

LE CERN en 2008 : à l'heure du LHC

Sommaire

| | |
|--|----|
| <u>Contexte du voyage</u> | 2 |
| <u>Qu'est-ce que le CERN ?</u> | 2 |
| Les origines..... | 2 |
| Les objectifs..... | 2 |
| <u>Les accélérateurs</u> | 3 |
| Fonctionnement d'un accélérateur de particules..... | 3 |
| Caractéristiques des particules du LHC..... | 3 |
| Quelques contraintes expérimentales..... | 4 |
| Les infrastructures extérieures..... | 4 |
| <u>Entrez dans le labo</u> | 5 |
| Les principaux objectifs des détecteurs du CERN..... | 5 |
| Principe général de fonctionnement d'un détecteur..... | 6 |
| Compact Muon Solenoid (CMS)..... | 6 |
| Atlas..... | 7 |
| Alice..... | 7 |
| LHCb..... | 8 |
| Totem, LHCf..... | 8 |
| CNGS..... | 8 |
| Le traitement informatique des données..... | 8 |
| <u>Mais à quoi ça sert ?</u> | 9 |
| Le musée..... | 9 |
| Les applications..... | 9 |
| Le World Wide Web, l'électronique, l'informatique..... | 10 |
| Le génie civil..... | 10 |
| <u>Pas seulement des machines</u> | 10 |
| Un cadre agréable..... | 10 |
| Une activité fertile | 11 |
| <u>Regardons l'avenir</u> | 11 |
| <u>Lexique</u> | 12 |
| <u>Sources</u> | 12 |

Contexte du voyage

Ayant pu bénéficier d'un voyage agrémenté principalement d'une (courte) visite au CERN à Genève par l'intermédiaire du Lions Club, je vais ici tenter de faire partager cette expérience en l'appuyant de quelques recherches complémentaires.



Juste après la frontière suisse, l'entrée du centre principal du CERN

Qu'est-ce que le CERN ?

Les origines

Le Centre Européen de Recherche Nucléaire puise ses origines dans des considérations politiques et stratégiques. Il s'agit d'une organisation entièrement civile qui fut créée en 1954 à l'initiative de pays européens tel la France, le Danemark, l'Italie... et bien d'autres. Le projet est parti de propositions de grands scientifiques européens de l'époque tel Niels Bohr au Danemark ou Louis de Broglie en France. Les buts étaient essentiellement de conserver une recherche nucléaire européenne forte malgré le manque cruel de moyen résultant de la guerre : aucun pays à lui seul n'avait alors les moyens de construire et d'entretenir les coûteuses infrastructures nécessaires à la recherche nucléaire, provoquant ainsi la « fuite des cerveaux » vers l'URSS mais surtout les États-Unis. De plus, il était nécessaire d'unir les ex-belligérants autour de projets et d'intérêts communs, c'est ainsi que le CERN s'est créé en même temps que la CECA. Le territoire suisse fut choisi naturellement pour sa neutralité. On notera qu'aujourd'hui la réputation du CERN, au moins dans les milieux scientifique, n'est plus à faire si bien que la tendance s'est inversée : les chercheurs du monde entier se bousculent pour y travailler.

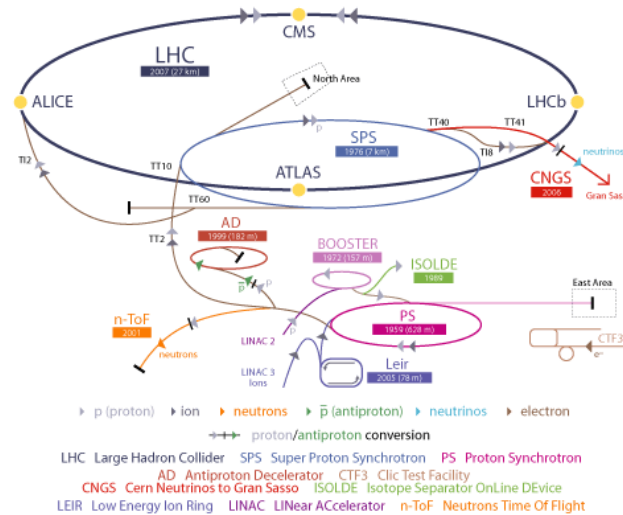
Les objectifs

Divers objectifs sont assignés au CERN, il s'agit principalement d'assurer une recherche fondamentale, de former les nouvelles générations toujours dans l'optique d'un bénéfice pour la société européenne (mais aussi aujourd'hui mondiale puisque des pays non-européens contribuent) aussi bien à court terme qu'à long terme. Enfin, un objectif découlant directement de ses origines : il s'agit d'assurer la collaboration internationale en laquelle le CERN est pionnier. Le modèle d'organisation utilisé a en effet été repris pour l'ESA ou l'ESO. On peut aussi noter que la Bulgarie, récente adhérente à l'UE, faisait partie du CERN dès 1990 ce qui prouve le rôle précurseur de cet organisme.

Les accélérateurs

Le point d'orgue de la visite était la descente dans les tunnels du LHC (Grand Collisionneur de Hadrons). En fait, le CERN peut être considéré comme un complexe d'accélérateurs dont le premier est le Synchrotron à Proton (PS) datant de 1959 suivi en 1976 du Super PS puis du LEP qui devient aujourd'hui le LHC (2008).

Le complexe d'accélérateurs du CERN



Fonctionnement d'un accélérateur de particules

Il s'agit d'accélérer à des vitesses très élevées (99,998% de la vitesse de la lumière) des particules microscopiques afin de les projeter soit les unes contre les autres soit contre une cible fixe. C'est le cas d'un écran de télévision cathodique, accélérateur de particule courant, qui projette des électrons sur l'écran créant ainsi des photons, de la lumière. Plus l'énergie de la collision, c'est à dire la vitesse relative, est élevée plus elle est susceptible de faire apparaître d'autres particules plus légères souvent éphémères. On comprend donc l'intérêt d'une collision de deux particules voyageant en sens opposés comme c'est le cas au LHC.

Caractéristiques des particules du LHC

Il s'agit de collisionner des protons ou des ions de plombs (dans des conduits distincts), qui font tous deux partie de la famille des hadrons*, à des énergies de 14 TeV. Il s'agit de l'énergie la plus élevée jamais atteinte à de telles échelles (par des appareils humains, les rayons cosmiques* font bien mieux). Les particules utilisées, sont comme dans tous les accélérateurs, des particules chargées, ce qui les rend commodes à diriger et accélérer grâce à des aimants dont le champ n'affecte pas d'autres caractéristiques des particules.

Les particules sont émises par faisceaux divisés en paquets. Chaque faisceau peut circuler pendant 10h dans le conduit de l'accélérateur parcourant ainsi environ deux fois la distance Terre-Neptune à une vitesse moyenne de 11 245 tr/s. L'énergie contenue dans un faisceau circulant à une telle vitesse équivaut à celle d'un TGV de 400 tonnes roulant à 150km/h. La différence, de taille, est celle du « volume » occupé par cette énergie. Imaginez tenir un poids de 1 kg dans votre main, aucun problème. Mais si le seul contact entre cette masse et votre main est une aiguille ? Voilà l'image que l'on peut avoir pour cette concentration d'énergie inédite.

Quelques contraintes expérimentales

Pour atteindre une telle vitesse, on utilise un anneau de 27 km de circonférence, chaque accélérateur servant en plus d'injecteur à celui lui étant immédiatement supérieur. Il faut un vide extrêmement poussé comparable à celui de l'espace interplanétaire, 10 fois moins de pression que sur la Lune soit 10^{-13} atmosphères, pour éviter au maximum des interactions non contrôlées avec d'autres particules !

Les hadrons sont dirigés et accélérés par 3 types d'aimants le long du conduit : les dipôles au nombre de 1234 pour la trajectoire, 392 quadripôles focalisants pour concentrer les faisceaux (et ainsi optimiser les collisions qui restent relativement rares), et des cavités radio-fréquences pour l'accélération. L'énergie particulièrement élevée justifie l'utilisation d'aimants supraconducteurs : l'absence de résistance électrique dans ces électroaimants permet d'atteindre des intensités de plusieurs dizaines de milliers d'ampères sans dégagement thermique. Pour cela, les matériaux sont refroidis à à peine 2°K (- 271°C) soit moins que la température de l'espace inter-galactique : il s'agit du plus grand réfrigérateur terrestre et peut-être d'un des endroits les plus froids de l'univers. De telles températures posent des problèmes techniques : les dimensions de l'accélérateur varient de façon importantes lors du refroidissement, variations absorbées par des jonctions spéciales.



Réplique d'un aimant dipôle visible sur un rond-point aux alentours de Genève

Les infrastructures extérieures

Toutes ces caractéristiques se traduisent par des infrastructures hors du commun : le CERN consomme à lui seul autant d'énergie électrique que la ville de Genève soit une facture salée : 60 millions de francs suisses soit environ 40 millions d'euros par an. De même, d'immenses cuves d'hélium liquide permettent le refroidissement, après un pré-refroidissement à l'azote liquide. De plus, la température et l'humidité de l'air sont particulièrement contrôlées ce qui donne lieu, avec la nécessité de refroidir quelques aimants classiques avec de l'eau, à de nombreuses conduites descendant à 100m sous terre dans les tunnels.

La sécurité n'est pas non plus négligée : en effet lors de son fonctionnement, les collisions de particules produisent de la radioactivité qui se dissipe très vite mais rend les matériaux eux-mêmes radioactifs. Ainsi plusieurs sas de sécurité équipent les puits de descente. D'autre part il est absolument interdit à quiconque d'être dans les tunnels durant le fonctionnement, d'où un système d'identification biométrique rétinien tout droit sorti d'un James Bond !



Quelques-uns des imposants réservoirs d'hélium liquide destiné à refroidir les 27 km de l'accélérateur



Montrez patte blanche (ou la bonne rétine) pour ouvrir l'un des sas de sécurité pendant le fonctionnement

Entrez dans le labo !

Voici à quoi ressemble un équipement de laboratoire au CERN :



CMS : l'un des détecteurs de particules du CERN, en cours d'assemblage sur le LHC

Je n'aborderai ici que les expériences relatives au LHC (mise en service automne 2008), les anciens accélérateurs continuant à fonctionner, le CERN en abrite bien d'autres.

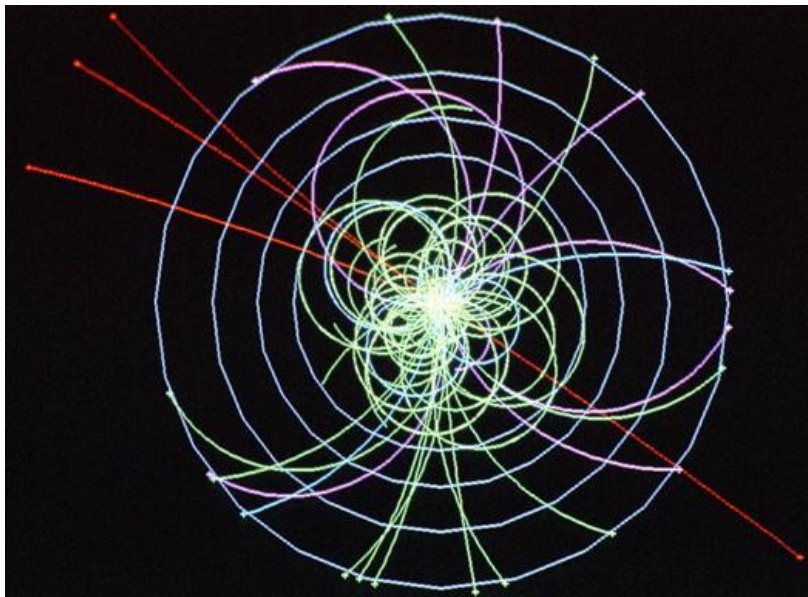
Les principaux objectifs des détecteurs du LHC

Voici les principales missions du LHC, irréalisables par le LEP, et qui ne sont en réalité qu'une partie des innombrables recherches réalisées : vérifier le modèle standard par l'observation du boson de Higgs, recherche de la masse manquante de l'univers, élucider le mystère de la matière noire, observer des « cordes »... Peut-être, également, valider une « théorie du tout ».

Principe général de fonctionnement d'un détecteur

Voici ce que je peux dire du fonctionnement de ce type d'appareil, ce n'est pas à considérer comme étant systématique mais relativement courant.

Un détecteur est constitué de plusieurs couches. On trouve au centre, c'est le cas notamment de CMS, un aimant (ou électroaimant) qui a pour fonction d'effectuer un premier tri entre particules chargées, qui se dirigent vers les pôles de l'aimant, et neutres, dont la trajectoire reste rectiligne, qui sont produites lors des collisions au cœur du détecteur. La trajectoire est relevée par un trajectographe, sorte d'appareil photo numérique tridimensionnel pour particules quantiques. Ensuite, dans les couches extérieures du détecteur, des calorimètres absorbent l'énergie des particules en les arrêtant ce qui permet d'obtenir à nouveau de précieuses informations notamment au sujet de leur masse, puisque celle-ci est liée à l'énergie par la fameuse formule : $E=mc^2$.



Trajectoires produites par une collision. Au moins une particule est neutre et peu sensible à la matière ordinaire puisque non arrêtée par les calorimètres, peut-être un muon dont la masse reste inconnue...

Compact Muon Solenoid (CMS)

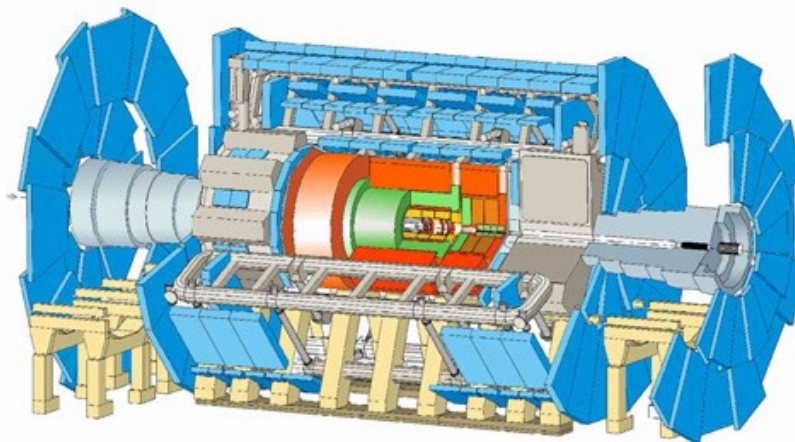
Si CMS est un détecteur « généraliste », sa principale mission est de confirmer le modèle standard de la physique en détectant le boson de Higgs, censé être responsable de la masse. De dimensions impressionnantes, 21m de long pour 15 de haut et de large ainsi que 12500 tonnes, il a fait l'objet d'une conception unique à l'heure actuelle qui préfigure sans doute les futurs détecteurs géants : il a, en effet, été fabriqué en surface puis descendu pièce par pièce le long d'un puits de 100m là où les autres sont fabriqués sous terre. Son aimant solénoïde générera un champ magnétique de 4 teslas soit 100 000 fois le champ magnétique terrestre.



Intérieur de l'imposant bâtiment où fut construit puis descendu CMS. Posé sur des vérins, il sera abaissé afin d'être plus discret dans le paysage !

Atlas

Il s'agit du plus grand détecteur en terme de taille : plus léger que CMS il atteint cependant 46m de long. Ces prérogatives sont les mêmes que pour CMS, cependant sa conception différente permet de s'affranchir dans les résultats expérimentaux de doutes liés aux technologies employées en comparant les résultats des deux expériences.



Vue de l'expérience Atlas

Alice

Alice est un détecteur spécialisé dans l'étude des conditions primordiales faisant suite au big bang. En son cœur rentreront en collision des ions de plomb. Le but est de reproduire un plasma de quarks et de gluons*, soupe primordiale encore jamais observée dont on pense qu'elle constituait les premiers instants de l'univers. Ainsi la température atteindra 100 000 fois celle régnant au centre du Soleil ! Bien entendu, comme dans toutes les autres expériences, ces températures ne sont atteintes que dans un espace extrêmement réduit.

LHCb

Cette expérience a pour but d'étudier la brisure de symétrie, c'est à dire déterminer pourquoi la matière a pris le pas sur l'antimatière juste après le big bang. Pour cela, il faudra étudier les différences entre les quarks beauty et leur antiparticule grâce à des trajectographes mobiles. Par ailleurs, il faut relever que les premiers antiatomes furent créés au CERN en 1995, il s'agissait alors d'anti-hydrogène, c'est à dire l'élément le plus léger.

Totem, LHCf

Il s'agit d'expériences mesurant les particules à petits angles en sortie des détecteurs CMS et Atlas, c'est à dire les éléments ayant échappé à la collision et poursuivant leur route.

Totem est entre autres destiné à mesurer la tailles des protons.

Quand à LHCf, son objectif est d'étudier les rayons cosmiques* reproduits en conditions de laboratoire afin, par exemple, de mieux concevoir les futurs détecteurs de rayons cosmiques naturels.

CNGS

Cette expérience en collaboration avec le laboratoire de Gran Sasso en Italie consiste à bombarder une cible de neutrinos envoyés par le CERN à travers les Alpes. Les physiciens de Gran Sasso pourront alors étudier cette particule méconnue, car interagissant peu avec la matière ordinaire.

Le traitement informatique des données

A lui seul, le LHC produira 1% des données informatiques mondiales tous les ans (soit une pile de CD de 20km de haut...) avec une capacité de 600 millions de collisions par seconde. Une telle quantité d'information ne peut-être traitée par un seul super-ordinateur. Les scientifiques du CERN ont donc mis au point un système appelé la Grille qui distribue les données dans des centres du monde entier afin d'être traitées (un filtrage important est effectué avant l'étude par les scientifiques) et stockées. Pour autant, elles restent accessibles partout sur la planète. Les détecteurs, tel CMS, bénéficient de centres informatiques effectuant un pré-traitement avant de les distribuer vers les autres centres.



100m sous terre, quelques armoires informatiques traiteront les information de CMS avant de la envoyer à la grille

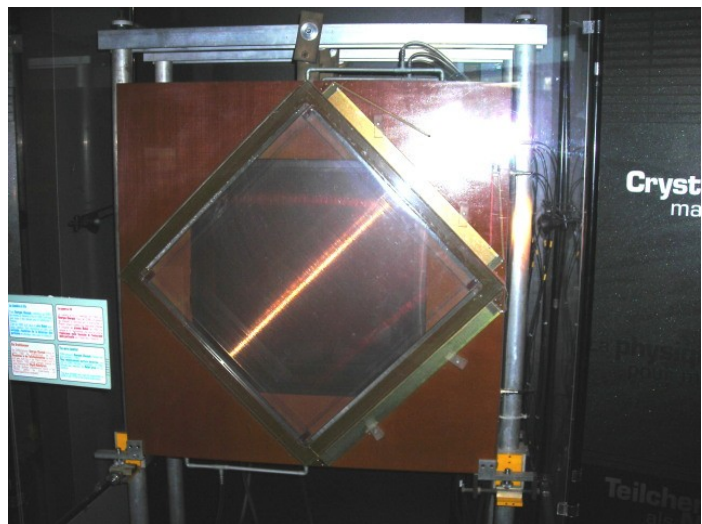
Mais à quoi ça sert ?

Le musée

Le musée du CERN, ouvert toute l'année, se propose d'expliquer sous forme de maquettes, documents reproduits voir anciens appareils, les tenants et les aboutissants de l'organisation. Cela va de la politique à la physique fondamentale étudiée au CERN (découvertes passées et à venir) en passant par les retombées directes sur la société. Bref, il me paraît plus complet que cet exposé, qui ne se veut pas exhaustif mais plutôt un résumé ayant pour but d'encourager à chercher plus loin.



Table de projection des pellicules utilisées dans les trajectographes avant l'avènement des boîtes à fils



Boîte à fils, appareil photo numérique pour particules quantiques, inventée par Georges Charpak au CERN ce qui lui valut le prix Nobel 1992

Ici, je vais surtout aborder l'aspect des « retombées directes » qui sont devenues le principal soucis des États dans le monde actuel. Il faut rappeler qu'il y a encore 50 ans la recherche fondamentale jouissait d'un certain prestige, on acceptait son utilité incertaine et à long terme voire la seule curiosité qui la motivait, et il était présent dans les esprits que c'est cette dernière qui produit des révolutions et non la recherche appliquée. Une image connue permet d'illustrer cela, je ne sais à qui l'attribuer : ce n'est pas en cherchant à améliorer la bougie que l'on a découvert l'ampoule électrique.

Les applications

Il n'y en a pas. En tous cas pas pour le moment. En effet, les retombées des recherches menées au CERN, si elles ont fait avancer la science de façon très significative ne sont pas, à l'heure actuelle, arrivée dans la vie quotidienne.

En revanche, le CERN nécessite un lien très étroit entre la recherche et la technique. Il en résulte un grand nombre de développements technologiques spécifiques. De plus, il faut savoir que le CERN, suivant ses prérogatives, ne publie aucun brevet (bien que potentiellement il pourrait en déposer une centaine par an) et va même jusqu'à accompagner les entreprises dans l'appropriation des technologies qui les intéressent. Résultat, une entreprise qui investit au CERN récolte trois fois sa mise en moyenne.

Le World Wide Web (WWW), l'électronique, l'informatique

C'est ainsi qu'est né internet ou, tout du moins, sa version grand public. Ce fameux « www » qui précède toutes les adresses fut inventé pour répondre au besoin d'échanger des informations que les physiciens manifestait. Une fois tombée dans le domaine public au début des années 90, cette technologie s'est très rapidement répandue comme l'on sait.

D'autre part, il faut savoir que d'une manière générale, l'électronique et l'informatique en particulier ont connu des bons fulgurants grâce à la recherche nucléaire fondamentale. Les premiers ordinateurs ont même été créés dans cet unique but, et personne n'imaginait à l'époque (milieu du siècle) que cela aurait des retombées aussi importantes, bien au contraire. D'ailleurs, le système de grille évoqué plus haut est un exemple plus récent de ce qui se fait au CERN. On ne peut savoir actuellement jusqu'où iront ses retombées, mais d'or et déjà ce système est utilisé par la recherche biologique, médicale etc...

Le génie civil

Il y a aussi de très importantes innovations en génie civil. Les premières d'entre elles concernent la précision millimétrique que doit respecter l'ouvrage. Une équipe de géomètre travaille ainsi en permanence sur le LHC afin de garantir l'ajustement adéquat de l'ensemble. Cette précision est d'ailleurs la cause de la réalisation souterraine de l'accélérateur, imaginez : les vibrations lors de l'arrivée en gare de Genève du TGV doivent être compensées informatiquement ! D'ailleurs, la couche souterraine n'a pas été choisie au hasard : il s'agit de molasse, roche sédimentaire suffisamment tendre et absorbant les vibrations, ce qui permet de réduire les coûts et d'optimiser le fonctionnement. D'autre part, toujours pour des raisons de réduction de coûts, l'accélérateur est très légèrement inclinés (environ $1,6^\circ$ par rapport à l'horizontale) afin de rester dans la couche de molasse et ainsi éviter au maximum de creuser dans les roches dures du Jura. Un autre phénomène doit aussi être pris en compte : les marées terrestres, analogues des marées des océans, modifient d'environ 1mm la longueur de l'accélérateur, ce qui est assez pour être pris en compte !

D'autre part, la sécurité est omniprésente : les ascenseurs permettant de descendre dans les puits sont conçus pour résister à un incendie pendant au moins 1h ce qui permet au personnel de les utiliser pour remonter à la surface plutôt que les escaliers : imaginez-vous gravir 100 m de déniveler en courant ! Les câbles sont bien évidemment eux aussi conçus pour résister à la chaleur. Ce type d'équipement spécifique commence à apparaître dans certaines grandes tours, notamment à Doubaï. D'autres particularités dans les techniques de constructions peuvent aussi être notées : par exemple le sol dans la caverne de CMS a été « gelé » car à l'origine imbibé d'eau.

Pas seulement des machines

Un cadre agréable

Le CERN est probablement l'une des plus belle réalisation de l'Europe, non pas de l'UE en tant que telle puisque que le CERN en est indépendant mais d'un ensemble de pays européens. En effet, sur le campus, tout est fait pour faciliter la vie des personnes avec des cafétérias polyglotte, une agence de voyage etc... Le tout est très bien présenté, sans luxe, utile mais pas dépourvu de personnalité. Enfin, cela reste quelque peu personnel... Ce qui apparaît plus certain, c'est que le micro-climat du lac Léman contribue à ce cadre de vie. Il ne s'agit pas d'une futilité, surtout quand on sait que 10 000 personnes travaillent au CERN dont 7000 physiciens.

Une activité fertile

Parmi eux, on compte tout de même 7 prix Nobels. On peut en citer deux : Georges Charpak dont les détecteurs sont aujourd'hui utilisés dans divers domaines, notamment médical, milieu qui collabore beaucoup avec le CERN. Voilà pour le développement technologique. On peut citer, pour la recherche fondamentale, Carlo Rubia qui vérifia le premier la théorie électrofaible grâce au SPS au début des années 80.

Regardons l'avenir

Nous le voyons donc, le CERN est une institution complète, meneuse dans le milieu scientifique mais aussi douée d'un rôle politique important. Elle est cependant aujourd'hui quelque peu menacé par l'attrait toujours plus grand des dirigeants pour la recherche appliquée et par la concurrence mondiale. Pourtant, des scientifiques du monde entier collabore dans des buts communs à travers une organisation transparente. Finalement on peut dire que la science, au lieu de nous éloigner de notre humanité, a contribué ici à la retrouver à l'issue de la seconde guerre mondiale en recentrant le débat sur des faits universels.

La réalisation scientifique s'érige en exemple pour les autres organisations et l'on peut regretter le manque de moyens dévolus à la communication au grand public. Mais cela n'est, malheureusement, pas l'apanage du seul CERN.

L'avenir est en marche puisque, le LHC n'étant pas même en service, les premières décisions relatives à son successeur se prennent. Il pourrait bien s'agir du CLIC, un accélérateur linéaire offrant de nouvelles perspectives à la recherche.

Je ne me suis volontairement pas attardé sur les découvertes et recherches menées au CERN, celles-ci étant bien trop diverses et nombreuses ainsi que parfois très complexe. Le but était de donner une vision d'ensemble de cette organisation.

Lexique :

Hadrons (p3): particules composites maintenues par l'interaction forte ce qui est le cas du proton (formé de quarks). En ce qui concerne les ions de plombs utilisés, il s'agit de Pb^{82+} c'est à dire des noyaux de plomb (puisque le plomb comporte 82 électrons à l'origine qui lui sont ici tous retirés). On notera que les protons sont eux aussi formés par les mêmes techniques, à savoir qu'il s'agit d'ion hydrogène (H^+).

Rayons cosmiques (p3): particules provenant de l'espace interstellaire, le plus souvent des noyaux d'atomes, qui rencontrent parfois les noyaux des atomes d'oxygène et d'azote de l'atmosphère terrestre produisant ainsi des gerbes de nouvelles particules. Leur intérêt réside essentiellement dans le fait que c'est la seule matière extérieure au système solaire qui nous parvient. Ils sont souvent les messagers d'évènement violents.

Gluons (p8) : particules véhiculant l'interaction forte, notamment au sein des hadrons. Sa portée n'excède pas le noyau atomique.

Sources :

- Documentation du CERN
- L'excellent site : www.cern.ch
- La très complète brochure du CERN relative au LHC téléchargeable ici : <http://cdsweb.cern.ch/record/1095481/files/CERN-Brochure-2008-001-Fre.pdf>
- L'encyclopédie Universalis