

> 106 **Virus**
ILS SOIGNENT
À TBILISSI...



De la. vie, sur Mars !

- > Des millions de **BACTÉRIES** terrestres y vivent
- > Les agences spatiales **S'INQUIÈTENT**
- > Des mesures de **PROTECTION** s'imposent

> 150 **Test**
CERVEAU
GAUCHE
OU DROIT ?

> 78 **Hibernation**
ELLE PERMET DÉJÀ
DE SAUVER DES VIES

> 84 **Stasi**
LES ARCHIVES
VONT PARLER

> 66 **Physique**
FAUT-IL RENIER LE
BOSON DE HIGGS ?

FRANCE METRO 3,90€-ANT/GUY surif 4,50€-REU : 6,50€-BEL 4,40€-CH 8FS-CAN 5,95€-CAN-D : 6,50€-AND 3,90€-ESP 5,20€-FIN
5,80€-GR 4€-ITAL 3,70€-LUX 4,40€-MAR 30DH-MAY 6€-PORT-COINT 3,80€-SPM 4,50€-TUN 3500 DTU



> REPÈRES

Depuis la fin des années 70, la physique des particules est le pré carré du "modèle standard" qui décrit comment les particules de matière interagissent par l'échange de particules spécifiques, les "bosons de jauge", associés à chacune des forces. Toutes les particules prédites par le modèle standard ont été observées expérimentalement, hormis le graviton, dont l'existence n'est pas remise en cause, et le boson de Higgs, censé donner leur masse à toutes les autres. Il apparaîtra peut-être en 2008, dans le futur accélérateur de particules de Genève, le LHC. Pourtant, plusieurs physiciens proposent aujourd'hui une théorie qui abandonne le boson de Higgs.



Boson de Higgs

Par Mathieu Grousson

Et s'il n'existait pas...

Alors que cette particule passe pour être le Graal ultime des physiciens, certains osent l'affirmer: la physique peut tout à fait se passer d'elle ! Et ils entendent le prouver.

Nom : boson de Higgs. **Sur-nom :** "particule Dieu". **Fonction :** confère une masse à toutes les autres particules de l'Univers. **Signe particulier :** n'a encore jamais été mise en évidence expérimentalement, faute d'accélérateurs capables de détecter une particule aussi lourde. Le *curriculum vitae* de ce boson auquel le physicien écossais Peter Higgs a laissé son nom est impressionnant. Tellement que son observation expérimentale est la principale justification qu'avancent les physiciens pour

édifier le plus gros accélérateur de particules jamais construit, le Large Hadron Collider (LHC), pour un coût qui atteint presque les 4 milliards d'euros... Or, alors que le titanesque chantier du LHC est bien avancé, certains théoriciens osent aujourd'hui remettre en cause ce qui est pourtant une des croyances les plus profondes de leurs collègues : d'après eux, si la "particule Dieu" nous a jusqu'ici échappé, c'est tout simplement... parce qu'elle n'existe pas !

Crime de lèse-majesté ? Cela fait en tout cas longtemps que le boson de Higgs apparaît comme une nécessité aux yeux des spécialistes des particules fondamentales. S'appuyant sur la mécanique quantique et sur la relativité restreinte, ces derniers ont patiemment édifié depuis une cinquantaine d'années un "modèle standard" qui décrit comment les particules de matière (les "quarks" et les "leptons") interagissent via l'échange de particules de force (les "bosons de jauge"). Dans l'Univers actuel, ces forces (ou interactions) sont au nombre de quatre : la gravitation qui fait tomber les pommes et tourner les planètes, la force électromagnétique qui lie les électrons aux noyaux, la force nucléaire forte, qui est notamment responsable de la cohésion des noyaux atomiques, et la force nucléaire faible qui permet, par exemple, au Soleil de brûler. Les physiciens pensent que ces quatre forces (véhiculées chacune par un ou plusieurs bosons de jauge particuliers) sont des facettes différentes d'une seule et unique interaction fondamentale encore aujourd'hui inconnue. Et c'est justement en se rapprochant de ce Graal de l'unification



"En vérité, le principe de Higgs pose autant de questions qu'il en résout"

CHRISTOPHE GROJEAN, SERVICE DE PHYSIQUE THÉORIQUE DU CEA, SACLAY

des quatre forces que le boson de Higgs a fait son entrée dans l'histoire des particules. Dans les années 60, les physiciens américains Sheldon Glashow, Abdus Salam et Steven Weinberg réussissent à fusionner sur le papier deux des quatre forces : l'électromagnétisme et l'interaction faible (c'est la théorie électrofaible). Avec cependant un bémol dans la corbeille de mariage de cette belle union : contrairement au photon qui véhicule la force électromagnétique, les "bosons de jauge" W et Z qui véhiculent la force faible sont extrêmement mas-

sifs... et cet embonpoint est incompatible avec une symétrie fondamentale (dite "symétrie de jauge") sur laquelle la théorie électrofaible est fondée : cette masse est à ce point gênante qu'elle engendre des incohérences mathématiques, telle la prédiction de probabilités supérieures à l'unité !

UNE CONTRE-THÉORIE RADICALE

Pour pallier ce sérieux problème, plusieurs théoriciens, dont Peter Higgs, ont l'idée d'ajouter un volet supplémentaire à la théorie électrofaible en postulant l'existence d'une nouvelle particule – le boson de Higgs – avec laquelle les bosons W et Z interagiraient en permanence. En ajustant correctement les propriétés de cette hypothétique particule supplémentaire, ils font ainsi disparaître les incohérences de la théorie. De plus, les trois physiciens constatent que l'interaction des bosons de jauge avec le "Higgs" revient à les affubler d'une masse. Ainsi, le "Higgs" ne rend pas seulement compatibles les symétries de la théorie électrofaible avec le fait que le W et le Z ont une masse, il donne une raison à l'existence même de ces masses. Mieux encore : on se rendra compte par la suite qu'il explique de la même manière la masse des particules de matière, les quarks et les leptons.

Les physiciens sont ravis : en ajoutant une seule petite particule à leur modèle, la plupart de leurs problèmes s'évanouissent. Il n'en fallait pas plus pour que le boson de Higgs accède au rang de particule la plus recherchée de la physique moderne. Et vu sa propension à accorder de la masse aux autres, le prix Nobel de physique Leon Lederman la baptise la "particule Dieu". Restait juste à attendre des accélérateurs à sa mesure pour matérialiser ce rêve de théoricien.

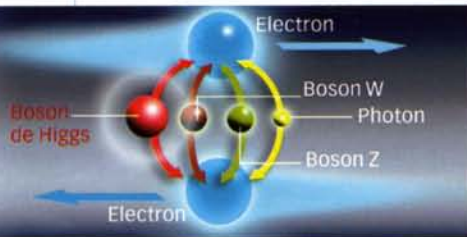
Seulement voilà, comme l'indique Christophe Grojean, du Service de physique théorique du CEA, à Saclay,

L'EXPÉRIENCE HISTORIQUE QUI FERA TOUTE LA LUMIÈRE

Lorsque, d'ici à quelques années, le LHC – le super accélérateur de particules du CERN – entrera en service à Genève, il tranchera entre deux physiques :

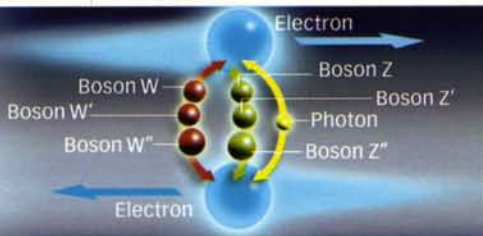
1) LE SCÉNARIO AVEC HIGGS EST VALIDÉ

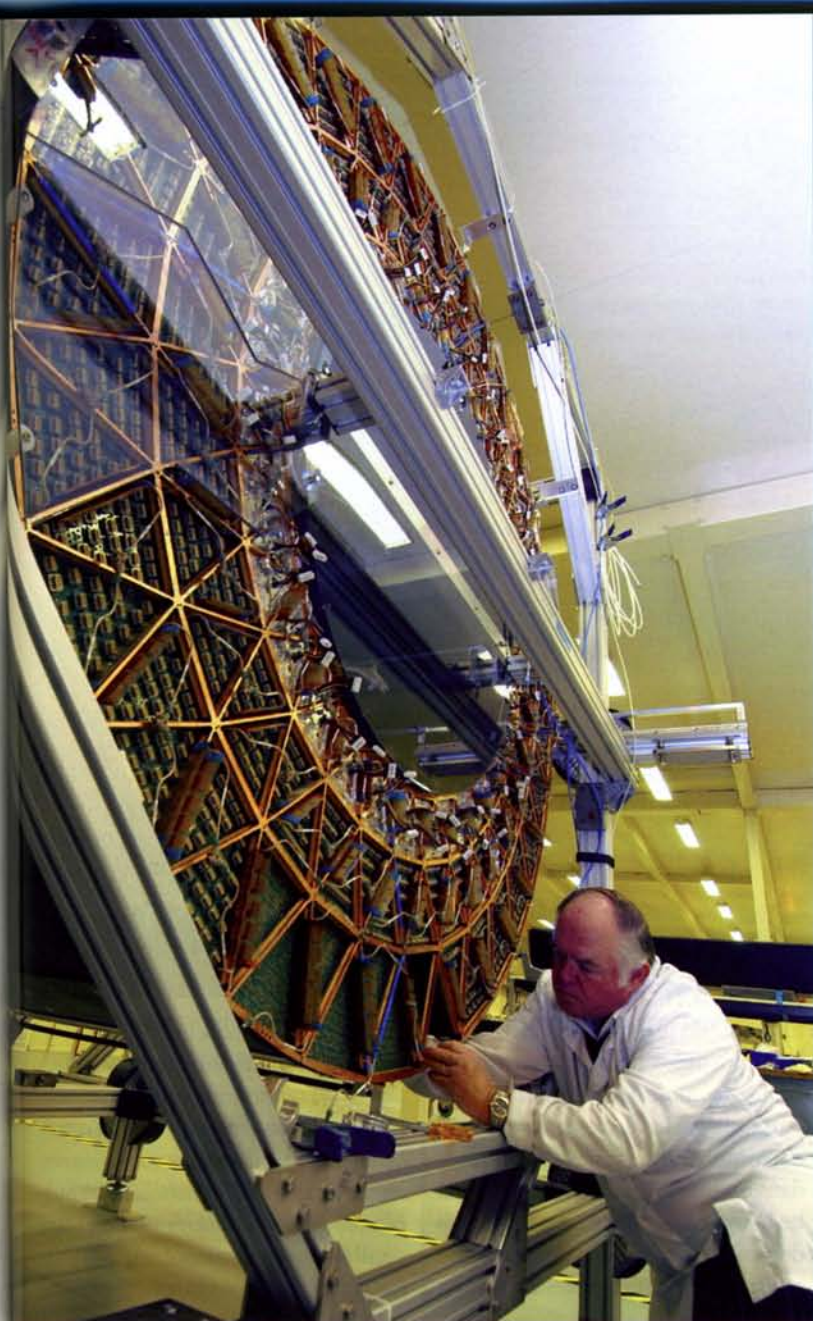
Deux électrons qui se croisent à très grande vitesse échangent des bosons W et Z (interaction faible), des photons (électromagnétisme) et des bosons de Higgs.



2) UNE NOUVELLE PHYSIQUE ÉMERGE

Les deux électrons échangent des photons et une série de bosons (W, W', W'', Z, Z', Z''), dont les masses vont croissantes.





▲ C'est grâce au détecteur du futur accélérateur de particules, le Large Hadron Collider (LHC), que l'on saura enfin si le boson de Higgs est, oui ou non, une réalité physique.

"tout élégant qu'il soit, le mécanisme de Higgs n'en a pas moins été introduit à la main, sans qu'aucun principe général ne le rende nécessaire." Pis, selon le physicien français, "il pose autant de questions qu'il en résout". Un seul exemple : selon la théorie, le spin du boson de Higgs (son moment magnétique interne) apparaît nul, une caractéristique qui non seulement n'est observée chez aucune particule élé-

mentaire, mais que les physiciens prêtent même plutôt aux particules composites... Cette bizarrerie, ainsi que quelques autres, suggère qu'il y a peut-être quelque chose qui cloche au royaume du Higgs. Idée sacrilège que confirme sans détour Bruno Mansoulié, chef du service de physique des particules du CEA/DAPNIA, qui prépare l'une des expériences qui aura lieu dans l'accélérateur de particules du

CERN, le LHC : "Cette particule n'est pas le seul candidat à l'explication de la brisure de symétrie électrofaible. Et il est tout à fait possible que le LHC nous révèle une physique toute différente." Dans ces conditions, lorsqu'en 2003, Csaba Csáki, à l'université Cornell, Hitoshi Murayama, à l'université de Berkeley, Luigi Pilo, à l'université d'Aquila, John Teming, à l'université de Californie Davis, et Christophe Grojean commencent à travailler sur le sujet, c'est sans complexe qu'ils envisagent une contre-théorie éliminant purement et simplement le mystérieux boson ! Après tout, ce qui compte n'est-il pas de faire en sorte que les masses du W et du Z n'entraînent dans leur sillage un lot d'incohérences physiques et d'absurdités mathématiques. Et s'ils réussissent à faire disparaître ces problèmes, la raison d'être du Higgs disparaîtra aussi... peut-être.

UNE TOUTE PETITE DIMENSION ENROULÉE SUR ELLE-MÊME

Leur idée de départ, qui s'inspire de celles développées dans les années 20 par Theodor Kaluza et Oskar Klein (voir "Retour sur image"), est simple : plutôt que d'ajouter une particule, ils proposent de rajouter... une dimension d'espace. Cette quatrième dimension spatiale serait jusqu'ici passée inaperçue car, contrairement aux trois autres, elle serait repliée sur elle-même. Un peu comme un fil tendu entre deux poteaux : pour l'équilibriste qui ne peut qu'avancer ou reculer dessus, c'est un espace à une seule dimension ; mais pour la fourmi qui peut en faire le tour, le long de son diamètre, cet espace possède une petite dimension supplémentaire enroulée sur elle-même.

En quoi l'ajout de cette quatrième dimension peut-elle rendre inutile le boson de Higgs ? Simple : dans ce nouvel espace, l'impulsion d'une particule (le produit de sa masse par →

LE GRAVITON EST ATTENDU EN ITALIE

Outre le boson de Higgs, une autre brique élémentaire échappe encore aux filets des spécialistes des particules. Il s'agit du graviton, la particule associée à la force de gravitation. Ce drôle de boson de jauge a la particularité de véhiculer une interaction exclusivement attractive. Cette caractéristique confère au graviton un spin (ou moment magnétique interne) égal à 2 (les bosons associés aux trois autres interac-

tions ont, eux, des spins égaux à 1). Et c'est cette singularité qui est le principal obstacle à l'élaboration d'une théorie quantique de la gravitation à même d'unifier la description des forces fondamentales. Contrairement au boson de Higgs, l'existence du graviton n'est cependant remise en cause par personne. En principe, il devrait montrer le bout de son nez aux cours des prochaines années, entre les mailles du gigantesque

interféromètre VIRGO construit non loin de Pise, en Italie. Les deux bras de l'instrument, longs de 3 kilomètres chacun, devraient en effet être sensibles au passage d'une onde gravitationnelle telles qu'en produisent par exemple les supernovae ou les pulsars. Or, en vertu de la dualité onde-corpuscule propre au monde quantique, cette onde gravitationnelle n'est rien d'autre qu'un train de gravitons.

sa vitesse) se décompose maintenant selon quatre composantes : les trois premières dans les trois dimensions de notre espace standard et la quatrième, invisible, dans la minuscule dimension supplémentaire. Or, depuis Einstein, on sait qu'énergie, masse et impulsion sont liées par une relation où ces trois grandeurs sont interchangeables.

UNE GÉOMÉTRIE "HYPERBOLIQUE"

"Rien n'empêche donc d'interpréter formellement l'impulsion 'cachée' d'une particule comme une fraction de sa masse, explique Christophe Grojean. Dans ce cadre, nous interprétons les masses du W et du Z comme la signa-

lation d'Einstein, se traduit par une masse dans nos dimensions ordinaires.

Et cela a des conséquences immédiates. Car de même qu'une corde de guitare vibre selon différentes harmoniques dont la valeur dépend de la longueur de la corde, la taille finie de cette quatrième dimension spatiale fixe de façon précise les différentes valeurs possibles pour la composante supplémentaire de l'impulsion d'une particule. Un spectre de valeurs qui correspond à une série de masses dans les trois autres dimensions. Et si les harmoniques de plus basse énergie doivent naturellement correspondre aux bosons W et Z, ce nouveau mo-

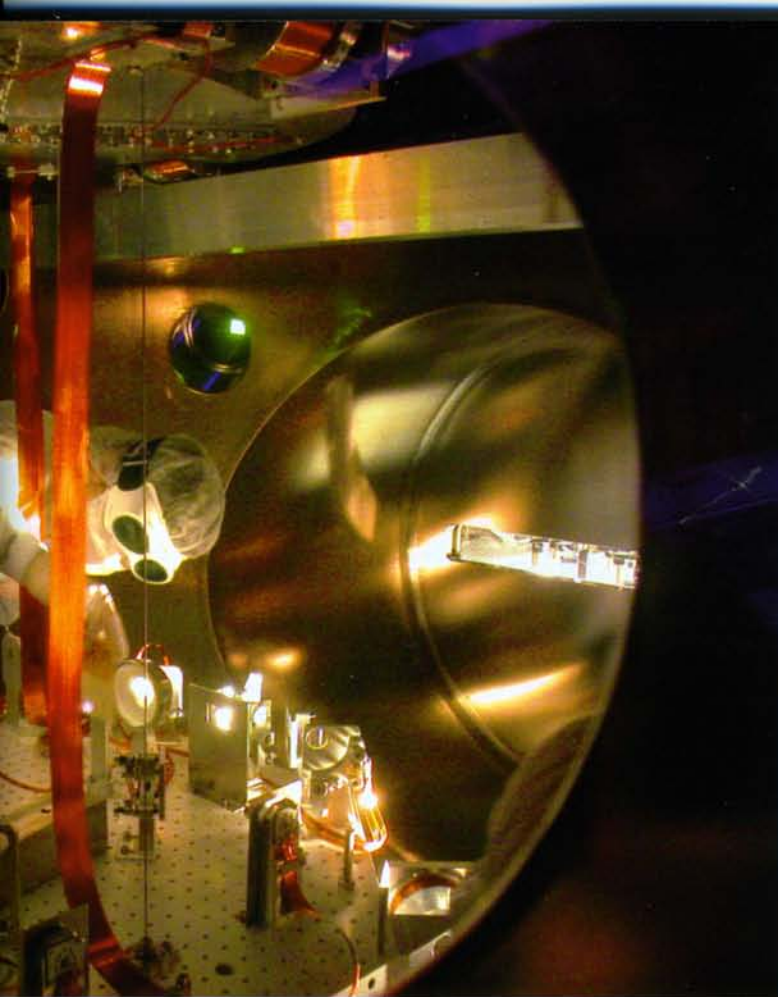
"Ce serait alors la preuve que l'espace compte une quatrième dimension"

ture, dans l'espace à trois dimensions, de leur impulsion à quatre dimensions." Autrement dit, plutôt que d'invoquer une particule supplémentaire aux origines incertaines pour doter d'une masse les autres particules, nos physiciens postulent que c'est la partie du mouvement de ces particules dans une petite dimension supplémentaire quasi invisible à nos yeux qui, via la re-

dèle théorique implique l'existence d'autres particules, avec les mêmes caractéristiques, mais plus lourdes. Ce n'est donc plus seulement les bosons W et Z que prédit cette version de la théorie électrofaible, mais une myriade de bosons, dont les masses sont trop importantes pour qu'ils aient pu être produits et détectés dans les accélérateurs actuels.



Et c'est là qu'un petit miracle va se produire : *"En calculant la contribution de ces nouvelles particules aux processus physiques engendrés par l'interaction électrofaible, nous nous sommes rendu compte qu'ils résolvait les problèmes des probabilités divergentes, s'enthousiasme le théoricien français. Cette fois, exit l'incompatibilité entre des bosons massifs et la symétrie de la théorie électrofaible, et ceci sans l'intervention de l'embarrassant boson de Higgs."* Restait tout de même à régler en détail cette théorie pour qu'elle prédise correctement la relation entre la masse du W et du Z, telle qu'elle est donnée par le modèle standard. Chose faite en 2003 : comme le luthier ciselant son violon, nos physiciens ont montré que la symphonie des particules sonnait juste à condition de doter cette nouvelle dimension d'une géométrie particulière (une géométrie



▲ Près de Pise, l'instrument VIRGO va bientôt guetter les gravitons venus de l'espace.

"hyperbolique"). Mieux : la même année, le quintette montre que cela fournit aussi un cadre naturel pour expliquer la masse des autres particules du modèle standard. Bref : cette nouvelle géométrie de l'espace-temps offre tous les avantages du boson de Higgs, sans les inconvénients. La particule Dieu serait ainsi soluble dans la quatrième dimension...

MISE EN SERVICE VERS 2008

Pour en avoir le cœur net, Andreas Birkefeld et Konstantin Matchev, à l'université de Floride, et Maxim Perelstein, à l'université Cornell, ont réussi il y a quelques mois à définir précisément un protocole expérimental compatible avec le futur accélérateur du Cern et susceptible de trancher entre l'existence du discret boson et celle de la ténue dimension. "Nous at-

tendons la mise en service du LHC avec impatience, conclut Christophe Grojean. *S'il y a du vrai dans notre théorie, ce n'est pas un boson de Higgs qui sera mis en évidence, mais des particules ressemblant en tout point au W et au Z, avec des masses plus importantes.*" Au vrai, l'enjeu de cette expérience dépasse de loin le cas d'une particule, aussi fondamentale soit-elle : "Une telle manifestation fournirait la première preuve que l'espace compte une dimension supplémentaire", jubile Bruno Mansoulié. Réponse prévue peu après la mise en service du LHC, probablement en 2008. Ironie de l'histoire : le gigantesque accélérateur imaginé principalement pour mettre en évidence la particule la plus recherchée de la physique moderne sera peut-être l'instrument de son abandon définitif. ■

> RETOUR SUR IMAGE

Recourir à l'hypothèse d'une dimension supplémentaire n'est pas nouveau : dans les années 20, les physiciens Theodor Kaluza et Oskar Klein eurent déjà l'idée d'ajouter une minuscule dimension à l'espace-temps pour unifier, avant l'avènement de la théorie quantique, la relativité générale et l'électromagnétisme. Dans cette formulation, de la même manière qu'Einstein a montré que la gravitation est une conséquence de la géométrie de l'espace-temps, il s'agissait de déduire les lois de l'électromagnétisme des propriétés de leur dimension supplémentaire. Bien que séduisante, cette théorie conduisit en fait à des relations désastreuses dans les paramètres qui fixent l'intensité des interactions. Mais l'idée des dimensions supplémentaires fera son chemin : c'est notamment le point de départ de la théorie des cordes, dont l'objectif est d'unifier la gravitation aux trois autres interactions.



▲ Dès les années 20, Theodor Kaluza imaginait déjà l'éventualité d'une 4^e dimension.