

La quête de l'infini

Lycée Laetitia Bonaparte

Projet Thalès:

- Philosophie et Astronomie

26-27 et 28 mars 2014

CADARACHE/ITER OHP LUMINY



26 mars

Réveil très matinal...rendez-vous à l'aéroport d'Ajaccio à 06h15

Mais nous sommes motivés....

Départ 7h15 arrivée à Marseille 8h

La 1ère journée a été consacrée à la visite de **Cadarache et ITER.**

- 10h : arrivée à Cadarache
- 10h30-11h15: présentation en salle avec maquette
- 11h15-12h : visite du chantier réacteur d'essai et d'exploitation RJH (Réacteur Jules Horowitz)
- 12h-13h : déjeuner au restaurant du personnel de direction
- 13h30-14h: tour du centre
- 14h-14h30: visite de Tore Supra
- *15h-17h30: visite du chantier ITER*

27 mars

Après une nuit passée à Sainte Tulle nous nous rendons à l'OHP (observatoire de Haute-Provence à St Michel l'observatoire)

- 9h30 Vidéo de présentation .
- 10h:Visite des instruments avec Jean-Pierre Sivan
- 11h-12h : visite de la station de géophysique
- 12h15: Déjeuner à l'observatoire
- 14h: Conférence de Luc Arnold
- 16h :conférence d'Alain Gillet

28 mars

Nouvelle nuit à Ste Tulle et à nouveau réveil matinal ..il faut être à l'université de Marseille Luminy à 8h45 et nous avons peur des « embouteillages »...

Masterclasse astroparticules de 9h à 18h au CPPM/IN2P3

Cadarache/ITER



L'entrée de Cadarache



Le chantier d'ITER et le groupe

Nous sommes arrivés devant l'entrée de Cadarache à 9h30 et nous avons attendu sur le parking, à l'intérieur du car ,que notre guide, Julien Gonzalez, vienne nous chercher et que les agents de sécurité viennent contrôler nos identités et le car ,après quoi nous avons eu le droit de pénétrer à l'intérieur du site.

Le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives de Cadarache

Le Commissariat à l'Énergie Atomique (abrégé CEA) est un centre de recherche sur l'énergie. Il est situé à proximité des départements Alpes-De-Haute-Provence, du Var et du Vaucluse. Le site est implanté au cœur d'une ancienne forêt. Il permet d'étudier et de rechercher des moyens de production d'énergie, comme le nucléaire. Depuis cinq ans environ avec la mise en place du Grenelle de l'environnement, le site a été rebaptisé « Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives » en effet car le site possède aussi beaucoup d'activités liées aux énergies renouvelables.



Afin d'étudier la production d'énergie le CEA de Cadarache dispose de plusieurs pôles de recherches : Notamment plusieurs réacteurs nucléaires à fission expérimentaux, très peu puissants comparés à un réacteur à fission classique. Pour l'exemple, le CEA a 3 réacteurs de test d'à peine 100 Watts chacun, ce qui représente la consommation de certaines ampoules électriques, sachant qu'un réacteur de production EDF en France produit en moyenne un peu plus d'un Giga Watt donc ils sont 10 millions de fois plus importants que ces réacteurs-ci. Le site est en constantes évolutions, avec de nombreux projets en constructions : Deux nouveaux réacteurs sont attendus : le réacteur Jules Horowitz qui exploite la technologie de fission et le réacteur à fusion nucléaire du projet ITER qui est développé en partenariat avec l'union européenne et de nombreux pays dans le monde entier. D'autre projets sont encore en aménagement notamment une plateforme solaire, et la production de bioélectricité.

Les grands acteurs du nucléaire en France



CEA :

Le **CEA** est un des trois grands acteurs du développement de l'énergie nucléaire en France avec Areva et EDF. Ils travaillent par ailleurs en collaboration pour la recherche nucléaire.



Areva :

Areva est un groupe industriel français spécialisé dans le nucléaire et les énergies renouvelables, ses activités au sein du nucléaire sont liées essentiellement à l'extraction de minerai d'uranium, à l'enrichissement du combustible nucléaire, à la construction de réacteurs, aux transports de matières radioactives...



EDF :

EDF est un groupe industriel français, premier fournisseur d'électricité en France et dans le monde, l'énergie produite grâce aux centrales nucléaires représente 79.6 % de sa production totale en 2011 grâce à 58 réacteurs nucléaires dont 15 localisés au Royaume-Uni.

Le rôle de chacun

Areva, EDF et le CEA travaillent en collaboration, chacun à sa part du travail. Le CEA est axé sur la recherche de la conception de réacteur et sur la recherche du combustible. **Areva** s'occupe, pour sa part, de concevoir le réacteur et d'extraire le combustible et enfin **EDF** met le combustible dans le réacteur pour produire l'électricité.



Seul notre guide était habilité à faire des photos- soumises à censure-
C'est la seule que nous ayons de notre visite

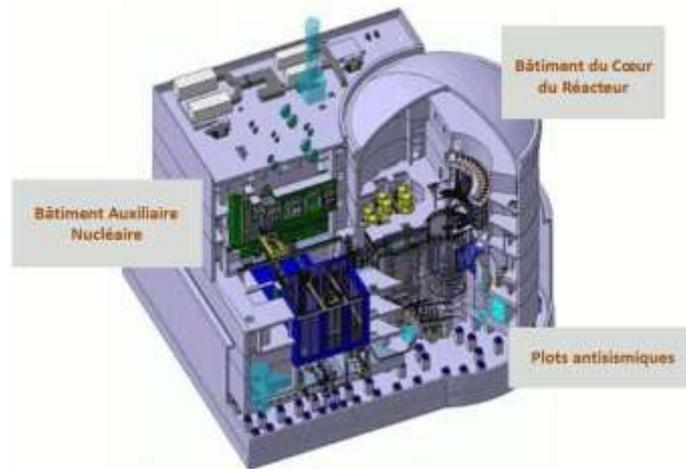
La sécurité sur le site

Pour assurer la sécurité du site, il existe la FLS (Formation Locale de Sécurité) qui représente la police, les pompiers, et les services médicaux appropriés qui sont formés et équipés pour intervenir sur les dangers potentiels qui pourraient survenir sur le site. Les effectifs sont suffisamment conséquents pour assurer la sécurité d'une ville de 15 000 habitants sachant qu'il n'y a que 6 000 personnes chaque jour sur le site.

Les règles de sécurité sur le site sont strictes, aucune vidéo ou photo ne doit être prise à l'intérieur du CEA, sauf dans la partie où le projet ITER est encore en construction, tout le site n'est pas accessible, en effet les ZPR sont des zones dans lesquelles les personnes non habilitées ne peuvent entrer, c'est le cas même pour des personnes travaillant au CEA chaque jour.

De l'extraction de l'uranium à la consommation électrique

- L'extraction du minerai d'uranium se fait dans des pays comme le Niger, le Kazakhstan, l'Australie, le Canada,... Il faut néanmoins savoir que l'on peut trouver de l'uranium un peu partout sur terre, même en France. Il y a bien entendu des endroits où la concentration en uranium est plus importante que d'autre.
- Ensuite il faut enrichir cette uranium car l'uranium n'existe pas sous une et unique forme, il y a deux isotope de l'uranium, U235 et U238. Après extraction on trouve 99.3% d'U238 et seulement 0.7% d'U235, le problème c'est que au cœur du réacteur, seul l'U235 est fissible et donc peut produire de l'énergie. L'étape d'enrichissement correspond au fait de transformer de l'U238 en U235, jusqu'à une teneur de 5% d'U235.
- Puis il faut faire prendre forme à cet uranium, il est réduit en poudre métallique d'uranium puis fortement comprimé et mis en forme de pastilles de 7 à 8 mm de diamètre, d'un centimètre pour 7 gramme, puis empilé dans un tube que l'on appelle des crayons sur 4 mètres de hauteur. On rassemble ensuite ces crayons en fagots de 30 crayons. C'est ce que l'on appelle un assemblage combustible, ces fagots font en moyenne 4 à 5 mètre de diamètre et son prêts à être exploités dans un réacteur.



Lors de notre visite du site nous avons aperçu le chantier du réacteur d'essais et d'exploitation RJH (Réacteur Jules Horowitz). Malheureusement, nous n'avons pas pu le visiter à cause des normes de sécurité en vigueur.

Il s'agit d'un réacteur expérimental destiné à la recherche sur les comportements des combustibles et des matériaux pour les centrales électronucléaires. Il produira également des radioéléments pour la médecine nucléaire.

Ce réacteur sert à la recherche. Le nombre d'aires expérimentales est beaucoup plus important que dans les réacteurs de recherche actuels, ce qui permet un important gain de temps.

-

Après le déjeuner au restaurant du personnel, nous avons effectué le tour du site en bus, observant ainsi la faune et la flore locale. Nous avons pu également observer de nombreuses et diverses infrastructures, c'est-à-dire des zones de recherches majeures et les bâtiments de stockage des déchets nucléaires.

Après le tour du site, nous avons visité le réacteur de fusion nucléaire français (TORE SUPRA).

Cependant, le réacteur français TORE SUPRA a réussi à maintenir la fusion pendant plusieurs minutes, mais à eu un rendement de 1.

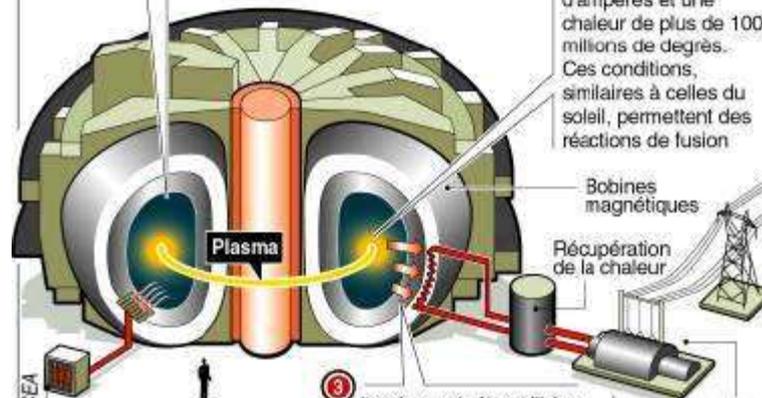
En comparaison, le réacteur anglais JET a eu un rendement supérieur à 1 mais la fusion n'a duré que quelques secondes.



LE FUTUR RÉACTEUR " ITER "

① Des électroaimants créent un champ magnétique où est injecté et maintenu en suspension un gaz constitué de deutérium et de tritium

② Le gaz se transforme en un gaz ionisé très chaud (plasma) en recevant un courant de plusieurs millions d'ampères et une chaleur de plus de 100 millions de degrés. Ces conditions, similaires à celles du soleil, permettent des réactions de fusion

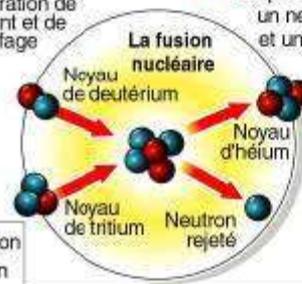


Génération de courant et de chauffage

③ Le plasma brûle et libère un neutron, de l'hélium et une grande quantité d'énergie

Production d'électricité

Sources : www.iter.gov.fr, CEA



④ L'énergie est convertie en chaleur qui produit de la vapeur et alimente un ensemble classique turbine et alternateur producteur d'électricité

Un nouveau projet est envisagé : "ITER" pour remédier aux insuffisances des réacteurs des générations précédentes.

Nous avons pu en visiter le chantier accompagnés par notre guide, Marjorie Poli ,après nous être soumis, à nouveau, aux contrôles de sécurité .

ITER a pour objectif de réussir à maintenir une fusion nucléaire autant de temps qu'il le faut et d'avoir un rendement au moins supérieur ou égal à 10 afin de prouver la rentabilité du réacteur.

Qu'est ce que ITER ?

ITER est un projet international. . Chaque pays apporte une contribution bien précise et définie.

Il s'agit d'un projet de machine expérimentale qui vise à démontrer la faisabilité d'un réacteur nucléaire utilisant le principe de la fusion.

Or actuellement, un réacteur nucléaire fonctionne à base de fission nucléaire ce qui génère énormément de pollution contrairement à la fusion qui ,elle, ne génère que peu de déchets et écarte tout risque d'emballement de la réaction nucléaire et donc toute menace d'explosion. Le réacteur nucléaire à base de fusion a également l'avantage de faire appel à des combustibles présents en grandes quantités sur notre planète.

Cependant le temps de finalisation de la structure ne dépend pas seulement du temps de fabrication des pièces comme on pourrait le croire mais du temps de transport des pièces. En effet, il est nécessaire de fermer plusieurs grandes routes françaises et modifier leur signalisation à plusieurs reprises afin de les transporter jusqu'au site (celles-ci sont extrêmement massives).

Comment apporter les matériaux sur le site ?

Les chargements les plus volumineux et les plus lourds arriveront au port de Fos-sur-Mer. De là, ils traverseront l'étang de Berre pour atteindre le port de La Pointe, où un quai a été spécialement aménagé pour les recevoir. Les chargements seront ensuite acheminés par convois exceptionnels. Le convoyeur de 320 roues, de 46 mètres de long, 9 mètres de large et qui pèse 800 tonnes roulant à 5 km/h de nuit empruntera l'itinéraire ITER jusqu'à St-Paul-lez-Durance et sera ensuite démonté (car dans l'impossibilité de faire demi-tour), puis reconstruit au port. Cela pendant 5 ans (environ 230 convois)

Entre 2008 et 2011, la France a réalisé des grands travaux pour aménager les 104 kilomètres de l'itinéraire ITER, élargissant les routes, renforçant les ponts et modifiant les carrefours afin de les adapter à la masse et à l'encombrement exceptionnel des éléments du tokamak. Le coût de ces travaux s'élève à 110 millions d'euros.

Les 33 plus imposants concernent :

- 9 éléments en acier inox de 544 tonnes constituant la chambre à vide (8,50 m de large, 14,10 m de long et 7,45 m de haut) ;
- 19 bobines supraconductrices en acier inox pesant chacune 530 tonnes (8,50 m de large, 17,30 m de long et 9,10 m de haut) ;
- 1 bobine supraconductrice toroïdale en acier inox pesant 306 tonnes (8,50 m de large, 10 m de long et 8,40 m de haut) ;
- 4 poutres de pont roulant de 190 tonnes en acier (4,50 m de large, environ 47 m de long et 2 m de haut).

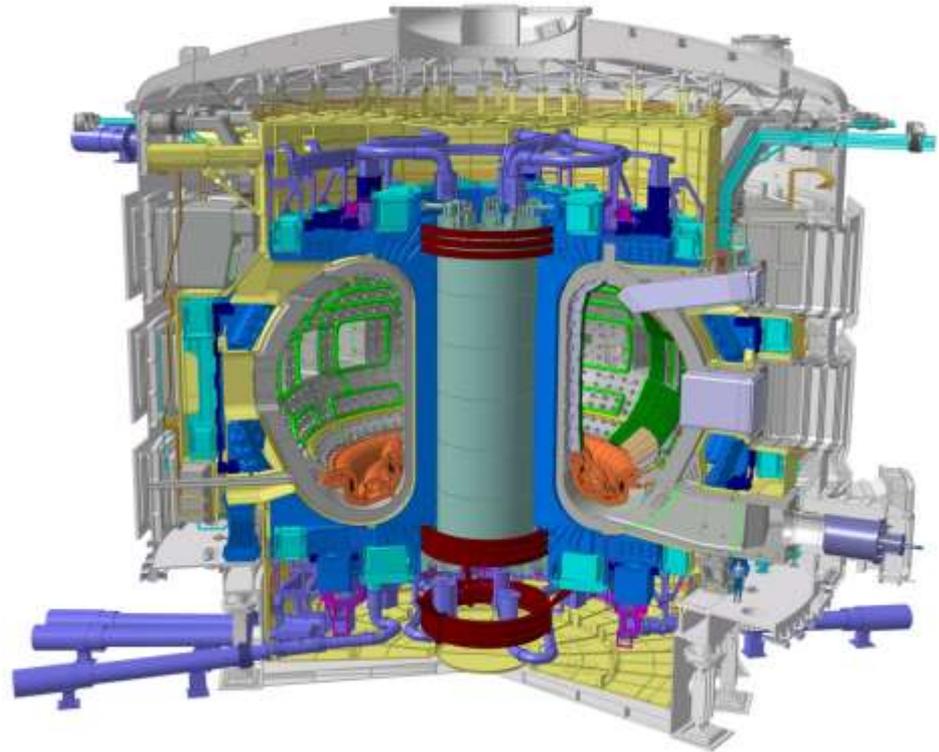


- Le programme ITER utilise un concept de confinement magnétique appelé « tokamak », qui consiste à enfermer le plasma dans une chambre à vide en forme d'anneau. Le combustible, un mélange de deutérium et de tritium (deux isotopes de l'hydrogène), est chauffé à des températures supérieures à 150 millions de degrés Celsius afin d'obtenir un plasma chaud. De puissants champs magnétiques maintiennent le plasma à distance des parois. Ces champs sont générés par des bobines supraconductrices installées autour de la chambre et par un courant électrique qui circule dans le plasma.
- Le système de la machine étant très complexe , nous l'avons représenté par le schéma ci-dessous en sélectionnant 3 éléments principaux.

Le cryostat est une grande structure en acier inoxydable qui enveloppe la [chambre à vide](#) et les aimants pour délimiter un environnement sous vide très froid.

La chambre à vide (interne du [cryostat](#)) est le lieu de la réaction de fusion, elle forme une première barrière de sûreté. Les particules de plasma se déplacent selon un mouvement circulaire continu sans entrer en contact avec les parois.

Le système magnétique se compose de dix-huit bobines qui assurent le confinement, le modelage et le contrôle du plasma dans la [chambre à vide](#).



Les enjeux d'ITER

- Après avoir visité le site, nous nous sommes demandés quels étaient les enjeux dans la construction d'un tel projet. Quel en est le bien fondé au regard de l'avenir de l'homme ?
- Quelles questions, quelles interrogations pouvons nous formuler ?

➤ *Les enjeux politiques*

ITER risque de devenir un moyen de pression politique dans les conflits entre les pays.

La présence de tritium pourrait faire courir un risque de prolifération des armes nucléaires. ITER initialement prévu pour fournir de l'énergie deviendrait une industrie pour la guerre.

➤ *Les enjeux écologiques*

Lorsque le tritium est accidentellement libéré, il s'insinue partout : cela engendre un risque au travail très grave.

On ne peut pas empêcher les disruptions (l'apparition brutale d'instabilités dans le comportement des fluides conducteurs du courant électrique) dans la chambre à vide. Donc, cela imposerait des remplacements réguliers et coûteux en plus de produire une grande quantité de déchets radioactifs.

➤ *Les enjeux économiques*

ITER a créé plus de 6% d'emplois dans la région PACA mais ce sont 16 milliards d'euros dépensés pour un projet qui reste actuellement un pari sur l'avenir : personne ne peut affirmer à l'heure actuelle si la machine va fonctionner.

➤ *Les enjeux scientifiques*

ITER a rassemblé plusieurs pays qui ont mis en commun toutes leurs découvertes technologiques. Il y a eu notamment de nombreuses améliorations sur la qualité des matériaux.

ITER pourrait maîtriser les réactions de fusion mais ne s'attaque pas à d'autres problèmes majeurs comme la maîtrise et gestion d'une production massive de tritium ou l'invention d'un matériau résistant aux flux de neutrons (produits par la fusion) pour les enceintes de confinement

Devant la progression démographique exponentielle de la planète, la recherche dans les énergies renouvelables est devenue la priorité des nations. Si on peut déplorer que l'investissement dans le projet ITER se fait au dépend d'autres axes de recherches comme les énergies renouvelables, ne peut-on pas y voir là une erreur dans le choix d'un investissement massif ?

➤ Du point de vue de la rentabilité?

La réalisation du projet demande du temps, le temps de “chauffage” repousse la date de finalisation du projet, en effet, celle-ci est d’environ 4 ans.

Les scientifiques du site pensent que le projet ITER va être largement rentable. C’est pourquoi alors qu’ITER n’est même pas encore terminé un nouveau projet est envisagé : “DEMO” qui lui produira de l’électricité.

Pour conclure, nous pouvons dire que cette expérience a été fructueuse en terme d’apprentissage de nouvelles notions concernant la physique nucléaire.

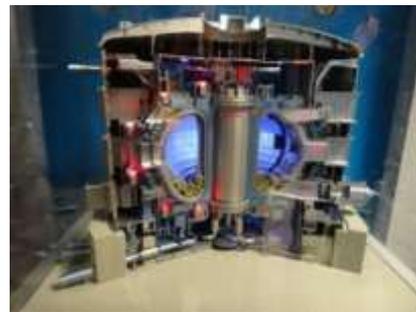
ITER



Plan du site



Le chantier



Le futur réacteur



Les plots antisismiques

OHP



Présentation de l'Observatoire de Haute-Provence (OHP)

L'observatoire est un site d'observation du CNRS pour l'astronomie, l'environnement et l'étude de l'atmosphère. Il accueille des chercheurs de toutes nationalités qui utilisent ses moyens performants. Il est aussi très actif dans l'enseignement et la formation, et est le seul observatoire en activité dont on peut visiter les installations.



Jean-Pierre Sivan avait prévu , de longue date, de passer la journée avec nous, et, en l'absence de l'actuel directeur de l'observatoire, M. Auguste Van Le Suu ,c'est lui qui nous a fait visiter le télescope et le site.

Quelle émotion de suivre les pas de celui qui était directeur de l'observatoire lorsqu'y fut découverte la 1^{ère} exoplanète !!!



M. Sivan, qui fut notre guide durant cette visite, fut directeur de l'établissement de 2000 à 2003.



Jean-Pierre Sivan

- L'observatoire fut créé en 1932 et achevé en 1945. Son emplacement a été sélectionné en raison de la pureté de l'atmosphère. Ainsi, le nombre de nuits disponibles pour l'observation est très important.
- Le site fut équipé de plusieurs télescopes. Le plus célèbre d'entre eux est un télescope de 193 cm (diamètre du miroir primaire). Lors de son installation, il s'agissait du plus grand télescope d'Europe. Encore en service aujourd'hui, il a perdu ce titre. Cependant, il conserve un rôle primordial dans l'astronomie française et européenne.

C'est notamment à l'OHP qu'a été découverte la première planète extrasolaire (ou exoplanète) en 1995 par deux astronomes suisses Michel Mayor et Didier Queloz). Les chercheurs de l'observatoire travaillent à de multiples tâches, comme par exemple :

- l'étude de la formation de l'univers
- la recherche des planètes pouvant abriter la vie
- la mesure des variations de vitesse des étoiles, influencées par les exoplanètes, qui permet de trahir la présence de planètes extrasolaires
- l'étude de la couche d'ozone.

Télescope de 193 cm sous la coupole rotative de l'observatoire





- Pour améliorer l'efficacité des observations, l'observatoire s'est doté d'un nouveau spectrographe (outil qui sépare la lumière entrante selon sa longueur d'onde et enregistre le spectre résultant dans un certain détecteur). Le spectrographe SOPHIE a remplacé ELODIE en 2006.
- En plus de son télescope, l'OHP possède un domaine (essentiellement forestier) de 95 hectares. Celui-ci permet l'étude de l'écologie et de la biologie.



A l'intérieur du domaine

La station de géophysique Gérard Mégie



Lâcher de ballon pour un sondage atmosphérique

La station de géophysique



La station laser

- Tout d'abord il faut définir en quoi consiste la géophysique. Il s'agit de l'ensemble de disciplines (géothermie, magnétisme, séismologie, sismique, volcanisme, etc.) qui ont pour objectif de préciser la structure, les propriétés et le comportement dynamique de la terre.
- En 1991, un réseau international, intitulé le Network for détection of stratosphéric change, se crée à partir de plusieurs stations semblables à celle de l'OHP qui est initié entre la France et l'Italie. Il a pour but de quantifier la diminution de l'Ozone afin de remonter aux causes de celle-ci. En effet, les chercheurs analysent les changements de composition chimique au niveau de l'atmosphère car la diminution d'ozone et l'augmentation des gaz à effet de serre devraient conduire à un refroidissement de la stratosphère. Pour comprendre ces processus, ils vont réaliser une série de mesures des profils verticaux d'ozone, d'aérosols stratosphériques, de température et de vent à partir de deux méthodes : par sondages lidar soit par ballon.

- La première méthode consiste à émettre de nuit un faisceau laser pulsé. De la même manière que pour un radar, la lumière diffusée par les molécules et les particules est collectée avec des télescopes. Elle sera ensuite analysée et en fonction de la couleur de cette lumière, on obtiendra ainsi une information sur la composition de l'atmosphère.
- Quant à la seconde, il s'agit de placer une sonde sous un ballon qui traverse les couches de l'atmosphère jusqu'à une altitude d'environ 30 km qui transmet, en temps réel, les informations collectées jusqu'au sol par onde radio. Mais aujourd'hui encore les causes de cette diminution d'Ozone à moyenne altitude restent inconnues pour les chercheurs.

Nous avons pu visiter les salles de contrôle des lidars et du ballon qui sont gérés par des ordinateurs équipés d'un système de Coprol composé de quatre fenêtres où l'on voit des lasers.

Les résultats obtenus forment une courbe donnant la quantité d'Ozone ou la vitesse du vent ou encore la température. Par ailleurs, nous avons aussi pu assister au lâcher du ballon-sonde.

De plus, nous avons également demandé quel était le coût matériel qui nous surpris. En effet, le laser en lui-même coûte 60000€ et peut monter jusqu'à 120000€ et il faut effectuer une maintenance tous les ans allant de 3000€ à 6000€. De même, tous les composants du ballon valent 800€ et par semaine deux ballons sont envoyés. Au total, le budget annuel du ballon est de 50000€.

En conclusion, cette visite nous a permis d'avoir un éclairage sur les activités de l'Observatoire de Haute-Provence en ce qui concerne la géophysique.



Spectromètre Dobson destiné à la mesure de la colonne totale d'ozone



Lasers utilisés pour le lidar DIAL permettant la mesure du profil d'ozone dans la stratosphère



Télescopes de réception du lidar Doppler destiné à la mesure du profil vertical de vent.



Autres planètes, autres vies .Exoplanètes et exobiologie

Par **Luc Arnold**: CNRS, observatoire de Haute-Provence

En 1995, avec un télescope installé dans les collines de Haute-Provence, on découvrait la première planète extrasolaire après deux millénaires de questionnement sur son existence. Cette découverte fondamentale pour l'astronomie – pour l'humanité – a renforcé la pertinence de la question de l'existence de la vie sur ces nouveaux mondes. Aujourd'hui, des centaines de planètes extrasolaires sont connues, et on s'attend prochainement à découvrir des planètes comparables à la Terre, en termes de taille et de climat. Serons-nous capables de détecter avec certitude l'eau sur ces planètes ? Et la présence de vie sur ces autres mondes, si elle existe ? La vie ailleurs existe-t-elle ? Sommes-nous seuls dans l'univers ? L'exobiologie est un domaine scientifique multidisciplinaire où se côtoient astronomes, biologistes, géophysiciens, chimistes et autres scientifiques qui tentent d'apporter des éléments de réponses à ces questions fondamentales. Je donnerai quelques exemples de recherches récentes en exoplanétologie et exobiologie, de la recherche de vie microscopique à la recherche d'intelligence extra-terrestre.

Conférence N°1 :Exoplanètes et exobiologie

Pour bien commencer la séance le conférencier aborde quelques petites fondamentales sur l'astronomie. On y retrouve ainsi les principales échelles astronomiques avec, pour début, une introduction sur l'étoile la plus proche de notre système solaire. On l'appelle Alpha Centaure. Elle a été repérée il y a plusieurs années par la Sonde Voyager à plus de 6 milliards de kilomètres.

Faisant ainsi de Voyager la Sonde la plus lointaine connue à ce jour.

Le conférencier en profite pour souligner quelques grandeurs :

On compte plus de 100 milliards de galaxies dans l'Univers.

On compte plus de 100 milliards d'étoiles dans chaque galaxie.

Et les planètes ?

Ce qui nous amènes à l'observation que " Les planètes et la vie autour des autres étoiles ne sont pas forcément détectables".

On rêve, on regarde le ciel et on réfléchit. Mais toutes ces étoiles qui fourmillesnt dans le ciel, n'abritent t'elles pas des planètes ? Si oui n'y a t'il pas d'autres mondes ou la vie existerait, semblable à la Terre ?

Pour la suite de cette étude nous pouvons rédiger un bref sommaire visible ci dessous :

II Les Exoplanètes

- Des chiffres sur les avancées en matière de détection d'exoplanètes
- Des méthodes de détections
- Des hypothèses

II L'exobiologie

- A l'échelle de chez nous
- Regards plus lointains
- Les méthodes de recherche
- Et aujourd'hui ?

La première exoplanète a été découverte ici même à l'OHP par Mr Michel Mayor et Mr Didier Queloz. La découverte fut réalisée en 1995 et révolutionna le monde de l'astronomie.

Pour donner quelques chiffres sur les progrès effectués jusqu'à aujourd'hui on dénombre plus de 1102 systèmes planétaires découverts dont 1779 exoplanètes ainsi que 460 systèmes multiples (systèmes qui regroupent plusieurs planètes).

Dans une seconde partie le conférencier a abordé différentes méthodes qui permettaient aux chercheurs de détecter ces fameuses exoplanètes.

Nous retiendrons la méthode des transits par mesures de l'intensité lumineuse, ou les variations de la courbe lumineuse sont analysées. Ce sont ces variations qui permettent de localiser les planètes.

C'est avec les résultats du satellite Kepler (NASA) que nous sommes aptes à dévoiler de nouvelles statistiques :

- 2% des étoiles qui seraient de type solaire posséderaient au moins 2 planètes.
- environ 10% des étoiles seraient qualifiées comme "Naine".
- environ 0.1% des planètes seraient de type "Géante".
- des milliards de planètes seraient de faible masse (exemple de la Terre).

Avec toutes ces informations lesquelles d'entre elles seraient en mesure d'abriter la vie?

Pour répondre à cette question il faudrait que la planète se trouve dans une zone appelée "zone habitable".

Les scientifiques ont réussi à trouver certains systèmes avec des planètes qui posséderaient des caractéristiques intéressantes au niveau de leur révolutions, emplacements (...).

Existe t'il donc un nombre infini de Terres habitables ou sommes nous seul ?

Cette hypothèse reste encore, même de nos jours une des grandes questions que les plus grands chercheurs tentent de résoudre.

La deuxième partie de cette conférence est tournée vers la notion d'exobiologie. Voici une petite définition :

Exo (Extérieur) ; bios (la vie) ; logos (Discours, parole).

En gros l'exobiologie est l'étude de la vie dans l'univers. Cependant l'orateur va essayer de rattacher cette notion à la xénobiologie avec xénos qui signifie (étranger).

Il nous a donc été rapidement rappelé que la vie était de la forme chimie organique dont certains composants sont essentiels (carbone, présence d'eau).

Les prochaines recherches sont donc déjà perçues comme passionnantes. Mais avant de nous éloigner n'oublions pas que notre Planète bleue regorge d'une source de vie impressionnante. Nous avons par le passé appris que la vie pouvait se développer dans des endroits inconcevables, considérés comme hostiles. On appelle ces êtres vivants les extrémophiles.

Les prochaines étapes de recherches ont donc été ramenées sur d'autres planètes, la première recherche de vie a été expérimentée et a été fructueuse sur le sol de Mars (Preuves d'eau liquides). Puis sur la surface du satellite Europe (surface banquise).

Notre question est donc toujours sous hypothèse. La vie intelligente peut elle prendre forme ailleurs ? Seule notre vision des choses est questionnée, il suffit de nous laisser dans le doute pour y croire.

Mais comment les experts ont ils analysés les composés chimiques d'une planète ? C'est grâce à son spectre. A l'aide d'une spectroscopie nous sommes en mesure de déterminer les caractéristiques chimiques de l'atmosphère d'une planète. Ensuite pour adapter une vision plus solide on utilisera un coronographe pour masquer les rayonnements de l'étoile du système, nous permettant ainsi de nous pencher plus en détails sur l'aspect de l'exoplanète en question.

C'est donc pour conclure que le conférencier nous fait rêver en nous expliquant qu'aujourd'hui encore, certaines stations sur terre essaient de communiquer avec une possible intelligence extra-terrestre.

« Deux possibilités existent : soit nous sommes seuls dans l'univers, soit nous ne le sommes pas. Les deux hypothèses sont tout aussi effrayantes. »

de Arthur Charles Clarke



Influences Cosmiques

par **Denis Gillet**

Directeur de recherche
Observatoire de Haute Provence

conférence :
Denis Gillet



Qui n'a pas levé les yeux vers le ciel étoilé un soir d'été dans la fraîcheur de la nuit qui prenait possession des lieux ? Qui n'a pas éprouvé un sentiment de merveilleux et de grandeur solennelle face à ce monde tapissé de constellations plus énigmatiques les unes que les autres. Qui n'a pas été frappé au fur et à mesure que les minutes s'égrainent, par cette immensité infinie se tenant là devant nous, presque à portée de main. Tel un brusque vertige déstabilisant, l'Univers prenait enfin sa vraie place. Face à cet environnement non humain, transporté par un sentiment océanique comme le note les psychanalystes, comment l'homme peut-il garder son équilibre psychique face à cette infinité cosmique ? Depuis l'origine de notre civilisation humaine et face à l'immensité cosmique, l'Homme s'est toujours posé des questions, des questions fondamentales, des questions existentielles. Comment, avec nos connaissances astrophysiques modernes, comprenons-nous aujourd'hui l'Univers et comment l'Homme peut-il y trouver sa juste place et ne plus être troublé par le vertige de l'infinie immensité de l'Univers ? Pourquoi dit-on que nous sommes des poussières d'étoiles ? Est-on personnellement une partie de l'Univers ou l'Univers nous est-il totalement extérieur ? Comment l'homme réagit-il face à la découverte de l'immensité du cosmos ? Selon le psychiatre uruguayen Hector Garbarino, le bébé, dans ses premières semaines de vie terrestre est avant un être cosmique avant de devenir, grâce au rôle maternel, un être humain à part entière. Cet être, devenu homme, vit actuellement dans un paradis de biodiversité. A-t-il toujours existé et comment va-t-il évoluer dans les prochains siècles, dans les prochains millénaires ? Quel est le devenir de notre chère planète Terre, notre vaisseau intersidéral ? L'homme est-il menacé par des phénomènes cosmiques ? A quoi peut-on réellement s'attendre ? Sommes-nous seuls dans l'Univers ? La vie extraterrestre existe-t-elle autre part que sur Terre ? Pourrons nous un jour espérer voyager vers d'autres mondes que le notre c'est-à-dire vers d'autres étoiles ? Les astres qui composent l'Univers ont-ils une influence réelle sur l'homme et sur sa vie de tous les jours ?

Après la première conférence à propos des exoplanètes, un nouveau conférencier est venu présenter une séance à propos de la catastrophe naturelle la moins attendue et la plus dangereuse, la collision entre les astéroïdes et la Terre.

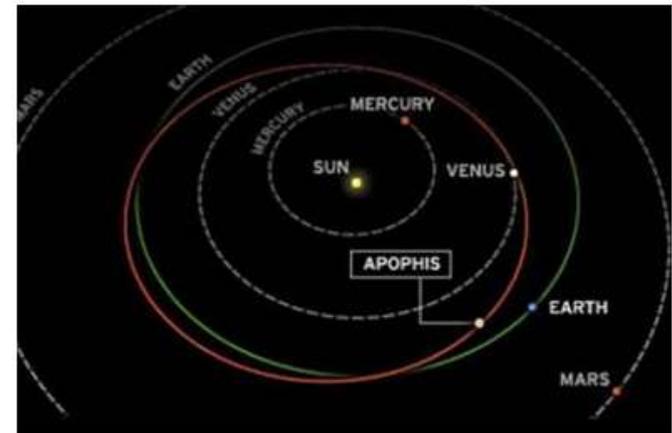
Durant cette intervention, nous avons appris que des dizaines de milliers de corps s'écrasent chaque année sur Terre. Ce sont souvent des roches assez volumineuses, pour résister aux frottements durant la traversée de l'atmosphère et toucher le sol, mais assez peu pour ne pas les remarquer à chaque fois. Leur composition nous a beaucoup appris sur la composition de notre univers, qui est assez semblable aux matériaux présents sur notre planète.

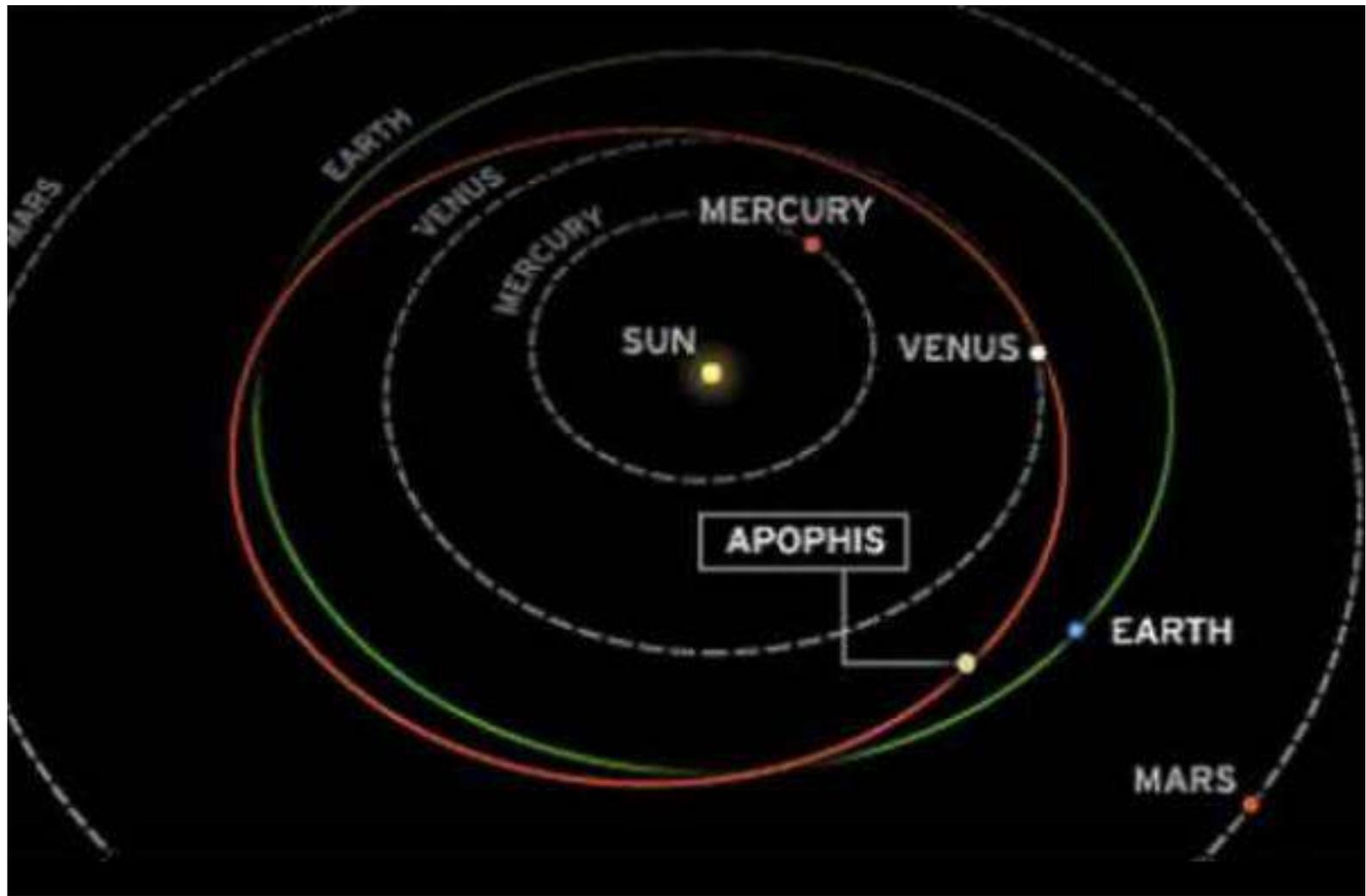
L'étude de ces corps célestes nous a permis de découvrir que des astéroïdes beaucoup plus massifs hantent notre système solaire, et présentent une certaine menace pour notre planète si l'un d'eux venait à s'approcher voire à s'écraser. Un impact avec certains de ces météores provoquerait un cataclysme massif comme celui qui provoqua l'extinction des dinosaures, les poussières soulevées cachant la lumière du soleil, et créant de ce fait une ère glaciaire.

La destruction de la vie sur Terre après une collision avec un géo croiseur n'est pas directement due à l'impact en lui-même. Si celui-ci peut creuser un cratère de plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres de diamètres, il ne peut pas directement annihiler la planète entière. Lors de l'impact, les poussières brûlantes expulsées montent jusqu'au milieu de l'atmosphère. Ensuite, capturées par la pesanteur de la Terre, elles retombent disséminées par la rotation de notre planète. Cela provoque donc, dans les jours suivants, des milliers d'incendies gigantesques, qui réduisent à néant la quasi-totalité de la végétation de la planète. Les fumées (pouvant être toxiques) vont ainsi recouvrir totalement le ciel, empêchant les rayons du soleil d'atteindre le sol. Ce phénomène empêche la photosynthèse, et tend à créer un hiver glaciaire, si ces particules restent en suspension dans l'air.

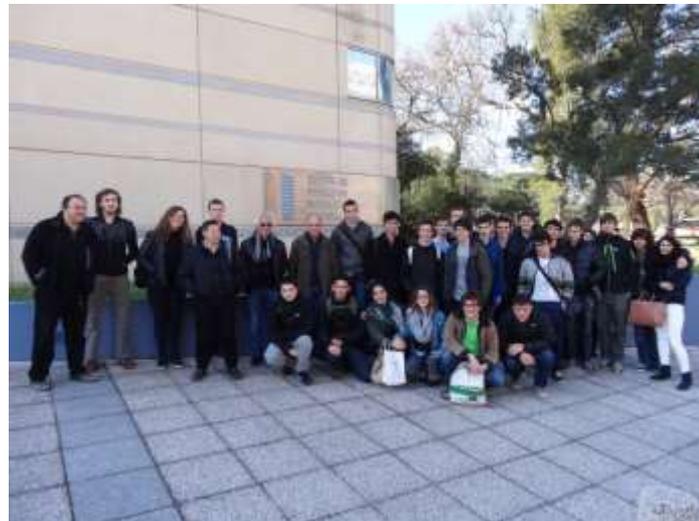
En Juin 2004, Apophis, un astéroïde d'environ 330m a été observé se dirigeant approximativement vers une trajectoire proche de la Terre. Il sera au plus près de notre planète en 2029, et on estime à environ une chance sur 10 millions pour qu'il entre en contact en 2036. Dans le cas où cela se produirait, le choc entre Terre et Apophis donnerait lieu à un cataclysme apocalyptique, avec une température au point de contact de 1600°C. Ce contact équivaldrait 34 000 fois la bombe nucléaire d'Hiroshima, ce qui ne laisserait aucun endroit préservé de la catastrophe sur notre planète. D'après certains spécialistes, un tel choc ne pourrait pas être évité, mais il semble que la capacité nucléaire mondiale permette de résoudre ce problème.

En conclusion, tout le monde sur Terre a ses propres problèmes, mais si un astéroïde géo croiseur large de plusieurs kilomètres s'écrase sur la Terre, on sera vraiment confrontés à quelque chose. Cela donne à relativiser.





La Masterclasse



Dans le cadre du projet Philosophie et Astronomie, le Centre de Physique des Particules de Marseille nous a accueillis pour la participation à une Masterclasse sur la physique des particules. Cela consistait, pour la partie pratique, à étudier des résultats du détecteur ATLAS de l'accélérateur de particules LHC, à Genève, pour identifier les particules issues de la collision de protons. Cependant, pour nous préparer à ces observations, nous avons assisté à plusieurs conférences dans la matinée.

Le CPPM



Une recherche pour éclaircir le mystère de l'univers : Les astroparticules





Devant le CPPM/IN2P3



Dans l'amphi du CPPM

Les deux animateurs de la masterclasse



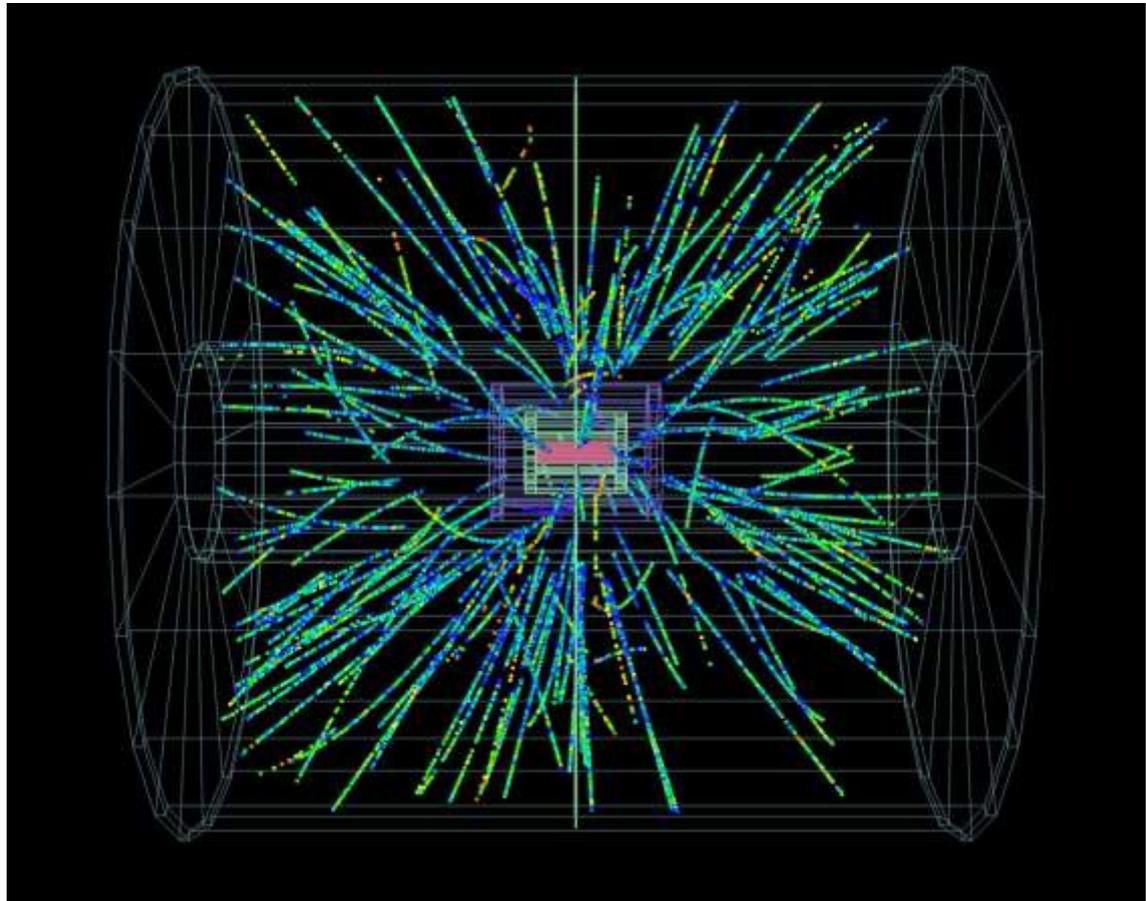
Marlon Barbero -la physique des particules-



Yann Coadou -Atlas-

Sommaire :

- Le CPPM
- La physique des particules
- Le CERN



Le Centre de physique des particules de Marseille

- Un des centres de l'IN2P3 : l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules
- 160 personnes, dont :
 - 25 chercheurs
 - 70 ingénieurs
 - 50 personnes non permanents (visiteurs, stagiaires..)

2 types de recherches :

- La recherche fondamentale :
 - Physique des particules
 - Astroparticules (observation des particules élémentaires de l'univers)
 - Cosmologie observationnelle : compréhension de l'univers et de son évolution

- La recherche expérimentale :
 - Participation à de grands projets internationaux
 - Conception de moyens techniques en mécanique, électronique, informatique...

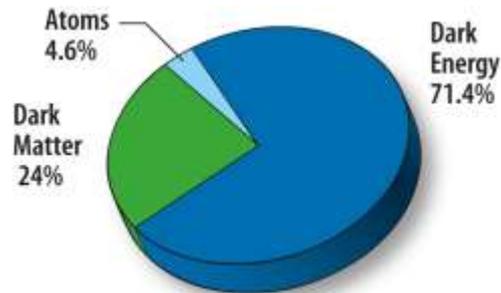
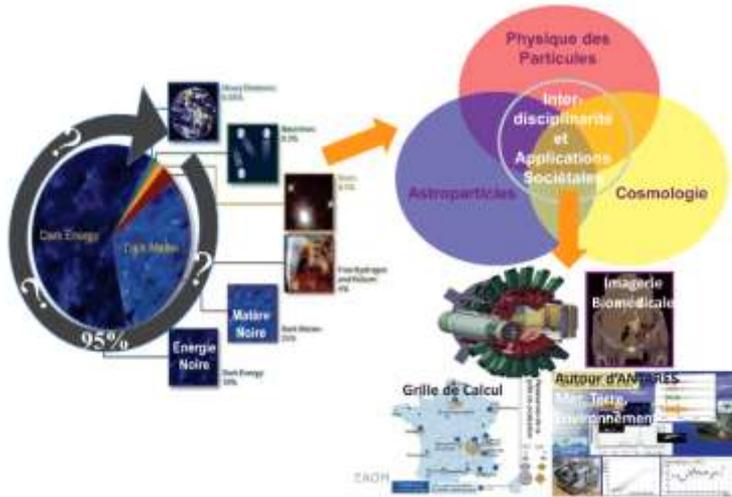
De nombreuses expériences réalisées par le CPPM :

- En profondeur (sous les montagnes afin de se protéger du « bombardement » cosmique de particules ; en profondeur marine...)
- Face au ciel : dans le désert de Namibie (observation des cascades de particules)
- Au sommet des montagnes
- Dans l'espace



Toutes ces recherches ont de nombreuses applications sociétales :

Interdisciplinarité et applications sociétales



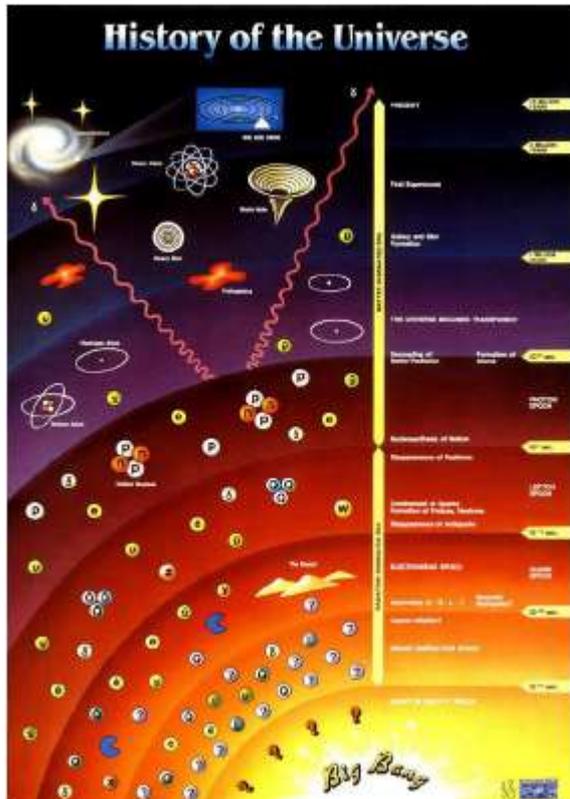
- Recherche sur matière et énergie noires :

Sans elles on ne peut pas expliquer le mouvement des galaxies.

Selon les estimations la matière noire et l'énergie noire représentent à elles deux 95 %
Conclusion : on connaît que 5 % de l'univers

- Imagerie médicale

La physique des particules



C'est l'étude des constituants élémentaires de la matière et leurs interactions.

Dans l'univers froid d'aujourd'hui, la plupart des particules présentes lors du big-bang ont disparu.

Afin de les étudier, on les recrée dans des **accélérateurs de particules** :

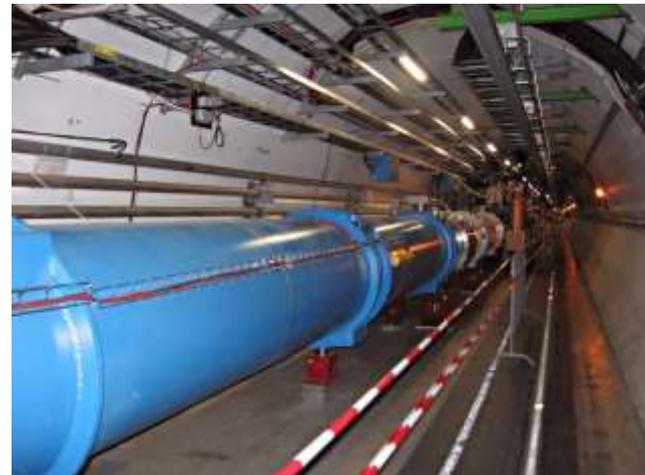
Plus on accélère les particules, plus on met d'énergie et plus on remonte dans le temps.

Le LHC (large hadron collideur) permet d'observer ces particules.

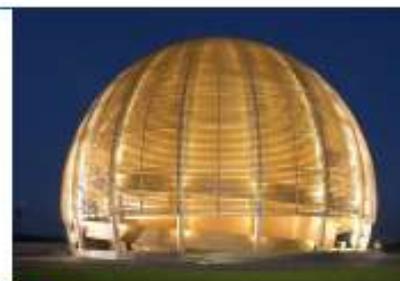
Le CERN

(Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire)

- Laboratoire européen pour la physique des particules créé en 1954 situé à Genève
- 21 états membres, 25 000 emplois , 1 000 utilisateurs (dont 500 instituts et 80 pays)
- Grand anneau d'accélération du LHC de 27 km de diamètre



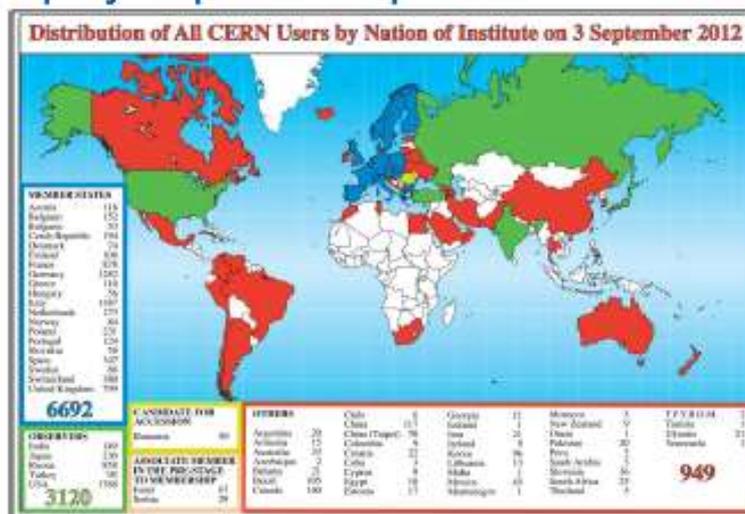
Le CERN en quelques chiffres



Organisation européenne pour la recherche nucléaire

Le laboratoire européen pour la physique des particules

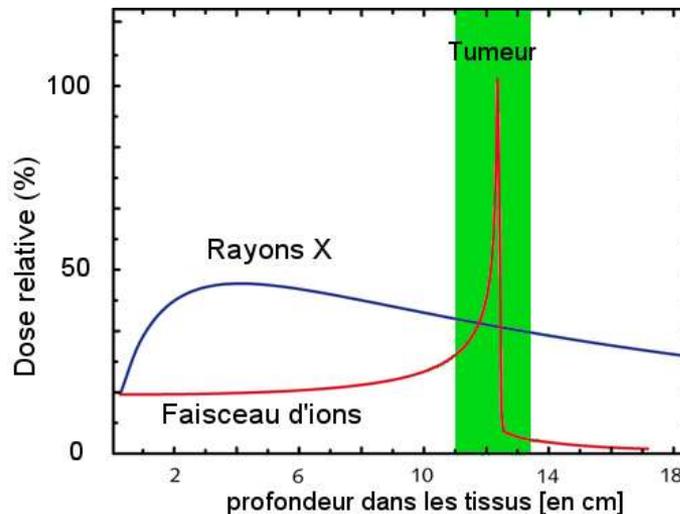
- organisation internationale
- créé en 1954 (festivités pour ses 60 ans cette année)
- 21 état membres
- emploie ~2500
- ~10000 utilisateurs
 - 500 instituts
 - 80 pays



Formidable lieu de collaboration internationale
... et d'incubation pour les technologies de l'information

A quoi servent les recherches du CERN ?

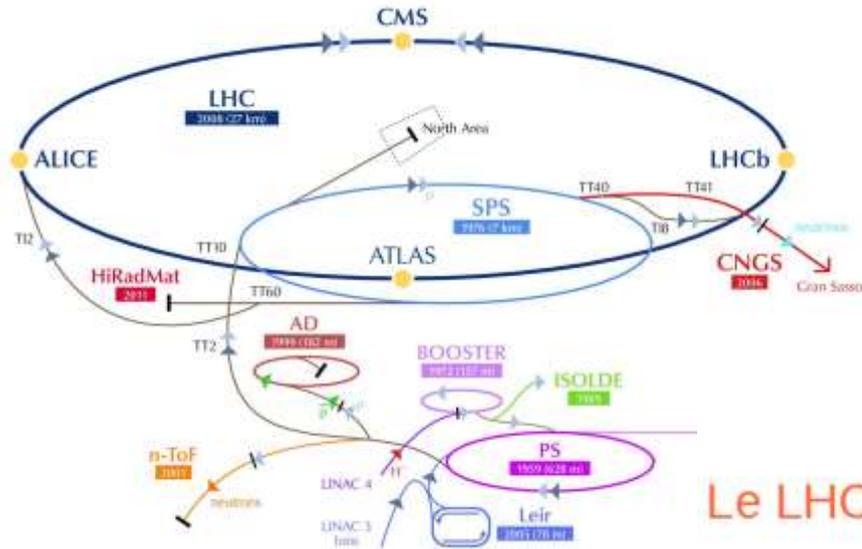
- Curiosité humaine pour comprendre l'infiniment petit
- Des concepts théoriques comme l'anti-matière sont présents dans des scanners TEP (scanners avec jets de positrons)
- Technologies dans détecteurs en médecine (radios..)
- Faisceau utilisé en hadronthérapie (particules accélérées pour traiter des tumeurs profondes)



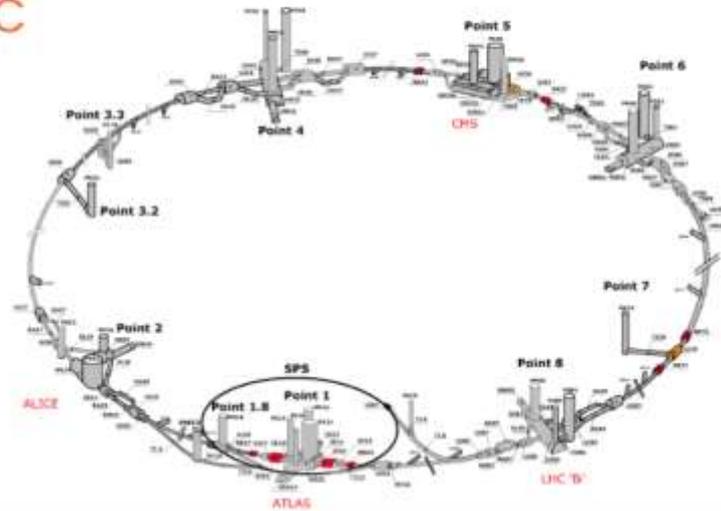
- grille de calcul : réseau d'ordinateurs reliés dans le monde pour effectuer des calculs
- Isolation des panneaux solaires de l'aéroport de Genève (grâce à de l'ultra vide)
- Web inventé au CERN



Comment fonctionne le CERN ?



Le LHC



Le LHC



@ 1,9K (-271 °C)

- plus froid que l'espace intersidéral (2,7 K)
- 120 tonnes d'hélium liquide

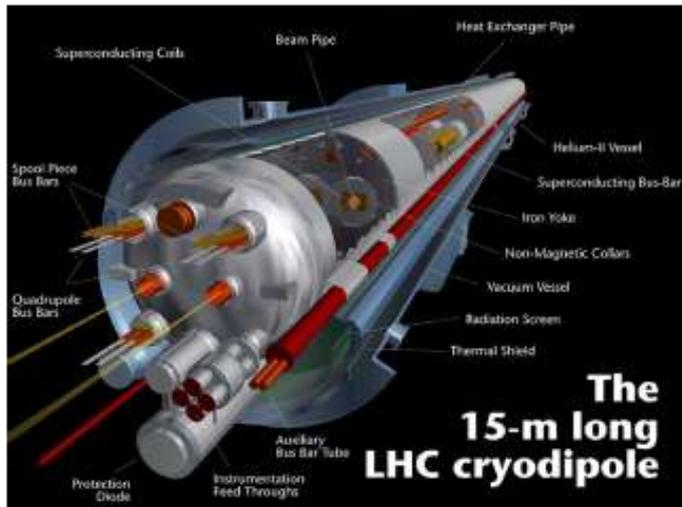
10^{-13} atm

- vide 10 fois plus poussé que sur la lune

9532 aimants (1232 dipôles)

- câbles supraconducteurs (bout à bout : 5 fois la distance terre-soleil)
- 1 dipôle : 15 m de long ; 35 tonnes

16 cavités accélératrices



- Le CERN est composé d'un accélérateur linéaire (le Linac 2) puis d'accélérateurs circulaires de plus en plus grands.
- Les atomes d'hydrogènes présents dans une bouteille sont injectés dans la chambre source de l'accélérateur linéaire. Là, leurs électrons sont arrachés afin de créer des protons.
- Les protons sont accélérés dans le Linac 2 à l'aide d'un champ électrique. A la sortie de l'accélérateur linéaire, les protons sont à la vitesse d'un tiers de la vitesse de la lumière.
- Le paquet de protons arrive dans l'injecteur, où ils sont divisés en 4 afin d'augmenter l'intensité du faisceau. Ils sont à nouveau accélérés, cette fois ci de manière circulaire, à l'aide d'un champ électrique pulsé. Des électro aimants sont utilisés pour faire tourner le paquet de protons. A la sortie de l'injecteur ils ont une vitesse de 91,6 % de la vitesse de la lumière.

- Les paquets sont ensuite réassemblés et injectés dans le Synchrotron à protons dans lequel les protons tournent à la vitesse de 99,9 % de celle de la lumière.
- L' énergie transmise par le champ magnétique ne peut plus se traduire par une accélération (car on approche trop de la vitesse limite de la lumière) Le surplus d'énergie se manifeste alors par une augmentation de la masse des protons.
- Les protons ont alors une énergie de 25 GeV et sont donc 25 plus lourds que leur masse initiale
- Les protons sont acheminés dans un nouvel anneau de 7km de circonférence où ils atteignent une énergie de 450 GeV
- Ils sont ensuite injectés dans le LHC (27 km de circonférence). Les protons circulent dans deux tubes sous vide et en sens opposé

- Les deux tubes se croisent 4 fois dans des détecteurs, où on fera entrer en collision les protons. Les détecteurs vont détecter les particules issues des collisions
- Pendant une demi-heure, le synchrotron injecte plus de 2000 paquets. Le LHC augmente l'énergie et la vitesse des protons, jusqu'à atteindre une énergie de 5 téra eV. Leur masse est 7000 fois plus importante qu'au repos, leur vitesse atteint 99,99991 % de la vitesse de la lumière
- Le courant nécessaire pour atteindre cette énergie et cette vitesse est de 12 000 ampères. Le LHC doit être plus froid que dans l'espace (1,9 K soit -271°C), ce qui permet de rendre les aimants supraconducteurs.
- Un aimant dévie un groupe de protons de sa trajectoire et le fait entrer en collision avec un autre. L'énergie d'un proton rentrant en collision est de 14 téra eV
- Les conditions sont similaires à celles qui ont suivi le big bang

- L'étude des particules produites lors d'une collision permet de comprendre comment l'univers s'est créé, son comportement actuel et futur.
- Les accélérateurs circulaires sont grands afin de réduire le champ électrique nécessaire pour maintenir les protons à haute énergie.
- Aujourd'hui le CERN est fermé pour cause d'amélioration afin de doubler sa puissance.
- Réouverture prévue pour 2015, avec de nouvelles expériences et espérons le.. De nouvelles découvertes !

Le LHC

1984 : 1^{ères} idées, début de la R&D

1994 : approbation par le conseil du CERN

2002 : début de l'installation

2008 :

- 10 septembre : **circulation des premiers faisceaux**
- 19 septembre : incident majeur !!

2009 :

- octobre : **premières collisions de protons dans le LHC**

2010 :

- mars : **premières collisions à très hautes énergies (7 TeV)**

2011-2012 :

- mars à novembre/décembre : **prise de données à haute intensité**

2013-2015 :

- Shutdown : **amélioration de l'accélérateur et des détecteurs**

2014 :

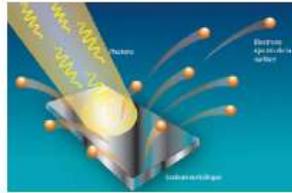
- les **masterclasses** analysent les données du LHC !

ATLAS

- Après nous avoir présenté l'histoire du CERN et du LHC, ses caractéristiques générales, le conférencier et physicien Yann Coadou a tenu une conférence portant sur le principe de fonctionnement de l'accélérateur de particules, la nature de ce qu'il détectait, et le but de ces recherches. C'est à cette conférence que nous nous intéressons à présent.

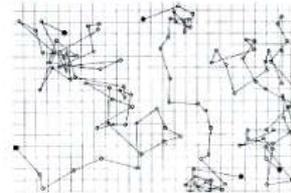
1905, Annus Mirabilis (articles de physique publiés par Einstein)

effet photo-électrique



nature corpusculaire de la lumière (photon)

mouvement brownien

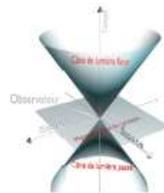


argument en faveur de la théorie atomiste de la matière

relativité restreinte

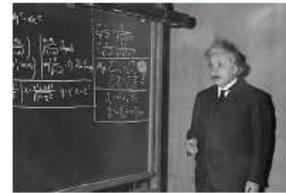
Postulats :

- 1) les lois de la physique sont identiques dans tous les référentiels inertiels
- 2) vitesse limite et absolue de la lumière



Espace-temps

équivalence masse-énergie



$E=mc^2$!!

Au XIX^{ème} siècle, la physique a déjà connu des bouleversements. On pense à la mécanique de Newton, à la théorie sur la nature ondulatoire de la lumière, ou aux équations de Maxwell permettant de relier l'électromagnétisme et le magnétisme au sein de l'électromagnétisme. Mais l'année 1905 désigne une nouvelle « Annus Mirabilis » pour la physique moderne, puisque l'allemand Albert Einstein pose les théories de la relativité restreinte, du mouvement brownien, de la relation $E=mc^2$, qui établit une corrélation entre masse et énergie, mais aussi celle de la nature corpusculaire de la lumière, avec l'effet photoélectrique. Dès lors survient un problème : la lumière, une onde ou une particule ?

Aux échelles microscopiques, les objets ont une nature à la fois corpusculaire et ondulatoire

$$E = h\nu \quad (\nu = \text{fréquence})$$

$$p = h/\lambda \quad (\lambda = \text{longueur d'onde})$$

→ pas d'équivalent dans le monde macroscopique → non intuitif !

2 descriptions a priori antagonistes !

→ corpuscule : objet ponctuel avec une position et une impulsion bien définies

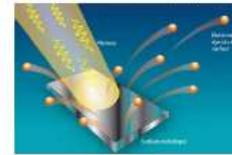
→ onde : objet étendue pouvant interférer

→ objet quantique : caractéristiques corpusculaires suivent les lois de probabilité dictées par les caractéristiques de l'onde associée.

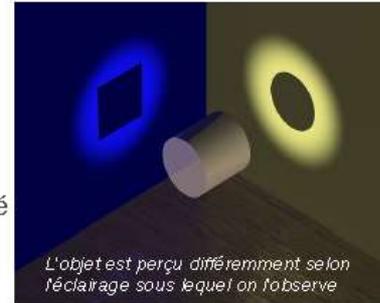
ex : la position d'une particule



Effet photo-électrique, Einstein, 1905

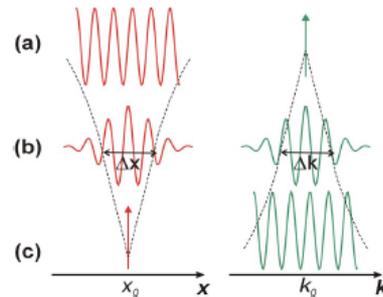


L'énergie de l'onde électromagnétique est portée par le photon



- Les théories avancées par la mécanique quantique permettent de lever ce paradoxe, en posant qu'à l'échelle microscopique, les objets sont à la fois corpusculaire et ondulatoires. Mais les définitions même de ces états poussent à l'objection : un corps, défini par une position et une impulsion (quantité de mouvement p , avec $p=mv$), et une onde, un objet étendu pouvant interférer.
- L'objet quantique serait donc un objet probabiliste, un objet aux caractéristiques corpusculaires suivant les lois ondulatoires

Mécanique quantique : les relations d'incertitude



- (a) onde : $A = \cos(k \cdot x)$
 - extension spatiale infinie
 - fréquence pure
- (b) paquet d'onde : $A = \sum_k \cos(k \cdot x)$
 - extension spatiale limitée
 - distribué en fréquence
- (c) corpuscule : $A = 1$ si $x = x_0$ sinon 0 ($\forall k$)
 - localisée spatialement
 - pas de fréquence déterminée

Relations d'Heisenberg (1927) :

→ si la précision sur la position d'une particule est Δx , son impulsion a une précision Δp telle que :

$$\Delta p \cdot \Delta x > \hbar/2$$

→ si la précision sur le temps (de passage) d'une particule est Δt , son énergie a une précision ΔE telle que : $\Delta E \cdot \Delta t > \hbar/2$

Avantage de ce flou quantique :

- une énergie (ΔE) peut être « empruntée » au vide pendant un laps de temps (Δt) suffisamment court pour que $\Delta E \cdot \Delta t > \hbar/2$
- ... et comme $E = mc^2$, des particules (virtuelles) peuvent être créées et « vivre » pendant un temps d'autant plus court que la particule est lourde !

- Werner Karl Heisenberg lève, en 1927, une partie de l'incompréhension en établissant des relations d'incertitude, connues comme les relations d'incertitude d'Heisenberg : plus l'on connaît certaines caractéristiques de l'objet quantique, moins d'autres peuvent l'être.
- Après avoir ainsi un peu mieux compris la nature de la matière, nous nous sommes ensuite demandé de quoi elle était composée.

- Dès l'Antiquité grecque, la théorie selon laquelle la matière serait constituée de « grains » minuscules et insécables émerge dans l'esprit de Démocrite, qui nomme ces éléments des « atomes » (du grec atomos, indivisible). Depuis, l'Homme est à la recherche de ces fameuses particules.

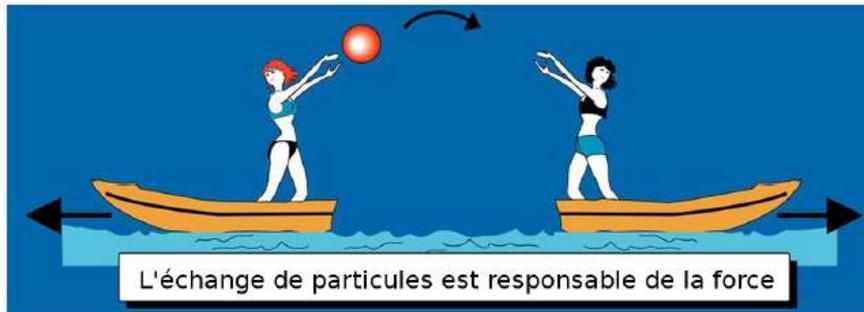
- L'objectif semblait avoir été atteint avec la découverte de ce qu'aujourd'hui nous appelons des atomes, comme le carbone, le fer, ou l'hydrogène. Mais cela a rapidement été mis à mal, avec la découverte de particules subatomiques, comme l'électron par Thomson, ou la constitution majoritaire de vide des atomes par Rutherford en 1911, et plus tard des nucléons (protons et neutrons), constituants du noyau, en 1919.

Les particules ordinaires

- ❖ Les constituants de l'atome :
 - nucléon (proton ou neutron)
 - électron
 - neutrino, émis lors de la désintégration de certains noyaux instables
- ❖ Comment tout cela tient ensemble ?
 - les interactions

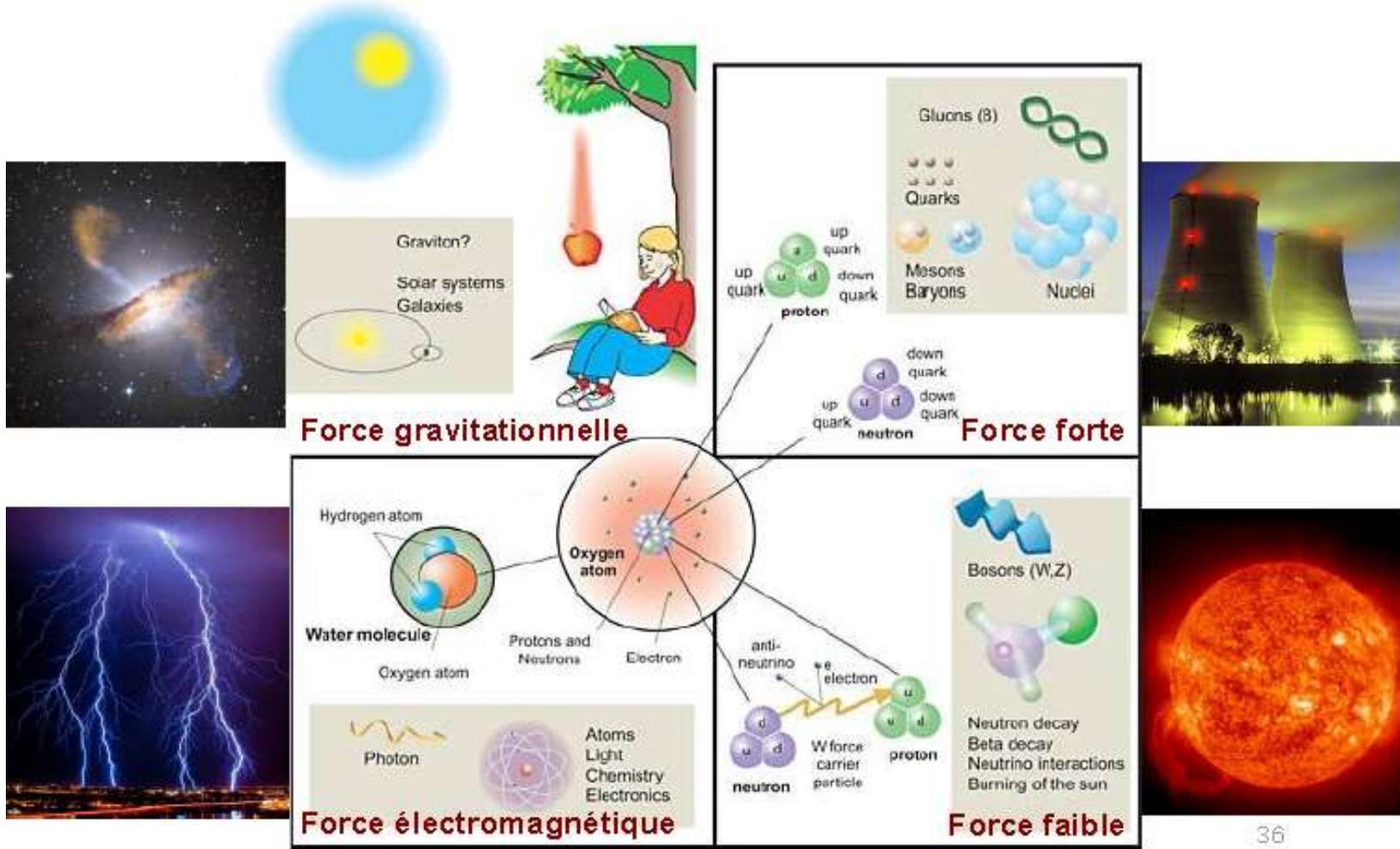
Interaction fondamentale

Échange de particules (bosons) entre particules de matière (fermions, comme les électrons)



- Cependant, des interactions nouvelles sont à envisager entre les particules, celles de gravitation et d'électromagnétisme ne suffisant pas à expliquer le subatomique (par exemple, la cohésion des protons au sein des noyaux.) Pour expliquer ces interactions, la théorie des bosons est imaginée : de véritables « particules de forces ».

Les forces



- Par ailleurs, les équations de Dirac qui décrivent le mouvement de l'électron autour du noyau aboutissent à deux solutions : la première correspond bien à celui de l'électron, et la seconde au positron, l'antiparticule de l'électron. C'est la première antiparticule découverte. Aujourd'hui, la théorie s'est généralisée, et à chaque particule de matière en correspondrait une d'antimatière, de même masse, de même spin (une propriété particulière et unique pour chaque particule, qui nous a été expliquée personnellement plus en détails par le conférencier plus tard dans la journée), mais de charge opposée.

Le positron

Equation du mouvement d'un électron

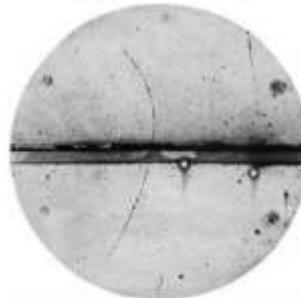
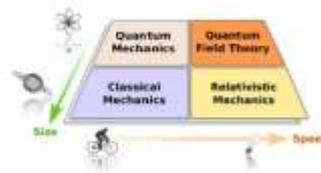
1928, Dirac

- mécanique quantique
- cas relativiste
- équation de Dirac avec 2 solutions :
 - électron
 - positron

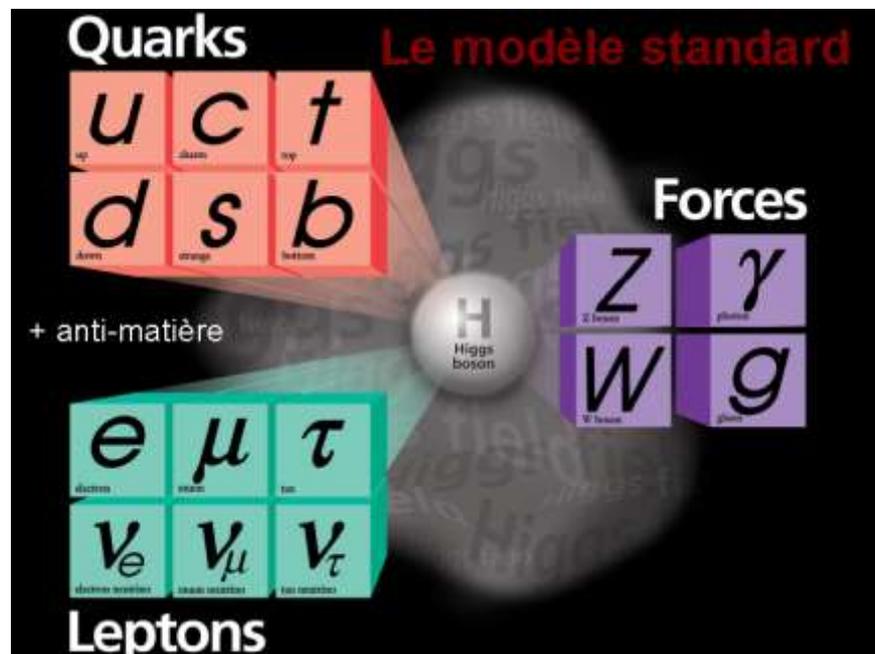
Observation :

1932, Anderson

- enregistré dans une chambre de Wilson, une particule avec les mêmes caractéristiques que l'électron mais une charge opposée



Anderson, C. D., & S. M. G. (1932). The Positive Electron. Physical Review, 47(10), 805-816.



- Il existerait alors, les particules listées ici n'étant que des exemples, un nombre très important de particules, aux caractéristiques très diverses (la masse de l'électron est de l'ordre de 1000 fois inférieure à celle du proton). Pour expliquer cette prolifération de particules, la théorie des quarks émerge, selon laquelle tous les hadrons (les particules agissant par interaction forte, comme les protons) pourraient être décomposés en 3 quarks (up, down ou strange).
- Ces quarks, au même titre que les leptons (les particules n'étant pas des hadrons), seraient des particules élémentaires, les « atomes » de Démocrite.
- Tout cela est réuni au sein du modèle standard de la physique, qui s'efforce de modéliser au mieux le monde qui nous entoure.

Le Modèle Standard décrit très précisément tous les phénomènes observés en laboratoire de l'eV au TeV

Pour autant, il reste insatisfaisant :

- pourquoi 3 familles de particules ?
- pourquoi ont-elles des masses si différentes : e.g. $m(t) \sim 10^6 m(u)$!
- le MS décrit la force électromagnétique et la force faible comme une seule et même force (la force électrofaible).
 - pourquoi la force forte est-elle si différente ?
 - GUT (Grand Unified Theory) ? SUSY ?
 - quid de la gravitation ?
- il n'explique pas la disparition de l'anti-matière

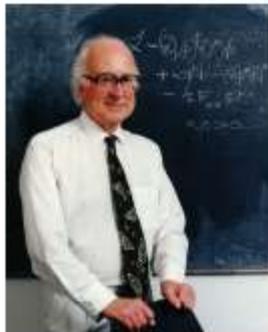
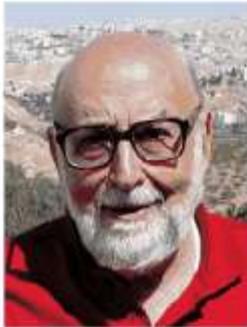
De plus, l'astronomie & la cosmologie montre que :

- le Modèle Standard n'explique que 4% du contenu de l'univers
- l'univers contient :
 - ~27 % de matière de nature inconnue (matière noire)
 - ~68 % d'énergie de nature inconnue (énergie noire)
- 95 % du contenu de l'univers reste mystérieux !

72

Cependant, jusqu'à peu, le modèle standard était incomplet, puisque toutes les particules élémentaires auraient une masse nulle. Peter Higgs propose une solution au problème, avec la théorie du boson de Higgs, qui ferait acquérir une masse.

1964 : Le mécanisme de Higgs



BROKEN SYMMETRY AND THE MASS OF GAUGE VECTOR MESONS*

P. Englert and R. Brout
 Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium
 (Received 26 June 1964)

It is of interest to inquire whether gauge vector mesons acquire mass through interaction¹; by a gauge vector meson we mean a Yang-Mills field² associated with the extension of a Lie group from global to local symmetry. The importance of this problem resides in the possibility that strong-interaction physics originates from massive gauge fields related to a system of conserved currents.³ In this note, we shall show that in certain cases vector mesons do indeed acquire mass when the vacuum is degenerate with respect to a compact Lie group.

Theories with degenerate vacuum (broken symmetry) have been the subject of intensive study since their inception by Nambu.⁴⁻⁶ A

those vector mesons which are coupled to currents that "rotate" the original vacuum are the ones which acquire mass [see Eq. (5)].

We shall then examine a particular model based on chirality invariance which may have a more fundamental significance. Here we begin with a chirality-invariant Lagrangian and introduce both vector and pseudovector gauge fields, thereby guaranteeing invariance under both local phase and local γ_5 -phase transformations. In this model the gauge fields themselves may break the γ_5 invariance leading to a mass for the original Fermi field. We shall show in this case that the pseudovector field acquires mass.

In the last paragraph we sketch a simple argument which renders these results reason-

VOLUME 13, NUMBER 16 PHYSICAL REVIEW LETTERS 19 OCTOBER 1964

BROKEN SYMMETRIES AND THE MASSES OF GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs
 The Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland
 (Received 21 August 1964)

In a recent note¹ it was shown that the Goldstone theorem,² that Lorentz-covariant field theories in which spontaneous breakdown of symmetry under an internal Lie group occurs contain zero-mass particles, fails if and only if the conserved currents associated with the internal group are coupled to gauge fields. The purpose of the present note is to report that, as a consequence of this coupling, the spin-one quanta of some of the gauge fields acquire mass; the longitudinal degrees of freedom of these particles (which would be absent if their mass were zero) go over into the Goldstone bosons when the coupling tends to zero. This phenomenon is just the relativistic analog of the plasmon phe-

nomon about the "vacuum" solution $\psi_0(x) = 0$, $\psi_0(x) = \psi_0$:

$$\partial_\mu^2 [\partial_\mu \psi_0 + e \psi_0 A_\mu] = 0, \quad (2a)$$

$$[\partial_\mu^2 - 4e^2 \psi_0^2 + i e \psi_0^2 \gamma_5] (\Delta_\mu \psi_0) = 0, \quad (2b)$$

$$\partial_\nu^2 \psi_0^{AB} = e \psi_0^2 [\partial_\nu^2 (\Delta_\nu \psi_0) + e \psi_0 A_\nu], \quad (2c)$$

Equation (2b) describes waves whose quanta have (bare) mass $2e\psi_0(1 + i\gamma_5)^{1/2}$. Eqs. (2a) and (2c) may be transformed, by the introduction of new variables

$$B_\mu = A_\mu - i(e\psi_0)^{-1} \partial_\mu (\Delta_\mu \psi_0),$$

- Englert, Brout, Higgs, Guralnik, Hagen, Kibble publient à quelques mois d'intervalle
- Prédiction : existence du **champ de Higgs**, manifestation sous forme d'une nouvelle particule, le **boson de Higgs**

- Un des rôles principaux du LHC était la découverte de ce boson : la collision des protons accélérés à une vitesse presque équivalente à celle de la lumière, de masse augmentée du fait de leur haute énergie (avec la relation $E=mc^2$), entraîne leur désintégration en particules plus petites, les particules que l'on suppose élémentaires. Le boson de Higgs n'étant pas produit très souvent, il est difficile à observer. Mais, le 4 Juillet 2012, la particule détectée dans le LHC est catégorisée comme étant presque certainement le boson de Higgs.

- Toutefois, ce modèle standard très complet, ne permet d'expliquer que 5% de l'Univers. Nous ne commençons donc qu'à mettre le doigt dans l'engrenage de la physique universelle, malgré tout le chemin parcouru.

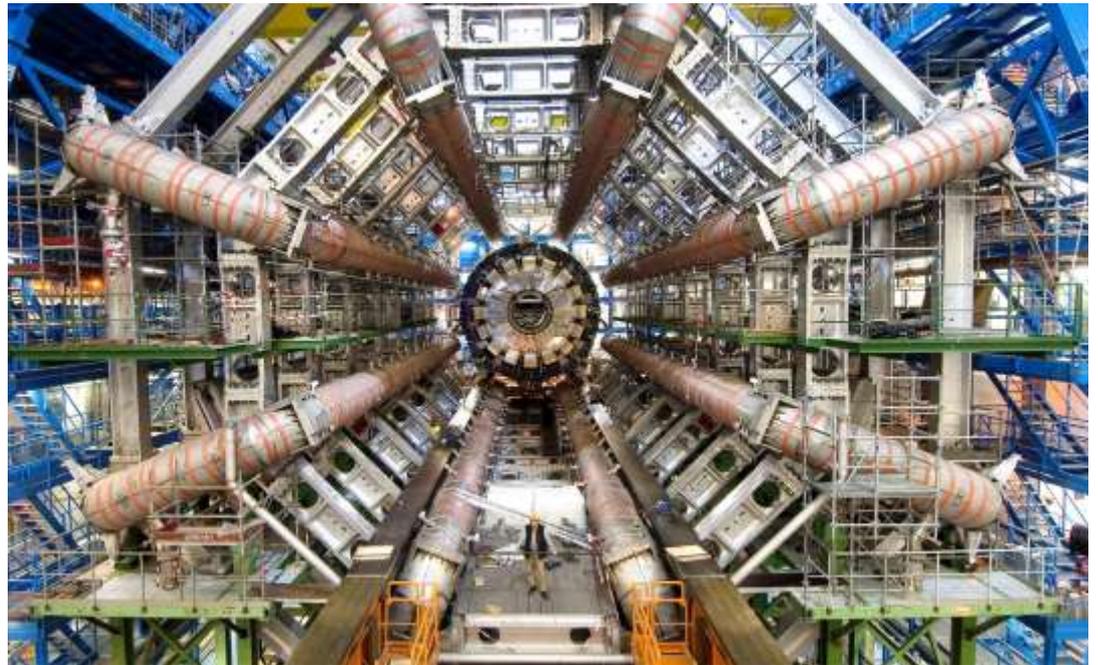
Le détecteur Atlas

Présentation d'Atlas:

→ L'un des quatre détecteurs géants, présent au cœur du LHC.

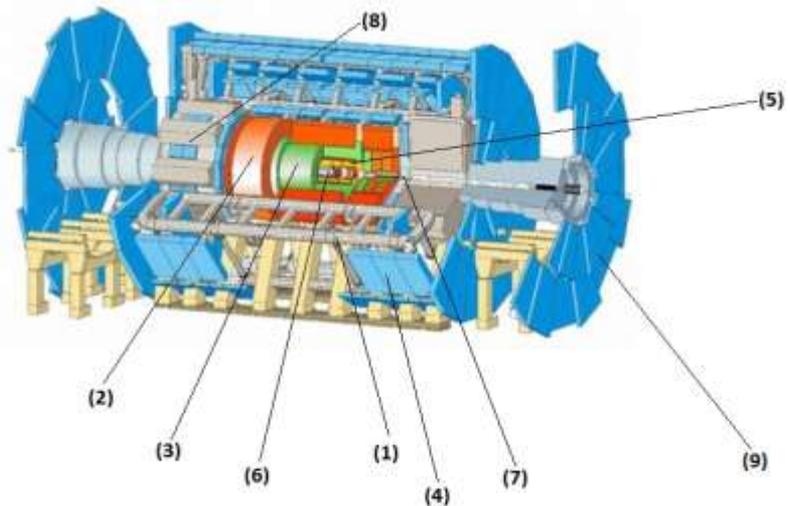
→ Issu de la collaboration de 3000 scientifiques, originaires de 38 pays et de 174 instituts différents, dont 400 ingénieurs, chercheurs et étudiants français.

→ Mesure 25 mètres de diamètre, 44 mètres de long et pèse 7000 tonnes. Comptant 3000 km de câbles et 100 millions de canaux, il peut observer 20 collisions de protons simultanément, et ce 40 millions de fois par seconde.



Composition du détecteur:

1. Aimants: créent un champ magnétique de 4 Tesla grâce à 80 km de câbles supraconducteurs dans lesquels circule un courant de 20 000 Ampères. Ce champ magnétique permet d'incurver la trajectoire des particules suivant leur nature ce qui permet de les différencier les unes des autres. Ils sont disposés en forme de tor.
2. Calorimètre à tuiles: pesant 3000 tonnes et constitué d'acier et d'un matériau scintillant au passage des particules, ce calorimètre permet notamment de détecter les protons et les neutrons. Il entoure le calorimètre électromagnétique.
3. Calorimètre électromagnétique: constitué de plomb et plongé dans de l'argon liquide (à -185°C), il a été conçu dans le but d'identifier les électrons et les photons.
4. Détecteur à muons: Placé à l'extérieur des calorimètres, ce détecteur, comme son nom l'indique, a pour but de détecter le passage de muons (particules ayant les mêmes propriétés physiques que les électrons mais avec une masse environ 200 fois plus importante).
5. Détecteur à rayonnement de transition: contient des centaines de milliers de tubes, constitués de fils dorés et remplis de gaz. Il entoure le détecteur à pixel. Ces deux détecteurs permettent aux scientifiques d'acquérir la trajectoire des particules éjectées.
6. Détecteur à pixels: composé de millions de capteurs silicium disposés en lamelles ou en damier, il permet, tout comme le détecteur à rayonnement de transition, de déterminer la trajectoire des particules, grâce aux capteurs dont les dimensions sont 50 microns par 400 microns, soit l'épaisseur d'un cheveu.
7. Modules auxiliaires de détection: placés aux extrémités du détecteur Atlas, ils permettent de mesurer les particules dites «à petit angle» par rapport au faisceau de protons.
8. Aimants toroïdaux: complètent le champ magnétique dans le détecteur.
9. Détecteurs supplémentaires: Couche supplémentaire disposée dans le but de mesurer les particules dans la région périphérique d'Atlas.



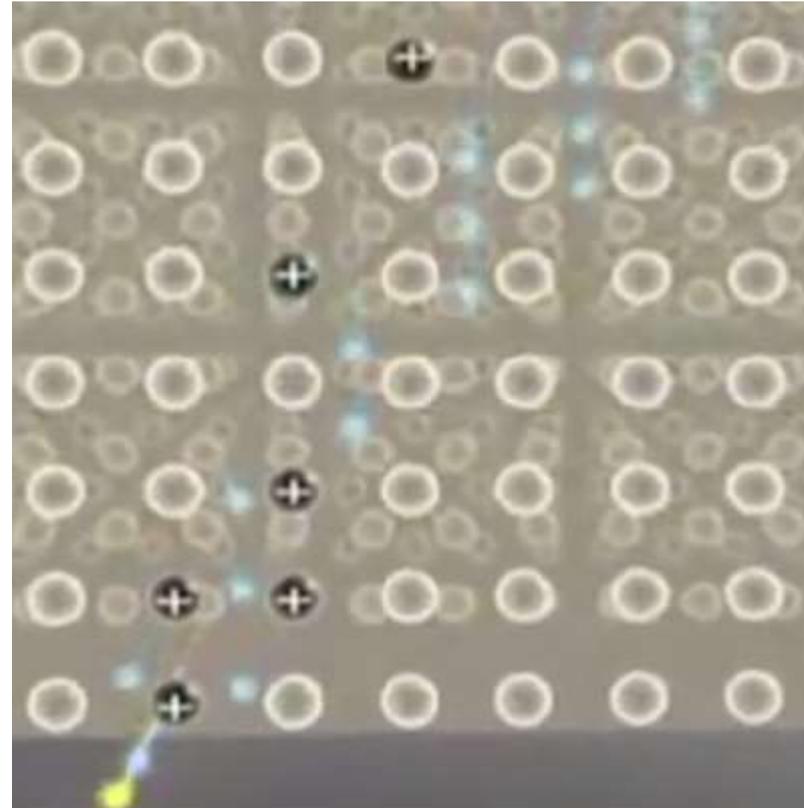
Comment ça marche?

La particule chargée passe dans une couche de silicium et va arracher des électrons lors de son passage. Ces électrons vont être collectés par les «pixels» du détecteur, et vont donc laisser une signature permettant aux chercheurs de déterminer la trajectoire de la particule.

→ Calorimètre hadronique :

Lorsque la particule rencontre le métal absorbeur , elle interagit avec lui et crée une gerbe de nouvelles particules possédant moins d'énergie . Ces nouvelles particules ionisent l'argon liquide et libèrent des électrons qui sont attirés par des électrodes en cuivre .

En mesurant le nombre d'électrons collectés , on en déduit alors la charge de la particule d'origine.



Les TP

Lors de la Masterclasse Astroparticules à l'université de Luminy à Marseille, après avoir suivi deux conférences le matin sur la physique des particules, nous avons effectué un TP dans le but de préparer une visioconférence au cours de laquelle nous avons communiqué les résultats de ce TP à d'autres Masterclasses et à des chercheurs du CERN (accélérateur de particules LHC à Genève).

- Une fois tous réunis dans une salle remplies de postes informatiques et répartis deux par ordinateur le travail à effectuer nous a été présenté. L'exercice consistait en une approche du travail d'un chercheur du CERN travaillant sur l'expérience ATLAS, en simulant sur un logiciel les résultats de passages de particules dans le détecteur. Nous devions analyser au total 50 événements pour reconnaître le type de particules ayant traversé le détecteur. Nous avons donc tenté d'identifier les différents types de leptons (électrons ou positrons, muons ou antimuons, ce qui permet de vérifier la structure en quarks du proton) et les candidats potentiels pour la découverte du boson de Higgs. Nous avons ensuite mis en commun nos résultats et les avons comparés avec ceux des autres participants et avec un modèle de résultats des physiciens du CERN.



A. Buts de l'exercice

1) Vérification de la structure en quarks du proton

- Reconnaitre et compter les désintégrations de W^+ et W^- .

$$\begin{array}{l}
 + \left\{ \begin{array}{l} W^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e \rightarrow e^+ + ET_{\text{neutrino}} \\ W^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu \rightarrow e^+ + ET_{\text{neutrino}} \\ W^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu \rightarrow \mu^+ + ET_{\text{neutrino}} \\ W^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\tau \rightarrow \mu^+ + ET_{\text{neutrino}} \end{array} \right. \\
 - \left\{ \begin{array}{l} W^- \rightarrow e^- + \nu_e \rightarrow e^- + ET_{\text{neutrino}} \\ W^- \rightarrow e^- + \nu_\mu \rightarrow e^- + ET_{\text{neutrino}} \\ W^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu \rightarrow \mu^- + ET_{\text{neutrino}} \\ W^- \rightarrow \mu^- + \nu_\tau \rightarrow \mu^- + ET_{\text{neutrino}} \end{array} \right.
 \end{array}$$

- Mesurer le rapport R_W

Dans les collisions proton-proton, va-t-on produire plus de W^+ ou de W^- ?
Quelle proportion de W^+ et W^- ?
Que va-t-on apprendre ?



2) Recherche du boson de Higgs ($H \rightarrow W^+ + W^-$)

- Identifier des événements $2W$:

$$\begin{array}{l}
 WW \rightarrow e^+ + \nu_e + e^- + \bar{\nu}_e \rightarrow e^+ + e^- + ET_{\text{neutrino}} \\
 WW \rightarrow e^+ + \nu_e + \mu^- + \bar{\nu}_\mu \rightarrow e^+ + \mu^- + ET_{\text{neutrino}} \\
 WW \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + e^- + \bar{\nu}_e \rightarrow \mu^+ + e^- + ET_{\text{neutrino}} \\
 WW \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu + \mu^- + \bar{\nu}_\mu \rightarrow \mu^+ + \mu^- + ET_{\text{neutrino}}
 \end{array}$$

- Mesurer l'angle entre les deux leptons chargés (e ou μ)
- Obtenir la distribution de cet angle.



angle statistiquement différent si les W viennent d'un Higgs ou d'un autre processus

- Des renseignements quantitatifs et qualitatifs étaient également à notre disposition sur le logiciel pour pouvoir mener à bien l'étude (énergie transverse manquante permettant de donner une première information pour savoir si l'évènement devait être considéré comme un bruit de fond ou non, P_t et charge du lepton pour reconnaître un électron d'un positron, ou un muon d'un antimuon). Néanmoins, lors de cet exercice, nous avons du faire face à certaines difficultés d'analyse des événements, ou d'identification des différentes particules. En particulier, la différenciation entre des traversées de particules sans importance (bruits de fond, jets de particules) et la traversée d'un électron dans le calorimètre du détecteur ou d'un muon dans le détecteur conçu pour sa reconnaissance ne fut pas toujours évidente.

- Lors de la mise en commun des résultats des différents groupes, nous nous sommes aperçus que nous avons observé des phénomènes plausibles et assez semblables à ceux que les physiciens d'ATLAS avaient pu mettre en évidence, comme par exemple le rapport entre nombre de muons et d'anti muons détecté. Nous avons également mis en évidence l'existence du boson de Higgs (à un taux un peu supérieur à celui déterminé par les physiciens d'ATLAS, sans doute dû aux erreurs de jugement que nous avons pu commettre lors de l'identification d'un événement comme étant un bruit de fond).





Le « vécu »

Cette journée au centre de Luminy fut très probablement une des plus passionnantes du voyage. Les conférenciers ont su nous livrer des explications plus poussées que ce que nous pouvions déjà savoir, tout en restant dans notre domaine de compréhension. Et puis, d'un point de vue plus humain, nous avons pu observer les motivations de ces hommes et femmes qui consacrent une grande partie de leur vie à la science, la passion qui les anime, et surtout la transmission de cette passion et de leur savoir à un amphithéâtre rempli d'élèves de Terminale. Que ce soit au cours des conférences, ou pendant les pauses, où nous pouvions poser des questions, l'envie était là, et était une invitation et une incitation à apporter nous même notre pierre à l'édifice de la compréhension du monde et de la physique moderne. P.F.M

Ce voyage a été pour moi une expérience heureuse et très enrichissante : il m'a en effet permis d'acquérir des connaissances (scientifiques mais aussi générales) concernant notre univers. Il m'a aussi permis d'admirer les dernières avancées technologiques et scientifiques, qui permettront probablement de grandes découvertes pour l'avenir.

Bien que mon premier choix d'orientation ne se tourne pas vers la recherche scientifique, mais plutôt vers l'ingénierie, les sujets abordés lors des conférences m'ont beaucoup intéressé. Ils ont de plus été servis par d'excellents conférenciers, qui font preuve d'une grande pédagogie et qui savent communiquer leur passion pour ces métiers de la recherche.

Cette expérience m'a également été bénéfique sur le plan des relations humaines : elle m'a permis de créer des liens avec les scientifiques qui nous ont accueillis tout d'abord, mais aussi avec mes camarades et mes professeurs (avec qui j'ai vécu trois jours).

C'est pourquoi je tiens à les remercier vivement ainsi que tous les scientifiques qui ont contribué à l'organisation et au bon déroulement de ce beau voyage, dont je me souviendrais longtemps.

- Pour ma part, j'ai trouvé ce voyage très intéressant. En effet, les mondes de l'infiniment petit et de l'infiniment grand sont incroyablement vastes, et ces quelques jours à Cadarache, à l'OHP et à l'université de Luminy m'ont offert la chance d'aborder ces deux mondes du point de vue de chercheurs et d'ingénieurs passionnés par leurs activités. Nous avons ainsi eu la chance de profiter du savoir d'intervenants qui nous ont offert un peu de leur précieux temps dans le but de nous éclaircir sur des sujets scientifiques très importants et de piquer à vif notre curiosité. Cependant cette curiosité n'a pas été seulement piquée à vif, mais elle a aussi été très largement satisfaite au travers de nombreuses conférences sur des sujets d'avenir (la fusion nucléaire avec le projet ITER, ainsi que les mesures écologiques et de préservation de l'environnement prises au travers de ce projet), des sujets d'astronomie (la découverte d'exoplanètes et le dangers des géocroiseurs à l'OHP) et bien sûr des sujets portant sur les particules à l'université de Luminy. Par ailleurs, la journée à l'université de Luminy était, pour moi, la plus passionnante, grâce à une conférence très complète sur les particules élémentaires et sur le CERN, suivie d'une mise en situation très intéressante, qui nous a donné un petit aperçu du travail de nombreux chercheurs, et mis en évidence la complexité de leurs travaux.
- Pour conclure, je tiens à remercier l'ensemble des professeurs et des intervenants pour nous avoir permis de faire ce voyage très instructif et passionnant, car sans eux, cette belle expérience, aussi bien humaine que scientifique, n'aurait pu être possible. JP

Le projet Thalès est un voyage qui m'a permis de conforter mon intérêt pour la Science.

Tout d'abord, avec la visite du CEA et du projet ITER, l'entrée en matière était quasi instantanée. Le nucléaire, était jusqu'alors, un domaine que je ne connaissais que très peu et cette visite ainsi que ces conférences m'ont permis d'éclaircir ce sujet sur une nouvelle facette autre que la politique, l'écologie, ou encore les simples cours sur la réaction de fusion ou de fission. J'ai donc découvert un nouvel univers d'études, et de professions. C'est un des gros avantages de ce voyage pour des jeunes scientifiques, la découverte de nouvelles professions et de nouvelles voies d'études. Le fait d'en apprendre sur des technologies en développement, de les voir en construction, et d'en discuter toute une journée nous insère plus que sérieusement dans une ambiance futuriste à la limite de la science fiction parfois ce qui renforce notre engouement pour la science.

Pour commencer, ce voyage fut très intéressant et enrichissant tant par l'apport de nouvelles connaissances que sur le plan humain.

En effet, dans un premier temps la visite du site de Cadarache ; que je ne connaissais absolument pas ; m'a permis d'acquérir de plus amples informations sur le nucléaire et notamment sur le principe de la fusion que je connaissais très peu mais surtout en quoi consistait le site de Cadarache. D'autre part, j'ai également été très impressionnée par la taille du site mais également par les machines qui nous ont été présentées. Je n'aurais jamais imaginé qu'elles puissent être aussi immenses.

Ensuite, lorsque nous avons visité l'OHP, tout comme pour les machines du site de Cadarache, j'ai été surprise par la taille du télescope. Il est regrettable de ne pas l'avoir vu fonctionner. Toutefois, par le visionnage de deux vidéos de présentation au début de la visite, ainsi que l'intervention du responsable des instruments d'astronomie, nous avons pu visualiser le fonctionnement du télescope. Par le biais d'exemples personnels, Jean-Pierre Sivan en très bon guide nous a expliqué brièvement le fonctionnement du télescope. De mon point de vue, c'est plus efficace pour comprendre les rouages d'un système.

En revanche, la suite de la visite, fut moins riche en découverte. Quant aux conférences de l'après-midi, la première était instructive mais il était difficile d'emmagasiner toutes les informations sans s'y perdre. À contrario, la seconde conférence était un peu plus vivante ! La perspective évoquée de notre avenir incertain, m'a laissé perplexe. Mais je pense que ce devait être dû au fait, que je n'avais pas connaissance de ce sujet.

En ce qui concerne le dernier jour, je m'attendais à voir aborder des thèmes plus élaborés. Je craignais même que la conférence ne soit totalement en anglais. Mais finalement, j'ai trouvé que les conférences étaient très abordables pour nous, D'autant plus que les conférenciers parvenaient à susciter notre intérêt. J'ai d'ailleurs pu enfin vraiment comprendre ce qu'était un boson de Higgs. D'autre part, les activités réalisées l'après-midi nous ont permis de nous « mettre dans la peau des chercheurs » et de réaliser nos propres expériences pour ensuite comparer nos résultats avec ceux de d'autres villes dans le monde. De même, la visioconférence était elle aussi captivante.

Par ailleurs, chaque voyage scolaire me permet de m'intégrer d'avantage encore plus aux élèves de la classe. Comme chaque année, je suis toujours satisfaite des voyages effectués tel que celui-ci, excellente opportunité qui je pense ne se reproduira peut-être jamais.

Tout en étant parfois ludique, ce voyage fut particulièrement intéressant et instructif : les conférences auxquelles nous avons assisté furent passionnantes et m'ont permis d'enrichir mes connaissances de physique, en particulier sur les particules.

La visite de l'observatoire faite par Jean Pierre Sivan reste un moment fort du voyage : sa proximité avec nous , la qualité de ses commentaires et anecdotes ont permis de passer un moment convivial tout en étant très riche en apport scientifique. Jean Pierre Sivan a fait beaucoup plus que nous faire visiter l'observatoire de Haute Provence : il a essayé de nous transmettre sa passion et a sans doute réussi.

C'est pour cela que ce voyage fut d'une grande richesse et m'a particulièrement plu. Quelle bonheur et quelle chance de pouvoir partir en voyage scolaire. Mais, avoir en plus le droit de visiter le CEA (où nous avons pu apprendre de nombreuses choses sur le projet ITER), l'OHP (Observatoire de Haute Provence) ainsi que de participer à la Masterclasse est un privilège que de rares élèves (et de rares personnes) auront pu s'offrir. C'est pour cela que j'ai décidé de prendre part à cette aventure. Aussi, toute l'expérience et le savoir emmagasiné au cours de ces trois jours m'aideront dans mes études.

Les chercheurs que j'ai pu rencontrer comme Jean-Pierre Sivan et Yann Coadou m'ont conforté dans mon idée de travailler dur car à la clef peut se trouver un métier fantastique et passionnant (ils ont la chance(et le mérite) d'en exercer un !). Ce voyage fut enfin l'occasion de connaître un peu mieux mes camarades et ce fut une formidable aventure humaine avant tout.

- Pour ma part j'ai trouvé ce voyage des plus enrichissants . Nous avons fait des visites et participer a des conférences qui m'ont énormément plu . De plus , les rencontres que nous avons pu faire n'ont que renforcer en moi le désir de me lancer dans des études scientifiques . On a ou voir que les sciences étaient au centre des avancées technologiques , comme par exemple sur le site de Cadarache . La visite de l'université de Luminy et les conférences auxquelles nous avons pu assister étaient pour moi l'étape du voyage la plus intéressante . Participer a cette Masterclass en présence d'ingénieur du CERN était vraiment enrichissant . Nous avons en plus pu prendre contact avec des ingénieurs dont la situation est celle de nos rêves . Ce voyage était donc réellement bénéfique autant sur le plan humain qu'intellectuel . Nous avons ainsi rencontré des personnes dont la passion pour les sciences faisait passer leur métier comme un loisir , et dont la chose la plus importante était de partager cette passion , comme Jean-Pierre Sivan qui nous a fait l'honneur de nous faire une visite privée du site de l'observatoire de Haute-Provence . Pour finir , ce voyage était aussi l'occasion de passer du temps extra-scolaire avec nos professeurs qui nous ont permis de faire ce voyage que l'on oubliera pas .

Tout en étant parfois ludique, ce voyage fut particulièrement intéressant et instructif : les conférences auxquelles nous avons assisté furent passionnantes et m'ont permis d'enrichir mes connaissances de physique, en particulier sur les astroparticules. La visite de l'observatoire faite par Jean Pierre Sivan reste un moment fort du voyage : sa proximité avec nous , la qualité de ses commentaires et anecdotes ont permis de passer un moment convivial tout en étant très riche en apport scientifique. Jean Pierre Sivan a fait beaucoup plus que nous faire visiter l'observatoire de haute Provence : il a essayé de nous transmettre sa passion et a sans doute réussi. C'est pour cela que ce voyage fut d'une grande richesse et m'a particulièrement plu.

Cette journée au centre de Luminy fut très probablement une des plus passionnantes du voyage. Les conférenciers ont su nous livrer des explications plus poussées que ce que nous pouvions déjà savoir, tout en restant dans notre domaine de compréhension. Et puis, d'un point de vue plus humain, nous avons pu observer les motivations de ces hommes et femmes qui consacrent une grande partie de leur vie à la science, la passion qui les anime, et surtout la transmission de cette passion et de leur savoir à un amphithéâtre rempli d'élèves de Terminale. Que ce soit au cours des conférences, ou pendant les pauses, où nous pouvions poser des questions, l'envie était là, et était une invitation et une incitation à apporter nous même notre pierre à l'édifice de la compréhension du monde et de la physique moderne. P.F.M

Ce que j'ai le plus apprécié dans ce voyage ?

C'est difficile à dire, mais je pense que j'ai une petite idée. Je pense être apte à dire que la visite de la Masterclasse astroparticules à l'université de Luminy m'a ouvert l'esprit sur les études supérieures. Leurs buts et leurs objectifs. Sans compter la multitudes d'activités via ordinateur, comme la recherche sur les bosons de Higgs, ou encore la conférence vidéo avec d'autres classes internationales fut des plus passionante. On comprend vite que notre maîtrise de l'anglais doit rapidement se perfectionner.

Pour terminer, l'ensemble du voyage me semble être une réussite. Une bonne entente entre les professeurs et nous même. Aucuns soucis particuliers. Un enrichissement commun et de nouvelles relations se sont créés. Que dire de mieux ?

Nous avons assisté à la masterclasse physique des particules à l'Université de Luminy. Conférences, TP et visio-conférence internationale étaient au programme. Aux abords de la physique quantique, et de l'enseignement post-bac, l'intérêt pour ce genre de conférence était au summum. Quant à la visio-conférence, il n'y avait rien de tel pour évaluer son niveau de compréhension en anglais ainsi que sa capacité à interagir avec des étrangers dans le domaine scientifique, et plus particulièrement dans le domaine des particules.

Ce voyage fût à la hauteur de mes espérances, ce que l'on a visité était exactement ce à quoi je pouvais m'attendre avec un tel voyage. Seul petit regret, je n'ai pas pu visiter l'accélérateur de particules... Peut être un jour, qui sait ? Peut être même en tant que scientifique ?

Merci à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce voyage et en particulier:

- le CNRS de Provence
- le CPPM/IN2P3 de Marseille
- L'OHP
- La DRRT
- Jean-Pierre Sivan
- Yann Coadou et Marlon Barbero
- Luc Arnold et Daniel Gillet
- Tous les ingénieurs et chercheurs de la station géophysique de l'OHP
- Tous les guides qui nous ont accompagnés les visites de Cadarache et ITER

Et un grand merci à la Collectivité Territoriale de Corse pour l'avoir en grande partie financé.

Merci à M. Jean-Pierre Casanova , Proviseur du Lycée Laetitia Bonaparte

Sans oublier nos professeurs...