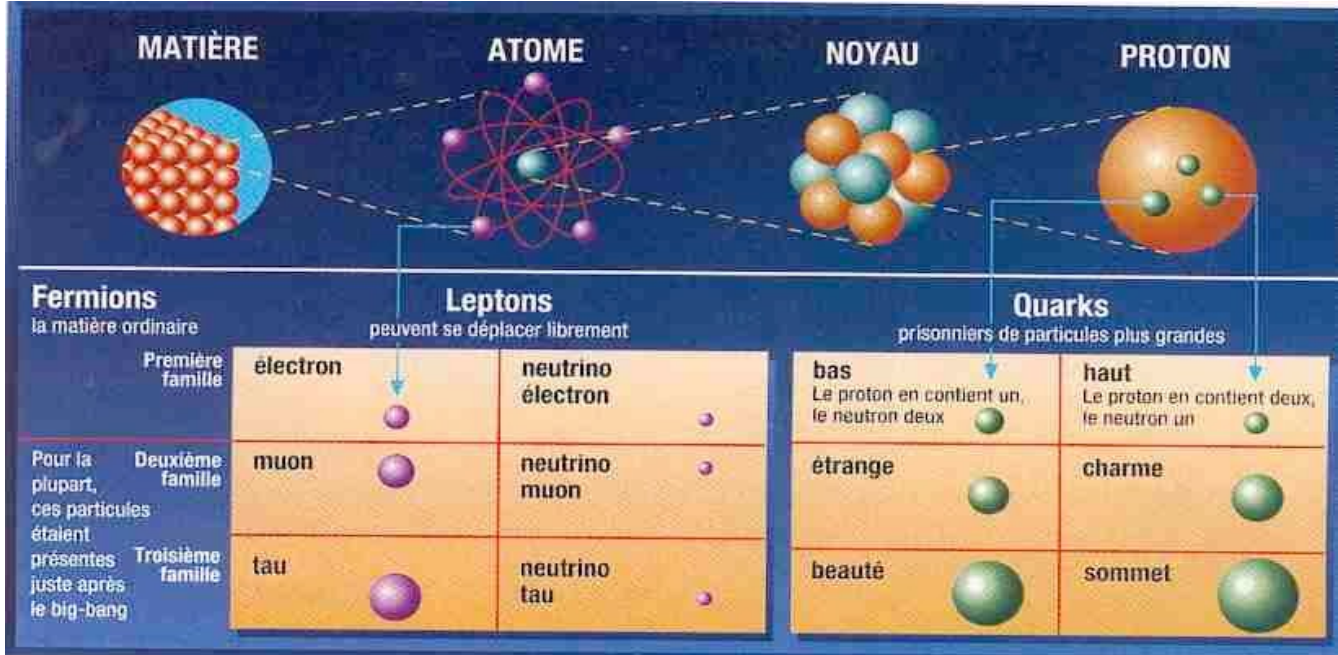


# Le Grand Collisionneur du Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) au Carrefour de l'infiniment petit et de l'infiniment grand

Prof. Abdeslam Hoummada  
Abdeslam.Hoummada@cern.ch

## I – Introduction :

Quête ultime de la physique des particules. Il s'agit rien de moins que de trouver la brique ultime de la matière et de décrire entièrement l'univers à l'aide de l'interaction de quelques éléments fondamentaux ou particules élémentaires. La matière est constituée d'assemblages d'éléments de plus en plus petits, les molécules d'atomes, les atomes d'un noyau autour duquel gravitent des électrons, les noyaux de protons et de neutrons, ces derniers sont constitués de particules plus élémentaires appelées quarks. Depuis le début des années soixante-dix, la physique des particules repose sur un modèle dit standard, permettant d'expliquer l'essentiel des observations expérimentales de manière cohérente. Le modèle standard élaboré au cours des années soixante et soixante-dix par trois physiciens, S. Weinberg, A. Abdus Salam et H. Glashow, les trois prix Nobel (1980), est de plus en plus précisément confirmé par l'expérience, et s'est montré tellement prédictif qu'il est plus proche d'une théorie que d'un modèle. Le modèle standard est régi par les lois de la mécanique quantique et de la relativité.



Les constituants élémentaires : La première famille donne les constituants élémentaires de la matière ordinaire

Les douze particules fondamentales du modèle standard, appelées fermions, sont les constituants fondamentaux de la matière. Chaque particule se caractérise par sa masse, sa durée de vie et certaines grandeurs, appelées nombres quantiques, qui ne peuvent prendre que quelques valeurs précises. Dans le modèle standard une particule est définie par ses charges (électriques et autres) et son spin qui caractérise sa rotation autour d'elle-même et qui ne peut prendre que des valeurs entières (bosons) ou demi-entières (fermions).

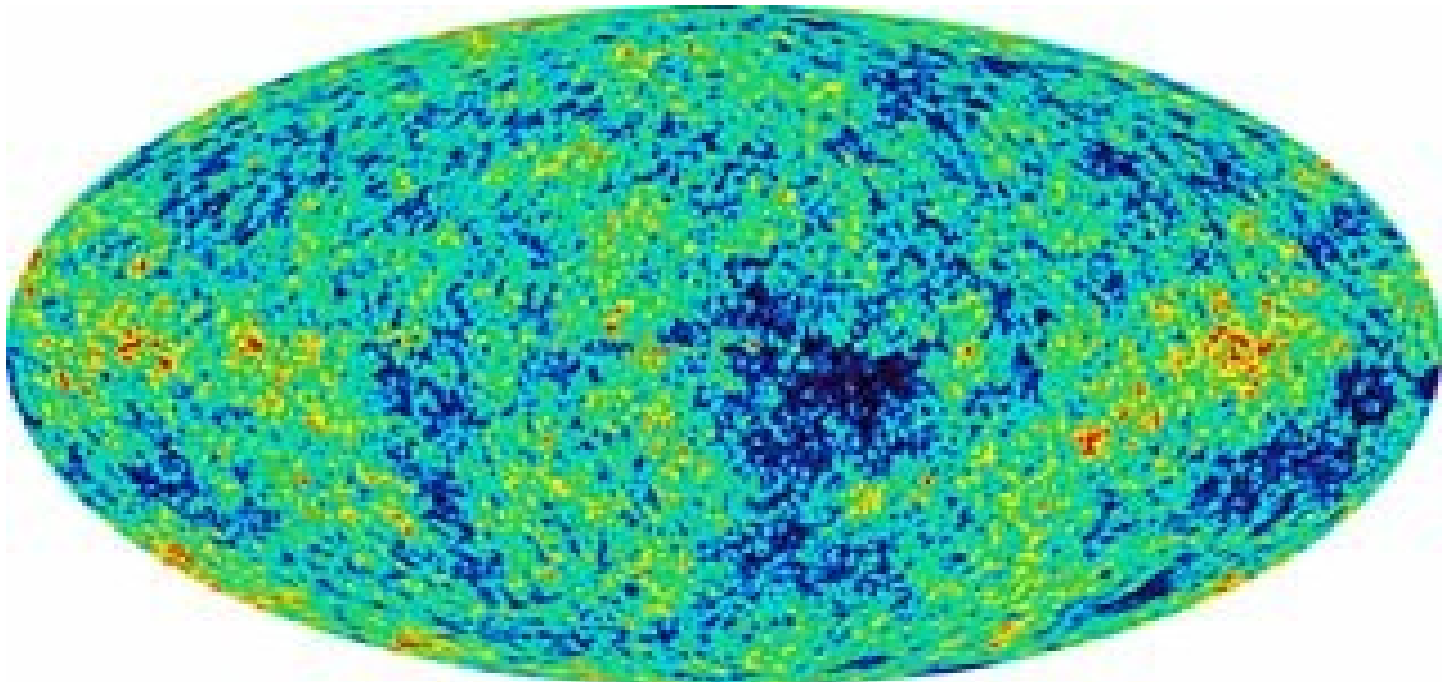
Ces douze fermions sont classés en trois familles comme le montre le tableau ci-dessus. Les particules de la première famille constituent à elles seules la matière accessible à nos sens. Les particules des deux autres familles lui sont comparables mais plus massives. On peut les créer dans les accélérateurs, mais elles se désintègrent rapidement, ce qui explique leur extrême rareté dans les rayons cosmiques, à l'exception des neutrinos qui sont stables et remplissent l'univers. Les interactions entre fermions sont régies par quatre forces fondamentales. Pour la mécanique quantique, l'interaction entre deux particules équivaut à l'échange d'une particule vecteur, un peu à la manière de deux joueurs de tennis s'envoyant une balle lors d'un échange, ce qui les maintient en moyenne à une distance fixe. Les vecteurs des interactions sont des bosons c'est à dire ayant un spin entier. La gravitation, décrite il y a plus de trois siècles par Newton puis redéfinie par Einstein n'intervient pas dans le modèle standard : elle est beaucoup trop faible pour affecter les interactions individuelles entre particules. La force électromagnétique, connue depuis le dix-neuvième siècle, assure la cohésion de l'atome par l'attraction entre l'électron de charge négative et les protons positifs du noyau. Comme la gravitation l'interaction électromagnétique est de portée infinie, son vecteur ou médiateur est le photon, une particule de masse nulle. Pour expliquer certaines désintégrations rares des noyaux atomiques, il a fallu introduire une troisième interaction dite faible à cause de son intensité limitée, et de portée très inférieure à la taille du noyau. La masse importante de ses trois bosons vecteurs explique cette faible portée. Le modèle standard considère les interactions électromagnétique et faible comme deux manifestations d'une même force dite électrofaible. L'interaction forte, dont les vecteurs sont huit gluons (glue) non massifs, maintient les quarks groupés au sein des protons et des neutrons.

INTERACTIONS	PORTÉE	INTENSITÉ	MESSAGER	ACTEURS	CHARGE SPÉCIFIQUE
Gravitationnelle 	infinie	$10^{-38}$	Graviton ?	Toutes particules	Masse, énergie
Électro-magnétique 	infinie	$10^{-2}$	Photon	Leptons chargés et quarks	Charge électrique
Nucléaire forte 	$10^{-13}$ cm	1	Gluon	Les quarks	Charge couleur
Nucléaire faible 	$10^{-16}$ cm	$10^{-7}$	$W^+$ , $W^-$ , $Z^0$	Tous les leptons et tous les quarks	Charge faible

Les quatre forces

Munis de ces quelques particules et interactions, le physicien pourrait expliquer tous les faits expérimentaux, à deux détails près. Tout d'abord, aux particules il faut ajouter l'antimatière. Pour chacune de ces particules il existe une antiparticule de caractéristiques et comportement identiques, mais de charges opposées. Détectées et même produites auprès des accélérateurs et des rayons cosmiques, ces particules semblent largement absentes de l'univers. Pourquoi ? On pense que très tôt après le Big Bang, il existait autant de particules que d'antiparticules. Elles se seraient mutuellement annihilées en créant des photons, à l'exception d'une infime fraction (1 pour un milliard) excédentaire de particules qui constituent la matière actuelle. Les photons produits circulent encore, c'est le fameux rayonnement fossile qui baigne l'univers. Ce rayonnement fût découvert de manière fortuite par deux radioastronomes, ingénieurs de la société Bell, Arno Penzias et Robert Wilson en 1965, prix Nobel 1978. Il aura fallu attendre 1998 pour que ce rayonnement fossile soit cartographié par George Smoot et John Mather grâce au télescope COBE. Ce rayonnement a été libéré 300000 ans après le Big Bang suite au découplage du rayonnement et de la matière, du fait de la chute de la température (3000 K) due à l'expansion de l'Univers, voir figure histoire de l'univers. Ce découplage a rendu l'univers transparent et ce temps est la limite de nos possibilités d'observation par les instruments basés sur la détection du rayonnement photonique. Ce rayonnement est homogène dans toutes les directions avec d'infimes fluctuations d'environ 0.01%.

Carte de température du rayonnement fossile de photons  $T = 2.726$  K – Fluctuations à 0.00001 K



- Le deuxième détail, concerne la masse des particules, le modèle prévoit que toutes les particules sont dépourvues de masse : il n'explique donc pas les différences entre les photons de masse nulle, et les bosons de l'interaction faible, massifs. Pourquoi toutes les particules

n'ont-elles pas la même masse ? Peter Higgs François Englert et Robert Brout ont proposé en 1964 une explication de l'apparition de la masse par une brisure spontanée de la symétrie de l'univers. Ce phénomène de brisure de symétrie aurait laissé une trace sous la forme d'un boson supplémentaire dont l'interaction avec les autres particules créerait leur masse. On pense que l'univers baigne dans un champ de Higgs c'est à dire qu'il est rempli de bosons de Higgs et dont l'interaction avec les particules leur confère une masse, et plus cette interaction est intense plus la masse de la particule sera élevée. Pour expliquer la masse des particules, les physiciens imaginent que le vide est baigné par le boson de Higgs, particule associée au champ de Higgs. Lorsqu'une particule qui nous apparaît légère traverse une assemblée de bosons de Higgs, c'est comme si une personne pas ou peu connue pénétrait dans une salle pleine de monde. Elle interagit plus ou moins avec la foule seuls quelques bosons s'agglutinent. Inversement, si une particule célèbre dans un bain de bosons de Higgs aura une interaction plus importante. Les bosons s'agglutinent autour, elle avance plus difficilement. Et apparaît plus lente c'est à dire plus massive. C'est comme si Einstein ou un homme politique influent pénètre dans la salle pleine de monde il aura du mal à avancer tout le monde s'agglutinera autour de lui, de ce fait il paraîtra plus lent et plus lourd. Cette analogie a été avancée par un physicien Anglais pour convaincre son ministre à financer le projet LHC et les programmes de recherche autour.

Le boson de Higgs est le seul point vraiment obscur du modèle standard. La grande préoccupation actuelle des physiciens reste le boson de Higgs, c'est une des principales motivations des collisionneurs de haute énergie comme le Large Hadron Collider du Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) à Genève. Par ailleurs le modèle standard admet une vingtaine de paramètres arbitraires tels que les masses des particules qu'il faut introduire à partir des résultats expérimentaux, or pour que ce modèle devienne une théorie il ne doit pas admettre de paramètres libres. En conclusion le modèle standard comme son nom l'indique n'est qu'un modèle, il n'est pas très prédictif, il n'est pas applicable pour les très hautes énergies correspondant au début de l'univers, une théorie plus complète reste à construire et le LHC pourrait donner la voie à suivre pour son élaboration. En effet depuis une quarantaine d'années plusieurs approches et modèles ou théories ont été avancés pour compléter ou remplacer le modèle standard. A titre d'exemple nous pourrions citer : La théorie de supersymétrie qui prévoit l'existence de plusieurs nouvelles particules massives partenaires des particules ordinaires connues. Aucune preuve expérimentale de ces particules supersymétriques n'a été trouvée, les énergies accessibles au LHC pourrait apporter une réponse définitive sur la validité de cette théorie. Cette théorie a l'avantage de résoudre du moins théoriquement plusieurs énigmes de notre univers. L'observation des amas de galaxie et de leur dynamique nous révèle l'existence de halos de matière non visible ou matière noire qui assurent la stabilité gravitationnelle des galaxies. Les particules supersymétriques pourraient être une solution pour résoudre l'énigme de la matière noire. Les observations actuelles nous montrent que l'univers est constitué de 4% de matière ordinaire observable, 26% de matière noire et 66% d'énergie noire responsable de l'accélération de l'expansion de l'univers. D'autres théories avancent la remise en cause du concept d'espace temps à quatre dimensions, trois pour l'espace et la quatrième représente le temps. Il est proposé un espace temps de 11 dimensions 10 pour l'espace et une pour le temps. Plusieurs concepts fondamentaux qui ont façonné toute la science physique du siècle dernier, tels que les symétries, pourraient être bouleversés.

Mais ces deux détails peuvent avoir des conséquences considérables sur l'évolution de la science en ces débuts du troisième millénaire. L'histoire des sciences nous apprend qu'à partir de certains détails apparemment anodins il y a eu des révolutions scientifiques qui ont changé la vie quotidienne de l'Homme. Citons à titre d'exemple qu'au début du siècle dernier le Physicien Anglais William Thomson déclara : « Que mis à part le problème du corps noir et l'expérience de Michelson-Morley, la science physique forme aujourd'hui pour l'essentiel un ensemble parfaitement harmonieux, un ensemble pratiquement achevé ». A cette époque on déconseilla même aux étudiants de ne plus faire de recherche en physique car il n'y avait plus rien à découvrir. Or de l'élucidation de ces deux désaccords théorie expérience ou bien de ces deux détails comme disaient certains vont naître les deux plus grandes théories de la physique moderne à savoir la mécanique quantique et la relativité.

Tous les indices concordent sur le fait que nous sommes à l'aube d'une nouvelle physique, la porte d'une nouvelle ère scientifique est entrouverte et nous ne savons pas ce qu'il y a derrière. Nous sommes dans une situation comparable à celle de la découverte d'un nouveau monde avec tout ce que cela comporte comme mystères et spéculations.

Les conséquences de ces programmes de recherche ne vont pas concerner uniquement le monde subatomique, elles pourront bouleverser complètement notre conception de l'univers basée sur le modèle standard du Big Bang. Les deux figures ci-après montrent l'interconnexion de l'infiniment petit et de l'infiniment grand. Les deux champs disciplinaires sont étroitement liés et sont mutuellement contraignants l'un vis à vis de l'autre. Ces figures montrent aussi que l'histoire de l'univers est directement liée à celle de la genèse de la matière c'est à dire la genèse des particules.

# Évolution de l'Univers

13,7 milliards d'années

**Aujourd'hui**

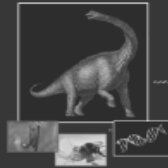


Aujourd'hui, au CERN, nous remontons le temps pour étudier les origines de la matière

**-270°C**

10 milliards d'années

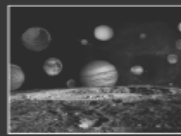
**Vie sur la Terre**



Une soupe de molécules organiques apparaît sur la Terre, une petite planète bleue perdue dans l'immensité de l'Univers

9.2 milliards d'années

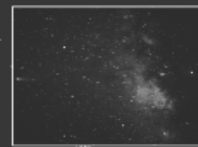
**Système solaire**



La gravité rassemble les débris d'étoiles pour constituer les planètes

200 millions d'années

**Étoiles et galaxies**



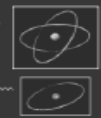
La gravité rassemble des nuages d'atomes pour constituer les étoiles

Les atomes lourds, éléments de base de la vie, sont synthétisés dans le cœur des étoiles

**4000°C**

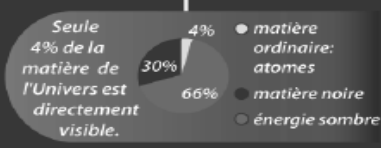
380 000 ans

**Atomes légers**



Les électrons se lient aux noyaux atomiques pour former les atomes d'hydrogène et d'hélium

Les photons n'interagissent plus avec les électrons : l'Univers devient transparent et s'illumine



Atome d'hélium



Atome d'hydrogène

Domaine d'exploration du LHC

$10^{-25}$  secondes

3 minutes

**Noyaux légers**

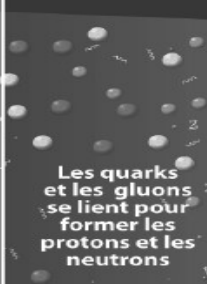


Les protons et les neutrons se lient pour former les noyaux atomiques

Les photons sont continuellement absorbés et émis à nouveau : l'Univers est opaque

0,01 milliseconde

**Protons et neutrons**



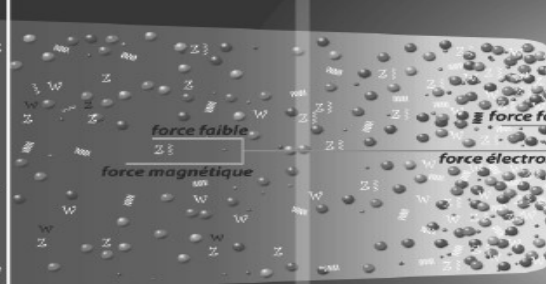
Les quarks et les gluons se lient pour former les protons et les neutrons

L'Univers a la taille du système solaire

**$10^{12}$ °C**

$10^{-12}$  secondes

**Plasma quarks-gluons**



force faible

force magnétique

force forte

force électrofaible

force électrofaible

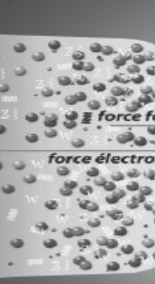
gravitation

L'Univers a un rayon de 300 million de km

**$10^{15}$ °C**

$10^{-35}$  secondes

**Superforce**



L'Univers a la taille d'une pomme

**$10^{27}$ °C**

$10^{-43}$  secondes



**Big Bang**

L'Univers est un point infiniment petit

**$10^{32}$ °C**

- 2 protons + 2 neutrons = noyau d'hélium
- 1 proton = noyau d'hydrogène

- Proton
- Neutron
- Méson

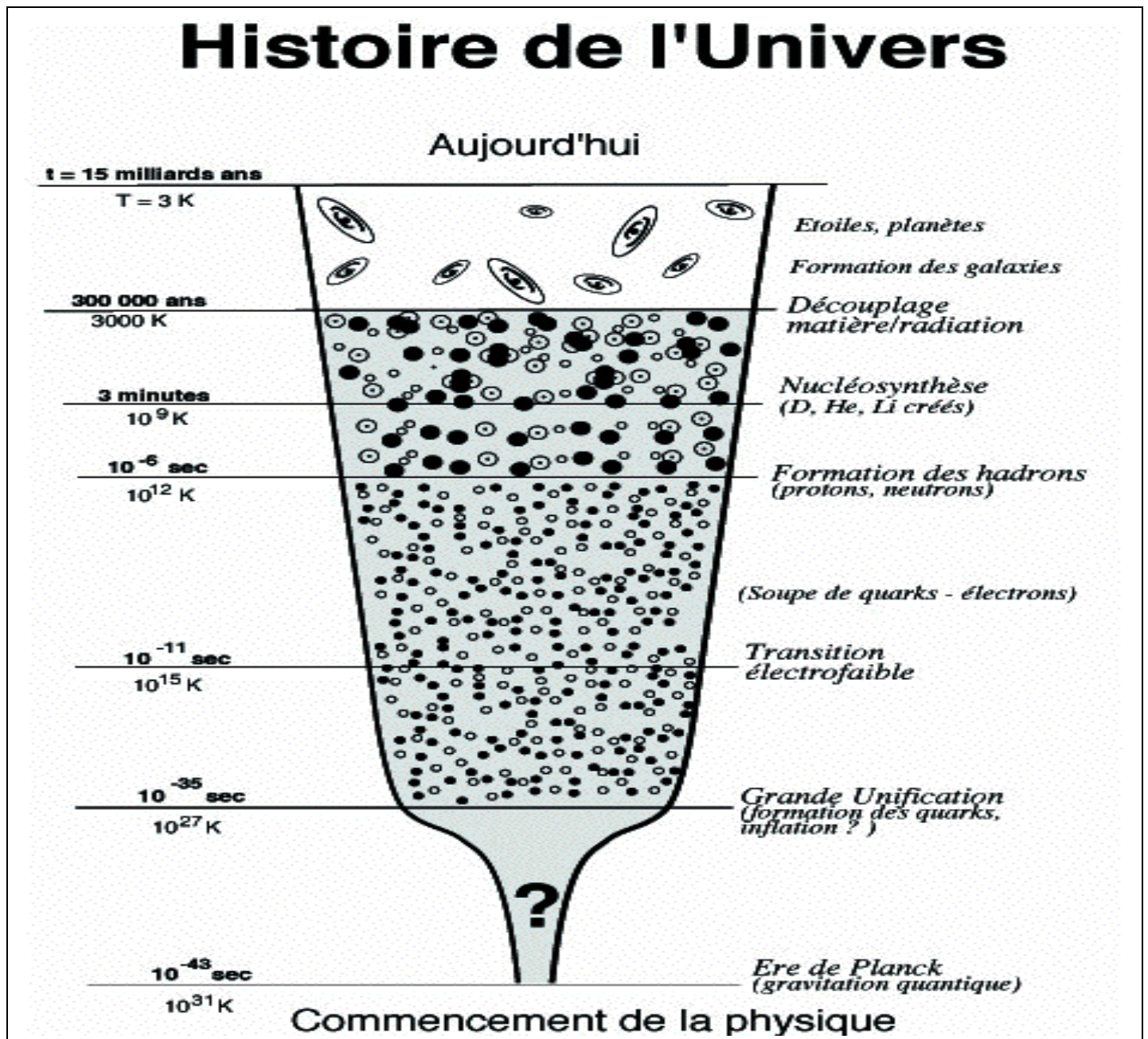
- Quark
- Électron
- Neutrino

- Photon
- Force faible
- Force forte

**$10^{17}$ °C**



# Histoire de l'Univers



## Le Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN) :

Le CERN est actuellement le plus grand laboratoire de recherche au monde, en témoigne les quelques chiffres que nous donnons ci-après. Situé à cheval sur la frontière entre la Suisse et la France, il a été fondé en 1954 par 12 pays Européens, scellant l'Europe scientifique bien avant l'Europe politique et économique. Il fût un élément de paix, de stabilité, de coopération entre les pays d'Europe après deux guerres mondiales meurtrières. Le CERN est pour l'Europe un élément de rapprochement des peuples et de développement Humain, scientifique, technologique et économique. Le premier Directeur Général du CERN déclara lors de l'inauguration du CERN en 1957, « que celui qui entre au CERN laisse sa nationalité au portail », faisant ainsi du CERN non seulement un laboratoire Européen mais un laboratoire mondial travaillant pour le bien être de l'humanité. C'est au sein de ce laboratoire que le Web a été découvert par Tim Barners Lee et mis gracieusement à la disposition de l'humanité, et cette découverte a été motivée au départ par le souci de mettre en temps réel à la disposition des membres des collaborations internationales les données recueillies auprès du système d'accélérateurs de CERN. Actuellement 20 pays Européens sont des états membres plusieurs pays non Européens contribuent au fonctionnement et au développement du CERN tels que les Etats Unis, La Chine, le Japon et l'Inde, d'autres pays bénéficient de statuts d'observateurs ou bien d'accords de coopération tel que le Maroc depuis 1996. Le Maroc a été le premier pays Arabe et Africain bénéficiant d'un tel statut. Les programmes de recherche développés dans ce laboratoire mondial impliquent plus de 8900 chercheurs de 562 institutions de 59 pays des cinq continents. Toutes les expériences sont conduites par des collaborations internationales qui peuvent atteindre jusqu'à 2000 chercheurs (Expérience ATLAS ou CMS). Le budget de fonctionnement du CERN pour l'année 2007 a été de 986.9 Millions de Francs Suisses soit à de l'ordre de 7 Milliards de DH.

Le CERN a pour vocation aussi l'éducation et la formation de jeunes étudiants chercheurs, chaque année plusieurs écoles sont organisées en physique des hautes énergies, en informatique, en technologie des accélérateurs, ... Ces écoles sont ouvertes à tous les jeunes des pays partenaires du CERN. En 2007 plus de 9000 jeunes ont bénéficié d'une formation au CERN. Le CERN met à la disposition des pays

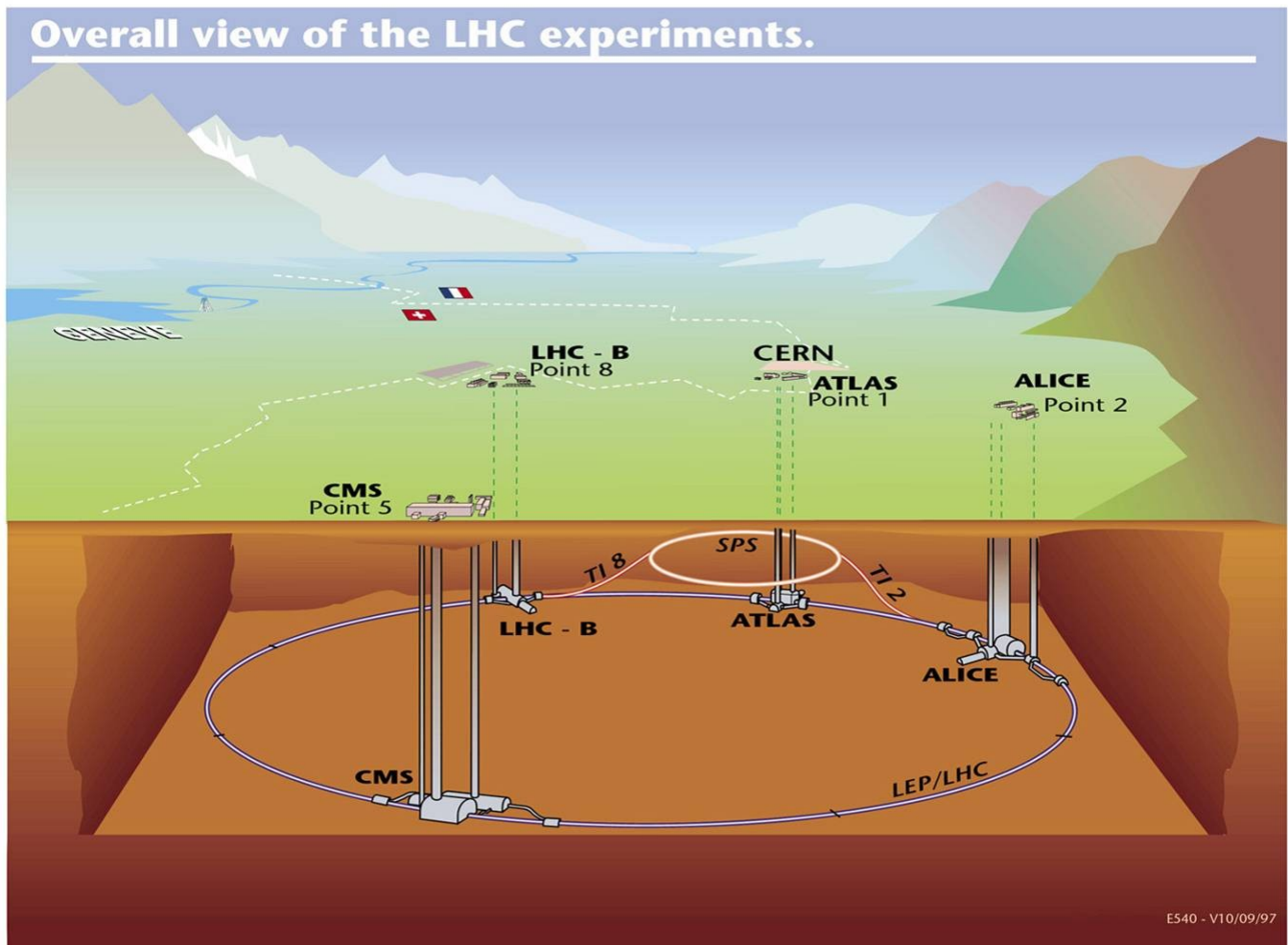
partenaires son expertise et son assistance dans les domaines de technologie de pointe, la cryogénie, l'ultra vide, l'informatique, la microélectronique,...

Un effort particulier est déployé par le CERN pour rendre accessible les développements scientifiques et technologiques à l'ensemble de la société à travers des journées portes ouvertes, des conférences grand public des expositions permanentes ainsi qu'à travers son site web: <http://www.cern.ch>.

Vers le milieu des années quatre vingt on commença à réfléchir à une nouvelle machine plus puissante que le LEP, grand collisionneur électron positron, qui au lieu d'accélérer des électrons et des positrons (antiélectron) accélèrent deux faisceaux de protons dans des sens opposés. La construction de cette machine baptisée le LHC (Large Hadron Collider) a été approuvée par le conseil du CERN en 1994.

## Large Hadron Collider : LHC

Le LHC occupe le tunnel du LEP construit en 1984, long de 27 kilomètres et enfoui sous terre à une profondeur de 100 à 150 mètres.



Tunnel du LHC avec les quatre sites des expériences les plus importantes

Les performances du LHC sont hors du commun, les deux faisceaux de protons vont atteindre chacun une énergie de 7 TeV soit une vitesse de 99.9999991 % la vitesse de la lumière qui est de l'ordre de 300 000 kilomètres par seconde. Au quatre points de collision des deux faisceaux, où sont installées les expériences, l'énergie disponible est de 14 TeV. Cette énergie, jamais atteinte auparavant, permettra de recréer les conditions de l'univers quand il avait un âge de  $10^{-25}$  seconde et une température de  $10^{17}$  °C. En plus de l'énergie, paramètre important d'un accélérateur, le deuxième paramètre est le nombre de collisions. Dans un collisionneur tel que le LHC, la probabilité d'un phénomène varie avec ce qu'on appelle la luminosité, grandeur qui dépend du nombre de paquets dans le faisceau, du nombre de particules par paquet, de la fréquence des révolutions autour de l'anneau, et de la section efficace du faisceau. En résumé, il faut concentrer le maximum de particules dans l'espace le plus réduit possible autour de la région d'interaction.

Les deux faisceaux, constitués chacun de 2808 paquets de 100 milliards de protons, circulent dans deux tuyaux où règne un vide ultra poussé correspondant à une pression dix fois plus faible que sur la lune. Ces protons chargés positivement sont dirigés par 1232 aimants

Supraconducteurs de 15 m de long et pesant 34 tonnes chacun et produisant un champ magnétique de 8.3 Tesla soit 160 000 fois le champ magnétique terrestre. Ces aimants supraconducteurs constitués par des bobinages qui ont nécessité plus de 1.5 milliards de kilomètres de câbles (5 fois aller retour terre-soleil), ils sont parcourus par un courant de 11 700 ampères et refroidis à l'hélium liquide superfluide. La température de ces aimants est de 1.9 °K soit -271.3 °C, le tunnel du LHC est l'endroit le plus froid de l'univers, plus froid encore que le vide intersidéral. Filant à une vitesse très proche de la vitesse de la lumière, ils parcourent 11000 fois par seconde les 27 kilomètres de circonférence des tubes à vide. Avec les 200 milliards de protons des deux faisceaux il ne se produit qu'une vingtaine de collisions, or ces paquets se croisent à la cadence de 30 millions de fois par seconde, ainsi le LHC génère jusqu'à 600 millions de collisions par secondes.

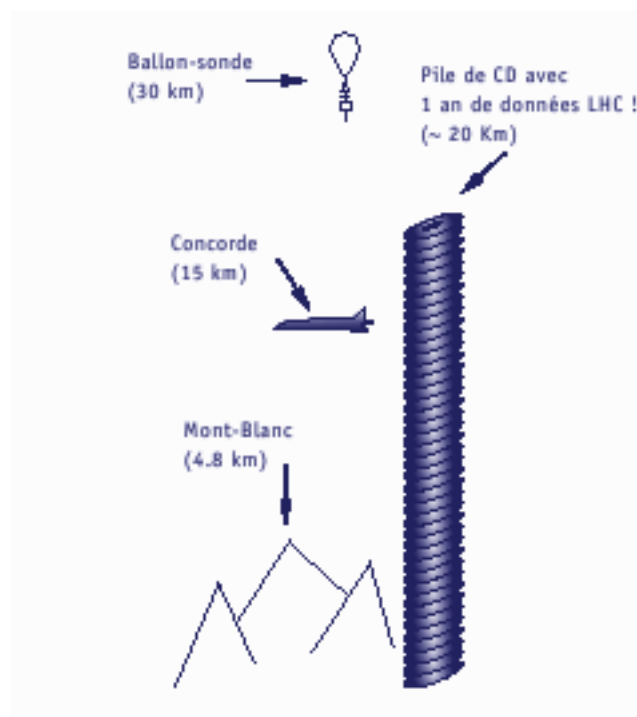
Outre des faisceaux de protons le LHC pourra accélérer des faisceaux d'ions de Plomb, l'énergie atteinte est encore plus importante 1150 TeV et permettra d'étudier les plasmas de quarks et gluons ainsi que les conditions extrêmes, de température et de pression, du coeur des étoiles, de tels états de la matière a probablement existé immédiatement après le Big Bang, juste avant la formation de particules telles que les protons et les neutrons.

Les énergies atteintes lors des collisions proton proton ou avec des noyaux de Plomb pourront produire des mini trous noirs qui d'après le physicien Stephen Hawking se désintégreront immédiatement, leur étude se fera à travers la détection de leurs produits de désintégration. Les trous noirs sont des objets célestes produits par l'effondrement gravitationnel des étoiles en fin de vie et ayant une masse supérieure à 2 fois la masse solaire. La production éventuelle des mini trous noirs ne représente aucun danger, car si ce mécanisme de production s'avère exact, alors le même phénomène a lieu en permanence en haute atmosphère par interaction des rayons cosmiques de très haute énergie avec les atomes de matière.

Enfin le coût global du LHC est de l'ordre de 3 milliards d'Euros, dont les plus importantes contributions proviennent des 20 pays Européens membres du CERN, les Etats Unis, le Japon, la Chine, l'Inde et la Russie.

### Les retombées technologiques du LHC :

La construction du LHC a nécessité la mise au point de nouvelles technologies dans divers domaines, pour plus d'informations voir le site <http://www.cern.ch>. Il aura fallu plus de 10 ans de conception et de fabrication de nouveaux instruments pour assurer les meilleures performances de la machine. Ces innovations ont concerné les domaines de la cryogénie, de l'ultra vide, l'électronique et la microélectronique, la supraconductivité ainsi que l'informatique distribuée. Dans le cas de l'informatique la principale innovation a concerné la mise au point du concept de grille de calcul. Le volume des données qui sera recueilli par les expériences sera de 15 000 000 Go (15 Po) par an, l'équivalent d'une pile de CD-ROM haute de 20 km. Des milliers de scientifiques à travers la planète accéderont à cette gigantesque quantité de données, qu'ils analyseront. La grille de calcul pour le LHC a pour mission de mettre en place et d'entretenir une infrastructure de stockage et d'analyse de données pour tous les chercheurs en physique des hautes énergies appelés à utiliser le LHC. Le concept de grille connaît des applications dans d'autres domaines tels que les finances, les risques naturels, la météo et le changement climatique, l'éducation et l'enseignement, le transport aérien...

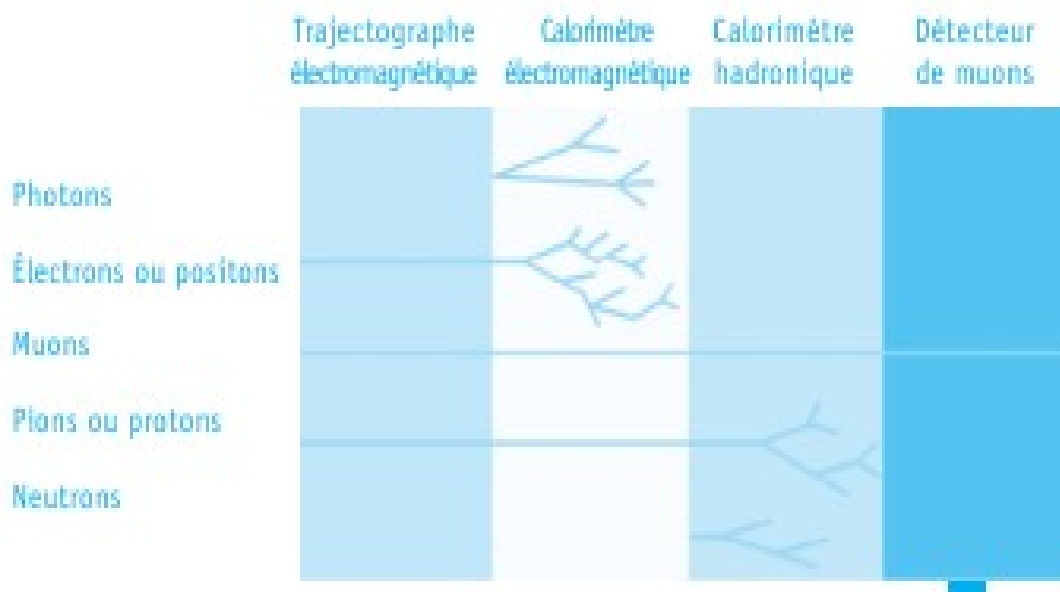


Le CERN connaît en ce moment une effervescence sans précédent, à cause du démarrage imminent du plus grand accélérateur du monde le collisionneur Large Hadron Collider (LHC) qui est considéré comme la machine la plus sophistiquée jamais construite par l'Homme et sa mise en service est fixée pour le mercredi 10 Septembre 2008. Cette événement sera suivi par les plus grands médias du monde développé et sera retransmis en Eurovision. L'inauguration officielle est programmée pour le 21 Octobre en présence de plusieurs chefs d'états Européens et de délégations d'autres pays des cinq continents.

## Les expériences auprès du LHC :

Auprès du LHC 4 grosses expériences sont déjà installées ATLAS, CMS, ALICE et LHCb, ces expériences sont conduites par des collaborations internationales.

L'objectif de ces expériences est de faire un bilan des produits de chaque collision de caractériser les particules produites, de manière à reconstituer l'ensemble du processus. Ces produits sont suivis à la trace par des détecteurs en forme d'oignons dont chaque pelure à un rôle spécifique comme schématisé sur la figure ci-après.



## L'expérience ATLAS :

ATLAS est un détecteur polyvalent conçu pour couvrir les aspects les plus divers de la physique au LHC, de la recherche du boson de Higgs à celle de la supersymétrie en passant par la quête de dimensions supplémentaires. Le détecteur ATLAS est le plus grand instrument jamais construit par l'Homme c'est un cylindre de 44 mètres de longueur, 22 mètres de diamètre et pesant plus de 700 tonnes. Le coût global estimé du détecteur ATLAS est de 338 millions d'euros.

Le détecteur ATLAS est caractérisé principalement par son énorme système magnétique toroïdal. Celui-ci est composé de huit bobines magnétiques supraconductrices de 25 mètres de long disposées en cylindre autour du tube du faisceau. ATLAS est le plus grand détecteur jamais construit pour un collisionneur. La collaboration compte plus de 1900 membres provenant de 164 institutions dans 35 pays, le soleil ne se couche jamais sur la collaboration ATLAS, les scientifiques qui y travaillent viennent de tous les continents, sauf l'Antarctique. Le Maroc seul pays Arabe et Africain travaille au sein de cette collaboration depuis 1992, le mémorandum d'entente a été signé en 1996. Le Maroc participe à cette expérience par le pôle de compétences Réseau universitaire de Physique des Hautes Energies (RUPHE , <http://ruphe.fsac.ac.ma>) sous la tutelle du Centre National de la Recherche Scientifique et Technique (CNRST). Ce pôle de compétences regroupe les Universités : HASSAN II Ain Chock Casablanca, Mohamed V Agdal Rabat, Cadi Ayyad Marrakech, Mohamed Premier d'Oujda et le Centre National de l'Energie des Sciences et Techniques Nucléaires (CNETSEN).

La participation du Maroc dans ATLAS a consisté dans un premier temps en la construction, de 1997 à 2003, d'un sous détecteur du calorimètre électromagnétique. Cette construction a été réalisée au Maroc et l'élément construit est actuellement installé au sein du détecteur ATLAS dans l'attente des premières collisions du LHC. De 1992 à 1996, les physiciens Marocains ont participé à la réalisation des études sur le développement et le choix des matériaux et de l'électronique supportant un taux de radiation élevé et fonctionnant à des températures cryogéniques (77 K), azote liquide et argon liquide.

Travaillant à la limite de la connaissance et à la frontière de la technologie le détecteur ATLAS a été construit avec des technologies qui ont été mises au point par la collaboration elle-même, de ce fait l'expérience ATLAS est un défi technologique que l'ensemble de la collaboration a su relever. La grande majorité des technologies utilisées n'existaient pas il y a une quinzaine d'années. Ces nouveaux développements techniques trouvent leur application d'ores et déjà dans divers domaines de la vie quotidienne allant du sèche cheveux à l'étude de la rétine. Dans ce sens nous pourrions citer quelques innovations techniques telles que l'imagerie médicale, l'étude des protéines et de nouveaux matériaux à l'aide de nouveaux détecteurs de rayons X, la grille de calcul... Ces développements ont nécessité sur plus d'une dizaine d'années la conception et la construction de prototypes de plusieurs composants d'ATLAS, et chaque composant n'est adopté par la collaboration qu'après une multitude de tests rigoureux pour plus de détails voir <http://www.atlas.ch/transfers>.

La participation Marocaine à cette expérience a permis à plus d'une vingtaine d'enseignants chercheurs de développer de nouvelles compétences en microélectronique, informatique et grille de calcul, physique nucléaire et physique des hautes énergies, ... Les retombées au niveau de la formation sont traduites par la qualité des filières d'enseignement qui ont été mises en place au sein des universités membres du



pôle de compétences RUPHE. Par ailleurs plus d'une vingtaine d'étudiants Marocains inscrits au Maroc ont préparé leur Doctorat au sein de cette expérience, et une vingtaine d'autres sont en cours.

Par ailleurs grâce à notre participation à l'expérience ATLAS et afin de disposer des données en temps réel à l'instar des autres membres de la collaboration, le Centre National de la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) a mis en place une grille de calcul MAGRID qui relie l'ensemble des Universités Marocaines à la grille LCG entre autres à travers Eumedgrid et Eumedconnect. Il est à noter que le Maroc est le seul pays Arabe et Africain qui dispose d'une grille de calcul Opérationnelle. Les chercheurs Marocains travaillant au sein d'ATLAS utilisent régulièrement la grille de calcul ce qui leur permet de disposer des possibilités des gros centres de calcul de l'ensemble des pays développés. Malgré que Magrid n'est utilisée en ce moment que par quelques Physiciens, plusieurs autres chercheurs et institutions publiques et privées seront amenés à l'utiliser pour réduire les investissements en moyen de calcul et aussi surtout harmoniser à grande échelle les outils de calcul.

### **Les autres expériences auprès du LHC :**

Nous présentons uniquement les quatre expériences importantes, il existe deux autres plus petites LHCf et Totem dont on peut consulter pour plus d'informations si on le désire sur le site web du CERN.

**L'expérience CMS :** La seconde expérience, appelée solénoïde compact pour muons ou CMS fait 21 mètres de long, 15 mètres de haut et pèse 12 500 tonnes. Elle a les mêmes objectifs que l'expérience ATLAS mais utilisant une technologie différente. La collaboration CMS comprend plus de 2000 chercheurs provenant de 181 institutions de 38 pays. Le coût de cette expérience est de 313 millions d'euros.

**L'expérience ALICE :** s'intéressera à la soupe primordiale de particules qui baignait l'univers juste après le Big Bang, en regardant non pas les collisions de protons mais des noyaux de Plomb. La collaboration ALICE comprend plus de 1500 chercheurs provenant de 104 institutions dans 31 pays. Le coût de cette expérience est de 313 millions d'euros.

**L'expérience LHCb :** cette expérience est consacrée à l'étude de la légère asymétrie entre matière et antimatière. La collaboration LHCb comprend plus de 650 membres provenant de 47 institutions dans 14 pays le coût de cette expérience est de 47 Millions d'Euros.

En conclusion la mise en service du LHC le 10 septembre 2008 ainsi que notre participation à l'expérience ATLAS est une occasion pour renforcer la dimension internationale de notre système de formation et de recherche. La science est universelle et notre contribution aux avancées scientifiques et technologiques de l'humanité entière renforcera le rayonnement scientifique et culturel de notre pays.

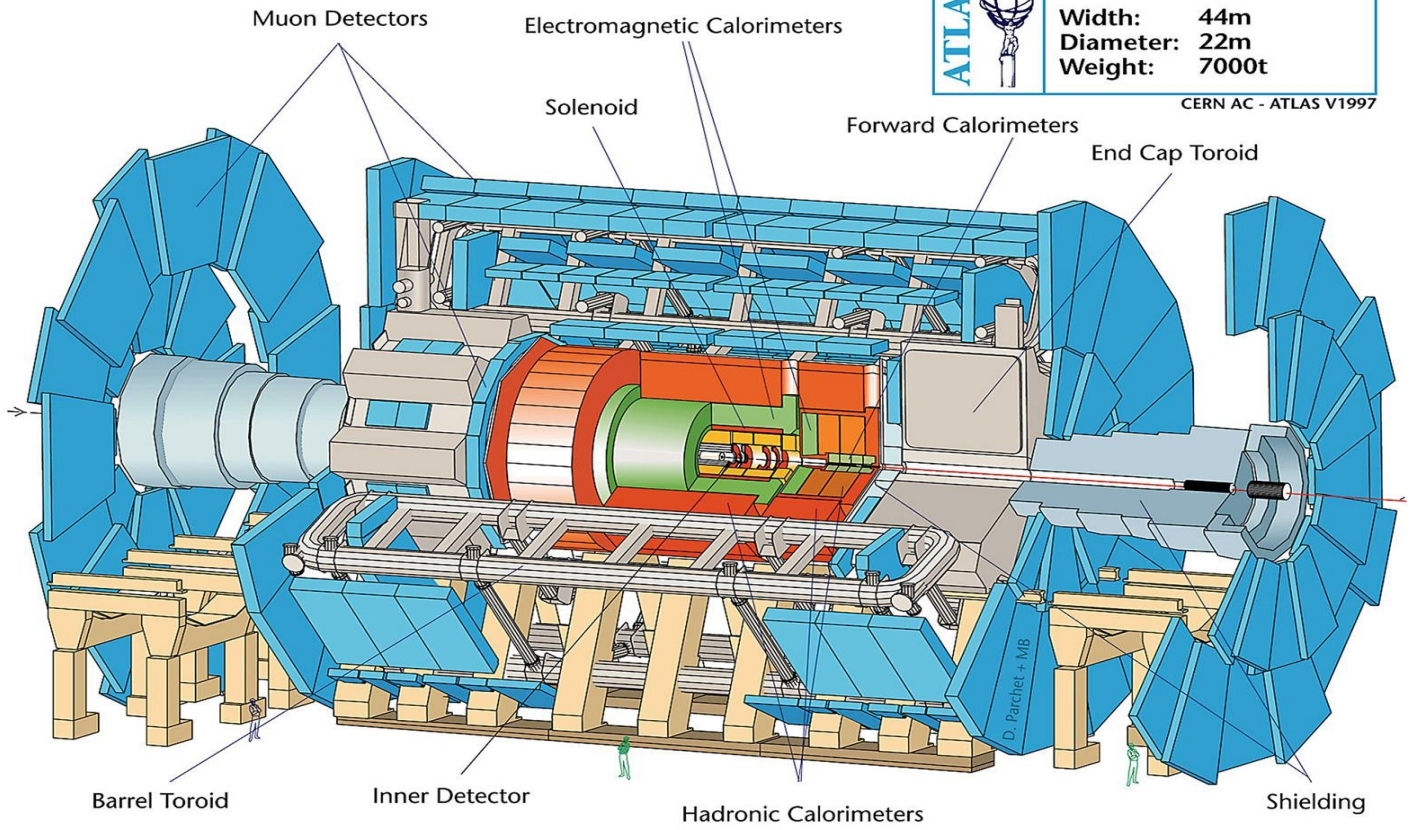
Enfin je saisis cette occasion pour mentionner que le 3 Novembre 2008 il y aura l'inauguration du centre SESAME en présence de sa majesté le Roi Abdallah II de Jordanie et du Directeur Général de l'UNESCO Mr. Koichiro Matsuura. Le centre international SESAME a été construit par l'UNESCO à Amman en Jordanie, ce centre a pour vocation la recherche fondamentale et appliquée par l'utilisation du rayonnement synchrotron émis par un accélérateur d'électrons (<http://www.sesame.org.jo>). Ce centre se veut être un mini CERN pour le moyen orient et la méditerranée aidant au rapprochement des peuples et limitant l'hémorragie de la fuite des cerveaux. Les pays membres de ce centre sont la Jordanie, l'Egypte, l'Autorité Palestinienne, l'Iran, Israël, les Emirats Arabes Unies, Chypre, la Turquie et le Pakistan. Le Maroc est membre observateur au sein du conseil de SESAME comme les états unis, la France, l'Allemagne, la suède et la Grèce. L'accélérateur de ce centre a été offert par l'Allemagne sa mise à jour et son amélioration pour l'adapter aux nouveaux besoins de recherche de la région du moyen orient et de la méditerranée a été faite sous l'égide de l'UNESCO par un ensemble d'experts scientifiques reconnus mondialement. Personnellement je participe au conseil de SESAME et à son comité scientifique depuis 1999 en tant qu'expert scientifique dans le domaine des accélérateurs et de physique des hautes énergies et j'espère que ce centre connaîtra les mêmes succès que son aîné le CERN. Plus de 70 projets de recherche provenant de groupes de recherche de la région ont été sélectionnés pour qu'ils soient réalisés auprès de SESAME dès sa mise en service.



### Detector characteristics

Width: 44m  
Diameter: 22m  
Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997



# The ATLAS Collaboration



Members of ATLAS include: ...  
ATLAS is a major international project involving more than 3000 scientists from 36 countries.  
The ATLAS experiment is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.  
The ATLAS experiment is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.  
The ATLAS experiment is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.



ATLAS is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.  
The ATLAS experiment is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.  
The ATLAS experiment is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.  
The ATLAS experiment is a general purpose detector designed to study the physics of the Standard Model and to search for new physics.