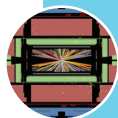


Les Savanturiers

n°3

En mission avec les scientifiques du CEA

Sommaire :



Un monde à découvrir

L'infiniment petit

Pages 2-3



Les instruments du LHC

Détecteurs et ordinateurs

Pages 4-5



Interviews

3 chercheurs racontent

Pages 6-7



Jeu

Passion reporter

Page 8

Édito :

Le 4 juillet 2012 à Genève, le Cern (organisation européenne pour la recherche nucléaire) annonce officiellement qu'une toute nouvelle particule a été observée dans les feux d'artifices produits par les collisions de faisceaux de protons dans les détecteurs CMS et Atlas du LHC (Large Hadron Collider). Ce serait le boson de Higgs, clé de l'édifice théorique du monde des particules élémentaires : le modèle standard. L'exploitation scientifique du LHC a commencé en mars 2010, après deux décennies de construction et de mise au point. Accélérateur le plus puissant du monde, le LHC est une aventure technologique, scientifique et humaine exceptionnelle avec plus de 10 000 utilisateurs du monde entier. Tournez les pages pour un voyage au cœur de la matière.

Sur la piste du boson de Higgs

L'Univers primordial ne contenait que des particules élémentaires sans masse, furieusement agitées. Lorsque les physiciens provoquent de très violentes collisions de particules dans leurs accélérateurs, ils recréent - dans un tout petit volume et pendant une durée très brève - les conditions physiques extrêmes qui régnaient juste après le Big-Bang : très hautes températures et grande densité d'énergie. C'est à ce moment qu'entre en action le mécanisme de Higgs, qui confère une masse aux particules.



C'est la liesse en salle de commande lorsque le LHC redémarre. Il a permis de produire des collisions proton-proton dans lesquelles se cache le boson de Higgs.

Le modèle standard

Le modèle standard décrit la matière et son comportement grâce à **25 briques élémentaires** séparées en deux catégories : les particules de matière (qu'on appelle les fermions, dont les quarks et les leptons), et les champs médiateurs qui permettent de véhiculer une force d'interaction (qu'on appelle les bosons intermédiaires) plus le boson de Higgs ayant un rôle central dans cet édifice.

Ainsi les fermions interagissent entre eux en s'échangeant des bosons, particules caractéristiques des forces, dont on voit la manifestation à notre échelle (électromagnétisme, radioactivité...).

Ce modèle théorique s'appuie sur la physique quantique, qui décrit le comportement de la matière à très petite échelle, et sur la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.

À ce jour, toutes ces particules ont été observées dans les accélérateurs de particules.

Or la construction mathématique de ce modèle, découlant des propriétés de la physique, impose que des particules de force aient une masse nulle... Ce qui n'est pas le cas. En introduisant l'existence d'une nouvelle particule, le boson de Higgs, les théoriciens ont réparé cette anomalie : la beauté mathématique du modèle était conservée tout en permettant aux particules d'être massives.

SOLEIL

10^6 m TERRE

1 m OBJET

10^{-6} m CRISTAL

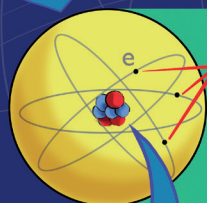
10^{-10} m ATOME

10^{-14} m NOYAU ATOMIQUE

10^{-15} m PROTON
NEUTRON

Un monde

Photons γ
Neutrinos



LEPTONS
Particules insensibles à l'interaction forte.

e

électron

ν_e

neutrino e



QUARKS

S'assemblent en triplets ou en paires quark-antiquark pour former les nombreuses particules subatomiques.

u

haut/up

d

bas/down

1^{re} famille

Les membres de la 1^{re} famille composent l'ensemble de la matière ordinaire (protons, neutrons, atomes...).

Lexique :

Champ : Valeur qui associe un seul nombre à chaque point de l'espace. En physique classique, elle indique la distribution d'une valeur (par exemple la température) à travers l'espace. En mécanique quantique, quand une particule agit sur une autre, on imagine qu'un champ, engendré par la première, se propage dans l'espace puis agit sur l'autre.

$E=mc^2$: La célèbre formule d'Albert Einstein dit que tout corps, même au repos, possède une « énergie de masse », c'est-à-dire une énergie qu'il doit au seul fait d'avoir une masse.

Le boson de Higgs

Le chaînon manquant

Le boson de Higgs constituait le chaînon manquant du modèle standard. La physique est fondée sur son existence depuis les années 1960, quand plusieurs théoriciens, dont les belges Robert Brout et François Englert et le britannique Peter Higgs, réalisent que pour fournir des masses aux particules il faut ajouter un ingrédient théorique supplémentaire : le **champ** de Higgs. Toutes les particules baignent dans ce champ qui emplit l'espace. Les interactions du champ

de Higgs avec les bosons W^+ , W^- , Z^0 leur fournissent une masse. Le photon n'interagit pas avec le boson de Higgs ; il n'a donc pas de masse. De même, ce champ « freine » plus ou moins les quarks et les leptons dans leurs déplacements, ce qui justifie leurs masses très diverses : plus une particule interagit fortement avec lui, plus cette particule se déplace lentement et plus elle est massive.

Au-delà du modèle standard

L'étude des propriétés de cette nouvelle particule ouvre une porte sur l'infiniment petit et pourrait donner des indices sur une nouvelle physique pour résoudre

à découvrir :

L'infiniment petit

matière

Forces

2^e famille
Réplique plus massive et instable de la 1^{re} famille. Le muon est ainsi 200 fois plus lourd que l'électron.

μ
muon

ν_μ
neutrino muon

3^e famille
Réplique encore plus massive et instable de la 1^{re} famille. Le lepton τ est ainsi 3 600 fois plus lourd que l'électron.

τ
tau

ν_τ
neutrino tau



c
charme/charm

t
top

s
étrange/strange

b
beau/beauty/bottom

Interaction faible
Désintégrations radioactives.

Z^0, W^+, W^-

Interaction électromagnétique
Entre autres : électricité, magnétisme, cohésion de l'atome et du cristal, chimie.

PHOTON

Interaction forte
Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux.

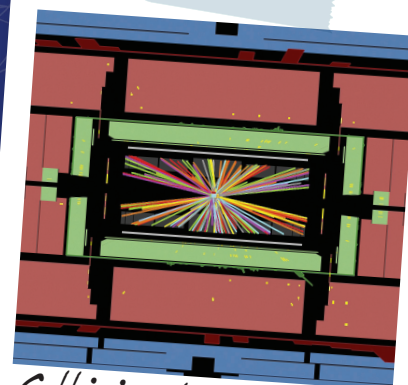
8 GLUONS

25 = 6 (quarks) + 6 (leptons)
+ 12 (bosons intermédiaires)
+ boson de Higgs

Les forces

Depuis toujours les physiciens ont rêvé de comprendre la nature, les lois, la structure de l'Univers. Il est admis que 4 forces fondamentales régissent le monde :

- ★ La force électromagnétique provoque des interactions entre charges électriques, nous lui devons l'électricité.
- ★ La force gravitationnelle, qui maintient la Terre en rotation autour du Soleil par exemple.
- ★ La force nucléaire faible est moins familière. Elle intervient dans la combustion du Soleil ; sans elle pas de fusion au sein des étoiles, donc pas de lumière, pas de chaleur.
- ★ La force nucléaire forte relie les protons et les neutrons dans les noyaux atomiques, ainsi que les quarks dans les protons et neutrons ; sans elle pas de matière non plus.



Collision de particules dans le détecteur ATLAS

© Cern

les énigmes de la matière noire et de la disparition de l'antimatière, ou encore fournir une voie vers l'unification des forces.

En savoir +

- La vidéo, en anglais, « The Higgs Boson Explained from PHD Comics », sur <http://vimeo.com/41038445>
- Ecoutez John Ellis « Le Boson de Higgs, c'est quoi ? » <http://cds.cern.ch/record/1459130?ln=fr>
- La conférence Cyclope juniors « The Higgs file, dossier classé ? », <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/conferences/the-higgs-file-dossier-classe>

Pourquoi provoquer des collisions de particules ?

Comme le montre la célèbre formule d'Einstein $E=mc^2$, il y a équivalence entre masse et énergie. Pour créer de nouvelles particules, on a besoin de beaucoup d'énergie. Ce n'est pas l'énergie qui compte vraiment, mais la densité d'énergie, c'est-à-dire la quantité d'énergie par unité de volume. Une particule élémentaire est quasiment ponctuelle (une particule ponctuelle est sans structure et n'a pas de taille) : si on l'accélère, son énergie augmente et de très fortes densités d'énergie sont ainsi atteintes. Lorsque des particules entrent en collision, leur énergie est convertie en masse, créant d'autres particules. Celles-ci sont éphémères et leur durée de vie est bien trop courte pour pouvoir les détecter directement. Par contre leurs produits de désintégration, d'autres particules, sont capables de traverser les détecteurs dans lesquels elles sont étudiées. En mesurant les propriétés de ces particules « filles » les physiciens sont capables de remonter à la particule « mère » créée au point de collision initial. Le boson de Higgs par exemple se désintègre notamment en deux photons ($H \rightarrow \gamma\gamma$), et a jusqu'à 9 voies de descendance, appelées canaux de désintégration, possibles !

Les instruments qui traquent le boson

Le LHC transforme les physiciens en explorateurs, obligés d'accumuler pendant des années des milliards et des milliards de collisions pour atteindre leur nouveau monde.



C'est chaud, c'est froid, c'est vide

LE LHC

Dans un accélérateur, des faisceaux de particules chargées, sensibles aux champs électriques (sur lesquels elles « surfent » pour accélérer) et magnétiques (assurant le contrôle des trajectoires courbes), circulent sans obstacle dans des tubes étanches. Il y règne un vide poussé, afin de se débarrasser des molécules susceptibles de gêner la progression des faisceaux.

Dans les collisionneurs, ils circulent en sens opposés et se rencontrent au centre des détecteurs. A chaque croisement, seules quelques particules

s'entrechoquent ; les autres ne sont pas déviées et repartent pour un tour.

Au LHC ce sont des protons, noyaux d'hydrogène, qui circulent en paquets très denses, 100 milliards de protons par paquets ! Le collisionneur est un anneau de 27 km de circonférence (quasiment le périphérique parisien), situé à 100 m sous terre à la frontière franco-suisse. Ces paquets de protons font 11 000 tours par seconde et se rencontrent en quatre points de collisions toutes les 25 ns. L'énergie disponible alors, de 7 à 8 TeV, permet de remonter aux conditions de température et de pression régnant dans l'Univers juste après le Big Bang.

Les caractéristiques du LHC donnent le tournis

- Nombre d'aimants **Supraconducteurs** : plus de 9 300
- Longueur équipée par les gros dipôles supraconducteurs : 18 km
- Trois cent mille milliards de protons y circulent à 99,9999998 % de la vitesse de la lumière
- Champ magnétique : 8,3 Teslas (200 000 fois le champ terrestre)
- Ultravide : 10^{-13} atmosphère (10 fois moins que sur la Lune)
- Température aimant : $-271,25^{\circ}\text{C}$ (plus froid que l'espace intersidéral)
- Température au point de collision : 100 000 fois supérieure à celle au centre du Soleil

Lexique :

Bruit de fond : Ensemble des événements, quels qu'ils soient, qui ressemblent à l'événement recherché.

ns : 1 nanoseconde = 1 milliardième de seconde = 10^{-9} s.

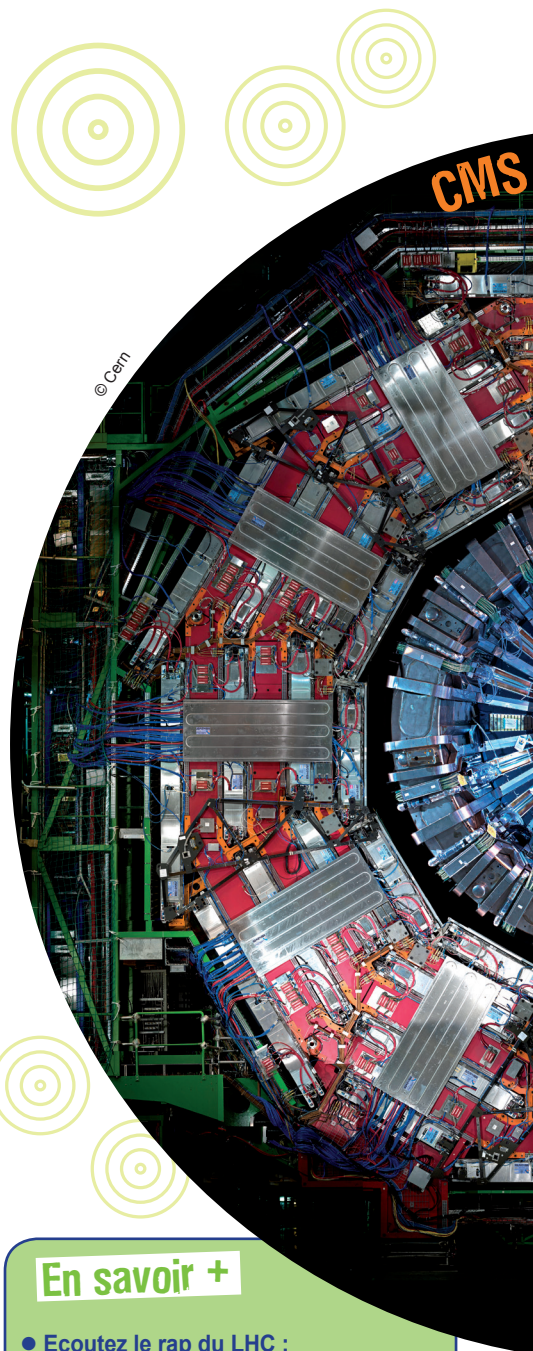
Signal : Ensemble des événements

recherchés. Les physiciens cherchent à mettre en évidence le signal, formé par des événements rares, parmi le bruit de fond qui domine.

Supraconducteur : Conducteur électrique qui a extrêmement peu de résistance électrique, de dissipation d'énergie et d'échauffement. Il doit être

refroidi à la température de -270°C , d'où la présence de réservoirs d'hélium liquide autour des bobines.

TeV : Pour quantifier l'énergie des particules, les physiciens utilisent l'électronvolt : l'énergie gagnée par un électron accéléré par une différence de potentiel d'1 volt – Téra-électronvolt : 10^{12} eV.



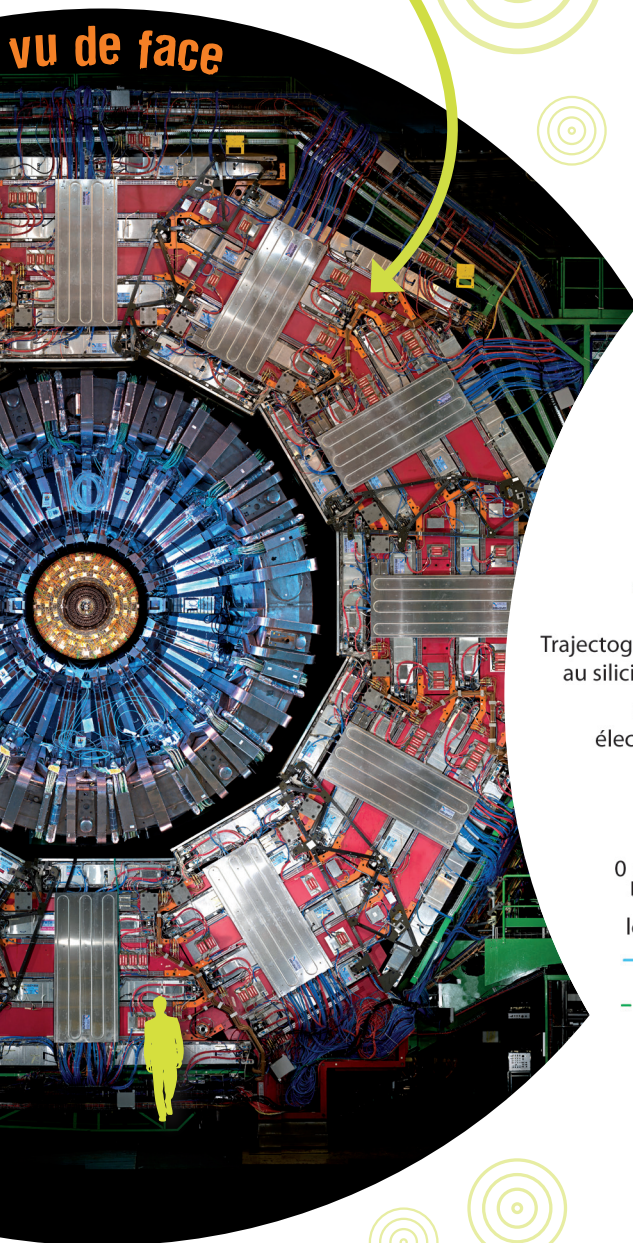
En savoir +

- Ecoutez le rap du LHC : www.lhc-france.fr/?page=media&id_document=637
- Consultez Le guide du LHC du Cern sur <http://cds.cern.ch/record/1164451/files/CERN-Brochure-2009-003-Fre.pdf>

Les détecteurs

Sur l'anneau de 27 km, les détecteurs principaux sont positionnés autour des 4 points de collision des protons. Chacun est formé de plusieurs systèmes indépendants, en couches concentriques. Chaque sous-détecteur réalise des mesures spécifiques et donne une information sur les particules qui le traversent : chaque particule est caractérisée par sa trajectoire, son énergie, sa charge électrique. Leur précision et leurs performances sont liées à leur segmentation : un sous-détecteur contient souvent des dizaines, voire des centaines de milliers de canaux indépendants qui observent chacun une petite fraction de la zone de mesure. La quantité d'informations recueillies est colossale.

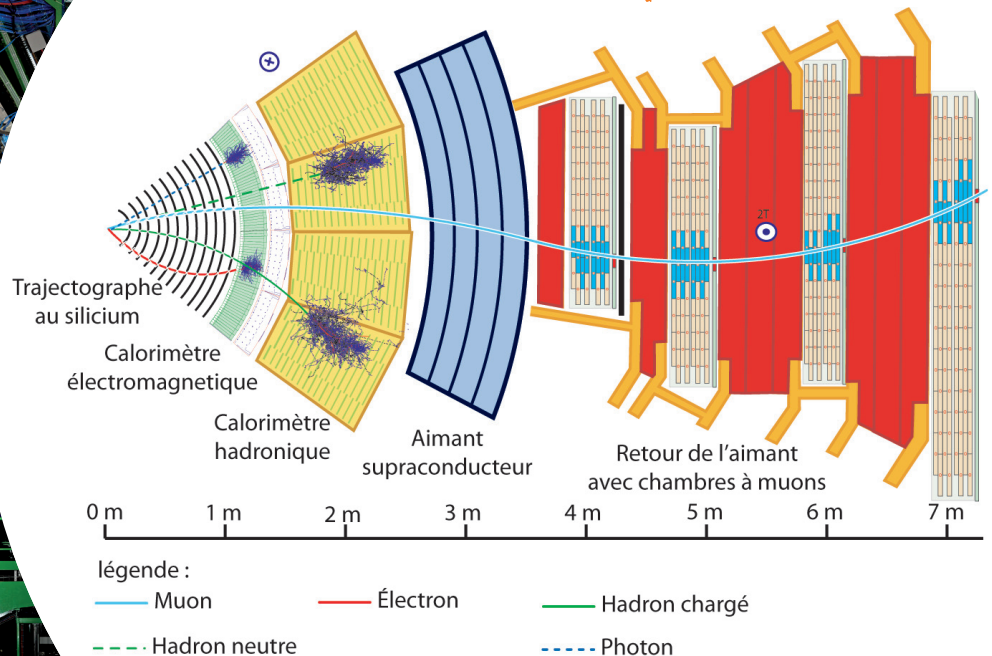
vu de face



L'analyse de l'océan de données avec la grille de calcul

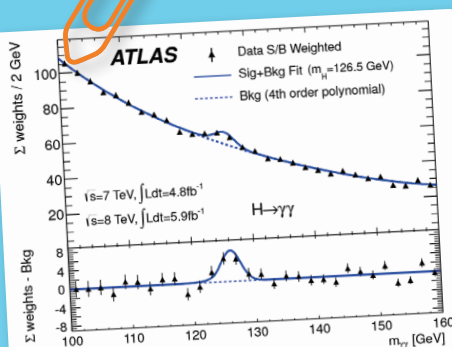
Les détecteurs peuvent être vus comme des caméras digitales de 100 millions de pixels qui prennent 40 millions de photos par seconde. Les physiciens appliquent des filtres et n'enregistrent qu'une centaine d'événements par seconde. Mais, même avec ce tamis, des millions de milliards d'octets sont récupérés, représentant une pile de CD haute de 20 km. Pour les traiter, le Cern a imaginé la « grille », un réseau de centres informatiques du monde entier qui mettent en commun leurs capacités de stockage et leur puissance de calcul. Grâce à ce système, tout physicien, où qu'il se trouve, peut accéder aux événements qui l'intéressent et se lancer dans ses propres analyses.

Vue en coupe



Au LHC, pour la recherche du boson de Higgs, le CEA et le CNRS ont participé pour la France à la conception de l'accélérateur et des deux grands détecteurs ATLAS et CMS

ATLAS : 44 m de long, 22 m de diamètre, 7 000 tonnes
CMS : 20,5 m de long, 15 m de diamètre, 12 500 tonnes



Comment débusquer une particule si rare

Sur les 6 millions de milliards de collisions proton-proton produites par le LHC de 2010 à 2012, les expériences ATLAS et CMS ont chacune enregistré environ 5 milliards de collisions intéressantes. Grâce à cette accumulation de données, des événements isolés s'ajoutent les uns aux autres et le **signal**

émerge du **bruit de fond**. En juillet 2012, seules 400 collisions environ ont permis de mettre en évidence des événements signalant la particule qui ressemble au boson de Higgs. La « petite bosse » sur le schéma représente le signal du Higgs lorsque celui-ci se désintègre en 2 photons.

Interviews

38 pays, 358 laboratoires et instituts, 6 000 physiciens, dont 400 chercheurs et ingénieurs français, impliqués dans Atlas et CMS sont tous motivés par le même but : comprendre le monde qui nous entoure à l'aide de ses plus petits constituants et des forces fondamentales qui régissent leurs interactions.

Pierre

Ingénieur-chercheur, chef de projet

« C'était un engagement pour tous : rester 10 ans concentrés et motivés ! »



© DR.

Les Savanturiers : Quelle a été votre implication dans ce projet ?

Pierre : Depuis mon entrée au CEA, j'ai travaillé sur les aimants supraconducteurs du LHC au Cern. Dans le projet du détecteur Atlas, il y a eu de fortes interactions entre physiciens et ingénieurs pour concevoir l'aimant de toutes pièces.

Quelles ont été les étapes du projet ?

Les premiers plans ont été dessinés au début des années 1990. En 1999, la validation d'un prototype de 9 m de long a permis la construction des 8 aimants du détecteur, grandeur réelle, chacun de 25 m de long pour 5 m de large et 100 tonnes. Ceux-ci ont été assemblés dans le hall du Cern, en surface, puis descendus à -100 m au bout d'un filin ! Dans la caverne (de la

taille de la cathédrale Notre-Dame de Paris), ils ont été montés en éventail comme un puzzle géant, au milieu du détecteur Atlas.

Avec qui avez-vous travaillé ?

J'ai eu la chance de côtoyer des gens de cultures géographique, linguistique et technique différentes. Par exemple, la phase d'assemblage a requis des techniciens russes, italiens, espagnols et français.

Comment avez-vous ressenti l'annonce de la découverte d'une nouvelle particule en juillet 2012 ?

Je n'ai pas explosé de joie, car pour moi c'était attendu, presque normal. Le moment le plus fort dans cette aventure a été en 2008, quand l'aimant a montré qu'il fonctionnait

selon nos attentes. Le suspense était intense jusqu'aux premiers résultats, puis on a passé la main.

Et maintenant ?

Mon savoir-faire sert à construire un aimant supraconducteur pour les neurosciences. Avec un champ magnétique intense de 11,7 Teslas, ce projet permettra d'explorer et d'avoir des images plus fines du cerveau.

Formation :

- Etudes d'ingénieur aux Arts & Métiers (ENSAM)
- Thèse sur les aimants supraconducteurs



© DR.

Frédéric

Informaticien, ingénieur-chercheur

« Des défis, j'en relève tous les jours ! »

Les Savanturiers : C'est quoi la grille de calcul ?

Frédéric : La grille de calcul a été mise en place par le Cern pour traiter les données issues du LHC. 65 000 ordinateurs permettent de calculer sur 450 000 **CPU**. Les partenaires sont des centres de recherche et des associés, comme les Américains par exemple. Tout le monde aide au développement de l'infrastructure.

Quel est votre rôle sur cette grille ?

J'ai commencé à travailler sur cette grille de calcul au CNRS, à Lyon en 2004, puis au CEA Saclay depuis 2006. Les données continuent d'arriver, il faut assurer la maintenance matérielle et

logicielle, mettre en œuvre les mises à jour et les évolutions. On vise une grille 100 % fiable (les choses sont faites de telle manière que les centres ne sont pas tous obligés de fonctionner en même temps) et 100 % disponible. En 2004, les données du LHC étaient représentées par une pile de CDs dont la taille dépassait celle de la Tour Eiffel, aujourd'hui cela a été multiplié par 10 voire 100. A Saclay, nous gérons 1,7 **pétaoctet** de données.

Avec qui travaillez-vous ?

On travaille avec d'autres pays, comme par exemple Taïwan, l'Europe du nord (la Finlande), les Etats-Unis, quelques pays africains. On échange sur le sujet informatique, sur la grille de calcul. Le nombre d'utilisateurs enregistrés est de

4 à 5 000, mais il n'y a que quelques centaines qui sont actifs. Leur nombre continue à croître régulièrement, certains font maintenant de la bioinformatique.

Que vous a apporté cette aventure ?

Cela m'a permis d'améliorer mon anglais et de découvrir d'autres points de vue techniques ; par exemple, j'ai remarqué que les Américains ont une façon très différente de la nôtre de traiter les problèmes.

Formation :

- Bac S
- Classe préparatoire et formation à l'ENSI de Caen

« Si jamais il y a un prix Nobel pour Higgs, je me sentirai un peu concernée... je m'achèterai un nœud pap ! »



© DR.

Les Savanturiers : Quelle a été votre participation au LHC ?

Nathalie : Je n'ai pas participé au projet depuis sa création, mais dès la fin de ma thèse (mon sujet portait alors sur les neutrinos). De 2000 à 2009, c'était la préparation de la physique, le travail sur les détecteurs et sur les programmes informatiques. Les détecteurs du LHC étaient déjà conçus et en cours de fabrication, j'ai aidé à les câbler et à les tester. La théorie me convient moins, je préfère jouer au détective et je suis maintenant dans l'analyse des données.

Comment avez-vous traqué ce boson ?

On cherche ce boson depuis 1964, il ne tenait que de la spéculation théorique pour que le modèle standard fonctionne. Il fallait des accélérateurs qui fournissent de plus en plus d'énergie pour le trouver.

Au LHC, il y a 40 millions de collisions et beaucoup d'événements par seconde, ce qui représente trop de données à enregistrer et à traiter sur informatique. Il y a un programme qui trie les événements selon des paramètres définis par les physiciens, et permet de reconnaître rapidement des particules. Dans un détecteur, il y a plusieurs parties, donc plusieurs spécialistes. Mon préféré, c'est le calorimètre électromagnétique.

Comment avez-vous vécu l'annonce de la découverte ?

J'étais à Saclay lors de la retransmission de la conférence de presse du Cern. C'était émouvant de voir François Englert et Peter Higgs, présents sur place, réaliser que leur hypothèse théorique prenait corps. Je me mets à leur place, ça doit être génial !

Qu'est-ce que cela vous a apporté ?

J'adore mon métier, j'aime comprendre

comment l'Univers fonctionne. On a trouvé beaucoup de nouvelles particules, mais depuis l'observation du quark top en 1995, aucune qui soit élémentaire. Jusqu'au boson de Higgs l'été dernier ! Maintenant est-ce celui du modèle effectif ? Le seul ? Comment se désintègre-t-il et en quelles proportions ? Quelles sont ses caractéristiques ?

Formation :

- Bac S
- Classe préparatoire mathématiques, École centrale Paris (3^e année option physique des particules)
- Master 2 Champs particules matière à Orsay (option particules)
- Thèse au CEA sur les oscillations de neutrinos (expérience Nomad au Cern)

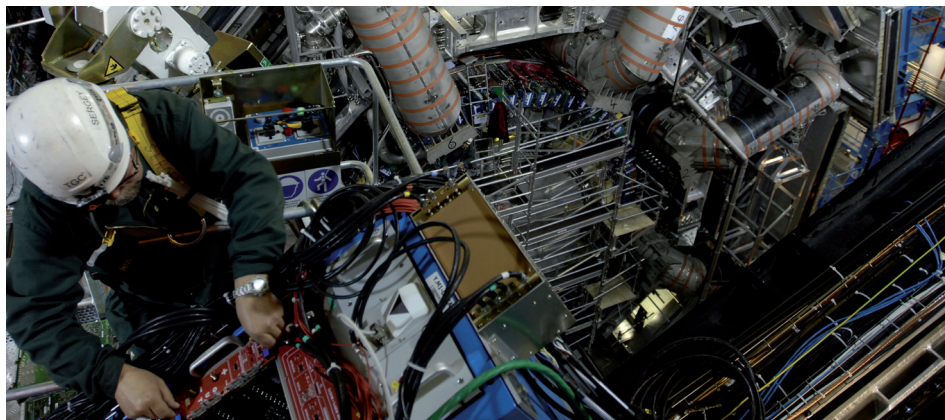
Les news

Une authentification en cours : S'agit-il du boson de Higgs du modèle standard ?

La masse du boson de Higgs, mesurée par l'expérience, est de $125 \text{ GeV}/c^2$, plus de cent fois plus que le proton ! Selon cette masse, le modèle standard prédit qu'il peut se désintégrer de plusieurs façons. Les physiciens doivent vérifier que tous ces modes de **désintégration** se sont bien produits, et dans les proportions prévues. L'authentification continue pour pouvoir le baptiser pour de bon !

Le futur du LHC ?

De 2010 à 2013, le LHC a fonctionné à un peu plus de la moitié de son énergie. Le Cern va passer un an et demi à préparer l'accélérateur pour une montée en énergie. Il devrait repartir à 13 TeV en 2015 pour fournir de nouveaux résultats, à ces énergies encore jamais explorées.



© P.Stroppa/CEA

Lexique :

CPU : Unité de puissance de calcul de l'ordinateur, c'est son cerveau.

Désintégration : Une particule instable peut se désintégrer, selon divers canaux, en de nouvelles particules.

1 Pétaoctet : = 1 000 téraoctets = 10^{15} octets.

En savoir +

- Retrouvez ces 3 chercheurs sur <http://www.cea.fr/le-cea/publications/les-savanturiers/les-savanturiers/n-3-mars-2013/boson-de-higgs>
- Et aussi Bruno Mansoulier www.cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/dossiers/le-modele-standard
- Écoutez « Les portraits du LHC de Collisions » d'A. Prosaïc et d'U. Bassler, 2008 © La Huit/ Gilles Le Mao - CNRS - CEA www.dailymotion.com/video/x6fnjg_lhc-collisions_tech

Passion reporter

Pour le magazine Science à venir, vous devez écrire un article sur la découverte du boson de Higgs. Mais avant de vous lancer dans la rédaction, vous devez vérifier vos informations, comme tout bon journaliste d'investigation.

1 Où se situe le Cern ?

- ▼ À Sydney, en Australie
- À Lyon, en France
- ★ À Genève, en Suisse

2 Sur quel instrument ont travaillé les physiciens pour produire le boson de Higgs ?

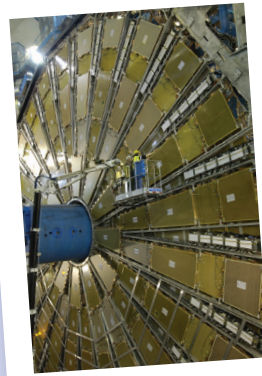
- Un accélérateur de particules
- ▼ Un tomographe à émission de positons
- ★ Un réacteur nucléaire

3 Sur l'anneau de 27 km, combien de détecteurs principaux (dont Atlas et CMS) ont été installés :

- 4
- ★ 40
- ▼ 400

4 À quoi servent les collisions ?

- ▼ En accélérant des particules, elles prennent de la vitesse et peuvent faire un aller retour et provoquer des collisions dans l'espace
- ★ En accélérant des particules, leur énergie augmente ; lorsqu'elles entrent en collision, leur énergie est transformée en masse, créant d'autres particules
- En accélérant des particules, elles entrent en collision les unes les autres jusqu'à disparaître complètement



© P. Stoppa/CEA

Détecteur Atlas



© P. Stoppa/CEA

Détecteur CMS

5 Combien de collisions ont été enregistrées par Atlas et CMS ?

- ★ 5 millions de milliards
- 5 milliards
- ▼ 5 millions

6 Qu'est-ce que le boson de Higgs ?

- ★ C'est une météorite
- C'est une particule élémentaire
- ▼ C'est une espèce animale en voie de disparition

7 Pourquoi sa découverte est si importante ?

- ★ Elle permet de résoudre l'énigme de la matière noire
- ▼ Elle permet d'expérimenter la téléportation
- Elle représente le chaînon manquant du modèle standard

8 Comment sont exploitées les données recueillies ?

- Grâce aux caulettes des 6 000 physiciens ayant participé au projet
- ▼ En envoyant une sonde dans l'espace pour enregistrer les collisions obtenues
- ★ Grâce à une grille de calcul, mettant en réseau des capacités de stockage et de traitement internationales

Résultats :
Vous avez une majorité de ● : Votre article pourra paraître en l'état ; tout est scrupuleusement exact, bravo !
Vous avez une majorité de ★ : Attention à ne pas commettre d'erreurs, la science n'aime pas l'à peu près.
Vous avez une majorité de ▼ : Prévoyez de relire vos notes et d'inter-viwer un chercheur, car votre article est à reprendre.
1-★/2-●/3-●/4-★/5-●/6-●/7-●/8-★

Sites :

CEA jeunes : www.cea.fr/jeunes
CEA Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers : ifu.cea.fr/
Cern : public.web.cern.ch/public/welcome-fr.html
La France dans le LHC : www.lhc-france.fr/

Retrouvez les Savanturiers :
www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/

Biblio :

Passeport pour les deux infinis
Editions Dunod, sept.2010

Wanted bison de Higgs - Lison Bernet
Editions CNRS-IN2P3 et CEA-Irfu
<http://lisonbernet.illustrateur.org/>



Editeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019
Directeur de la publication : Xavier Clément
Ont participé à ce numéro : Nathalie Besson, Frédéric Deliot, Sophie Kerhoas-Cavata, Florence Klotz, Lucia Le Clech, Frédéric Schaefer, Pierre Védrine.
Infographie : Sumitta Samair
Création et réalisation : NPO* - www.nepasoublier.fr - Mars 2013

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous lui empruntions le titre de son émission.

