maintain. Energy will be an issue and providing enough energy to operate a large-scale accelerator complex that will easily devour 1.5 TWh of electricity annually (or potentially more) seems in times of energy crisis quite impossible. However, the challenge is set, by the timescale of FCC, for new energy infrastructures to deliver this amount of electricity that shall be fossil free, available around the clock, and be moderately cheap. It's the physicists and the engineers of today who pave the way and provide the solutions that will likely be a mixture of renewable and of nuclear energy. The energy crisis of today has to be seen as a catalyst for becoming fossil free faster than otherwise.

More critical than energy is the need of keeping a strong community around and at CERN motivated over many decades to dedicate their professional life into the success of such far-reaching endeavour like the FCC. A continuous turn-over of expertise and vision to younger generations is required, while also giving stability and freedom to established members, CERN would not have achieved, what it has achieved in its past. Keeping up the spirit of CERN, with its diverse and multi-national community, with its staff and its users, who in a perfect and mutual interplay can push further and farther, is exactly what is needed now and in the decades to come. FCC has the potential to be the flagship project to guide CERN throughout this 21st century. If next to the flagship FCC also smaller-scale, but no less crucial, projects can flourish, where people can exchange and new ideas can be probed and exploited, the right environment can be created and maintained that makes CERN special, with a diverse program and with one flagship to drive.



Une brève réflexion sur l'avenir du CERN : la physique du FCC

Prof. Hans Peter Beck - utilisateur CERN - membre de la collaboration ATLAS

Version française

Comprendre l'Univers plus profondément et plus loin face à la crise

Comprendre la nature et son fonctionnement est ce qui a permis à l'humanité de sortir de ses cavernes et de se développer jusqu'à la société moderne d'aujourd'hui. Un long chemin nous attend, qui n'est en aucun cas un développement en ligne droite, mais un développement avec des retours en arrière et des détours. La curiosité et l'ingéniosité vont de pair et conduisent à de nouvelles idées, qui conduisent à de nouvelles technologies permettant de nouveaux outils pour stimuler la curiosité et les questions qui peuvent être abordées plus avant. C'est ce cycle vertueux qui anime la société moderne, non seulement d'un point de vue scientifique, mais qui touche tous les aspects de la vie. Il est essentiel de comprendre les menaces mondiales actuelles, la crise climatique, l'énergie sans CO2, la pollution, l'eau douce, la biodiversité, etc. C'est pourquoi les Nations unies ont adopté dans leur résolution de 2015 l'Agenda 2030[1] pour le développement durable, qui définit 17 objectifs spécifiques de la plus haute priorité. Le rôle que la science fondamentale a dans ces 17 objectifs a été un non-sujet au départ et simplement oublié. Une omission dangereuse, si l'on considère le rôle de la science fondamentale dans la conduite du cycle vertueux et le rôle de la science fondamentale, lorsqu'il s'agit de comprendre l'ampleur réelle des problèmes à résoudre. Sans une recherche fondamentale motivée par la curiosité, le rôle du CO2 dans l'atmosphère ne serait pas compris, et sans les satellites initialement construits par pure curiosité scientifique, l'échelle réelle de la pollution, de l'amincissement de la banquise, des aérosols et de leur interaction au niveau mondial ne serait pas comprise aujourd'hui. Si l'on ne comprend pas le problème à sa base, toute action se limitera à combattre les symptômes au lieu d'apporter des solutions réelles et durables. C'est pour ces raisons que cette année est déclarée Année internationale des sciences fondamentales pour le développement durable[2] :

1 https://sdgs.un.org/goals

2 https://www.iybssd2022.org

***Les sciences fondamentales** jouent un rôle déterminant dans tous les domaines de notre vie : même le World Wide Web, que vous utilisez en ce moment même, a été inventé au CERN en raison de la nécessité d'une collaboration mondiale sur des expériences de physique fondamentale, et il a été développé à l'aide d'algorithmes puissants.*

***L'Année internationale des sciences fondamentales pour le développement durable 2022** est un moment clé de mobilisation pour convaincre les responsables économiques et politiques, ainsi que chaque citoyen, de l'importance de la prise en compte et de la maîtrise des sciences fondamentales pour assurer un développement équilibré, durable et solidaire de la planète.*

Les années 2020 sont confrontées à des périodes difficiles dues à la pandémie de COVID19, à la guerre en Ukraine, à la crise énergétique, à la transition énergétique à maîtriser, à l'aggravation des préoccupations environnementales mondiales et à une crise climatique dont il faut se protéger et qu'il faut enfin apprivoiser. La raison pour laquelle des outils de recherche de grande envergure et apparemment coûteux tels que le FCC doivent être construits ou même envisagés dans une période aussi difficile pourrait être considérée comme inappropriée ou même comme une entreprise égoïste par ceux qui la préconisent.

“Au-delà du Modèle Standard la physique ne contredit pas le Modèle Standard avec ce qui a été mesuré jusqu’à présent, mais elle offre une fenêtre pour voir derrière l’horizon.”

Le contraire est vrai, comme on peut le constater en regardant en arrière. Le CERN a été conçu au début des années 1940, alors que l'Europe était brisée par la Seconde Guerre mondiale, et a été inauguré en 1954, après de longues discussions qui ont finalement abouti, dans le but de mener des recherches de caractère purement scientifique et fondamental. En outre, le CERN ne doit pas s'occuper de travaux pour des besoins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques doivent être publiés ou mis à la disposition du public de toute autre manière.

Concevoir et finalement construire le FCC est ce qui garantit l'avenir à long terme du CERN : maintenir et poursuivre les idées et l'esprit initiaux de la recherche fondamentale. C'est la raison même pour laquelle le CERN a été construit il y a sept décennies. La mission demeure : le CERN doit continuer à mener des recherches scientifiques fondamentales pures. Cela garantit au CERN d'être un lieu où l'avenir est pavé et où les nations travaillent ensemble à la difficile quête d'une compréhension de l'Univers plus profonde et plus lointaine que jamais. Et ainsi, être un centre où les gens peuvent apprendre, échanger des idées, progresser et, comme c'est le cas pour la plupart des jeunes lorsqu'ils arrivent, quitter l'Organisation pour de nouveaux défis à maîtriser, où leurs nouvelles compétences acquises permettront de trouver des solutions qui, autrement, ne seraient même pas envisageables.

Le Modèle Standard de la Physique des Particules – une véritable merveille de réalisation et de perspicacité scientifique

Comprendre les constituants les plus profonds de notre monde, les particules élémentaires, et la façon dont elles interagissent pour former la matière n'est pas une discipline nouvelle. Elle a commencé à l'époque préhistorique, lorsque les gens essayaient de comprendre « ce qu’il y a à l’intérieur » ? Bien sûr, seules des approches plus systématiques ont permis de comprendre la nature des atomes et des éléments dont ils sont constitués. Il est intéressant de noter que la compréhension de l'intérieur de la matière a nécessité l'accélération des particules dès le premier moment, lorsque l'étude des rayons cathodiques à des énergies de l'ordre du keV marquait la frontière des hautes énergies à la fin des années 1890. Les particules élémentaires ou les états liés constitués de particules élémentaires n'ont pu être découverts qu'à l'aide d'accélérateurs, en partant des rayons cathodiques pour atteindre des échelles de plus en plus grandes. Bien sûr, des découvertes importantes ont été faites en utilisant des accélérateurs cosmiques plutôt que des appareils fabriqués par l'homme pour étudier les rayons cosmiques, mais l'accélération reste le point de départ du processus. De façon surprenante, non seulement des constituants de la matière ont été découverts, mais trois familles de particules élémentaires ont pu être établies, dont seule la première famille est responsable de la construction de la matière stable que nous concevons dans notre vie quotidienne. Il existe deux familles supplémentaires, avec des contreparties plus massives et non stables des particules partenaires de la première famille, qui ont été étudiées en profondeur au CERN et dans d'autres centres de recherche en Physique des Particules.

L'étude de l'intérieur de la matière a permis d'aller bien au-delà de la « simple » connaissance des plus petits objets de l'Univers, dont beaucoup ne font apparemment même pas partie de la matière stable qui nous entoure. Il existe trois familles de particules et la manière dont elles interagissent entre elles est décrite de manière exquise par le Modèle Standard de la Physique des Particules[3]. Le mot « modèle » est bien court par rapport à ce qu'il représente réellement. Le Modèle Standard est aussi proche de la théorie du tout que nous pouvons le concevoir aujourd'hui. Il s'agit d'une théorie du champ quantique, qui intègre la relativité restreinte et la mécanique quantique. Le Modèle Standard n'a pas été développé par une seule personne, mais par de nombreux physiciens éminents au fil des décennies, avec des avancées majeures à la fin des années 1960 et au début des années 1970. Ce n'est qu'avec la découverte du boson de Higgs au CERN en 2012 par les équipes ATLAS et CMS au LHC, le Modèle Standard de la Physique des Particules a été complété également de manière empirique.

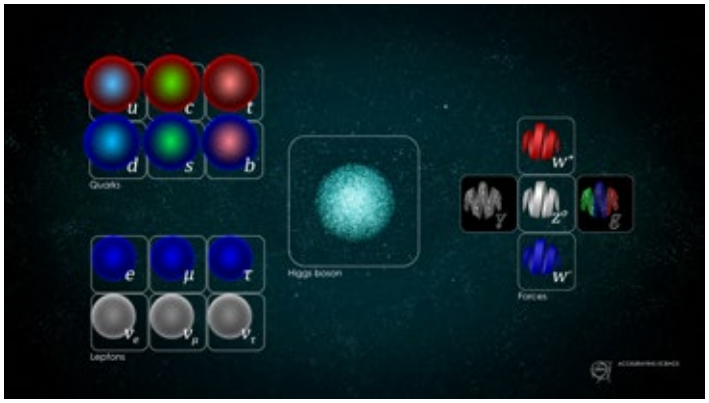
On pourrait facilement penser que la tâche du CERN est maintenant terminée, et que tout ce qui doit être connu est connu. Là encore, une telle myopie pourrait être fatale au développement futur de l'humanité et à sa capacité à s'attaquer aux grands problèmes mondiaux qui nécessitent des solutions.

Le Modèle Standard de la Physique des Particules permet non seulement de comprendre les petites particules et leurs interactions, mais aussi de comprendre l'Univers et ses débuts, lorsque peu après le Big Bang, tout ce qui existait était un gaz chaud de particules élémentaires. Toute l'évolution ultérieure de l'Univers et les abondances des éléments les plus légers dans l'Univers sont déterminées par le Modèle Standard de la Physique des Particules. Cependant, pour la formation

3 Les particules de la 1ère famille sont l’électron, l’électron-neutrino, le quark up et down. Ce sont celles qui sont pertinentes pour former la matière stable qui nous entoure. Les particules de la 2e famille sont le muon, le muon-neutrino, le quark étrange et le quark charmant. Les particules de la 3e famille sont le tau, le tau-neutrino, le quark supérieur et le quark inférieur. Toutes les particules interagissent entre elles via des échanges de photons, de bosons W, de bosons Z et de gluons. Leurs masses sont définies par le mécanisme de Brout-Englert-Higgs, qui exige l’existence de la particule de Higgs..

des étoiles et des galaxies, une force supplémentaire est nécessaire, qui refuse obstinément d'être décrite dans une approche théorique quantique et reste en dehors du domaine de la Physique des Particules. Cette force est la gravité, et elle nous donne le premier et le plus fort indice que le Modèle Standard n'est pas complet. En effet, l'abondance des éléments lourds dans l'Univers nécessite des réactions de fusion nucléaire au cœur des étoiles pour les produire, et il faut des supernovas et des événements cosmiques cataclysmiques encore plus violents, comme la fusion d'étoiles à neutrons, pour fusionner les éléments lourds et superlourds. On peut affirmer aujourd'hui que tout l'or que nous trouvons sur Terre a été créé jadis lors d'un événement cosmique cataclysmique, créant les débris à partir desquels notre système solaire a pu se former. Un bon mélange d'éléments légers et lourds a été laissé pour former un nouveau soleil avec des planètes en orbite, parmi celles-ci : la Terre.

Outre le fait que la gravité n'est pas une force incorporée dans le Modèle Standard, la physique moderne dispose désormais d'un outil qui permet de comprendre toutes les données expérimentales jamais recueillies dans un cadre mathématique unique : le Modèle Standard.



Au-delà du Modèle Standard

Disposer d'une bonne théorie qui permet de comprendre son environnement est une réalisation inestimable. Mais fonctionne-t-elle vraiment à toutes les échelles ? Pour expliquer métaphoriquement le concept de « Au-delà du Modèle Standard », la métaphore « Au-delà du modèle de la Terre plate » est très utile. On peut facilement décrire la Terre comme étant plate dans son environnement local. En effet, à l'échelle d'un terrain de football, le plat décrit adéquatement les quatre coins du terrain et, lors de la construction d'une maison, aucun architecte ne devrait jamais avoir besoin de corriger la forme et l'inclinaison des murs en tenant compte d'un rayon terrestre fini. Cependant, lorsque l'on agrandit l'échelle, la description d'une Terre plate ne parvient pas à décrire de manière adéquate la véritable nature de la Terre. Tout d'abord, à des échelles modérément agrandies, de petites déviations entre un modèle de Terre plate et la vraie nature de la Terre apparaîtront. Des déviations qui donneront lieu à des discussions et qui seront incorporées dans les paramètres du modèle, comme les montagnes ou les vallées. Cependant, à des échelles plus grandes, de telles discussions ne seront plus possibles et un « modèle au-delà de la Terre plate », c'est-à-dire une Terre sphérique, devra remplacer la vision originale du monde. Il est important de noter que les anciennes données et expériences réalisées à des échelles plus petites seront tout aussi valables dans un modèle de Terre plate que dans un modèle de Terre sphérique. Mais seul ce dernier modèle a un sens à toutes les échelles. En revanche, les écarts mesurés entre la vraie nature de la Terre et le modèle de la Terre plate permettent de connaître précisément le rayon de la Terre, même avec des expériences réalisées à des échelles modérées, bien plus petites que le rayon de la Terre. La précision de la configuration expérimentale et des mesures effectuées est ce qu'il faut pour que même à des échelles plus petites, le rayon de la Terre puisse être déterminé avec exactitude.

La physique au-delà du Modèle Standard est similaire. Elle ne contredit pas le Modèle Standard avec ce qui a été mesuré jusqu'à présent, mais elle offre une fenêtre pour voir derrière l'horizon que le Modèle Standard impose, et elle permet d'interpréter les éventuelles déviations mesurées à des endroits où le Modèle Standard ne parvient pas à décrire la nature de manière appropriée. Mais d'abord, de telles déviations doivent être fermement établies, et jusqu'à présent, aucune n'a encore été suffisamment étayée. Toutefois, de nombreux indices laissent penser que le Modèle Standard souffre effectivement et les déviations s'accumulent doucement dans plusieurs analyses actuellement menées par les collaborations du LHC. Davantage de données et une bonne compréhension des effets systématiques lors de l'analyse des données seront les principes directeurs dans les années à venir, lorsque le LHC et plus tard le HL-LHC continueront à être le principal cheval de bataille de la Physique des Particules et à remettre en question le Modèle Standard.

La précision est ce qui est vraiment nécessaire, car l'échelle de ce qui peut être atteint avec le LHC est fixée. D'un point de vue purement statistique, doubler la quantité de données n'entraîne pas un doublement de la précision d'une mesure ; cela n'entraîne qu'une amélioration de la racine carrée de deux, soit une augmentation d'environ 40 % de la précision. Pour doubler la précision, il faut quatre fois plus de données et pour gagner un ordre de grandeur en précision, il faut deux ordres de grandeur de données supplémentaires. C'est la raison exacte pour laquelle le LHC a besoin de mises à niveau régulières et évoluera dans sa version HL-LHC, car sinon, aucune augmentation significative de la précision n'est possible. À un moment donné, même avec le HL-LHC, augmenter encore la précision sera d'un coût prohibitif et la nécessité d'un nouvel appareil deviendra évidente. La planification actuelle prévoit que cette date sera atteinte dans la seconde moitié de la prochaine décennie, vers 2038.

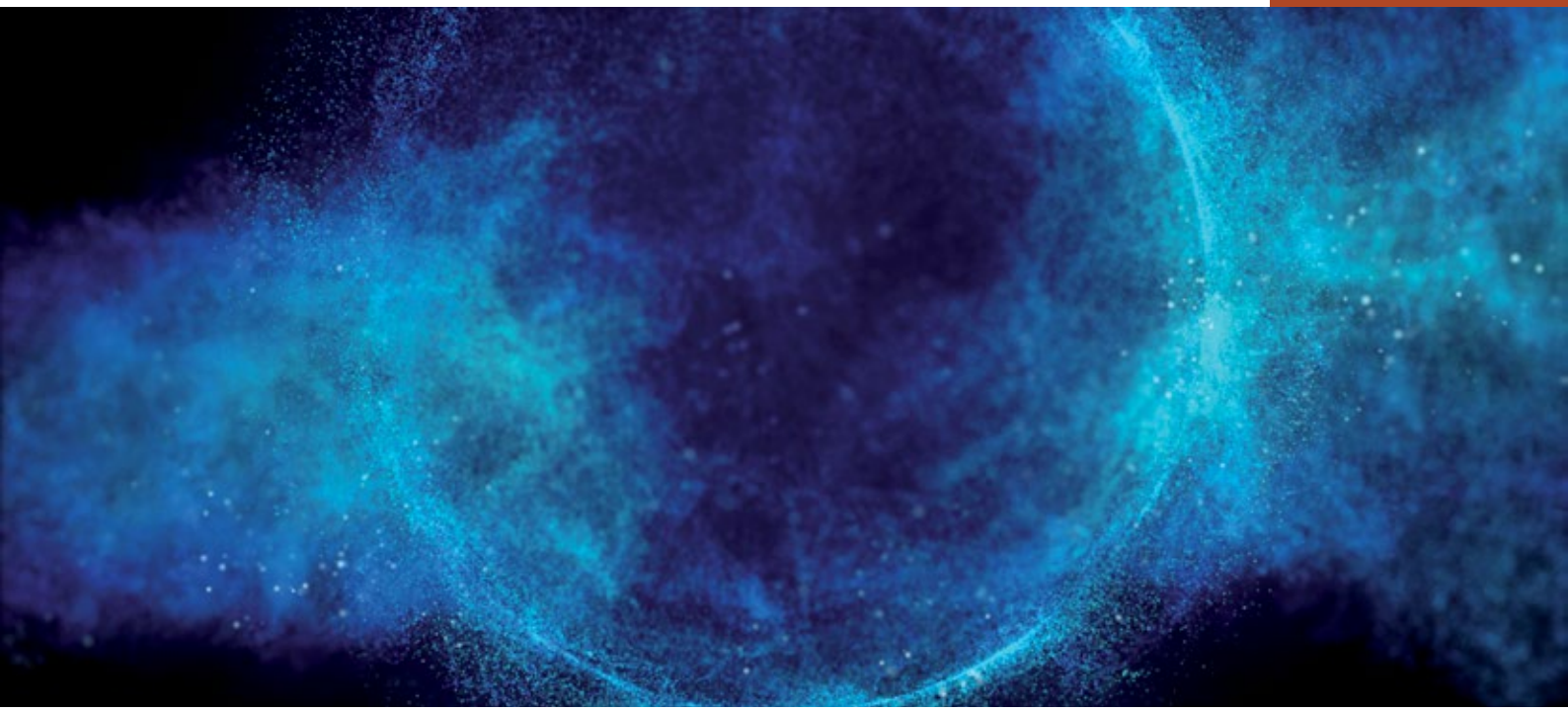
La Stratégie Européenne pour la Physique des Particules

La Stratégie Européenne pour la Physique des Particules[4] est la pierre angulaire du processus décisionnel européen pour l'avenir à long terme de ce domaine. Mandatée par le Conseil du CERN, elle est élaborée à partir d'une large consultation de la communauté des physiciens des particules, elle sollicite activement l'avis des physiciens du monde entier et elle est développée en étroite coordination avec des processus similaires aux États-Unis et au Japon afin d'assurer la coordination entre les régions et l'utilisation optimale des ressources au niveau mondial.

La mise à jour 2020 de la Stratégie Européenne pour la Physique des Particules propose une vision pour l'avenir à court et à long terme. Elle vise à étendre considérablement les connaissances au-delà des limites actuelles, à stimuler le développement technologique innovant et à maintenir le rôle de premier plan de l'Europe en Physique des Particules, dans le contexte mondial.

Il propose une usine de Higgs électron-positron comme prochain collisionneur de la plus haute priorité. À plus long terme, la communauté européenne de la Physique des Particules a l'ambition d'exploiter un collisionneur proton-proton à l'énergie la plus élevée possible. La réalisation de ces objectifs ambitieux nécessitera des innovations et des technologies de pointe.

4 https://europeanstrategy.cern/european-strategy-for-particle-physics



Le futur Collisionneur Circulaire

Le processus de définition des détails de la mise en œuvre de la stratégie européenne en matière de Physique des Particules, des machines à construire et de l'endroit où elles seront construites dans le monde n'est pas encore terminé. Le Futur Collisionneur Circulaire (FCC) et la question de savoir s'il fera entrer en collision des électrons avec des positrons ou s'il sera utilisé pour faire entrer en collision des protons sont actuellement à l'étude. J'explique ci-après comment je vois évoluer ce projet, qui offre un scénario possible sur la manière de mettre en œuvre la stratégie européenne en matière de Physique des Particules, mais pour lequel aucune décision n'a encore été prise.

Le FCC est actuellement un projet d'étude uniquement, dont le but est d'établir la faisabilité de la meilleure façon de mettre en œuvre la Stratégie Européenne. Dans sa mise en œuvre globale, il vise à fournir à la fois l'échelle d'énergie la plus élevée possible et des mesures de la plus grande précision. En ce sens, le FCC, qui existe en deux versions, l'une qui fait entrer en collision des électrons avec des positrons (FCC_{ee}) et l'autre qui fait entrer en collision des hadrons (FCC_{hh}), bénéficiera de la même galerie souterraine d'environ 91 km de circonférence, passant sous le lac Léman et le Salève. La construction d'une machine de cette envergure entraîne des coûts substantiels et s'accompagne de défis techniques non triviaux qui doivent être résolus. Si les coûts semblent élevés, ils peuvent aussi être mis en perspective avec le produit intérieur brut (PIB) d'un État membre type. Si l'on compare le PIB du début des années 1990, lorsque le LHC devait faire l'objet d'une décision, et le PIB actuel, lorsque le FCC est en discussion, l'accessibilité financière du LHC en pourcentage du PIB des années 1990 et l'accessibilité financière du FCC en pourcentage du PIB actuel sont facilement comparables. Les coûts seuls ne devraient donc pas être considérés comme une raison de ne pas construire le FCC, bien que la recherche des ressources et la manière de partager les contributions et les responsabilités entre les États hôtes, les États membres et les États non membres conduiront à des négociations où des solutions devront être trouvées.

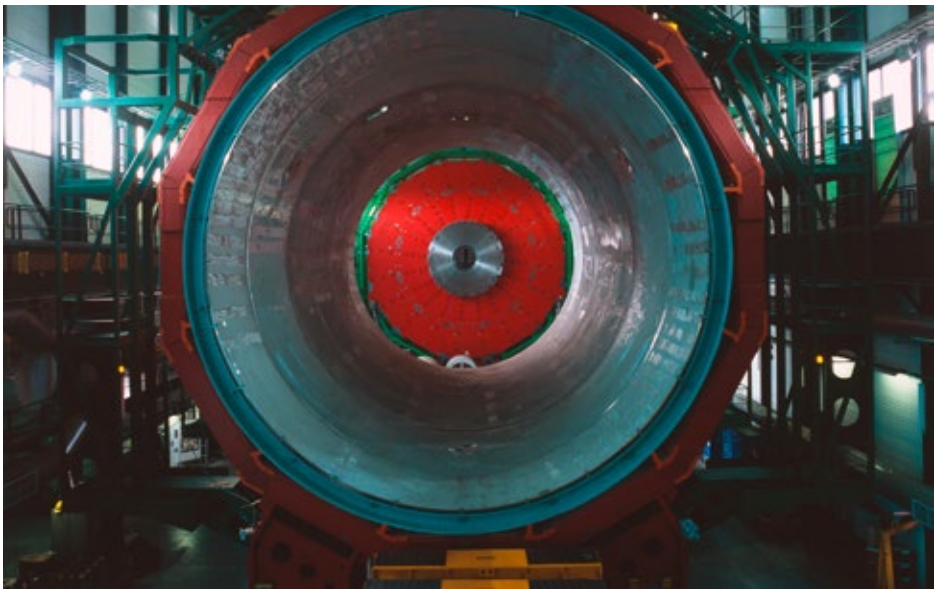
Une grande différence entre les cas de physique pour le LHC et le FCC, cependant, est le « théorème de découverte garantie », sur lequel le LHC a été décidé. Il était alors absolument clair qu'une fois le LHC construit et opérationnel, soit le boson de Higgs serait découvert, soit, dans le cas contraire, un autre mécanisme serait nécessairement découvert. La théorie prévoyait clairement un échec des prédictions du Modèle Standard à l'échelle du LHC dans le cas d'un éventuel scénario sans boson de Higgs. Avec la découverte du boson de Higgs il y a dix ans, en 2012, le « théorème de l'absence de boson » s'est réalisé, le Modèle Standard a été confirmé et les scénarios d'absence de boson de Higgs exclus.

Pour le FCC, il n'existe pas de « théorème de découverte garantie ». Cependant, l'échelle et la précision sont tout ce qui compte pour faire avancer la science. En particulier, les avancées ne se réduisent pas nécessairement ou simplement à l'existence ou non de nouvelles particules. La quête de la science est de faire progresser la compréhension et la connaissance, et non pas de collectionner plus d'éléments ou d'objets, ce que l'on pourrait aussi considérer comme une collection de timbres[5]. Si la nature fournit de nouvelles particules, il est important que celles-ci soient étudiées et incorporées dans une nouvelle théorie au-delà du Modèle Standard. Si la nature ne fournit pas de nouvelles particules accessibles au FCC, il s'agit alors d'une connaissance importante à acquérir. Toutefois, dans ce cas également, les progrès en matière de précision seront déterminants pour une meilleure compréhension de la nature, plus approfondie.

L'augmentation de la précision des observations est ce qui fait la une des journaux ces jours-ci, lorsque l'on voit les images étonnantes du télescope James Webb par rapport aux images, aujourd'hui en déclin, du vieux télescope Hubble. Il n'y a pas de différence quand on pense à ce que FCC sera capable de faire. La précision est ce qui portera l'utilité du Modèle Standard à des échelles absolument nouvelles, lorsqu'il sera utilisé comme outil pour comprendre non seulement l'intérieur de la matière, mais aussi, ce qui est beaucoup plus important, pour comprendre les débuts de l'Univers et son évolution.

Mais l'objectif absolu restera de trouver les scénarios où les mesures et les prédictions du Modèle Standard sont en conflit permanent. Ces conflits entre la théorie et les données fournissent des indications cruciales sur la manière de passer de la vision du monde du Modèle Standard à une vision du monde au-delà du Modèle Standard. Cette situation est similaire à l'analogie développée ci-dessus, lors de l'évolution

5 Paraphrasant Rutherford, qui a utilisé le terme “philatélie” dans un contexte légèrement différent.



d'un modèle de Terre plate vers une vision de Terre sphérique, qui permet également de comprendre ce qui se trouve derrière l'horizon et même de ce qui n'est pas encore pensable aujourd'hui.

Pour mesurer avec une grande précision les écarts possibles par rapport au Modèle Standard, il faut connaître tous les paramètres du Modèle Standard avec la plus grande précision. De nombreux paramètres, comme la masse de l'électron ou la force du couplage électromagnétique, sont connus grâce à des installations de laboratoire et des expériences spécifiques qui ne nécessitent pas un complexe d'accélérateurs pour être connus avec précision. Cependant, de nombreux paramètres décisifs pour le Modèle Standard sont mieux mesurés dans des collisions électron-positron à une énergie suffisamment élevée. En particulier, les collisions à une énergie du centre de masse de 91 GeV, correspondant à la masse du boson Z, ont la plus grande valeur scientifique[6]. En effet, ce qui a été réalisé au LEP dans les années 1990 et ce qui sera possible avec le FCC_{ee} en fournissant des collisions à et autour du pic de masse du boson Z sera absolument stupéfiant et éclipsera le pas franchi entre Hubble et le télescope James Webb, quand bien même une telle comparaison serait possible. L'augmentation du nombre de bosons Z produits et mesurés en comparant le LEP avec ce que le FCC_{ee} offrira est un facteur d'environ 500'000. En d'autres termes, le LEP devrait fonctionner 500'000 fois plus longtemps qu'il ne l'a fait dans les années 1990 pour obtenir des gains statistiques similaires, ce qui est clairement impossible à envisager. En outre, les dispositions des détecteurs de haute précision avec des capteurs à haute granularité, nécessitant une acquisition rapide des données et un traitement des données à grande échelle, permettront aux incertitudes systématiques d'être suffisamment faibles pour ne pas constituer un facteur limitant que l'énorme gain statistique offre. Il va sans dire que la conception, la construction, la mise en service et l'exploitation de détecteurs pour FCCee est un défi en soi qui, comme pour les détecteurs du LHC, nécessitera la formation de grandes collaborations expérimentales capables de relever les défis qui les attendent.

Initialement, FCC_{ee} pour la précision et pour les recherches

Les 5×10^{12} bosons Z que produira le FCC_{ee} lorsqu'il fonctionnera pendant une période initiale à la résonance du pic Z permettront non seulement de mesurer les paramètres cruciaux du Modèle Standard avec une grande précision, mais aussi de rechercher de la nouvelle physique. Les bosons Z se désintègrent dans environ 10 % des cas en leptons chargés, et dans environ 70 % des cas en paires de quarks, et dans environ 20 % des cas en neutrinos qui ne peuvent pas être identifiés et ne peuvent pas être mesurés par les détecteurs du FCC_{ee}. Ces désintégrations leptoniques offrent une fenêtre sans précédent pour sonder l'universalité de la saveur des leptons et son éventuelle violation. La violation de l'universalité de la saveur des leptons (LFUV) est aujourd'hui du plus haut intérêt. Belle-II au KEK et LHCb au LHC annoncent des signaux possibles, mais pas encore totalement confirmés, de LFUV, qui pourraient également impliquer l'existence d'un nouveau type de particules appelées leptoquarks. Établir l'existence de leptoquarks conduirait à un nouvel ensemble complet d'interactions entre les particules élémentaires, ce qui est déjà du plus haut intérêt scientifique, et offrirait en outre une nouvelle vision de l'histoire précoce de l'Univers. Lorsque les bosons Z du FCC_{ee} se désintègrent en paires de quarks b, on peut s'attendre à des échantillons statistiques élevés de mésons B renforcés, ce qui rend les désintégrations de mésons B, même très rares, accessibles à l'expérimentation, ce qui étend naturellement le programme de physique de LHCb. La forme de la résonance du boson Z révélera si le boson Z est la seule particule ayant une masse d'environ 91 GeV ou si de nouvelles particules insaisissables se cachent juste en dessous de la résonance dominante du pic Z. Il s'agit évidemment d'un scénario spéculatif, mais il montre que la nouvelle physique peut se cacher à des endroits qui n'ont pas nécessairement été pris en compte auparavant, mais qui deviennent d'un grand intérêt, une fois que la précision permet de regarder plus loin et plus profondément.

Le FCC_{ee} ne s'arrête pas à la résonance du pic Z, qui définit simplement sa phase d'échauffement pour établir ces mesures de précision sur lesquelles les mesures et les recherches ultérieures seront solidement ancrées. Le FCC_{ee} recueillera de nombreuses données à l'énergie de production associée au Higgs-Z, qui se situe à environ 240 GeV. À cette énergie, l'objectif fixé par la stratégie européenne d'une usine de Higgs est atteint. Environ 106 événements Z+H seront produits et mesurés, ce qui permettra de mesurer avec précision le boson de Higgs et ses canaux de désintégration de plusieurs façons mieux que ne pourra le faire le HL-LHC. Là encore, la connaissance de haute précision des paramètres du Modèle Standard permettra de rechercher les écarts par rapport aux prédictions du Modèle Standard et d'explorer ainsi une éventuelle physique au-delà du Modèle Standard.

En particulier, l'échantillon de bosons de Higgs presque sans bruit de fond permettra de tester une éventuelle sous-structure du boson de Higgs, ou l'existence de nouveaux canaux de désintégration du boson de Higgs, s'il est possible qu'il se couple directement ou indirectement à des particules de matière noire qui ne peuvent être vues autrement.

Le FCC_{ee} pourrait également être en mesure de produire directement des bosons de Higgs, sans bosons associés, en faisant précisément entrer en collision des électrons avec des positrons à l'énergie de masse de Higgs de 125,25 GeV. C'est plus facile à dire qu'à faire, car le boson de Higgs est une résonance très étroite et les collisions électron-positron doivent avoir lieu à l'énergie exacte de la résonance. Néanmoins, si cette expérience est couronnée de succès, elle permettra de mesurer directement la forme de la raie du boson de Higgs et en particulier sa largeur, révélant ainsi toute sous-structure éventuelle du boson de Higgs, le cas échéant.

Le FCC_{ee} est une machine ultra-polyvalente, capable de faire entrer en collision des électrons avec des positrons à des énergies égales ou supérieures au seuil de production pour

6 L'échelle de la physique électrofaible est définie par les masses des bosons faibles et c'est le boson Z qui permet de recueillir l'échantillon de données le plus grand et le plus propre pour mesurer précisément le secteur électrofaible du modèle standard.

générer des paires de bosons W chargés, et à des énergies encore plus élevées, des paires de quarks supérieurs. La masse du W est l'un des paramètres dont la précision est primordiale, car elle est étroitement liée à d'autres observables directs, en particulier la masse du quark supérieur et la masse du boson de Higgs. Si les valeurs mesurées des masses du boson W et du boson de Higgs, ainsi que de la masse du quark supérieur, s'avèrent être en contradiction les unes avec les autres, une physique au-delà du Modèle Standard est découverte et la valeur exacte de la divergence mesurée fixe l'échelle à laquelle la nouvelle physique se manifestera directement – probablement sous la forme de l'échelle à laquelle les nouvelles particules se manifesteront.

En fin de compte, FCC_{hh} pour des recherches de précision

FCC_{hh} fera entrer en collision des hadrons dans le même tunnel de 91 km de circonférence, après que FCC_{ee} aura terminé sa vie scientifique et aura été démantelé. Une fois construit, il définira la frontière des hautes énergies du 21e siècle. Équiper un tunnel de 91 km de long d'aimants dipolaires supraconducteurs, fonctionnant à des intensités de champ de 16 à 20 Tesla, voire plus, est ce qu'il faudra pour augmenter considérablement l'énergie de collision offerte aujourd'hui par le LHC. Avec une circonférence multipliée par plus de trois et une intensité de champ magnétique multipliée par deux, voire plus, par rapport au LHC, on peut envisager une énergie de collision six à huit fois supérieure à celle du LHC actuel. Un programme rigoureux de R&D sur les aimants est nécessaire pendant plus d'une ou plusieurs décennies pour développer ce type d'aimants qui non seulement offriront les performances tant attendues, mais devront également être abordables, construits en grand nombre et fonctionner de manière fiable. Des aimants supraconducteurs à haute température seront nécessaires pour maintenir l'infrastructure de refroidissement et les besoins en hélium à un niveau acceptable. Ces aimants supraconducteurs pourraient utiliser des ReBCO (oxydes de baryum et de cuivre à base de terres rares), qui constituent une famille de composés candidats capables de conduire de grands courants électriques avec une résistance nulle à des températures supérieures au point d'ébullition de l'azote liquide, à 77 K.

Il existe de bonnes raisons de penser que FCC_{hh} ne peut pas être construit comme le prochain accélérateur phare du CERN, succédant à HL-LHC. Cependant, la R&D sur les aimants doit être poussée de manière à ce que FCC_{hh} puisse être envisagé de façon réaliste une fois que FCC_{ee} aura atteint la fin de son exploitation. Bien sûr, cela pourrait être décevant pour ceux qui veulent voir FCC_{hh} opérationnel encore dans leur vie active et professionnelle. Cependant, FCC_{hh} bénéficiera grandement d'un programme de physique accompli au FCC_{ee}, lorsque les échelles pour la manifestation directe de nouvelles observables seront probablement connues.

Remarques finales

Les accélérateurs tels que le LHC ou un futur FCC dépendent d'un complexe d'accélérateurs fonctionnel constitué de plusieurs étages de pré-accélérateurs, dont la construction, l'exploitation et la maintenance nécessitent une infrastructure de soutien. L'énergie sera un problème et fournir suffisamment d'énergie pour faire fonctionner un complexe d'accélérateurs à grande échelle qui consommera facilement 1,5 TWh d'électricité par an (ou potentiellement plus) semble tout à fait impossible en période de crise énergétique. Cependant, l'échelle de temps du FCC pose le défi de nouvelles infrastructures énergétiques permettant de fournir cette quantité d'électricité qui ne sera pas d'origine fossile, sera disponible 24 heures sur 24 et sera modérément bon marché. Ce sont les physiciens et les ingénieurs d'aujourd'hui qui ouvrent la voie et fournissent les solutions qui seront probablement un mélange d'énergie renouvelable et d'énergie nucléaire. La crise énergétique actuelle doit être considérée comme un catalyseur permettant de s'affranchir des énergies fossiles plus rapidement qu'autrement.

Plus important encore que l'énergie, il est nécessaire de maintenir une communauté forte autour du CERN et au CERN, motivée pendant plusieurs décennies à consacrer sa vie professionnelle au succès d'une entreprise d'une telle envergure comme le FCC. Un transfert continu de l'expertise et de la vision aux jeunes générations est nécessaire, tout en donnant de la stabilité et de la liberté aux membres établis, le CERN n'aurait pas atteint ce qu'il a réalisé dans le passé. Garder l'esprit du CERN, avec sa communauté diverse et multinationale, avec son personnel et ses utilisateurs, qui, dans une interaction parfaite et mutuelle, peuvent aller toujours plus loin, est exactement ce dont nous avons besoin maintenant et dans les décennies à venir. FCC a le potentiel pour être le projet phare qui guidera le CERN tout au long de ce 21e siècle. Si, à côté de ce projet phare, des projets à plus petite échelle, mais non moins cruciaux, peuvent fleurir, où les gens peuvent échanger et où de nouvelles idées peuvent être sondées et exploitées, il sera possible de créer et de maintenir l'environnement qui rendra le CERN spécial, avec un programme diversifié et un projet phare à piloter.

CERN: Where fundamental research breeds Innovation

Jean-Pierre Revol - Physicist, Yonsei University, ALICE Collaboration

Original text in English

“Without fundamental research there is no innovation”

Uniting to fly in the face of tradition

CERN is a truly wonderful world, not only because of its extraordinary success in the exploration of the structure of matter and of the Universe, or because of its exceptional educational and training role and its important contributions to society through innovation, but because it may be the prototype of a world in which we would all like to live. CERN is a tolerant, multi-cultural human society, where people from many countries unite their efforts through the common interest of exploring the structure of matter. The driving force for this is simply curiosity and dedication; these universal values are enough to take us beyond political, cultural, and religious barriers.

This might be the most precious contribution of CERN and should be a source of inspiration for our political leaders, at a time when the unthinkable has happened: war again in Europe, with all its dramatic consequences. In response, CERN Council recently took the decision to terminate the cooperation agreements with Russian and Belarus institutes at their expiration dates in 2024. Even though one might understand the reasons for such a disastrous decision, it is clearly not in the tradition of CERN: we should remember that CERN made a special effort in promoting cooperation with USSR scientists during the Cold War, strongly supported the Pugwash movement, and continues today to make a special effort to promote scientific cooperation across the entire world, in particular with developing countries. To continue this tradition, we must think about what can be done to help our colleagues dearly impacted by this decision, some of whom we have worked with for over 30 years. If we don’t, we all – both CERN and society – will be poorer as a result of the collaborations and innovations that may never occur because of this decision.

How fundamental research leads in unexpected and innovative directions

One must realize that the spectacular scientific success of CERN – illustrated over the years by the discovery of weak neutral currents with the Gargamelle bubble chamber in 1973; the discovery of the W and Z bosons by the UA1 and UA2 collaborations at the proton–antiproton collider in 1983; and more recently, in 2012, the discovery of the Higgs boson by the ATLAS and CMS collaborations at the LHC – was made possible in great part thanks to the various collaborations that contributed to the continuous, incremental development of better detectors and other research tools and, of course, to the significant leaps forward that come from innovative ideas.

At first, it may seem that the above examples are only of interest to the researchers working on them; however, it is impossible to predict where such innovative ideas will lead and in what ways they will benefit both society and science. Fundamental research at CERN is no exception, for example:

- In the UA1 experiment that earned him the 1984 Nobel Prize (the first Nobel Prize for CERN, shared with Simon van der Meer), Carlo Rubbia invented the concept of the 4π detector and combined it with the largest wire chamber built at the time. This led to a detecting strategy that is now routinely used in the search for rare phenomena at colliders.
- It is the invention of the multi-wire proportional chamber for which Georges Charpak received the Nobel Prize in 1992 that led to extremely sensitive medical imaging techniques, allowing a much smaller radiation dose exposure, to the great benefit of the patient.
- It is also in this spirit that, in the late 1970s, David Townsend, Alan Jeavons, and collaborators developed the high-density avalanche chamber to contribute to Positron–Electron Tomography (PET) scanning in a collaboration between CERN and the University Hospital of Geneva (HUG).

Thus, with just a few examples, we see that CERN has a long history of important contributions to society. And, of course, most of the world knows what is perhaps the most spectacular example, one that the founding fathers could not have imagined in 1953: the World Wide Web (WWW). Invented in 1989 by Tim Berners-Lee in the Data Handling Division (DD), which a year later became the Computing & Networks Division (CN), the WWW was first mentioned at the CERN Council meeting in December 1991 by CERN DG of the time, Carlo Rubbia, with a slide illustrated by a colorful spider web.

What drives these innovations? Skills, talents, and the necessity to invent

But we should ask ourselves: why was the WWW not invented by IBM or any of the other computer companies, which had much more resources at their disposal than CERN? Simply because in fundamental research, scientists are constantly faced with new challenges, requiring innovative answers, which in many cases have other applications in society. Researchers happen to have the skills, talents, and the necessity to invent new solutions. Innovation is driven by fundamental research, and only by fundamental research. As Hendrik B. G. Casimir, a physicist who became research director at the Philips Research Laboratory, so beautifully put it[1]:

> *"I have heard statements that the role of academic research in innovation is slight. It is about the most blatant piece of nonsense it has been my fortune to stumble upon.*
>
> *Certainly, one might speculate idly whether transistors might have been discovered by people who had not been trained in, and had not contributed to, wave mechanics or the quantum theory of solids. It so happened that the inventors of transistors were versed in, and contributed to, the quantum theory of solids.*
>
> *One might ask whether basic circuits in computers might have been found by people who wanted to build computers. As it happens, they were discovered in the thirties by physicists dealing with the counting of nuclear particles, because they were interested in nuclear physics.*
>
> *One might ask whether there would be nuclear power because people wanted new power sources or whether the urge to have new power would have led to the discovery of the nucleus. Perhaps – only it didn't happen that way.*
>
> *One might ask whether an electronic industry could exist without the previous discovery of electrons by people like Thomson and H. A. Lorentz. Again, it didn't happen that way.*
>
> *One might ask even whether induction coils in motor cars might have been made by enterprises which wanted to make motor transport and whether then they would have stumbled on the laws of induction. But the laws of induction had been found by Faraday many decades before that.*
>
> *Or whether, in an urge to provide better communication, one might have found electromagnetic waves. They weren't found that way. They were found by Hertz, who emphasised the beauty of physics and who based his work on the theoretical considerations of Maxwell.*
>
> *I think there is hardly any example of twentieth century innovation which is not indebted in this way to basic scientific thought."*

1 Symposium on Technology and World Trade, 1966.

How today's needs are encouraging us to invent

The relationship between fundamental research and innovation is also illustrated by one spectacular and important development at CERN in the 1990s, for which there is renewed interest nowadays, triggered by increasing worries about global warming: the invention of the Energy Amplifier by Carlo Rubbia. Rubbia carried out an extensive R&D program in the '90s to demonstrate the feasibility of driving a new type of nuclear energy system with a proton accelerator, a so-called accelerator-driven system (ADS), with the main goal of destroying nuclear waste while producing carbon-free energy[2]. With his group, he performed two pioneering experiments at the CERN PS, FEAT[3] and TARC[4], which were followed by the design and construction of the neutron time-of-flight facility (n_TOF)[5], an ingenious neutron source with unique properties, fully in operation today, to acquire high-precision neutron cross-section data.

The idea of using a proton beam to control a nuclear subcritical core, as opposed to control bars to keep a core in a critical state, is a potentially game-changing innovation. It allows us to use the actinides, which constitute the long-lived component of nuclear waste, as a fuel in a fast neutron flux, thereby destroying these long-lived actinides while producing carbon-free energy. It also allows access to thorium as a new abundant source of carbon-free energy.

Joining forces to overcome the nuclear waste issue

In 2019, a survey[6] by BVA in France indicated that nuclear waste was becoming the main concern about nuclear energy: 56% of respondents cited it as their main worry, versus 52% for nuclear accidents. A 2021 BVA survey[7] confirmed the trend, with 59% concerned about nuclear waste compared to 52% for nuclear accidents. Last year, when asked why, given the dramatic need for carbon-free energy, the Geneva Republic was not considering nuclear energy as part of its energy mix, the head of the SIG simply responded that, as long as there is no acceptable solution for the management of nuclear waste, Geneva is not interested in nuclear energy.

It is the management of nuclear waste that motivated a few CERN colleagues, joined by several Swiss and French interested citizens eager to contribute to the development of new sources of sustainable energy, to create the international Thorium Energy Committee (iThEC[8]) in 2012. The iThEC is a non-profit association with the goal of promoting R&D in the field of thorium technologies, with a special interest in ADS to transmute nuclear waste. iThEC enjoys the support of Carlo Rubbia, who is the iThEC's honorary president. The current president is Jean-Christophe de Mestral, a Swiss citizen known for his book "L'Atome vert" published in 2011 by Editions Favre, Switzerland.

The first major project of iThEC was the organization of an international thorium conference, ThEC13, held in the CERN Globe of Science and Innovation in October 2013. The conference was attended by the main world actors in the field and proved that a real interest exists worldwide in thorium-related technologies. It also led to the publication of a book of proceedings that constitutes a reference on thorium technologies[9].

Encouraged by this first success, iThEC have decided to organize a new conference, IThEC23, in cooperation with CERN and with the IAEA, from 24 to 28 September 2023.

The participants will highlight the progress achieved in the last 10 years, focusing on the potential societal impact of innovative thorium technologies, and review the scientific and technical advances offered by thorium in alternative nuclear technologies for carbon-free energy production, as well as for recycling and transmutation of spent nuclear fuel.

Where has this got us?

iThEC members routinely contribute to workshops, seminars, conferences, and discussions on thorium, looking for ways of initiating concrete projects. In the past three years, their dream was fulfilled, as two start-ups were created to develop new nuclear technologies.

Transmutex was the first start-up founded. In 2019, Franklin Servan-Schreiber, son of the well-known French journalist and politician Jean-Jacques Servan-Schreiber, joined together with some members of iThEC to initiate this project. This was a surprise, in particular in France, as it is not commonplace in Europe for private companies to enter the nuclear energy business.

2 See, for instance: C. Rubbia et al., *Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier*, CERN/AT/95-44 (ET), **1995**; C. Rubbia, S. Buono, Y. Kadi, & J. A. Rubio, *Fast Neutron Incineration in the Energy Amplifier as Alternative to Geologic Storage: The Case of Spain*, CERN-LHC-97-001-EET, **1997**.

3 S. Andriamonge et al., Experimental determination of the energy generated in nuclear cascades by a high energy beam. *Phys. Lett. B*, **1995**, *348*, 697–709.

4 A. Abánades et al., Results from the TARC experiment: spallation neutron phenomenology in lead and neutron-driven nuclear transmutation by adiabatic resonance crossing. *Nuc. Inst. Meth. Phys. Res. Sect. A*, **2002**, *478*(3), 577–730.

5 C. Rubbia et al., *A high resolution spallation driven facility at the CERN-PS to measure neutron cross sections in the interval from 1 eV to 250 MeV*, CERN-LHC-98-002-EET, **1998**.

6 Poll carried out between 4 April 2019 and 27 April 2019.

7 Poll carried out between 3 May 2021 and 6 May 2021.

8 http://ithec.org/

9 *Thorium Energy for the World*. Proceedings of the ThEC13 Conference, CERN Globe of Science and Innovation, Geneva, Switzerland, October 27–31, 2013. Springer.

In 2021, a second start-up, Newcleo, was created in Italy by a former CERN staff member, Stefano Buono. Buono has plenty of experience in this area: he is the former CEO of Advanced Accelerator Applications (AAA), a company with headquarters in Saint-Genis Pouilly, which he sold to Novartis for close to $4 billion.

Since then, other start-ups have been born in Europe, in particular in the field of molten salt reactors, for instance Naarea[10] in France, and Thorizon[11] in the Netherlands.

Building upon existing technologies to ensure success

Transmutex and Newcleo follow different strategies. Transmutex is developing an ADS to transmute nuclear waste and produce energy. Newcleo is developing a small critical lead-cooled reactor (SMR), running on MOX fuel, initially for energy production, as a step toward ADS.

Both projects use lead as a coolant, as did Carlo Rubbia in his Energy Amplifier, to obtain fast neutrons in the core, with the crucial advantage of favoring the fission process, and hence the destruction of the long-lived transuranic elements that constitute nuclear waste.

The challenges for both projects are many and will require a lot of effort and dedication, but they will succeed as they are based on the extrapolation of existing techniques:

- A cyclotron delivering a 1.4 MW proton beam[12] is currently in operation at the Paul Scherrer Institute, in Switzerland; The European Spallation Source in Lund, Sweden, will deliver a 5 MW proton beam with a linear accelerator. The ADS accelerator only needs slightly more powerful beam, but it must meet more stringent criteria, in terms of reliability, than research accelerators.
- The ADS spallation target, which is the interface between the accelerator and the subcritical core, will have to resist long enough and be exchangeable. MEGAPIE[13], a 1 MW spallation target, was operated successfully for a few months at the Paul Scherrer Institute.
- The core, whether subcritical or critical, must resist lead corrosion in the presence of neutron irradiation. Lead-cooled critical reactors are being developed in Russia and Rosatom has started building the Generation 4 BREST-OD-300 reactor[14].
- Pyro-reprocessing of spent nuclear fuel was developed at Argonne National Laboratory in the United States for the uranium fuel cycle, and will be used in the development of the thorium fuel cycle.

These are extremely stimulating projects, especially for young scientists, when compared to dismantling old nuclear power plants, and it is comforting to see that both Transmutex and Newcleo have no problem recruiting young staff. These projects will also certainly lead to other innovations; the production of new radioisotopes for medicine being the most obvious one at the moment.

Having the courage not to limit achievement

One should recognize the courage of investors who take the risk of investing in projects that will take 10 to 20 years to be realized. They are doing what politicians did not have the courage to do, at a time when support for nuclear energy would not help win elections. In the many years since Carlo Rubbia launched this innovative line of research, it has not been possible to find significant institutional funding for such projects. Transmutex and Newcleo are doing today what Carlo Rubbia proposed to do at the end of the 1990s. Imagine the progress we would have witnessed already had his proposal of a demonstrator been approved 20 years ago!

CERN is an extraordinary asset for Europe. It contributes not only through the excellence of its research programs, but also through its contribution to the European economy by the training of young staff, students, engineers, technicians, and physics teachers, who typically spend a few years at CERN and then carry with them the innovative skills and work spirit acquired at CERN. More importantly, over the years, CERN has developed a unique character of universality, demonstrating that people of the world, despite their diverse origins and cultures, can work peacefully and constructively together, with no limits to their achievement, when they share a common motivation. This should be clearly explained to every politician in the world, to ensure the future of CERN, but also to progress toward a peaceful global society.

10 https://www.naarea.fr/

11 https://thorizon.com/

12 High Intensity Proton Accelerator (HIPA): https://www.psi.ch/en/impact/overview

13 The MEGAPIE-TEST project: Supporting research and lessons learned in first-of-a-kind spallation target technology; https://www.dora.lib4ri.ch/psi/islandora/object/psi%3A18886

14 https://rosatom.ru/en/press-centre/news/rosatom-starts-construction-of-unique-power-unit-with-brest-od-300-fast-neutron-reactor/

Le CERN : la recherche fondamentale source d'innovation

Jean-Pierre Revol - Physicien, Yonsei University, ALICE Collaboration

Version française

S'unir pour innover

"Sans recherche fondamentale, il n'y a pas d'innovation"

Le CERN est un monde véritablement merveilleux, non seulement en raison de son extraordinaire succès dans l'exploration de la structure de la matière et de l'Univers, ou en raison de son rôle exceptionnel en matière d'éducation et de formation et de ses importantes contributions à la société par le biais de l'innovation, mais aussi parce qu'il pourrait être le prototype d'un monde dans lequel nous aimerions tous vivre. Le CERN est une société humaine tolérante et multiculturelle, où des personnes de nombreux pays unissent leurs efforts dans l'intérêt commun d'explorer la structure de la matière. Le moteur de cette démarche est tout simplement la curiosité et le dévouement ; ces valeurs universelles suffisent à nous faire dépasser les barrières politiques, culturelles et religieuses.

C'est peut-être la contribution la plus précieuse du CERN et elle devrait être une source d'inspiration pour nos dirigeants politiques, à l'heure où l'impensable s'est produit : la guerre à nouveau en Europe, avec toutes ses conséquences dramatiques. En réponse, le Conseil du CERN a récemment pris la décision de mettre fin aux accords de coopération avec les instituts russes et biélorusses à leur date d'expiration en 2024. Même si l'on peut entendre les raisons d'une décision aussi désastreuse, il est clair qu'elle ne s'inscrit pas dans la tradition du CERN : rappelons que le CERN a fait un effort particulier pour promouvoir la coopération avec les scientifiques de l'URSS pendant la guerre froide, qu'il a fortement soutenu le mouvement Pugwash et qu'il continue aujourd'hui à faire un effort particulier pour promouvoir la coopération scientifique dans le monde entier, en particulier avec les pays en développement. Pour poursuivre cette tradition, nous devons réfléchir à ce qui peut être fait pour aider nos collègues durement touchés par cette décision, avec lesquels nous travaillons parfois depuis plus de 30 ans. Si nous ne le faisons pas, nous nous appauvrirons tous – le CERN et la société – en raison des collaborations et des innovations qui ne verront peut-être jamais le jour à cause de cette décision.

Comment la recherche fondamentale mène dans des directions inattendues et innovantes

Il faut savoir que le succès scientifique spectaculaire du CERN – illustré au fil des ans par la découverte des courants neutres de l'interaction faible avec la chambre à bulles appelée Gargamelle en 1973 ; la découverte des bosons W et Z par les collaborations UA1 et UA2 au collisionneur proton-antiproton en 1983 ; et plus récemment, en 2012, la découverte du boson de Higgs par les collaborations ATLAS et CMS au LHC – a été rendue possible en grande partie grâce aux diverses collaborations qui ont contribué au développement continu et progressif de meilleurs détecteurs et autres outils de recherche et, bien sûr, grâce aux bonds en avant significatifs qui résultent d'idées novatrices.

Au premier abord, il peut sembler que les exemples ci-dessus n'intéressent que les chercheurs qui y travaillent ; cependant, il est impossible de prévoir où mèneront ces idées novatrices et de quelle manière elles profiteront à la fois à la société et à la science. La recherche fondamentale au CERN, par exemple, ne fait pas exception :

- Dans l'expérience UA1 qui lui a valu le prix Nobel 1984 (le premier prix Nobel pour le CERN, partagé avec Simon van der Meer), Carlo Rubbia a inventé le concept du détecteur 4π et l'a combiné avec la plus grande chambre à fils construite à l'époque. Cela a conduit à une stratégie de détection qui est maintenant couramment utilisée dans la recherche de phénomènes rares dans les collisionneurs.
- C'est l'invention de la chambre proportionnelle multifils, pour laquelle Georges Charpak a reçu le prix Nobel en 1992, qui a conduit à des techniques d'imagerie médicale extrêmement sensibles, permettant une exposition à une dose de rayonnement beaucoup plus faible, pour le plus grand bénéfice du patient.
- C'est également dans cet esprit que, à la fin des années 1970, David Townsend, Alan Jeavons et leurs collaborateurs ont développé la chambre à avalanche à haute densité pour contribuer à la tomographie par émission de positons (TEP) dans le cadre d'une collaboration entre le CERN et les Hôpitaux universitaires de Genève (HUG).

Ainsi, avec seulement quelques exemples, nous voyons que le CERN a une longue histoire de contributions importantes à la société. Et, bien sûr, la plupart des gens dans le monde connaissent l'exemple peut-être le plus spectaculaire, un exemple que les pères fondateurs n'auraient pas pu imaginer en 1953 : le World Wide Web (WWW). Inventé en 1989 par Tim Berners-Lee au sein de la Division Traitement des données (DD), devenue un an plus tard la Division Informatique et Réseaux (CN), le WWW a été mentionné pour la première fois lors de la réunion du Conseil du CERN en décembre 1991 par le DG du CERN de l'époque, Carlo Rubbia, avec une diapositive illustrant une toile d'araignée colorée.

Quels sont les moteurs de l'innovation ? Les compétences, les talents, et la nécessité d'inventer

Pourquoi le Word Wide Web n'a-t-il pas été inventé par IBM ou d'autres sociétés informatiques, qui disposaient de bien plus de ressources que le CERN ? Tout simplement parce que dans la recherche fondamentale, les scientifiques sont constamment confrontés à de nouveaux défis, nécessitant des réponses innovantes, qui dans de nombreux cas ont d'autres applications dans la société. Il se trouve que les chercheurs ont les compétences, les talents et la nécessité d'inventer de nouvelles solutions. L'innovation est stimulée par la recherche fondamentale, et uniquement par elle. Comme l'a si bien dit Hendrik B. G. Casimir, un physicien devenu directeur de recherche au laboratoire de recherche Philips[1] :

« *J'ai entendu des déclarations selon lesquelles le rôle de la recherche universitaire dans l'innovation est minime. C'est à peu près l'absurdité la plus flagrante sur laquelle j'ai eu la chance de tomber.*

Certes, on peut se demander si les transistors auraient pu être découverts par des personnes qui n'avaient pas été formées à la mécanique ondulatoire ou à la théorie quantique des solides, et qui n'y avaient pas contribué. Il se trouve que les inventeurs des transistors étaient versés dans la théorie quantique des solides et y ont contribué.

On pourrait se demander si les circuits de base des ordinateurs n'auraient pas été découverts par des personnes qui voulaient construire des ordinateurs. Il se trouve qu'ils ont été découverts dans les années trente par des physiciens s'occupant du comptage des particules nucléaires, parce qu'ils s'intéressaient à la physique nucléaire.

On pourrait se demander si l'énergie nucléaire serait apparue parce que les gens voulaient de nouvelles sources d'énergie ou si l'envie d'avoir une nouvelle énergie aurait conduit à la découverte du noyau. Peut-être, mais cela ne s'est pas passé ainsi.

On pourrait se demander si une industrie électronique pourrait exister sans la découverte préalable des électrons par des personnes comme Thomson et H. A. Lorentz. Là encore, les choses ne se sont pas passées ainsi.

On pourrait même se demander si les bobines d'induction des automobiles n'auraient pas été fabriquées par des entreprises qui voulaient faire du transport automobile et si elles n'auraient pas découvert par hasard les lois de l'induction. Mais les lois de l'induction avaient été découvertes par Faraday plusieurs décennies auparavant.

Ou si, dans le but de fournir une meilleure communication, on aurait pu trouver les ondes électromagnétiques. Elles n'ont pas été découvertes de cette façon. Elles ont été découvertes par Hertz, qui a mis l'accent sur la beauté de la physique et qui a basé son travail sur les considérations théoriques de Maxwell.

Je pense qu'il n'y a guère d'exemple d'innovation du vingtième siècle qui ne soit pas redevable de cette manière à la pensée scientifique fondamentale. »

1 Symposium sur la technologie et le commerce mondial, 1966.

Comment les besoins d'aujourd'hui nous incitent à inventer

La relation entre la recherche fondamentale et l'innovation est également illustrée par un développement spectaculaire et important au CERN dans les années 90, pour lequel il y a un regain d'intérêt aujourd'hui, déclenché par les inquiétudes croissantes concernant le réchauffement climatique : l'invention de l'amplificateur d'énergie par Carlo Rubbia. Rubbia a mené un vaste programme de R&D dans les années 90 pour démontrer la faisabilité d'un nouveau type de système d'énergie nucléaire avec un accélérateur de protons, appelé système piloté par accélérateur (ADS), dans le but principal de détruire les déchets nucléaires tout en produisant une énergie sans carbone[2]. Avec son groupe, il a réalisé deux expériences pionnières au PS du CERN, FEAT[3] et TARC[4], qui ont été suivies par la conception et la construction de l'installation de temps de vol des neutrons (n_TOF)[5], une source de neutrons ingénieuse aux propriétés uniques, entièrement opérationnelle aujourd'hui, pour acquérir des données de haute précision sur la section efficaces des neutrons.

L'idée d'utiliser un faisceau de protons pour contrôler un cœur nucléaire sous-critique, par opposition aux barres de contrôle pour maintenir un cœur dans un état critique, est une innovation qui pourrait changer la donne. Elle nous permet d'utiliser les actinides, qui constituent la composante à longue durée de vie des déchets nucléaires, comme combustible dans un flux de neutrons rapides, détruisant ainsi ces actinides à vie longue tout en produisant une énergie sans carbone. Elle permet également d'accéder au thorium comme nouvelle source abondante d'énergie sans carbone.

Unir ses forces pour traiter la question des déchets nucléaires

En 2019, une enquête[6] de BVA en France indiquait que les déchets nucléaires devenaient la principale préoccupation concernant l'énergie nucléaire : 56 % des personnes interrogées les citaient comme leur principale inquiétude, contre 52 % pour les accidents nucléaires. Une enquête BVA de 2021[7] a confirmé cette tendance, avec 59 % de personnes préoccupées par les déchets nucléaires, contre 52 % pour les accidents nucléaires. L'année dernière, lorsqu'on lui a demandé pourquoi, compte tenu du besoin dramatique d'énergie sans carbone, la République de Genève n'envisageait pas l'énergie nucléaire dans son mix énergétique, le chef des SIG a simplement répondu que, tant qu'il n'y a pas de solution acceptable pour la gestion des déchets nucléaires, Genève n'est pas intéressée par l'énergie nucléaire.

C'est la gestion des déchets nucléaires qui a motivé quelques collègues du CERN, rejoints par plusieurs citoyens suisses et français préoccupés par les problème énergétiques et désireux de contribuer au développement de nouvelles sources d'énergie durable, à créer le Comité international pour l'énergie du thorium (iThEC[8]) en 2012. L'iThEC est une association à but non lucratif dont l'objectif est de promouvoir la R&D dans le domaine des technologies du thorium, avec un intérêt particulier pour les ADS pour transmuter les déchets nucléaires. L'iThEC bénéficie du soutien de Carlo Rubbia, qui en est le Président d'honneur. Le Président actuel étant Jean-Christophe de Mestral, un citoyen suisse connu pour son livre « L'Atome vert » publié en 2011 aux Editions Favre, en Suisse.

Le premier grand projet d'iThEC a été l'organisation d'une conférence internationale sur le thorium, ThEC13, qui s'est tenue dans le Globe de la science et de l'innovation du CERN en octobre 2013. La conférence a réuni les principaux acteurs mondiaux du domaine et a prouvé qu'un réel intérêt existe dans le monde entier pour les technologies liées au thorium. Elle a également donné lieu à la publication des comptes-rendus qui constitue une référence sur les technologies du thorium[9].

Encouragé par ce premier succès, iThEC a décidé d'organiser une nouvelle conférence, IThEC23, en coopération avec le CERN et l'AIEA, du 24 au 28 septembre 2023.

Les participants souligneront les progrès réalisés au cours des dix dernières années, en se concentrant sur l'impact sociétal potentiel des technologies innovantes du thorium, et passeront en revue les avancées scientifiques et techniques offertes par le thorium dans les technologies nucléaires alternatives pour la production d'énergie sans carbone, ainsi que pour le recyclage et la transmutation du combustible nucléaire usé.

2 Voir, par exemple C. Rubbia et autres, *Conceptual Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier*, CERN/AT/95-44 (ET), **1995** ; C. Rubbia, S. Buono, Y. Kadi, & J. A. Rubio, *Fast Neutron Incineration in the Energy Amplifier as Alternative to Geologic Storage : The Case of Spain*, CERN-LHC-97-001-EET, **1997** à neutrons rapides de haute puissance).

3 S. Andriamonge et al. détermination expérimentale de l'énergie générée dans les cascades nucléaires par un faisceau de haute énergie. Phys. Lett. B, **1995**, 348, 697-709.

4 A. Abánades et al, Results from the TARC experiment : spallation neutron phenomenology in lead and neutron-driven nuclear transmutation by adiabatic resonance crossing. *Nuc. Inst. Meth. Phys. Res. Sect. A*, **2002**, 478(3), 577-730.

5 C. Rubbia et al, *A high resolution spallation driven facility at the CERN-PS to measure neutron cross sections in the interval from 1 eV to 250 MeV*, CERN-LHC-98-002-EET, **1998**.

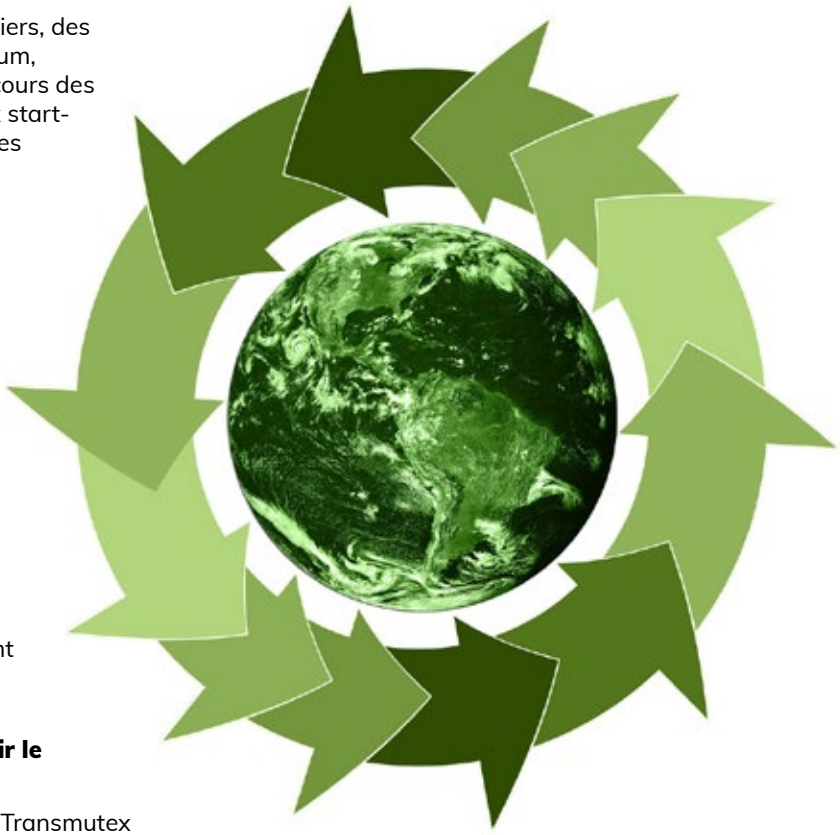
6 Sondage réalisé entre le 4 avril 2019 et le 27 avril 2019.

7 Sondage réalisé entre le 3 et le 6 mai 2021.

8 http://ithec.org/

9 *L'énergie du thorium pour le monde.* Actes de la conférence ThEC13, Globe de la science et de l'innovation du CERN, Genève, Suisse, 27-31 octobre 2013. Springer.

Où cela nous a-t-il menés ?



Les membres d'iThEC contribuent régulièrement à des ateliers, des séminaires, des conférences et des discussions sur le thorium, cherchant des moyens de lancer des projets concrets. Au cours des trois dernières années, leur rêve s'est réalisé, puisque deux start-up ont été créées pour développer de nouvelles technologies nucléaires.

Transmutex a été la première start-up fondée. En 2019, Franklin Servan-Schreiber, fils du célèbre journaliste et homme politique français Jean-Jacques Servan-Schreiber, s'est associé à certains membres d'iThEC pour lancer ce projet. Ce fut une surprise, notamment en France, car il n'est pas courant en Europe que des entreprises privées se lancent dans le domaine nucléaire.

En 2021, une deuxième start-up, Newcleo, a été créée en Italie par un ancien membre du CERN, Stefano Buono. Buono a beaucoup d'expérience dans ce domaine : il est l'ancien PDG d'Advanced Accelerator Applications (AAA), une entreprise dont le siège est à Saint-Genis Pouilly, qu'il a vendue à Novartis pour près de 4 milliards de dollars.

Depuis, d'autres start-ups sont nées en Europe, notamment dans le domaine des réacteurs à sels fondus, par exemple Naarea[10] en France, et Thorizon[11] aux Pays-Bas.

S'appuyer sur les technologies existantes pour garantir le succès

Transmutex et Newcleo suivent des stratégies différentes. Transmutex développe un ADS pour transmuter les déchets nucléaires et produire de l'énergie. Newcleo développe un petit réacteur critique refroidi au plomb (du type SMR de l'anglais Small Modular Reactor), fonctionnant avec du combustible MOX, initialement pour la production d'énergie, comme une étape vers l'ADS.

Les deux projets utilisent le plomb comme réfrigérant, comme l'a fait Carlo Rubbia dans son Amplificateur d'énergie, pour obtenir des neutrons rapides dans le cœur, ce qui présente l'avantage crucial de favoriser le processus de fission, et donc la destruction des éléments transuraniens à longue durée de vie qui constituent la partie problématique des déchets nucléaires.

Les défis à relever pour ces deux projets sont nombreux et nécessiteront beaucoup d'efforts et de dévouement, mais ils seront couronnés de succès car ils sont basés sur l'extrapolation de techniques existantes :

- Un cyclotron délivrant un faisceau de protons de 1,4 MW[12] est actuellement en service à l'Institut Paul Scherrer, en Suisse ; la Source européenne de spallation à Lund, en Suède, fournira un faisceau de protons de 5 MW avec un accélérateur linéaire. L'accélérateur ADS nécessite un faisceau à peine plus puissant, mais il devra répondre à des critères plus stricts, en termes de fiabilité, que les accélérateurs de recherche.
- La cible de spallation de l'ADS, qui constitue l'interface entre l'accélérateur et le noyau sous-critique, devra résister suffisamment longtemps et être interchangeable. MEGAPIE[13], une cible de spallation de 1 MW, a été déjà exploitée avec succès pendant quelques mois à l'Institut Paul Scherrer.
- Le cœur, qu'il soit sous-critique ou critique, doit résister à la corrosion du plomb en présence d'irradiation neutronique. Des réacteurs critiques refroidis au plomb sont en cours de développement en Russie et Rosatom a commencé à construire le réacteur de génération 4 BREST-OD-300[14].
- Le retraitement pyro-électrique du combustible nucléaire usé a été mis au point au laboratoire national d'Argonne, aux États-Unis, pour le cycle du combustible à l'uranium, et sera utilisé pour le développement du cycle du combustible au thorium.

Ce sont des projets extrêmement stimulants pour de jeunes scientifiques, surtout si on les compare au démantèlement des vieilles centrales nucléaires, et il est réconfortant de constater qu'à la fois Transmutex et Newcleo n'ont aucun problème à recruter du personnel jeune. Ces projets conduiront certainement à d'autres innovations, la production de nouveaux radio-isotopes pour la médecine étant la plus évidente à l'heure actuelle.

10 https://www.naarea.fr/

11 https://thorizon.com/

12 High Intensity Proton Accelerator (HIPA): https://www.psi.ch/en/impact/overview

13 Le projet MEGAPIE-TEST : Soutenir la recherche et les enseignements tirés de la technologie des cibles de spallation, première du genre ; https://www.dora.lib4ri.ch/psi/islandora/object/psi%3A18886

14 https://rosatom.ru/en/press-centre/news/rosatom-starts-construction-of-unique-power-unit-with-brest-od-300-fast-neutron-reactor/

Avoir le courage de miser sur le long terme

Il faut reconnaître le courage des investisseurs qui prennent le risque d'investir dans des projets dont la réalisation prendra 10 à 20 ans. Ils font ce que les hommes politiques n'ont pas eu le courage de faire, à une époque où le soutien à l'énergie nucléaire n'aidait pas à gagner les élections. Depuis que Carlo Rubbia a lancé cette ligne de recherche innovante, il n'a pas été possible de trouver un financement institutionnel significatif pour de tels projets. Transmutex et Newcleo font aujourd'hui ce que Carlo Rubbia proposait de faire à la fin des années 1990. Imaginez les progrès dont nous aurions déjà été témoins si sa proposition de démonstrateur avait été approuvée il y a 20 ans !

Le CERN est un atout extraordinaire pour l'Europe. Il contribue non seulement à l'excellence de ses programmes de recherche, mais aussi à l'économie européenne par la formation de jeunes membres du personnel, étudiants, ingénieurs, techniciens et professeurs de physique, qui passent généralement quelques années au CERN et emportent ensuite avec eux les compétences innovantes et l'esprit de travail acquis au CERN. Plus important encore, au fil des ans, le CERN a développé un caractère unique d'universalité, démontrant que les gens du monde entier, malgré leurs origines et cultures diverses, peuvent travailler ensemble de manière pacifique et constructive, sans aucune limite à leurs réalisations, lorsqu'ils partagent une motivation commune. Ceci devrait être clairement expliqué à chaque politicien du monde, pour assurer l'avenir du CERN, mais aussi pour progresser vers une société mondiale plus pacifique.

A big future for Accelerators at CERN

Thibaut Lefevre - Beam instrumentation group leader

English version

“Each new generation that starts out makes the Organization grow and creates the tools, the conditions that will allow the next generations to ensure our future successes.”

CERN has played, and still plays, an important role in the development of particle accelerators and the technologies that are needed to operate them. For a physicist, an engineer or a technician in applied science, CERN is a unique environment, extraordinary in many ways. First, CERN’s accelerators complex is as diverse as the organization’s scientific program. Almost every kind of particle is produced and used: electrons, protons and antiprotons, heavy ions and radioactive ions, neutrons, etc. The beams can be continuous or come in bunches, several seconds long or shorter than a picosecond (10-12s). We work with a range of beam energies that covers more than 9 orders of magnitude, from a few kiloelectronvolts (103 eV) to teraelectronvolts (1012 eV). Working for CERN’s accelerators is also a subtle mix, combining the innovation and creativity necessary for any research activity with the reliability and reproducibility required for the operation of a complex yet immense scientific facility. These two aspects of our work can sometimes seem contradictory. Developing state-of-the-art technologies requires the implementation of a research program that must be as ambitious as possible. It is usually impossible to predict how much time and effort will be needed to achieve the desired goal, how many prototypes will have to be tested before getting a version that works properly. Trying, failing, trying again, improving further... This process is part of our daily life. Nothing wrong with making mistakes, we learn step by step. On the other hand, operating a 24/7 accelerators complex of hundreds of thousands of devices that spans over tens of kilometers of beamlines requires stability and robustness. The wrong technology choice can be problematic and have a significant impact on the overall performance of the complex and the organization. CERN’s successes lie in our ability to develop and select from among the most advanced technologies those that are also the most reliable.

When I arrived at CERN in January 2001 as a fellow, the Large Electron Positron Collider (LEP) had just been shut down. CERN was entering a new phase of its evolution with the construction of the Large Hadron Collider (LHC). At that time, the future of CERN and of high energy physics was focussing on the study of an electron-positron linear collider, i.e. the Compact Linear Collider (CLIC). After the discovery of the Higgs Boson in 2012 and the non-discovery of another particle to date, the situation has evolved. Linear or circular, electrons, hadrons or muons, the possible futures have multiplied. Today, these different studies are flourishing and our efforts are currently focused on the Future Circular Collider (FCC).

Whatever choice will be made for the future, the needs of physics require increased performance. Producing higher energy particles requires larger and larger facilities. Increasing the collision rate requires higher beam intensities. The number and level of complexity and performance of accelerator’s equipment are inexorably increasing. The technical and operational challenges, the scientific and technological challenges are matched only by our motivation to overcome them. One example of technological development that I would like to mention concerns high-power radio frequency radiation sources (i.e. Klystrons) that are used to accelerate particle beams. At CERN, the optimization of Klystron’s efficiency was initiated years ago to minimize the energy consumption of CLIC. This technology is proposed today in the framework of the FCC, which would use power sources with an energy efficiency close to 80%. This is just one example of how long it takes to develop a new technology, an example that also demonstrates the synergies that exist between the different studies of large colliders at CERN. It is also an example that, in the current context of energy crisis, shows how CERN is concerned about its total energy consumption and energy efficiency.

Although some technologies evolve rapidly, CERN is an organization that lives in a long, and increasingly long, time frame. Some accelerators have been in operation for nearly 60 years and will remain so for many years to come. Only a fraction of the studies that are carried out today will one day materialize into a new scientific facility that will be operated until Physic tells us to stop and imagine a continuation. Today, a complete cycle is counted in decades, a whole career on the scale of an individual. It does not matter ! CERN’s

successes, of which we are so proud, lie in the quality of the work and in the motivation of its staff over time. Innovation after innovation, our collective expertise grows. Through determination and perseverance, we are more efficient, more effective and better organized. CERN is a bubbling ecosystem where all generations mix. Young, not so young, all are at work: the experience and benevolence of some mixed with the enthusiasm and energy of others. Throughout its history, the organization has been able to attract young, motivated, modest and great people. Each new generation that starts out makes the organization grow and creates the tools, the conditions that will allow the next generations to ensure our future successes. Maintaining this attractiveness, keeping the flame alive in the long term, is essential, paramount to guarantee our future.

Seventy years ago, CERN did not yet exist, except in the minds of a handful of visionary scientists, who had the ambition to create a center of scientific excellence capable of pushing back the limits of fundamental knowledge of the Universe and matter. In a Europe weakened by war, the creation of CERN was also intended to maintain a scientific elite in Europe and to promote the values of respect, mutual aid and collaboration that are invaluable to the future of our peoples. Today, the situation has changed considerably, but the initial motivations remain. There is still more than 95% of the Universe unknown, the performance of particle accelerators is constantly increasing, and our societies have evolved towards a growing individualism that reminds us every day that it is crucial to defend and promote these common values. CERN will soon be 70 years old, it is a huge success, and its existence remains more necessary than ever.

Un avenir en grand pour les Accélérateurs au CERN

Thibaut Lefevre - Chef du groupe d'instrumentation

Texte original en français

Le CERN a joué, et joue toujours aujourd'hui, un rôle important dans le développement des accélérateurs de particules et des technologies qui sont nécessaires à leurs fonctionnements. Pour un(e) physicien(ne), un(e) ingénieur(e), un(e) technicien(ne) en sciences appliquées, le CERN est un environnement unique, extraordinaire à bien des regards. Tout d'abord, le complexe d'accélérateurs du CERN est d'une grande diversité, à l'image du programme scientifique de l'Organisation. On produit et utilise presque tous les genres de particules : électrons, protons et antiprotons, ions lourds et ions radioactifs, neutrons... Les faisceaux peuvent être continus ou sous forme de paquets, longs de plusieurs secondes ou plus courts qu'une picoseconde (10-12s). On travaille avec une gamme d'énergie de faisceau qui couvre plus de 9 ordres de grandeur, allant de quelques kilo-électronvolts (103 eV) ou Tera-électronvolts (1012 eV). Travailler pour les accélérateurs du CERN est aussi un mélange subtil, alliant l'innovation et la créativité, nécessaire à toute activité de recherche, à la fiabilité et la reproductibilité indispensable à l'opération d'une installation scientifique complexe et immense à la fois. Ces deux aspects de notre travail peuvent sembler parfois contradictoires. Développer des technologies de pointe nécessitent la mise en œuvre d'un programme de recherche qui doit être le plus ambitieux possible. Il est généralement impossible de prédire combien de temps et d'effort seront nécessaires pour atteindre le but recherché, combien de prototypes devront être testés avant d'obtenir une version qui fonctionne correctement. Essayer, échouer, recommencer, améliorer encore ce processus fait partie de notre quotidien. Rien de mal à se tromper, on apprend pas à pas. D'un autre côté, opérer 24/7 un complexe d'accélérateurs composé de centaines de milliers d'équipements qui s'étale sur des dizaines de kilomètres de lignes de faisceaux, requiert stabilité et robustesse. Un mauvais choix technologique peut s'avérer problématique et avoir un impact non négligeable sur les performances globales du complexe et de l'organisation. Les succès du CERN résident dans notre capacité à développer et sélectionner parmi les technologies les plus poussées, celles qui seront aussi les plus fiables.

"Chaque nouvelle génération qui démarre, fait évoluer l'Organisation et crée les outils, les conditions qui permettront aux prochaines générations d'assurer nos futurs succès"

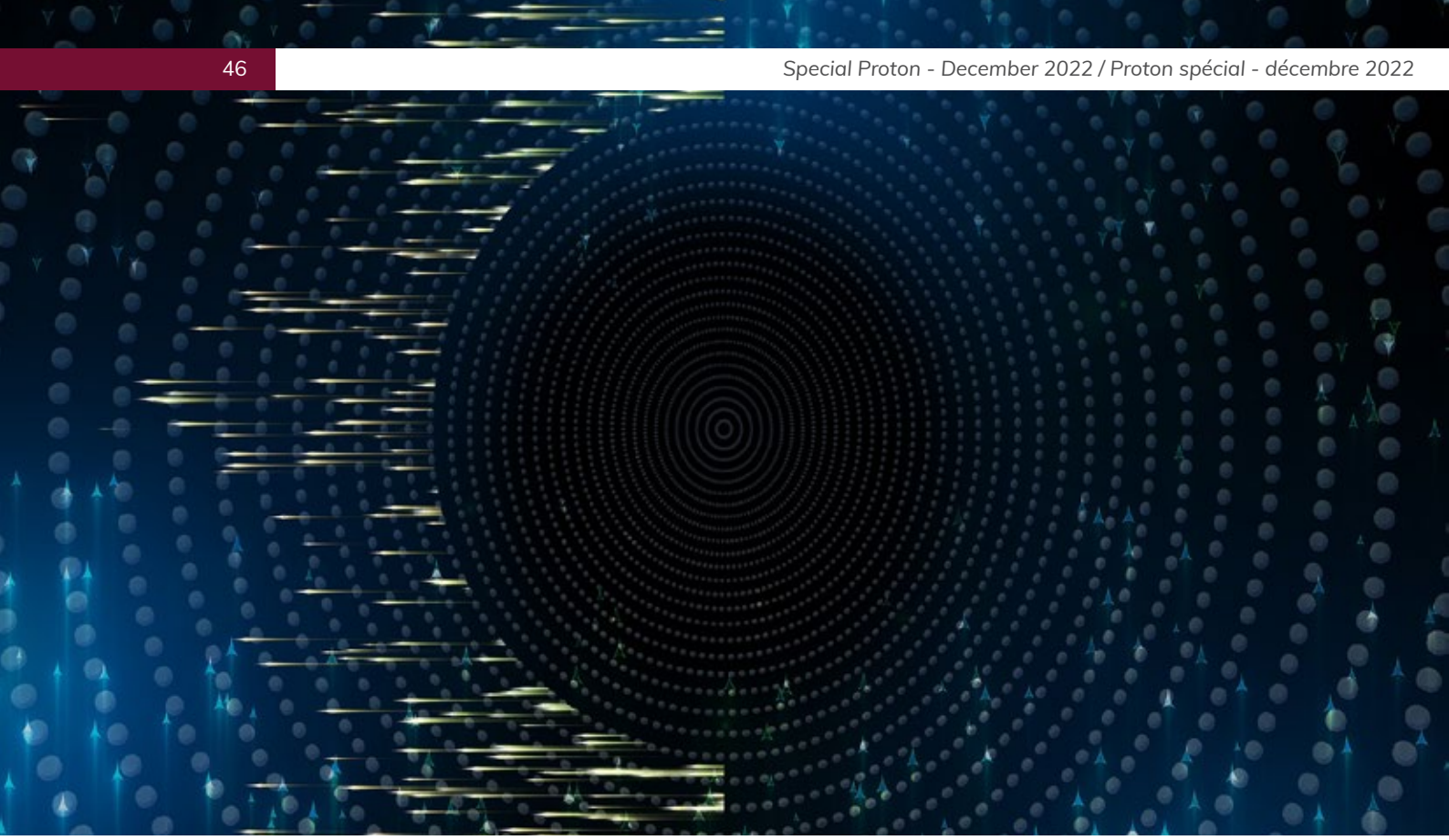
Quand je suis arrivé au CERN en janvier 2001 en tant que boursier, le grand collisionneur d'électrons et de positrons (i.e LEP) venaient de s'éteindre. Le CERN entamait une nouvelle phase de son évolution avec la construction du grand collisionneur de Hadron (LHC). A cette époque, le futur du CERN et de la physique des hautes énergies se concentrait sur l'étude d'un collisionneur linéaire d'électrons et de positrons, i.e le Collisionneur Linéaire Compact (CLIC). Après la découverte du Boson de Higgs en 2012 et la non-découverte d'autre particule à ce jour, la situation a évolué. Linéaire ou circulaire, électrons, hadrons ou muons, les futurs possibles se sont démultipliés. Aujourd'hui ces différentes études fleurissent et nos efforts se concentrent actuellement autour de celle du Futur Collisionneur Circulaire (FCC).

Quel que soit le choix qui sera fait pour le futur, les besoins de la physique exigent des performances accrues. Produire des particules de plus haute énergie nécessite des installations de plus en plus grandes. Augmenter le taux de collision requiert des intensités de faisceau plus élevées. Le nombre mais aussi le niveau de complexité et de performance des équipements d'un accélérateur augmente inexorablement. Les challenges techniques et opérationnels, les défis scientifiques et technologiques n'ont d'égale que notre motivation à les surmonter. Un exemple de développement technologique que je veux mentionner concerne les sources de rayonnement radiofréquence de haute puissance (i.e Klystrons) qui sont utilisées pour accélérer les faisceaux de particules. Au CERN, les travaux d'optimisation de l'efficacité d'un Klystron furent initiés, il y a des années, pour minimiser la consommation d'énergie du CLIC. Cette technologie est proposée aujourd'hui dans le cadre du FCC qui utiliserait des sources de puissance

au rendement énergétique proche de 80 %. C'est un exemple parmi d'autres qui illustre le temps nécessaire qu'il faut pour développer une nouvelle technologie, un exemple qui démontre également les synergies, qui existent entre les différentes études de grands collisionneurs au CERN. C'est aussi un exemple qui, dans le contexte actuel de crise énergétique, montre comment le CERN se préoccupe de sa consommation totale d'énergie et de son efficacité énergétique.

Bien que certaines technologies évoluent rapidement, le CERN est une organisation qui vit dans un temps long, de plus en plus long. Certains accélérateurs sont en opération depuis près de 60 ans et vont le rester pour de nombreuses années à venir. Seulement une fraction des études qui sont réalisées aujourd'hui se concrétiseront un jour avec des nouvelles installations scientifiques que l'on fera fonctionner jusqu'à ce que la Physique nous dise d'arrêter et d'imaginer une suite. Aujourd'hui, un cycle complet se compte en dizaines d'années, une carrière entière à l'échelle d'un individu. Cela n'a pas d'importance ! Les succès du CERN, qui font notre fierté, résident dans la qualité du travail et dans la motivation de son personnel au fil du temps. Innovations après innovations, notre expertise collective grandit. A force de détermination et de persévérance, nous sommes plus performants, plus efficaces, mieux organisés. Le CERN est un écosystème bouillonnant où se mélange toutes les générations. Jeunes, moins jeunes, tous sont à l'œuvre : l'expérience et la bienveillance des uns mélangées à l'enthousiasme et l'énergie des autres. Tout au long de son histoire, l'Organisation a su attirer de jeunes personnes motivées, modestes et géniales à la fois. Chaque nouvelle génération qui démarre, fait évoluer l'Organisation et crée les outils, les conditions qui permettront aux prochaines générations d'assurer nos futurs succès. Conserver cette attractivité, entretenir la flamme dans la durée, est essentiel, primordial pour garantir notre avenir.

Il y a soixante-dix ans, le CERN n'existait pas encore, si ce n'est dans la tête d'une poignée de scientifiques visionnaires, qui avaient l'ambition de créer un centre d'excellence scientifique capable de repousser les limites des connaissances fondamentales de l'Univers et de la matière. Dans une Europe affaiblie par la guerre, la création du CERN avait pour but aussi de maintenir en Europe une élite scientifique et de promouvoir les valeurs de respect, d'entre-aide et de collaboration indispensables au devenir de nos peuples. Aujourd'hui, la situation a considérablement changé, mais l'ensemble des motivations initiales demeure. Il reste toujours plus de 95 % d'inconnu dans l'Univers, les performances des accélérateurs de particules augmentent continuellement, et nos sociétés ont évolué vers un individualisme grandissant qui nous rappelle tous les jours qu'il est indispensable de défendre et de promouvoir ces valeurs communes. Le CERN aura bientôt 70 ans, c'est un immense succès, et son existence reste plus nécessaire que jamais.



Talking about what we are doing

Urs Achim Wiedemann[1] *-CERN Department of Theoretical Physics*

Original text in English

For many years, there was a poster hanging on the door of the student's office in the CERN Theory Department. Who entered, looked into the stern eyes of Richard Feynman and read the infamous quote "Shut up and calculate!". The poster has been replaced eventually, but the spirit it transpired remains widespread in CERN's scientific and technological expert communities: There are the talkers and there are the doers. And if one wants to get something done, shouldn't one just leave the talking to others and work on what needs to be done? This attitude is defendable when working on short-term projects of fully defined scope, but it has its obvious limitations. Scientific visions are not simply there to be worked on – instead, discourse is needed to shape them. This article is written for a volume that aims at promoting such discourse by collecting personal views on CERN's vision ten years after the discovery of the Higgs particle.

"Modern physics plays a unique role in transforming modern society"

In big science, long-term planning is based on a detailed assessment of scientific opportunities, technological capabilities and economical feasibilities. It involves an often painful and long process of consensus building. Consensus arises in discourse. Particle physics has institutionalized this discourse in the many working groups and R&D projects that contribute e.g. to the European Strategy updates (EPPSU) and the US-based particle physics project prioritization panels (P5). Their long timescales and political dimensions render these processes arguably a bit impersonal and uninspiring. Ultimately, a powerful vision that captures the imagination of current and future generations must go beyond community-wide consensus building; it should provide a crisp common intellectual denominator of how we talk about what we are doing and why we are doing it.

For several decades, the hunt for the Higgs has been central to such a captivating and encompassing narrative. Clearly, the scientific rationale for the next big project has always been more multi-faceted; it targeted also other fundamental open questions of particle physics, such as the origin of the matter-antimatter asymmetry or the nature of dark matter, and it always included testing the broadest possible range of extensions of the standard model. But what made the Higgs special was the stringency with which its existence could be argued for from within the well-tested Standard Model and the stringency with which this alone could motivate a far-reaching collider project. Without belittling the many opportunities for beyond the standard model physics and the many challenges that had to be overcome in the conception, construction and operation of the LHC and its experiments, one may argue somewhat

1 I work in CERN's Theoretical Physics Department whose members refer to each other sometimes as string theorist, standard model theorist, beyond the standard model theorist, cosmologist, lattice theorist, heavy ion theorist, and so on. However, I am convinced that nothing good can result in science if we narrow our thoughts about the future to our personal research foci. This explains why my article touches also topics about which some of my colleagues may have thought for much longer and deeper.

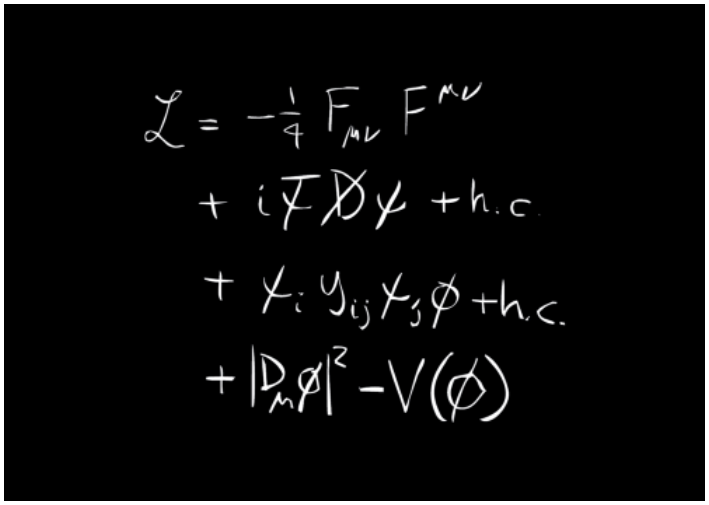
pointedly that motivating previous collider projects was as easy as pointing to the last line on CERN's emblematic T-shirt (the one with the Standard Model Lagrangian) and asking: is that the mechanism of spontaneous symmetry breaking and mass generation in our Universe or is it something else?

Today, ten years after the discovery of the Higgs particle, all other fundamental open questions have remained open, and questions about the precise nature of the Higgs mechanism have become newly accessible to experimentation. However, an era has come to an end during which the existence of a single hypothesized particle could be argued for in such a compelling way that this argument alone would suffice to drive a future collider project. What the field is facing today is not a lack of long-term challenges and scientific opportunities, but a lack of uniqueness of one scientific hypothesis behind which a broad and intrinsically heterogeneous international research community could be assembled most easily. From discussions, I sense that many of my colleagues find it harder to develop long-term motivation in such a more versatile situation. The comments I hear about CERN's long-term vision in our restaurants and corridors are rarely aligned with the sober forward-looking recommendations of the European Strategy update and their gradual implementation in CERN's medium term plan. In thinking and in talking about what should be done in the long term, the community is still adapting to the post-Higgs-discovery era. This prompts me to deliberate in the present article on the seemingly elusive question of how we talk about what we are doing.

Modern physics plays a unique role in transforming modern society. And yet, despite all the technological innovations that it brought about, modern physics remains primarily a cultural and philosophical endeavor nurtured by man's profound desire to comprehend the World we live in. By now, we can look back to more than a century of evidence that fundamental research – though seemingly aimed only at understanding for understanding's sake – can lead in the long-run to more substantial economical and societal changes than any short-term utilitarian approach. When we are charged to talk about our vision, there should be place for this short paragraph that emphasizes the transformative force of the fundamental science we want to continue.

CERN plays a unique role in modern physics. Most notably, experiments at CERN have established the main cornerstones (weak neutral current, the electroweak gauge bosons, the Higgs) of the Standard Model, which is the most precise and most encompassing theory of the microscopic world known today. CERN is also a unique example for the industrialization and globalization of modern research. In accelerator-based research at the energy frontier, the international pooling of economic, technological and personnel resources has been a necessity since long. It is a natural endpoint of this evolution to have the entire world-wide research coordinated in a single user laboratory. 2012 marks not only the discovery of the Higgs. It is also the year in which CERN moved closer to this singular position with the end of Tevatron operation.

Being the unique focus of a globalized scientific research comes with unique responsibilities. Scientifically, the future of an entire research field relies critically on CERN's commitment and the decisions CERN takes. But globalized science is responsible for more than its science. Globalized science is science for peace – a founding principle of CERN. Science in general requires equal treatment of and equal return to all partners – globalized science has thus an intrinsic potential of creating a better world in which chances are distributed more equally. CERN has spear-headed repeatedly developments that facilitate a more equal world-wide participation in its activities. In this context, one may mention the invention of the world-wide web, the development of world-wide



grid computing and analysis of LHC data, the promotion and coordination of world-wide distributed detector and accelerator R&D or the promotion of an open access publishing policy that makes our knowledge equally accessible to the poorer scientific communities. Many of these CERN initiatives have radiated famously beyond their initial intent.

Globalized science comes also with unique risks. To name but two: Science for peace is one of our principles, but peace for science is a prerequisite of our daily operations. With Russia's war on Ukraine, we are just learning the hard way how quickly our globalized science can become vulnerable. The current situation challenges not only our ethical standards as we are asked to debate at what stage the scientific institutions of an aggressor country cannot be CERN's partners any more, and whether and how we can still work with the many excellent individual Russian scientists whose ideals and hopes are often similar to ours. The war in Europe exposes also the economic vulnerabilities of global industrialized science and it exposes the dependence of our research on sufficiently cheap energy – this is an existential problem for us that will remain after Russia's war. Another structural risk of globalized science arises from the lack of experimental redundancy. To argue by example: in 1971, the start of the world's first hadron collider, the Intersecting Storage Rings ISR at CERN, laid the ground for an accelerator physics that culminated in the LHC. But the scientific decision to focus almost entirely on forward physics meant that the ISR missed discovering charmonium. In hindsight, this was a disaster for CERN but not a disaster for science – the Nobel prize was picked up happily by scientists from two competing laboratories. If a similarly unfortunate decision were to repeat itself today, it would likely stall scientific progress of an entire generation. In short, the stakes of scientific decision making have always been high, but they are higher if you are alone. Lack of redundancy also implies that only one major project can be advanced even if more projects promise outstanding returns. One unique risk in this situation about which many of my colleagues are concerned is that the community may deadlock itself by deliberating indefinitely between two worthwhile options rather than going ahead with one of them.

In recent decades, space-based astrophysical observatories (such as Planck, the James Webb telescope or a planned long-baseline gravitational wave interferometer) started reaching a scientific and technological complexity and a level of internationalization and economic magnitude comparable to CERN's flagship project. In addition, there is a multitude of smaller astrophysical observatories that provide e.g. insights into the distribution of dark matter on different length scales or that promise constraints on models of cosmological inflation. Like CERN, this is big science in the best sense of the word. It is advanced by colleagues who share with us the main

motivation for a better fundamental understanding of the World we live in. Its experimental reach has the potential to overlap with some of the fundamental questions that motivate what we are doing. Clearly, these developments compete with CERN for the best scientists of the next generation as well as for material resources, but there is a fine line between scientific competition and political opposition. As scientists, we should welcome the important complementarities of lab-based experimental and space-based observational approaches – since the early days of observational cosmology, we have historical evidence for how fruitful their interplay can be. In particular, the problem of dark matter seems to offer exciting prospects for the future. The existence of dark matter follows from astrophysical and cosmological observations of phenomena that manifest themselves in gravitational interactions. Today, these phenomena await a microscopic interpretation which would go inevitably beyond an understanding of their gravitational manifestations. There are strong generic reasons to expect that lab-based collider experiments are well-positioned to constrain (and finally: to establish) this microscopic nature of dark matter and that the solution lies in experimentally unchartered territory, such as either very massive or very feebly interacting particles. With this in mind, the EPPSU and P5 processes have always considered all possible constraints from astrophysical and cosmological observations in their assessments of the experimental reach of present and future projects. Particle physics, even if not driven any more by the hypothesis of one particular particle in guaranteed close experimental reach, continues to have a tangible, well-defined aim in understanding the fundamental composition of the world we live in.

This brings me to the question of how we talk about the science in reach of accelerator-based physics and how we advocate the scientific methodology with which we make steady progress. Particle physics was always much more than hunting for unknown elementary particles, but hunting for the Higgs (and for a rich zoology of other hypothetical constituents of nature) was so short and easy to motivate that it has dominated our narrative and our expectations. However, in the last ten years, after the discovery of the last particle predicted by the Standard Model, the guaranteed experimental return of CERN's flagship program has shifted from hunting a particle to establishing in detail the Brout-Englert-Higgs mechanism. The exploration of the Higgs sector provides a decade-long perspective for future experimentation at the HL-LHC. Should our narrative better reflect this evolving emphasis of CERN's flagship research? Should we talk e.g. about the Higgs self-interaction as a "fifth force" to bring to the forefront those questions on the last line of our T-shirt which experiments at the LHC are just starting to fathom? Or would talking in such terms be nothing but misleading cheerleader language since the Higgs self-coupling, unlike the other forces and their coupling constants in the Standard Model Lagrangian, is not gauged? I am not in a position to give an answer. As a theorist I know that the book of Nature is written in the language of mathematics and that Nature does not care about the words I attach to Its equations – I could just shut up and point to my T-shirt. And yet, our talking should evolve with the scientific reality and our research community is not immune to the motivational power of snappy formulations. Thinking about the language we use is part of shaping our future.

Let me dwell more on language and communication: If I tell a lay audience that I am searching for a particle, the word "search" evokes pictures with which my audience is familiar. For instance, when a mother has searched without success for her kid's socks in the bedroom, she still does not know whether the socks are "nearby" in the bathroom or whether they were lost "far away" in school – that's the layman's picture of a failed search. In contrast, when CERN's LEP collider and when later the Tevatron collider did not find the Higgs particle, we knew that the Higgs particle must be "nearby" and not "far away". To a layman, this sounds like arguing that by looking with higher precision at all the clothes in the bedroom, a mother could avoid searching for her kid's socks in school, even if she knew for sure that the socks are not in the bedroom. Well, such argumentation defies our everyday life experience but that's how quantum mechanics works. A mother will not find her kid's socks this way, but at CERN we constrain conjectured particles in exactly this way. Not finding is not finding for the layman. But for us, not finding is also constraining the region which is unreachable today, and it can thus be the first step towards finding in the future when this region becomes reachable. Since particle excitations reveal themselves in quantum fluctuations even if the energy needed to produce these particles cannot be reached, our search logic differs from that of everyday life (and from that of many other scientific explorations) in a subtle but profound way. When talking to the general public, should we try to bring to the forefront such unique and subtle features of our search logic which are at the center of motivating CERN's substantial investment into precision measurements? Could this be a safeguard against the foes of our science (you can visit them on youtube) who misrepresent the perspectives and consequences of our research by naively equating any unconfirmed hypothesis with failure? Or is this simply too subtle and too intellectual to be heard?

Let me close by readjusting the starting point of these deliberations: The quote "Shut up and calculate!" is a misattribution. Feynman probably never used these words (and he certainly never practiced what the quote seems to imply!). The quote seems to have originated with N David Mermin, a renowned solid state physicists, who used it as a

pointed criticism of the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. What Mermin was arguing against was a purely instrumentalist view of modern physics in which research was reduced to an effort of “getting the numbers out” and physicists stopped debating the conceptual and – let’s say the big word once more: philosophical – implications of their work. Clearly, in our everyday work at CERN, getting the numbers out is the focus. But going beyond this operational attitude and fighting for the most adequate words and pictures that give meaning to what we are doing, this is one hope if not vision that I have for the future of CERN. I tend to believe that it could also help us to keep the community focused and motivated for the long march ahead of us.

Parler de ce que nous faisons

Urs Achim Wiedemann[1] *- Département de physique théorique du CERN*

Original text in English

Pendant de nombreuses années, une affiche a été accrochée à la porte du bureau des étudiants du département de théorie du CERN. Qui entrait, regardait les yeux sévères de Richard Feynman et lisait la citation tristement célèbre « Tais-toi et calcule ! ». L'affiche a fini par être remplacée, mais l'esprit qu'elle émanait reste très répandu dans les communautés d'experts scientifiques et technologiques du CERN : il y a les parleurs et il y a les faiseurs. Et si l'on veut que quelque chose soit fait, ne devrait-on pas laisser les autres parler et travailler sur ce qui doit être fait ? Cette attitude est défendable lorsqu'on travaille sur des projets à court terme dont la portée est parfaitement définie, mais elle a ses limites évidentes. Les visions scientifiques ne sont pas simplement là pour être travaillées – au contraire, le discours est nécessaire pour les façonner. Cet article est rédigé pour une publication qui vise à promouvoir un tel débat en recueillant des points de vue personnels sur la vision du CERN dix ans après la découverte de la particule de Higgs.

“La physique moderne joue un rôle unique dans la transformation de la société moderne”

Dans le domaine de la « big science », la planification à long terme repose sur une évaluation détaillée des opportunités scientifiques, des capacités technologiques et des faisabilités économiques. Elle implique un processus long et souvent douloureux de recherche de consensus. Le consensus naît du discours. La physique des particules a institutionnalisé ce discours dans les nombreux groupes de travail et projets de R&D qui contribuent, par exemple, aux mises à jour de la stratégie européenne (EPPSU) et aux panels de priorisation des projets de physique des particules aux États-Unis (P5). En raison de leur longue durée et de leur dimension politique, ces processus sont sans doute un peu impersonnels et peu inspirants. En fin de compte, une vision puissante qui capte l'imagination des générations actuelles et futures doit aller au-delà de la recherche d'un consensus à l'échelle de la communauté ; elle doit fournir un dénominateur intellectuel commun et net sur la façon dont nous parlons de ce que nous faisons et pourquoi nous le faisons.

Pendant plusieurs décennies, la chasse au boson de Higgs a été au cœur d'un tel récit vaste et captivant. Il est clair que la justification scientifique du prochain grand projet a toujours été plus multiple ; elle visait également d'autres questions fondamentales ouvertes de la physique des particules, telles que l'origine de l'asymétrie matière-antimatière ou la nature de la matière noire, et elle a toujours consisté à tester la gamme la plus large possible d'extensions du modèle standard. Mais ce qui a rendu le boson de Higgs spécial, c'est la rigueur avec laquelle son existence a pu être démontrée dans le cadre du modèle standard bien testé et la rigueur avec laquelle ce seul fait a pu motiver un projet de collision de grande envergure. Sans minimiser les nombreuses possibilités d'aller au-delà de la physique du modèle standard et les nombreux défis qui ont dû être relevés lors de la conception, de la construction et de l'exploitation du LHC et de ses expériences, on peut faire valoir, de manière quelque peu pointue, que la motivation des projets de collision précédents était aussi simple que de pointer du doigt la dernière ligne du T-shirt emblématique du CERN (celle du lagrangien du modèle standard) et de demander : est-ce là le mécanisme de brisure de symétrie spontanée et de génération de masse dans notre Univers ou est-ce autre chose ?

Aujourd'hui, dix ans après la découverte de la particule de Higgs, toutes les autres questions fondamentales sont restées ouvertes, et les questions relatives à la nature précise du

1 Je travaille au département de physique théorique du CERN, dont les membres s’appellent parfois théoriciens des cordes, théoriciens du Modèle Standard, théoriciens de l’au-delà du ModèleSstandard, cosmologistes, théoriciens du réseau, théoriciens des ions lourds, etc. Cependant, je suis convaincu que rien de bon ne peut résulter de la science si nous limitons nos réflexions sur l’avenir à nos centres de recherche personnels. Cela explique pourquoi mon article aborde également des sujets sur lesquels certains de mes collègues ont peut-être réfléchi depuis beaucoup plus longtemps et plus profondément.

mécanisme de Higgs sont devenues nouvellement accessibles à l'expérimentation. Cependant, l'époque est révolue où l'existence d'une seule particule hypothétique pouvait être défendue de manière si convaincante que cet argument suffirait à motiver un futur projet de collisionneur. Ce à quoi le domaine est confronté aujourd'hui n'est pas un manque de défis à long terme et d'opportunités scientifiques, mais un manque d'unicité d'une hypothèse scientifique derrière laquelle une large communauté internationale de recherche, intrinsèquement hétérogène, pourrait être rassemblée le plus facilement. D'après les discussions, je sens que beaucoup de mes collègues ont plus de mal à développer une motivation à long terme dans une situation aussi polyvalente. Les commentaires que j'entends sur la vision à long terme du CERN dans nos restaurants et nos couloirs sont rarement en phase avec les recommandations sobres et tournées vers l'avenir de la mise à jour de la stratégie européenne et leur mise en œuvre progressive dans le plan à moyen terme du CERN. En pensant et en parlant de ce qui devrait être fait à long terme, la communauté s'adapte encore à l'ère post-découverte de Higgs. C'est ce qui m'amène à réfléchir, dans le présent article, à la question apparemment insaisissable de savoir comment nous parlons de ce que nous faisons.

La physique moderne joue un rôle unique dans la transformation de la société moderne. Et pourtant, malgré toutes les innovations technologiques qu'elle a apportées, la physique moderne reste avant tout un effort culturel et philosophique nourri par le désir profond de l'homme de comprendre le monde dans lequel il vit. Aujourd'hui, nous pouvons nous appuyer sur plus d'un siècle de preuves que la recherche fondamentale – même si elle semble ne viser qu'à comprendre pour comprendre – peut entraîner à long terme des changements économiques et sociétaux plus importants que toute approche utilitaire à court terme. Lorsque nous sommes chargés de parler de notre vision, il devrait y avoir une place pour ce court paragraphe qui souligne la force transformatrice de la science fondamentale que nous voulons poursuivre.

Le CERN joue un rôle unique dans la physique moderne. Plus particulièrement, les expériences menées au CERN ont permis d'établir les principales pierres angulaires (le courant neutre faible, les bosons de jauge électrofaibles, le boson de Higgs) du modèle standard, qui est la théorie la plus précise et la plus complète du monde microscopique connue aujourd'hui. Le CERN est également un exemple unique d'industrialisation et de mondialisation de la recherche moderne. Dans la recherche sur les accélérateurs à la frontière de l'énergie, la mise en commun internationale des ressources économiques, technologiques et humaines est une nécessité depuis longtemps. La coordination de l'ensemble de la recherche mondiale au sein d'un seul laboratoire utilisateur est un aboutissement naturel de cette évolution. L'année 2012 ne marque pas seulement la découverte du boson de Higgs. C'est aussi l'année où le CERN s'est rapproché de cette position unique avec la fin de l'exploitation du Tevatron.

Être le centre unique d'une recherche scientifique mondialisée s'accompagne de responsabilités uniques. Sur le plan scientifique, l'avenir de tout un domaine de recherche dépend essentiellement de l'engagement du CERN et des décisions qu'il prend. Mais la science mondialisée est responsable de plus que sa science. La science mondialisée est une science pour la paix – un principe fondateur du CERN. La science en général exige un traitement égal et un retour égal à tous les partenaires – la science mondialisée a donc un potentiel intrinsèque de création d'un monde meilleur dans lequel les chances sont distribuées plus équitablement. Le CERN a été à plusieurs reprises le fer de lance de développements qui facilitent une participation mondiale plus égale à ses activités. Dans ce contexte, on peut citer l'invention du web mondial, le développement du calcul en grille à l'échelle mondiale et l'analyse des données du LHC, la promotion et la coordination de la R&D sur les détecteurs et les accélérateurs distribués dans le monde entier, ou encore la promotion d'une politique de publication en libre accès qui rend notre savoir également accessible aux communautés scientifiques les plus démunies. Nombre de ces initiatives du CERN ont connu un rayonnement considérable au-delà de leur intention initiale.

La science mondialisée s'accompagne également de risques uniques. Pour n'en citer que deux : la science pour la paix est l'un de nos principes, mais la paix pour la science est une condition préalable à nos opérations quotidiennes. Avec la guerre de la Russie contre l'Ukraine, nous apprenons à nos dépens à quel point notre science mondialisée peut rapidement

devenir vulnérable. La situation actuelle remet non seulement en question nos normes éthiques, puisqu'il nous est demandé de débattre du moment où les institutions scientifiques d'un pays agresseur ne peuvent plus être les partenaires du CERN, et si et comment nous pouvons encore travailler avec les nombreux et excellents scientifiques russes individuels dont les idéaux et les espoirs sont souvent similaires aux nôtres. La guerre actuelle en Europe expose également les vulnérabilités économiques de la science industrialisée mondiale et met en évidence la dépendance de notre recherche à l'égard d'une énergie suffisamment bon marché – c'est pour nous un problème existentiel qui subsistera après la guerre de Russie. Un autre risque structurel de la science mondialisée découle du manque de redondance expérimentale. Pour argumenter par l'exemple : en 1971, le démarrage du premier collisionneur de hadrons au monde, l'Intersecting Storage Rings (ISR) au CERN, a jeté les bases d'une physique des accélérateurs qui a culminé avec le LHC. Mais la décision scientifique de se concentrer presque entièrement sur la physique de l'avant a fait que l'ISR a manqué la découverte du charmonium. Rétrospectivement, ce fut un désastre pour le CERN mais pas pour la science – le prix Nobel a été récupéré avec bonheur par des scientifiques de deux laboratoires concurrents. Si une décision aussi malheureuse devait se répéter aujourd'hui, elle bloquerait probablement le progrès scientifique de toute une génération. En bref, les enjeux de la prise de décision scientifique ont toujours été élevés, mais ils le sont encore plus si vous êtes seul. L'absence de redondance implique également qu'un seul projet majeur peut être avancé, même si d'autres projets promettent des rendements exceptionnels. Un risque unique dans cette situation, qui préoccupe nombre de mes collègues, est que la communauté se retrouve dans une impasse en délibérant indéfiniment entre deux options valables plutôt que d'aller de l'avant avec l'une d'elles.

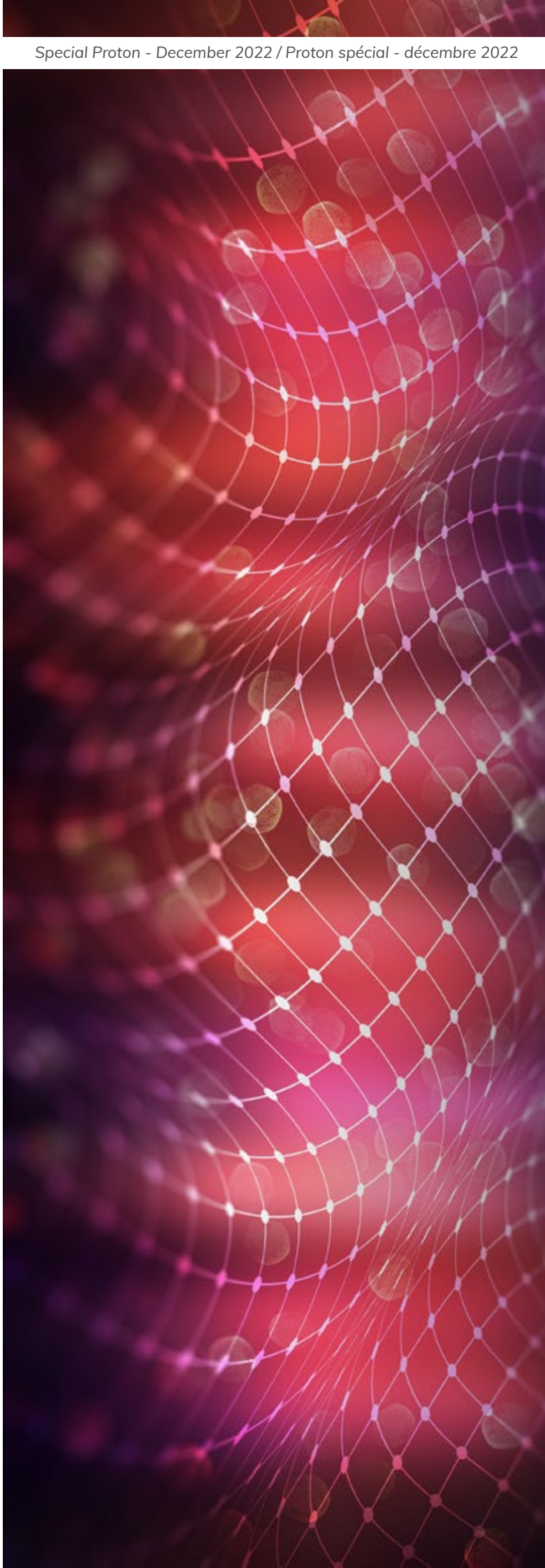
Au cours des dernières décennies, les observatoires astrophysiques spatiaux (tels que Planck, le télescope James Webb ou le projet d'interféromètre à ondes gravitationnelles) ont commencé à atteindre une complexité scientifique et technologique et un niveau d'internationalisation et d'ampleur économique comparables au projet phare du CERN. En outre, il existe une multitude d'observatoires astrophysiques plus petits qui fournissent, par exemple, des informations sur la distribution de la matière noire à différentes échelles de longueur ou qui promettent des contraintes sur les modèles d'inflation cosmologique. Comme pour le CERN, il s'agit d'une grande science dans le meilleur sens du terme. Elle est menée par des collègues qui partagent avec nous la motivation principale d'une meilleure compréhension fondamentale du monde dans lequel nous vivons. Sa portée expérimentale est susceptible de recouper certaines des questions fondamentales qui motivent nos travaux. Il est clair que ces développements sont en concurrence avec le CERN pour les meilleurs scientifiques de la prochaine génération ainsi que pour les ressources matérielles, mais la frontière est mince entre la concurrence scientifique et l'opposition politique. En tant que scientifiques, nous devrions nous réjouir des complémentarités importantes entre les approches expérimentales en laboratoire et les approches d'observation dans l'espace – depuis les premiers jours de la cosmologie observationnelle, nous avons des preuves historiques de l'efficacité de leur interaction. En particulier, le problème de la matière noire semble offrir des perspectives passionnantes pour l'avenir. L'existence de la matière noire découle des observations astrophysiques et cosmologiques de phénomènes qui se manifestent dans les interactions gravitationnelles. Aujourd'hui, ces phénomènes attendent une interprétation microscopique qui irait inévitablement au-delà de la compréhension de leurs manifestations gravitationnelles. Il y a de fortes raisons génériques de penser que les expériences de collision en laboratoire sont bien placées pour contraindre (et finalement établir) cette nature microscopique de la matière noire et que la solution se trouve en territoire inconnu, comme des particules très massives ou en interaction très faible. Dans cette optique, les processus EPPSU et P5 ont toujours pris en compte toutes les contraintes possibles issues des observations astrophysiques et cosmologiques dans leurs évaluations de la portée expérimentale des projets actuels et futurs. La physique des particules, même si elle n'est plus motivée par l'hypothèse d'une particule particulière dont la portée expérimentale est garantie, continue d'avoir un objectif tangible et bien défini dans la compréhension de la composition fondamentale du monde dans lequel nous vivons.

Cela m'amène à la question de savoir comment nous parlons de la science à portée de la physique des accélérateurs et comment nous défendons la méthodologie scientifique avec laquelle nous faisons des progrès constants. La physique des particules a toujours été bien plus que la chasse aux particules élémentaires inconnues, mais la chasse au boson de Higgs (et à une riche zoologie d'autres constituants hypothétiques de la nature) était si courte et si facile à motiver qu'elle a dominé notre récit et nos attentes. Cependant, au cours des dix dernières années, après la découverte de la dernière particule prédite par le modèle standard, le retour expérimental garanti du programme phare du CERN est passé de la chasse à une particule à l'établissement détaillé du mécanisme de Brout-Englert-Higgs. L'exploration du secteur du boson de Higgs offre une perspective sur une décennie pour les futures expériences au HL-LHC. Notre récit devrait-il mieux refléter cette évolution de l'importance de la recherche phare du CERN ? Devrions-nous, par exemple, parler de l'auto-interaction du boson de Higgs comme d'une « cinquième force » pour mettre en avant les questions de la dernière ligne de notre T-shirt que les expériences du LHC commencent tout juste à appréhender ? Ou bien le fait de parler en ces termes ne serait-il qu'un langage trompeur de cheerleaders puisque l'auto-interaction de Higgs, contrairement aux autres forces et à leurs constantes de couplage dans le Lagrangien du modèle standard, n'est pas jaugée ? Je ne suis pas en mesure de donner une réponse. En tant que théoricien, je sais que le livre de la Nature est écrit dans le langage des mathématiques et que la Nature ne se soucie pas des mots que j'attache à ses équations – je pourrais simplement me taire et montrer mon T-shirt. Pourtant, notre langage devrait évoluer avec la réalité scientifique et notre communauté de chercheurs n'est pas à l'abri du pouvoir de motivation des formulations accrocheuses. Réfléchir au langage que nous utilisons fait partie de la construction de notre avenir.

Permettez-moi de m'attarder sur le langage et la communication : Si j'explique au grand public que je suis à la recherche d'une particule, le mot « recherche » évoque des images avec lesquelles mon public est familier. Par exemple, lorsqu'une mère a cherché sans succès les chaussettes de son enfant dans la chambre, elle ne sait toujours pas si les chaussettes sont « à proximité » dans la salle de bains ou si elles ont été perdues « loin » à l'école - c'est l'image que se fait le profane d'une recherche infructueuse. En revanche, lorsque le collisionneur LEP du CERN et, plus tard, le collisionneur Tevatron n'ont pas trouvé la particule de Higgs, nous savions que la particule de Higgs devait être « proche » et non « lointaine ». Pour ceux que n' ont pas étudié la physique, cela revient à dire qu'en examinant avec une plus grande précision tous les vêtements qui se trouvent dans la chambre, une mère pourrait éviter de chercher les chaussettes de son enfant à l'école, même si elle est certaine que les chaussettes ne se trouvent pas dans la chambre. Une telle argumentation défie notre expérience de la vie quotidienne, mais c'est ainsi que fonctionne la mécanique quantique. Une mère ne trouvera pas les chaussettes de son enfant de cette façon, mais au CERN,

nous contraignons les particules conjecturées exactement de cette manière. Pour le non-expert, ne pas trouver n'est pas trouver. Mais pour nous, ne pas trouver, c'est aussi restreindre la région qui est inaccessible aujourd'hui, et cela peut donc être le premier pas vers une découverte future, lorsque cette région deviendra accessible. Puisque les excitations de particules se révèlent dans les fluctuations quantiques même si l'énergie nécessaire pour produire ces particules ne peut être atteinte, notre logique de recherche diffère de celle de la vie quotidienne (et de celle de nombreuses autres explorations scientifiques) d'une manière subtile mais profonde. Lorsque nous nous adressons au grand public, devrions-nous essayer de mettre en avant ces caractéristiques uniques et subtiles de notre logique de recherche, qui sont au cœur de la motivation de l'investissement substantiel du CERN dans les mesures de précision ? Serait-ce une protection contre les adversaires de notre science (vous pouvez les visiter sur youtube) qui déforment les perspectives et les conséquences de nos recherches en assimilant naïvement toute hypothèse non confirmée à un échec ? Ou est-ce simplement trop subtil et trop intellectuel pour être entendu ?

Permettez-moi de conclure en réajustant le point de départ de ces délibérations : la citation « Shut up and calculate ! » est une fausse attribution. Feynman n'a probablement jamais utilisé ces mots (et il n'a certainement jamais pratiqué ce que la citation semble impliquer !) La citation semble provenir de N. David Mermin, un physicien à la solide renommée, qui l'a utilisée pour critiquer l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique. Mermin s'opposait à une vision purement instrumentaliste de la physique moderne, dans laquelle la recherche était réduite à un effort pour « sortir les chiffres » et les physiciens cessaient de débattre des implications conceptuelles et - disons le grand mot une fois de plus : philosophiques – de leurs travaux. Il est clair que dans notre travail quotidien au CERN, l'objectif est de sortir les chiffres. Mais aller au-delà de cette attitude opérationnelle et se battre pour trouver les mots et les images les plus adéquats qui donnent un sens à ce que nous faisons, voilà un espoir, sinon une vision, que j'ai pour l'avenir du CERN. J'ai tendance à croire que cela pourrait également nous aider à garder la communauté concentrée et motivée pour la longue marche qui nous attend.



Proton is the newsletter of the CERN Staff Association.

The Redaction is in no way responsible for the texts published. The sole responsibility lies with the authors. All elements constituting this publication are the property of Staff Association and cannot be used without the express written authorization of the Redaction.

Le Proton est la lettre d'information de l'Association du personnel du CERN.

La Rédaction ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des textes, ces derniers n'engageant que la seule responsabilité de leurs auteurs. Tous les éléments qui constituent cette publication restent la propriété de l'Association du personnel et ne peuvent en aucun cas être utilisés sans l'autorisation expresse et écrite de la Rédaction.

CREDITS

Chief Editor: I. Mardirossian

Authors:
Prof. H. P. Beck, A. De Rújula, Prof. J. Kirkby,
T. Lefevre, M. Mangano, J.-P. Revol, U. A. Wiedemann.

Translation, editing and proofreading:
J. Apostolakis, M. Aymon, M. Benot, F. Brenugat, M. Gastal,
A. Rey, M. Vitasse, N. Ziogas.

Graphic concept: Etienne Ducret

Design and Layout: C. Regelbrugge

Photos credits:
CERN, Freepik, Pixabay, Unsplash

CRÉDITS

Rédactrice en chef : I. Mardirossian

Auteurs :
Prof. H. P. Beck, A. De Rújula, Prof. J. Kirkby,
T. Lefevre, M. Mangano, J.-P. Revol, U. A. Wiedemann.

Traduction, correction et relecture :
J. Apostolakis, M. Aymon, M. Benot, F. Brenugat, M. Gastal,
A. Rey, M. Vitasse, N. Ziogas.

Concept Graphique : Etienne Ducret

Conception et mise en page : C. Regelbrugge

Crédits photos :
CERN, Freepik, Pixabay, Unsplash

For further information or comment, please contact – Pour tous renseignements ou commentaires s'adresser à
l'Association du personnel du CERN - CH-1211 Genève 23
Tel. +41 22 767 42 24
Email : Staff.Association@cern.ch
staff-association.web.cern.ch