

BULLETIN N° 175
ACADÉMIE EUROPEENNE
INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



lundi 6 mai à 17h Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

CONFÉRENCES

1^{ère} conférence:

Le boson et le chapeau mexicain

Gilles COHEN-TANNOUJJI (AEIS)

Directeur de Recherche Émérite

LARSIM (CEA-Saclay)

[Présentation du livre coécrit avec le Prof. Michel SPIRO CERN(Genève) et IN2P3 (CNRS) en cours de parution aux éditions Gallimard (collection folio essais)]

2^{ème} conférence:

L'évolution des systèmes et l'architecture du système psychique langagier

Alain CARDON (AEIS)

Professeur Émérite des Universités LITIS INSA de Rouen

Mise au point sur des actions en cours

1. Création d'une collection d'ouvrages de l'AEIS

Robert FRANCK (AEIS)

Professeur Émérite à l'Université de Louvain

2. Annonces et diffusion des travaux de l'AEIS via le serveur CORDIS

de la Commission Européenne

Jean SCHMETS (AEIS)

Professeur Émérite à l'Université de Liège

Prochaine séance :

lundi 3 juin à 17h Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

Conférence:

Physique de deux infinis: du Big-Bang aux particules

(Conférence AEIS-Nancy du 23 février)

Victor Mastrangelo (AEIS)

Professeur honoraire de Physique, CNAM-Paris et Université Paris-Sud/IPN-Orsay

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Pr Victor MASTRANGELO
VICE PRESIDENT : Pr Jean-Pierre FRANÇOISE
SECRETAIRE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
TRESORIER GENERAL : Claude ELBAZ

MEMBRES CONSULTATIFS DU CA :
 Gilbert BELAUBRE
 François BEGON
 Bruno BLONDEL
 Patrice CROSSA-REYNAUD
 Michel GONDRAN

SECTION DE NICE :
PRESIDENT : Doyen René DARS

PRESIDENT FONDATEUR : Dr. Lucien LEVY (†)
PRESIDENT D'HONNEUR : Gilbert BELAUBRE
SECRETAIRE GENERAL D'HONNEUR : Pr. P. LIACOPOULOS (†)

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNIQUES : Pr Brigitte DEBUIRE

CONSEILLERS SPECIAUX:
EDITION: Pr Robert FRANCK
AFFAIRES EUROPEENNES : Pr Jean SCHMETS

SECTION DE NANCY :
PRESIDENT : Pr Pierre NABET

mai 2013

N°175

TABLE DES MATIERES

- p.04 Compte-rendu de la séance du lundi 6 mai 2013
- p.16 Compte-rendu de la section Nice Côte d'Azur du 18 avril 2013
- p. 19 Annonces
- P. 22 Documents

Prochaine séance:

lundi 3 juin à 17h Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

Conférence:

Physique de deux infinis: du Big-Bang aux particules

(Conférence AEIS-Nancy du 23 février)

Victor Mastrangelo (AEIS)

Professeur honoraire de Physique, CNAM-Paris et Université Paris-Sud/IPN-Orsay

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du

Lundi 6 mai 2013

Maison de l'AX 17h

La séance est ouverte à 17h sous la Présidence de Victor MASTRANGELO et en la présence de nos collègues François BEGON, Gilbert BELAUBRE, Alain CARDON, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Françoise DUTHEIL, Claude ELBAZ, Robert FRANCK, Irène HERPE-LITWIN, Gérard LEVY, Pierre MARCHAIS, Jean SCHMETS.

Etait présent entant que visiteur Jean-Paul BAQUIAST de la revue "Automates intelligents"

Etaient excusés Bruno BLONDEL, Michel CABANAC, Daniel COURGEAU, Jean -Pierre FRANCOISE, Michel GONDRAN, Walter GONZALEZ, Saadi LAHLOU, Jacques LEVY, Valérie LEFEVRE-SEGUIN, Emmanuel NUNEZ, Pierre PESQUIES, Alain STAHL.

I) CONFERENCES

I) "Le boson et le chapeau mexicain"

par notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI:

A l'occasion de la parution de son ouvrage écrit en commun avec Michel SPIRO, Gilles COHEN-TANNOUDJI nous en présente un résumé et la quatrième de couverture:

Le livre intitulé *Le boson et le chapeau mexicain* écrit par Gilles Cohen-Tannoudji et Michel Spiro est consacré à la découverte annoncée par le CERN le 4 juillet 2012 et suivie par un milliard d'internautes de par le monde, de la particule (le boson) et du mécanisme (le chapeau mexicain) par lequel cette particule rend massives toutes les particules élémentaires avec lesquelles elle interagit. Comme le dit Michel Serres dans la postface qu'il y a écrit, ce livre prend la forme de trois récits fortement imbriqués les uns dans les autres. Le premier récit est l'histoire de l'auteur collectif de la découverte, le CERN, depuis sa fondation dans le contexte géopolitique de l'après seconde guerre mondiale, par des pères fondateurs qui ont eu la clairvoyance d'en faire un laboratoire entièrement dédié à la recherche fondamentale jusqu'à la découverte annoncée couronnant une exemplaire aventure scientifique, technologique et humaine. Le second récit est l'histoire de la physique depuis la naissance de la science moderne initiée par les travaux de Galilée et Newton jusqu'à l'apogée de la physique du 20^e siècle marquée par l'établissement de ce que l'on appelle le modèle standard, la théorie de référence qui permet de rendre compte de manière satisfaisante de l'ensemble des données de l'expérience et de l'observation, mais qui reste ouverte à toute possibilité de révision en en vue d'être englobée dans une nouvelle théorie plus générale. Le troisième récit est celui que concourent à nous offrir les trois grandes branches de la physique contemporaine, la théorie quantique des champs au fondement de la physique des particules, la relativité générale au fondement de la cosmologie et la méthodologie des théories effectives qui permet une approche scientifique fiable de l'ensemble des phénomènes physiques émergents. Les auteurs appellent ce troisième récit *un nouveau grand récit de l'univers* où la minuscule au mot univers signifie que l'univers dont il s'agit est celui qui nous est observable et non pas l'Univers entier que les mythiques théories de tout prétendraient nous révéler. Les auteurs s'attachent alors à passer en revue les implications épistémologiques, philosophiques voire anthropologiques de ce grand récit rendu possible par la découverte du boson et par les progrès impressionnants de la cosmologie observationnelle.

Quatrième de couverture

" Le boson? C'est l'ultime particule élémentaire prédite par la théorie de l'infiniment petit, qui manquait encore et dont la découverte, grâce au grand collisionneur de hadrons du CERN , a été annoncée au monde entier le 4 juillet 2012. Postulée en 1964 par Robert BROUT, François ENGLERT et Peter HIGGS, elle explique que le photon - particule qui transmet la force électromagnétique - n'a pas de masse, à l'encontre de celles véhiculant la force faible. Une telle dissymétrie était a priori incompatible avec la symétrie fondamentale , dite "de jauge", sur laquelle est fondé le modèle standard de la physique des particules.

Le chapeau mexicain? C'est le mécanisme grâce auquel le boson rend compte, en préservant les acquis du modèle standard , de l'origine des masses des particules élémentaires.

Le boson et le chapeau mexicain se placent à la croisée - retracée par les deux auteurs en dialogue avec François ENGLERT - des chemins de l'évolution des théories de l'astrophysique contemporaine et, sur près de trente années , d'une véritable aventure scientifique, technologique et humaine menée par le CERN , dont Michel SPIRO fut le Président du Conseil.

Mais la particule observée a-t-elle les propriétés définies par le modèle standard, ou en possède-t-elle d'autres, prédites par les théories concurrentes des composants de la matière? Faudra-t-il bientôt écrire encore un nouveau grand récit de l'univers?"

Pour conforter la découverte du boson de Higgs, Gilles COHEN-TANNOUDI nous donne par ailleurs dans la figure 1 la probabilité pour que le signal observé ne soit pas un vrai signal:

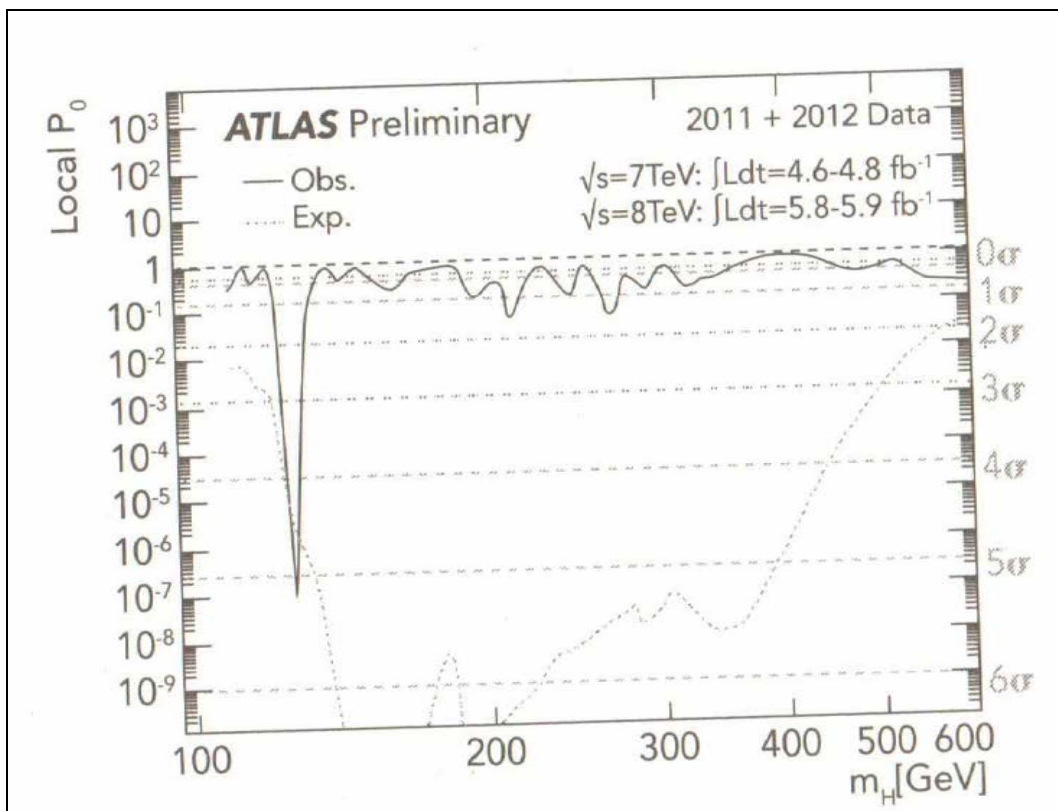


Figure 1: Signal du boson BEH¹ observé par le détecteur Atlas

¹ Boson de BROUT, ENGLERT, HIGGS

Sur cette figure est portée, en fonction de la masse supposée du boson BEH, la probabilité que le signal observé ne soit pas un vrai signal, mais qu'il soit dû qu'à une fluctuation statistique du bruit de fond estimé. Le signal est dit à "cinq écarts standards" (5σ), ce qui signifie que cette probabilité est inférieure au millionième.

Sur la figure 2 on peut voir le potentiel en forme de chapeau mexicain:

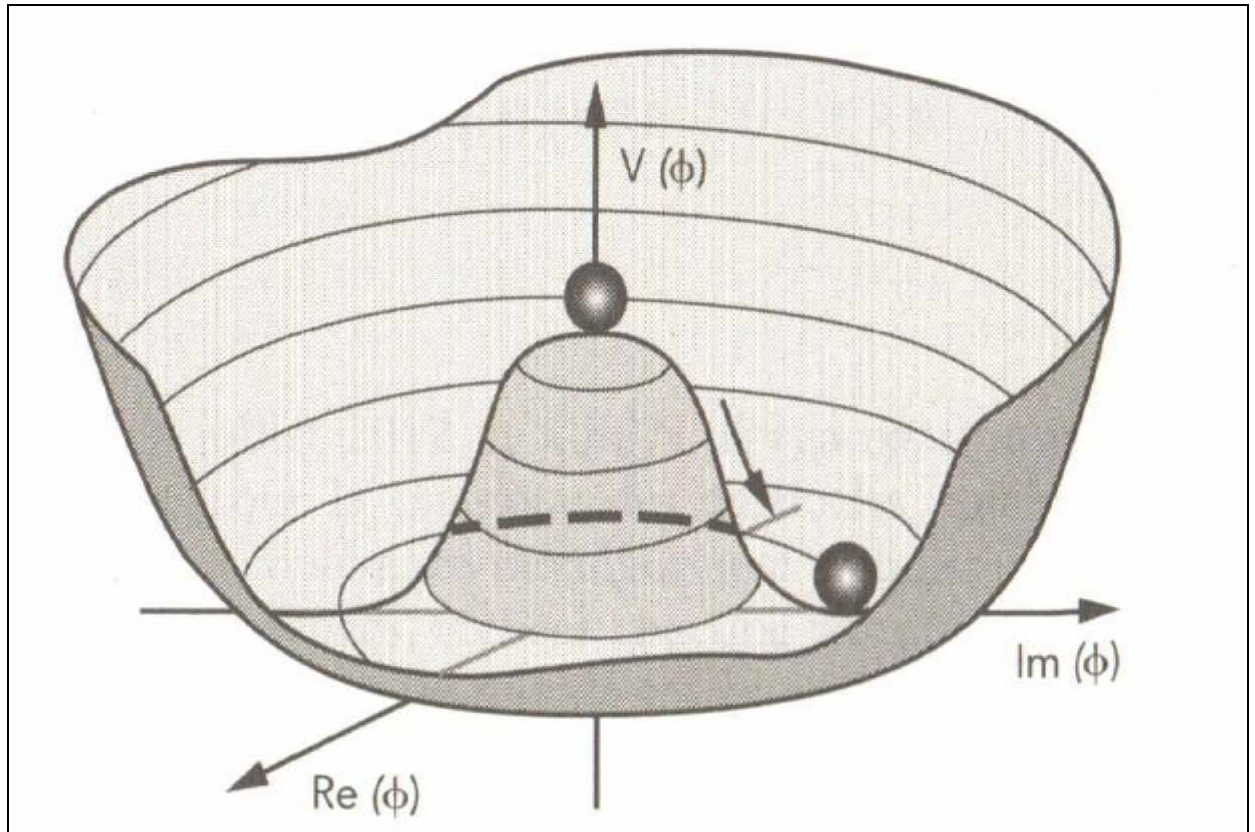


figure 2: Potentiel en forme de chapeau mexicain

Potentiel d'auto-interaction en fonction de la partie réelle $\text{Re}(\Phi)$ et de la partie imaginaire $\text{Im}(\Phi)$ du champ complexe BEH. La symétrie de révolution de la figure correspond à l'invariance par changement de la phase du champ Φ du BEH.

Le boson est un champ auto-interagissant avec le potentiel en chapeau mexicain qui possède une symétrie de révolution (symétrie par changement de la phase de ce champ). Le boson donne de la masse aux particules avec lesquelles il interagit. Le vide représente l'état d'énergie minimale du système ou état fondamental du système. Même si on se situe au sommet du chapeau, la moindre fluctuation quantique provoquera une chute en bas du chapeau. Le maximum présente une symétrie de révolution mais il n'est pas stable et la chute provoque une brisure de symétrie très caractéristique des interactions faibles mais probablement aussi dans d'autres domaines d'interaction (matière condensée, cosmologie).

Le BEH peut se désintégrer en deux photons. Notre conférencier nous rappelle les constituants élémentaires de la matière:

- quarks qui participent aux interactions fortes
- leptons qui n'y participent pas,
- neutrinos qui sont des leptons ne participant pas à des interactions électromagnétiques et qui sont très difficiles à détecter.

Les médiateurs des interactions sont des bosons de jauge. Pour compléter ce modèle il faut introduire un champ auto-interagi avec un potentiel en forme de chapeau mexicain. Les fermions droits et gauches (par sens de leur hélicité) peuvent avoir des propriétés différentes. L'interaction faible viole la parité

contrairement à l'interaction électromagnétique. Les fermions droits et gauche ont donc des propriétés différentes ce qui nécessite une masse nulle avant interaction avec le BEH.. Les bosons interviendraient dans une théorie unifiée de l'interaction faible et de l'interaction électromagnétique ce qui nécessiterait également que ces bosons n'aient pas de masse antérieure. **La masse des particules - y compris celle du boson- (quarks, leptons chargés mais pas les neutrinos, ni les photons, ni les gluons²) résulterait de leur interaction avec le boson.** Le fait que certaines particules n'aient pas de masse ni d'interaction avec le BEH (qui se désintègre alors en deux photons) pose un problème de brisure de symétrie qui serait intervenue après le Big bang (chute de température) et qui aurait permis une transition de phase (causalité émergente) et ensuite l'émergence d'un phénomène (le vide quantique comprend une dissymétrie qui permet l'émergence de deux propriétés différentes pour les interactions faibles et fortes). Ceci mettrait peut-être en jeu le modèle standard et pourrait signifier qu'il existe d'autres particules à découvrir...

Un dernier enjeu serait celui du rapprochement des travaux réalisés en physique des particules et en la cosmologie. et l'établissement d'un modèle standard comparable à celui de la physique des particules pour la cosmologie. Pour plus de détails nous vous conseillons vivement la lecture de l'ouvrage de Gilles COHEN-TANNOUDI et Michel SPIRO, "*le boson et le chapeau mexicain*" publié dans la collection folio-essais chez Gallimard *prix 9,60€.*)

De nombreuses questions sont posées à notre conférencier parmi lesquelles:

- Quelle est la relation entre théorie classique et théorie quantique? Réponse : le domaine où la physique classique est une bonne approximation est *émergent* à partir de l'univers de la cosmologie quantique
- Le boson a été rendu perceptible grâce au LHC: est-ce qu'un LHC plus puissant ferait apparaître de nouvelles particules? réponse : le LHC qui doit être remis en état n'a pas encore dit son dernier mot
- La physique est elle à une phase critique ? réponse : La similitude entre la situation actuelle et celle qui prévalait au début du XXe siècle peut faire penser à la possibilité d'une nouvelle révolution scientifique

En conclusion , Gilles COHEN-TANNOUDI déclare que les futures découvertes seront basées sur une mondialisation réussie de la recherche.

² Le **gluon** est le **boson** responsable de l'**interaction forte**. Les gluons confinent les **quarks** ensemble en les liant très fortement. Ils permettent ainsi l'existence des **protons** et des **neutrons**, ainsi que des autres **hadrons** et donc de l'univers que nous connaissons.

B)" L'évolution des systèmes et l'architecture du système psychique langagier" par notre Collègue notre Collègue Alain CARDON

Notre Collègue nous a confié le résumé ci-dessous de son intervention;

1ere partie. Présentation de l'évolution des systèmes, dont les systèmes qui génèrent des représentations, en approche strictement calculable. Il s'agit de considérer ces systèmes comme composés eux-mêmes de **multiples systèmes coactifs** formant un substrat qui ne cesse de s'**auto-organiser**, et sur lequel se déploie un système dynamique formé des relations informationnelles entre tous ces systèmes. Ce système dynamique est analysable au niveau de sa conformation c'est-à-dire des compositions de formes éphémères qu'il produit, ce qui permet d'étudier ce que sont les représentations générées. Ces systèmes construisent des fonctions en usant de mémorisation de formes sous certaines lois que l'on peut définir algébriquement.

2eme partie. Présentation du système psychique humain finalisant cette évolution, en posant l'hypothèse que ce système, **au-dessus de son substrat neuronal, est dual et composé d'un sous-système psychique sensible et d'un sous-système psychique langagier apte à produire des abstractions représentatives, les deux sous-systèmes étant très fortement coactifs et produisant les pensées intentionnelles et ressenties.**

Pour plus de détails nous vous conseillons de relire les articles de notre Collègue Alain CARDON dans le précédent bulletin n°174-avril 2013 de l'AEIS ainsi que l'ouvrage d'Alain CARDON en PDF intitulé "*Les systèmes de représentation et l'aptitude langagière*" qui vous sera adressé dans un courriel séparé.

II) Mise au point sur les actions en cours

A) *Création d'une collection d'ouvrages de l'AEIS* par notre Collègue Robert FRANCK

Notre Collègue nous a fourni une synthèse de son intervention:

Création d'une collection d'ouvrages de l'AEIS

A. Rappel des décisions prises lors de l'Assemblée Générale du 13 novembre 2012 (voir le compte-rendu dans le Bulletin n°169 p.12).

1. Le projet d'une collection, décrit dans le Bulletin n°168, a été approuvé.

2. L'*Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences* crée une collection d'ouvrages permettant d'assurer à ses travaux une plus large diffusion. Ces travaux ont pour but d'approfondir des questions majeures à la charnière de plusieurs disciplines et visent à établir un langage commun permettant de renforcer la coopération entre les disciplines ; ces travaux répondent à un besoin car il est devenu malaisé pour nombre d'unités de recherche de mener un programme interdisciplinaire sur des questions majeures. Leur publication constituera une ressource pour les chercheurs engagés dans des programmes de plus en plus spécialisés.

3. Les ouvrages publiés par l'AEIS ne se contenteront pas de rassembler les communications faites à ses congrès, comme on le fait pour les *Actes* d'un colloque. Ils s'efforceront d'intégrer les résultats atteints en une véritable synthèse interdisciplinaire.

4. Ce travail de synthèse appelle la formation de comités de lecture et d'accompagnement, responsables du contenu des manuscrits et de leur composition, et veillant à en intégrer les résultats sous la forme d'introductions et de conclusions générales et le cas échéant de textes passerelles entre les contributions.

Les comités suivants sont formés :

COLLOQUE

Fractales en progrès

Théories et Modèles en Sciences Sociales

Emergences : de la fascination à la compréhension

Perspectives des approches expérimentales et théoriques de l'évolution

Comité de lecture et d'accompagnement

Gilbert BELAUBRE

Jean SCHMETS

Victor MASTRANGELO

Gérard LEVY

Robert FRANCK

Daniel COURGEAU

Michel GONDRAN

Claude ELBAZ

Gilbert BELAUBRE

Robert FRANCK

Irène HERPE-LITWIN (traduction)

5. Les critères de choix d'une maison d'édition sont arrêtés :

- Une maison qui édite une ou plusieurs collections de sciences, et qui publie des ouvrages traitant de questions scientifiques fondamentales ;
- qui accepte d'accueillir une 'collection' ou une 'série' autonome propre à l'AEIS ;
- qui assure une bonne distribution de nos ouvrages.

B. Rapport sur les démarches entreprises suite à l'A.G. du 13.11.12

J'avais soumis à l'A.G. une liste de dix maisons d'édition potentielles pour accueillir notre collection. La section de Nice avait suggéré de consulter également les P.U.F. qui ont publié ces dernières années plusieurs ouvrages de membres de cette section.

J'ai décidé, en concertation avec le président de l'académie, d'écrire pour commencer à deux maisons d'édition, celles qui, parmi les onze maisons potentielles, paraissaient au vu d'un premier examen rencontrer au mieux nos objectifs. Je leur ai décrit de façon circonstanciée les qualités de notre projet, son apport à la recherche, et l'intérêt qu'il pourra susciter auprès d'un public plus large.

Mme Citrini, responsable du département livres (dictionnaires, ouvrages de référence, médecine, sciences et techniques) aux éditions EDP (*edp Sciences*) m'a répondu : « au vu du désintérêt croissant pour les sciences par le grand public nous ne pouvons éditer ce genre d'ouvrage qu'avec une subvention ou des préachats de votre part ».

Mme Tritscher, au nom du Comité de lecture des éditions *Odile Jacob*, m'a répondu : « Malheureusement, malgré son intérêt, ce travail ne saurait trouver sa place au sein de notre ligne éditoriale actuelle. C'est pourquoi nous ne pouvons nous engager à le publier. Nous vous prions de croire à toute notre admiration et à notre encouragement. »

J'en ai conclu que l'espoir de trouver un autre éditeur disposé à publier nos ouvrages sans subventions ou préachats était encore plus mince que dans ces deux grandes maisons, étant donné l'état du marché du livre scientifique. Et je me suis informé plus avant sur les conditions financières qui nous étaient proposées par *edp Sciences*, et sur les atouts que possède cette maison pour la diffusion de notre future collection. Ces atouts, au vu de leur site internet, sont très grands :

- de nombreux services offerts : la visibilité à l'international, la création et l'hébergement de sites internet, la promotion de conférences scientifiques, des annonces publicitaires d'ouvrages ;
- la publication de plus de cinquante revues scientifiques, françaises et étrangères ;
- la distribution des ouvrages en librairie ;
- la publication d'ouvrages en ligne, sous forme *pdf*.

J'ai donc repris mes échanges avec Mme Citrini, responsable aux éditions *edp S*, et lui ai remis un exemplaire du livre sur les fractales qui a fait précédemment l'objet d'une publication interne de l'AEIS, afin d'obtenir des informations détaillées sur le coût d'une publication.

1°

EDP vient d'ouvrir une **plate-forme open access** c'est-à-dire avec tous les contenus en accès libre :

<http://www.edp-open.org/>

2°

Dès le mois de juin 2013 une section BOOKS va apparaître avec la mise en ligne d'ouvrages (de pdf électronique) en libre accès. Certains seront imprimables, d'autres non.

EDP pourra y mettre la collection de l'AEIS sans coût supplémentaire en pdf *non imprimable* de manière à

permettre en même temps la vente de la version papier en librairie, ou sur le site web d'EDP.

3°

EDP a également un **service Web of conférences**

<http://www.webofconferences.org/>

qui permet de mettre en ligne nos congrès et EDP peut imprimer ceux-ci en version papier. En revanche il n'est pas prévu de mises en place en librairie pour ce genre de produit.

Mme Citrini m'écrit : « Je pense que dans votre cas, la production des ouvrages, la mise en place d'une version électronique non imprimable et la mise en librairie forme une diffusion assez large de votre collection à venir. »

4° Le coût de la production-édition d'un ouvrage semblable à celui sur les fractales

Mme Citrini m'écrit :

« Pour vos ouvrages, deux solutions sont possibles qui sont à voir en fonction de vos besoins :

-une version complètement éditée par nous soins (relecture, mise en page, impression, couverture, etc.) comme nous faisons pour l'académie des sciences ou les rapports de l'académie des technologies.

Le prix dépend du nombre d'exemplaires que vous achetez : plus vous en prenez plus la remise par rapport au prix public est importante. Par exemple pour l'ouvrage que vous m'avez envoyé (342 pages en petit format) il faut compter un prix public d'environ 25 euros. Pour l'achat de 300 exemplaires vous avez une remise de 20 % sur le prix public soit environ 6000 euros. C'est une fourchette car il faudrait que je vois avec vous quel format vous souhaiteriez : celui actuel ou un plus grand comme 16 x 24 cm par exemple.

-une version moins onéreuse qui consiste à juste imprimer vos ouvrages (l'intérieur est réalisé par vos soins) et faire une couverture. L'ouvrage est mis environ au même prix public mais le préachat de 300 ex. par l'académie revient à environ 2500 euros (cela dépend du nombre de pages, du format etc.).

Voilà une base sur laquelle nous pouvons discuter en fonction de vos besoins et de votre budget. »

III) Annonces et diffusion des travaux de l'AEIS via le serveur CORDIS de la Commission Européenne par notre Collègue Jean SCHMETS

Notre Collègue nous présente le recueil d'informations très complet ci dessous.

Informations sur CORDIS Service Communautaire d'Information sur la Recherche et le Développement

CORDIS est un service web travaillant en « open access » et « free reuse of content » (portail interactif d'information), opérationnel notamment en français, dédié à la recherche et l'innovation européennes. Ses facilités en ligne et son contenu multilingue relie chercheurs, décideurs politiques, entrepreneurs et citoyens. CORDIS est un service gratuit, financé au titre du programme « Coopération » du septième programme-cadre (7^e PC : 2007--2013).

Mission : espace d'information consacré aux activités européennes de recherche et de développement (R&D) et de transfert de technologies.

Buts :

- Faciliter la participation aux activités européennes de recherche ;
- Améliorer l'exploitation des résultats de la recherche en mettant l'accent sur les secteurs essentiels à la compétitivité de l'Europe ;
- Promouvoir la diffusion des connaissances afin de favoriser l'appropriation de technologies par les entreprises et l'acceptation des nouvelles technologies par la société.

Fournisseurs d'information : Personnes sélectionnées qui transmettent des informations en temps utile sur les programmes et les activités de recherche (Institutions de l'UE, Organismes externes, Etats membres/candidats/associés, Autorités régionales, Citoyens).

Parties prenantes : Organismes de recherche, PME/Grandes entreprises, Services publics, Décideurs politiques, Organisations de soutien, Journalistes, Citoyens.

Que peut-on publier sur CORDIS ?

- **Activités de recherche de l'UE :** services d'information sur tous les aspects des programmes, politiques et autres initiatives de R&D de l'Union européenne. Le but est d'aider les organisations et les individus à participer et/ou à bénéficier de la recherche financée par la Communauté. Ces services visent à la sensibilisation aux activités de recherche de l'UE aux niveaux local, national ou européen.
- **Activités de recherche paneuropéenne et internationales :** des services destinés à promouvoir les politiques, programmes et infrastructures de recherche et d'innovation des Etats membres. Les informations couvrent les programmes-cadres européens ainsi que les services visant à promouvoir des activités de coopération avec les Etats associés et d'autres pays tiers.

Services de publication proposés par CORDIS :

CORDIS peut aider à concevoir un site web et à le développer. Offre actuelle :

- Des services web (pages statiques et dynamiques) ;
- Des services de base de données ;
- Des applications (par exemple des formulaires ou des forums en ligne).

CORDIS peut héberger un site web ou intégrer des services hébergés ailleurs.

Principaux avantages de l'hébergement d'un service web sur CORDIS :

- Visibilité élevée dans le cadre des services R&D de l'UE ;
- Diffusion du contenu aux utilisateurs de CORDIS ;
- Catalogue complet de services ;

- Service de rédaction de CORDIS ;
- Aide et soutien.

Rôle et responsabilités du fournisseur d'informations : Le fournisseur d'informations est une personne désignée par l'organisation ou l'entité comme point de contact avec CORDIS pour tout ce qui concerne le contenu publié sur les parties concernées du site web de CORDIS.

Le fournisseur d'informations sera en contact avec CORDIS sur les thèmes suivants :

- Maintenance du contenu : actualisation des informations ;
- Droits d'auteur : les éléments publiés sur CORDIS doivent être explicitement accompagnés d'une déclaration de copyright par leur propriétaire.

Bien souvent, choix exclusif entre les domaines suivants :

- Biologie et médecine ;
- Energie et transport ;
- Environnement et société ;
- IT et Télécommunications ;
- Technologies industrielles.

Références utiles :

a) Informations actualisées chaque jour : <http://cordis.europa.eu/news>

b) Publication des nouveautés, événements et projets : <http://cordis.europa.eu/wire>

c) Promotion d'une organisation/d'une maîtrise, trouver des partenaires, créer des groupes, rejoindre des réseaux : <http://cordis.europa.eu/partners>

d) Site des projets financés par l'UE, portail officiel de diffusion des résultats de la recherche scientifique : <http://cordis.europa.eu/projects>

e) Site d'information sur l'état d'avancement des projets R&D aidés par l'UE : <http://cordis.europa.eu/results>

f) Site procurant une information globale et aisément accessible sur les domaines précités : <http://cordis.europa.eu/marketplace>

g) Site donnant accès aux points de contact national (structures nationale ou locale d'aide personnalisée) : http://cordis.europa.eu/fp7/get-support_en.html

h) Sites donnant accès à ce qui se passe « près de chez vous » : http://cordis.europa.eu/national_service et <http://cordis.europa.eu/regions>

Deux bulletins d'informations gratuits (le plus souvent en anglais) :

- [research*eu results magazine](#) (magazine consacré aux résultats) ;
- [research*eu focus](#) (magazine consacré à des thèmes d'intérêt).

Sujets

Aerospace Technology;
Agriculture; Biotechnology;
Business;

[Chemistry](#);

Coordination Cooperation;
Construction Technology;
Cultural Heritage;

[Earth Science](#);

eCommerce;
Economic Aspects;
Education Training;
eGovernment
Electronics Microelectronics;
Energy Renewable Energy;
Engineering;
Environmental Protection;
Environmental Science;

[Ethics](#);

European Research Area;

Fifth Framework Programme;
Financing; Food;
Industrial Manufacture;
Industrial Research;
Information Media;
Information Processing
Information Systems;
Information Society Technology;
Innovation;
Innovation Technology Transfer;
Intellectual Property;
Legislation Regulation;

[Life Science](#);

Marine Research;
Materials Technology;

[Mathematics Statistics](#);

[Medicine Health](#);

Meteorology;

[Nanotechnology](#);

[Nuclear Energy](#);

Past Framework Programmes;

[Physics Astronomy](#);

Policy;
Regional Development;
Research Mobility;
Researcher Employment;
Safety;

[Science and Society](#);

Seventh Framework Programme;
Sixth Framework Programme;
Social Aspects;
Standards Measurement;
Sustainable Development;
Technology;

[Telecommunication](#);

Transport;
Women and Science;

Institution

Broker;
Business Incubator;
Chamber of Commerce;
Consultancy;

[Educational Body \(School,
University\)](#);

[European Institution](#);

Industrial Association;
Large Company;
Medium Company;
National Contact Points;
National or Governmental
Administration;

[Other](#);

Press;

[Private Research](#);
Public Resort
Small Company;
Technology Transfer Office

Category

Calls and Tenders;
[Event](#);
General Policy;
Innovation Service;
Legislation;

[Miscellaneous](#);
Partnership Event;
Preparatory Act;
Press Alert;
Press Meeting;
Press Pack;

Programme Implementation;
[Project](#);
[Publication](#);
[Result](#);
Success Story

IV) Présentation de la candidature de Jean VERDETTI professeur des Universités (physiologie animale) à l'Université de Grenoble .

Titulaire d'un doctorat d'état de physiologie animale (Contribution à l'étude du myocarde ischémique ou hypoxique – Rôle de l'ATP – Université Joseph Fourier - 1983), Jean VERDETTI est devenu Professeur des Universités (physiologie animale 66ème section) à l'Université de Grenoble. Son principal thème de recherche a été le vieillissement du système cardiovasculaire.

Son travail, en dehors de la formation d'étudiants a contribué à la publication sous sa responsabilité de nombreuses thèses. Celles ci ont permis à divers étudiants d'être nommés assistant (médecins militaires - service de recherche de santé des armées) ou maîtres assistants (Toulouse , Genève , Nice) ou professeur des Universités (Grenoble) et a aussi conduit à des publications scientifiques indexées dans les Current contents et de nombreuses communications orales ou affichées ainsi qu'à celle d'un ouvrage en collaboration (S. Idelman et J. Verdeti – Endocrinologie et communications cellulaires –EDP sciences) et d'un chapitre dans l'ouvrage Hormones et Grandes Fonctions (JP Dupouy Ed).

Bien que retraité, il continue à avoir une activité de conseil dans son ancien laboratoire (à la demande de son directeur actuel).

Soumise au vote, la candidature a été acceptée à l'unanimité.

Après quoi, cette très riche séance prend fin,

Bien à vous

Irène HERPE-LITWIN

Comptes-rendus de la section

Nice-Côte d'Azur

Prions l'autorité de rester dans ses limites. Qu'elle se borne à être juste. Nous nous chargerons d'être heureux.

Benjamin Constant.

Compte rendu de la séance du 18 avril 2013

(169^{ème} séance)

Présents :

Richard Beaud, Pierre Bourgeot, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Pierre Delmont, Pierre Gouirand, Maurice Lethurgez.

Excusés :

Jean Aubouin, René Blanchet, François Cuzin, Yves Ignazi, Claude Nigoul, Maurice Papo.

1- Approbation du compte rendu de la 168^{ème} séance.

Le compte rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Visite à l'Institut Rossetti des pupilles de l'enseignement public (PEP).

Etablissement de l'Education nationale destiné à soigner des enfants atteints de dérèglement mental ou moteur.

Nous avons été reçus par le directeur départemental et ses collaborateurs pour une visite de cet établissement situé au 400 boulevard de la Madeleine à Nice, qui accueille de nombreux enfants handicapés plus ou moins lourdement soit sur le plan mental, soit le plus souvent, physique : cécité, malentendants, pathologie des membres.

Les installations sont parmi les plus modernes de France grâce notamment à une aide du Conseil général.

Les techniques actuelles que nous avons vu fonctionner, en ce qui concerne les membres ou la scoliose, permettent des récupérations spectaculaires.

Après cette visite passionnante, nous avons pu tenir notre séance habituelle sur place.

3- Programme des conférences à la bibliothèque Nucéra.

Le programme actuel va jusqu'au mois de juin. Il n'est pas prévu de conférence en été. Nous devons donc préparer le programme pour l'automne.

Nous avons plusieurs conférenciers possibles. Notre confrère Guy Darcourt est chargé de fixer les dates de leurs interventions, y compris pour le début de 2014.

4- Conférence de Jean-François Mattéi.

Le 2 mai à 17 heures, au couvent des Dominicains, notre confrère fera une conférence : « Le christianisme et la sortie des religions antiques ».

5- Notions du temps.

L'animal le plus évolué vit dans l'instant présent mais ne se projette pas dans l'avenir. L'Homme pense : « Je suis » mais aussi « Je serai ». C'est pour cela qu'il façonne un outil pour le présent mais le conserve parce qu'il pense qu'il pourrait en avoir besoin dans l'avenir.

Quand on analyse les vieilles langues, il n'y a pas de temps. L'égyptien ancien dit « Je chante » mais pas « Je chanterai », mais seulement « Je suis ». La formation des temps est très intéressante, notamment dans la langue française qui est une des plus riches dans ce domaine, bien que l'on n'utilise plus guère ces formes grammaticales subtiles.

6- Un pape argentin. (Jean-Pierre Delmont)

Je n'aborderai pas l'aspect religieux de cette élection étant plutôt agnostique, mais discuterai de savoir s'il s'agit d'un événement politique important pour l'Amérique du Sud.

C'est le premier pape argentin. Est-ce intéressant ? On le montre avec un maillot d'un club de football, on a dit qu'il a pris position dans la guerre des Malouines, qu'il est opposé à la Présidente. Cela n'est pas très important que ce soit le premier pape argentin. Il est un peu plus intéressant qu'il soit le premier pape sud-américain. Non pas que l'Amérique du Sud soit un pilier du catholicisme. En Argentine, cela est très controversé par la poussée des protestants « évangélistes ». Il existe un club de « maradonistes » (!) où l'on prie Maradona comme un dieu parce qu'il a marqué le but triomphal (avec la main) du championnat du monde.

Sur le plan de l'Amérique du Sud, les pays qui le composent ne sont pas un bloc. Le Mexique par exemple, proche des Etats-Unis, pays de 120 millions d'habitants, n'intéresse pas du tout un Péruvien. Il existe une blague très intéressante en Amérique du Sud. Elle caractérise tous les pays qui la composent par un nom, une qualité.

L'Argentine est dite modeste parce que les Argentins sont, en fait, éminemment orgueilleux, se considèrent comme les Anglais de l'Amérique du Sud et sont, de ce fait, haïs par tous les autres pays.

On dit « sincère comme un Mexicain », ce qui veut dire qu'il adore le mensonge. Il ne faut jamais le croire.

On dit « honnête comme un Colombien » parce qu'ils sont éminemment voleurs.

J'ai été reçu autrefois par un professeur colombien et lorsque je l'ai quitté, il m'a demandé : « Il ne vous manque pas quelque chose ? » Il m'avait volé mon portefeuille !

Annonces

I) La tenue d'une Université d'été sur la maladie d'Alzheimer nous est annoncée à Lille les 18,19 et 20 septembre prochain

[Cliquez ici](#)

[Inscrivez-vous à la newsletter](#)

[Facebook](#) [Twitter](#)

→ **ESPACE NATIONAL**
DE RÉFLEXION ÉTHIQUE SUR
LA MALADIE D'ALZHEIMER

Actualités N°16

Avril 2013 - Annonce de l'Université d'été

UNIVERSITÉ D'ÉTÉ 2013
INTERVENTIONS PRÉCOCES :
ANTICIPER, DIAGNOSTIQUER, ACCOMPAGNER
Lille - 18/19/20 Septembre 2013

Alzheimer
PLAN 2008 > 2012

www.espace-ethique-alzheimer.org

→ **Sommaire**

- > [Éditorial - Interventions précoces : anticiper, diagnostiquer, accompagner. Une injonction à l'anticipation ?](#)
- > [Université d'été 2013 : Interventions précoces - Anticiper, diagnostiquer, accompagner](#)
- > [S'associer à la programmation de l'Université d'été](#)
- > [Le sens des mots : Anticiper](#)
- > [Anticiper, diagnostiquer, annoncer - Comprendre les enjeux \(ressources documentaires\)](#)
- > [Retour sur le workshop "Interventions et diagnostics précoces" du 4 avril 2013](#)
- > [Projet Européen Alcove : Retour sur le symposium de clôture et présentation de la contribution de l'EREMA](#)
- > [Actualités des formations](#)
- > [Actualités](#)

[→ Haut de page](#)

→ **ESPACE NATIONAL**
DE RÉFLEXION ÉTHIQUE SUR
LA MALADIE D'ALZHEIMER
www.espace-ethique-alzheimer.org

Directeur de la publication : Emmanuel Hirsch.

II) Franck VARENNE et Marc SILBERSTEIN qui ont participé à plusieurs de nos colloques nous font part de la parution de leur ouvrage:

Modéliser & simuler. Épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation, tome 1

ouvrage collectif sous la direction de Franck VARENNE et Marc SILBERSTEIN

Editeur : Éditions Matériologiques ([Site Modéliser & simuler](#))

ISBN : 978-2-919694-19-8

Format : 17X24 cm

Support : PDF actif (livre numérique enrichi, c'est-à-dire non homothétique à un livre papier)

Particularités : 974 pages, 34 chapitres, 44 contributeurs, 750 liens hypertextuels, 136 illustrations, 4 vidéos de simulations dynamiques

Prix : 23 euros

III) notre Collègue Jean Schmets a collecté sur le site CORDIS les informations suivantes:

[ERC projects to unlock mysteries of the human brain](#)

To celebrate the European Month of the Brain, researchers funded by the European Research Council (ERC) will participate in two key events organised by the European Commission in Brussels on 14 May, and in Dublin on 27 and 28 of May 2013. On this occasion, the ERC has issued a new publication entitled 'ERC projects to unlock mysteries of the human brain'.

Organisation: ERC Executive Agency

Country: BELGIUM

Category: Event

Event title: 'The Prospects of Brain Research within Horizon 2020: responding efficiently to Europe's societal needs', Brussels, Belgium.

Date: 2013-05-30

Organiser: For further information, please visit: <http://www.fens.org/news/?id=1123>

Summary: A conference entitled "The Prospects of Brain Research within Horizon 2020: responding efficiently to Europe's societal needs" will be held on 30 May 2013 in Brussels, Belgium. Jointly organised by the Federation of European Neuroscience Societies, the E... Link to event record:

[http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?](http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=events.document&EV_LANG=EN&EV_RCN=35691&pid=0)

[fuseaction=events.document&EV_LANG=EN&EV_RCN=35691&pid=0](http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=events.document&EV_LANG=EN&EV_RCN=35691&pid=0)

Event title: 12th Symposium on Bacterial Genetics and Ecology (BAGECO 12), Ljubljana, Slovenia

Date: 2013-06-09

Organiser: For further information, please visit:

<http://www.bageco2013.org/welcome-note/>

Summary: The 12th Symposium on Bacterial Genetics and Ecology (BAGECO 12) will be held from 9 to 13 June 2013 in Ljubljana, Slovenia. Recent years have brought striking discoveries in the field of bacterial genetics and ecology that sprung from rapid advances in s...

Link to event record: http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=events.document&EV_LANG=EN&EV_RCN=35712&pid=0

Date: 2013-06-05

Organiser: For further information, please visit: <http://www.iccsmeeting.org/iccs2013/>

Summary: **The 'International Conference on Computational Science' (ICCS 2013)** will be held from 5 to 7 June 2013 in Barcelona, Spain. The theme of the conference is 'Computation at the Frontiers of Science', to mark the ever increasing importance of and progress in...

Link to event record: http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=events.document&EV_LANG=EN&EV_RCN=35728&pid=0

European Science Foundation and European Molecular Biology Organization launch Call for Conference Proposals

The European Science Foundation (ESF) and the European Molecular Biology Organization (EMBO) have launched a Call for Proposals, inviting researchers to submit proposals for high-level research conferences to be included within their conference programme.

Organisation: N/A

Country: FRANCE

Category: Calls and Tenders

Documents

Pour éclairer la conférence de notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI sur '*le boson et le chapeau mexicain*' nous vous proposons:

P. 23 Quelques rappels sur les particules élémentaires issus du site <http://fr.wikipedia.org/>

Pour illustrer la conférence de Gilles COHEN-TANNOUDJI à laquelle avait assisté Jean Paul BAQUIAST , nous vous proposons, issue de la revue "Automates Intelligents,":

p.34: **Comment l'Europe pourrait sortir de la dépression : la leçon du Cern paru sur** <http://www.automatesintelligents.com/>

Pour préparer sa conférence "*Physique de deux infinis: du Big-Bang aux particules*", Victor MASTRANGELO nous propose la lecture des deux documents suivants:

p.37 "Le Big Bang" issu de La Recherche : back to basic - 01/05/2006 par Jacques-Olivier Baruch,Pierre Binetruy dans mensuel n°397

p.41 Dossier Pour la Science N°62 - janvier - mars 2009 "À la recherche de la matière noire"

p. 44 "Sur la piste de l'énergie noire" issu de La Recherche dossier - 01/07/2008 dans mensuel n°422

Particule élémentaire

<http://fr.wikipedia.org/>

On appelle **particules élémentaires** les constituants fondamentaux de l'[univers](#) décrits par le [modèle standard](#) de la [physique des particules](#). Ces [particules subatomiques](#) sont dites « élémentaires » parce qu'elles ne résultent pas de l'interaction d'autres particules plus « petites ». Un [atome](#) n'est pas une particule élémentaire car il est constitué d'[électrons](#), de [protons](#) et de [neutrons](#). Ces deux derniers, désignés par le terme générique, [nucléons](#), car formant le [noyau atomique](#), ne sont pas non plus élémentaires car ils sont constitués de [quarks](#). En revanche, [électrons](#) et [quarks](#) sont des particules élémentaires car ils ne sont constitués d'aucune autre particule, d'après l'état actuel des connaissances.

On distingue les particules élémentaires qui ont un [spin](#) demi-entier et obéissent à la [statistique de Fermi-Dirac](#) et au [principe d'exclusion de Pauli](#), et celles qui ont un spin entier et obéissent à la [statistique de Bose-Einstein](#) : les premières sont appelées [fermions](#) et constituent la [matière baryonique](#), les secondes sont appelées [bosons](#) et constituent les [champs de force](#) — on parle plutôt d'[interactions](#) — hormis la [gravitation](#), qu'on n'a pas encore réussi à intégrer au modèle.

Les douze fermions décrits par le [modèle standard](#) sont classés en trois [générations](#), c'est-à-dire en trois quadruplets de particules dont les termes correspondants sont de masse croissante d'une génération à la suivante. Seuls les fermions de la première génération (dont la masse est la plus faible) sont couramment observés et constituent la matière que nous connaissons ; les huit autres fermions ne s'observent que dans des conditions particulièrement énergétiques qui ne se rencontrent pas dans notre environnement usuel.

	Leptons		Quarks	
Charge électrique	0	-1 e	+2/3 e	-1/3 e
Fermions de 1^{re} génération	ν_e Neutrino électronique	e Électron	u Quark up	d Quark down
Fermions de 2^e génération	ν_μ Neutrino muonique	μ Muon	c Quark charm	s Quark strange
Fermions de 3^e génération	ν_τ Neutrino tauique	τ Tau	t Quark top	b Quark bottom
Interactions	Faible		Électro-magnétique	Forte
Bosons de jauge	Z^0 Boson Z	W^\pm Boson W	γ Photon	g Gluon

Particules élémentaires du [modèle standard](#)

Sommaire

1 Le modèle standard

- 2 Particules élémentaires du modèle standard
 - 2.1 Fermions
 - 2.1.1 Leptons
 - 2.1.2 Quarks
 - 2.2 Bosons
 - 2.2.1 Bosons de jauge
 - 2.2.2 Autres bosons
- 3 Les premières particules
- 4 Les accélérateurs de particules
 - 4.1 L'antimatière
 - 4.2 Les quarks
 - 4.3 Les leptons
 - 4.4 Les trois familles de particules élémentaires
 - 4.5 Les bosons de jauge
 - 4.6 Boson de Higgs
- 5 Au-delà du modèle standard
- 6 Notes et références

Le modèle standard

Article détaillé : [Modèle standard \(physique des particules\)](#).

Les premiers pas dans l'élaboration du modèle standard des particules élémentaires ont été faits en 1960 par le physicien américain [Sheldon Glashow](#), [prix Nobel de physique](#) 1979, avec l'unification de l'[interaction électromagnétique](#) et de l'[interaction faible](#) en une [interaction électrofaible](#) au-dessus d'une énergie d'unification de l'ordre de 100 [GeV](#). Puis, en 1967, l'Américain [Steven Weinberg](#) et le Pakistanais [Abdus Salam](#) ont intégré le [mécanisme de Higgs](#) (théorisé en 1964 par [Peter Higgs](#)) au modèle élaboré par Glashow pour lui donner sa forme actuelle, qui rend compte de la masse des particules ; ils ont reçu pour cela le prix Nobel de physique 1979, en même temps que Glashow. Enfin, le modèle standard a été finalisé par l'unification de la [chromodynamique quantique](#) avec l'interaction électrofaible, afin d'y intégrer l'[interaction forte](#) rendant compte notamment de la [liberté asymptotique](#) ainsi que du [confinement de couleur](#) des [quarks](#) en [hadrons](#) dont la [charge de couleur](#) résultante est toujours « blanche » (d'où le qualificatif *chromodynamique* appliqué à cette [théorie quantique des champs](#)).

D'un point de vue mathématique, les [théories quantiques des champs](#) ont été formalisées dans le cadre de [théories de jauge](#) à l'aide de [groupes](#) de [symétrie locale](#) prenant la forme de [groupes de Lie complexes](#) sous-tendant chacun les [symétries de jauge](#) modélisées. Ainsi :

- l'[électrodynamique quantique](#) a permis de décrire l'[électromagnétisme](#) dans le cadre d'une théorie de jauge [abélienne](#) avec le [groupe unitaire \$U\(1\)\$](#) ,
- l'[interaction faible](#) a été décrite avec le [groupe spécial unitaire \$SU\(2\)\$](#) ,
- l'[interaction électrofaible](#) l'a été avec le [groupe de jauge \$SU\(2\) \times U\(1\)\$](#)
- la [chromodynamique quantique](#) ([interaction forte](#)) l'a été avec le groupe [SU\(3\)](#)
- enfin, le [modèle standard](#) a été élaboré avec le groupe de jauge [SU\(3\) × SU\(2\) × U\(1\)](#).

Particules élémentaires du modèle standard

Fermions

Les fermions sont décrits par le modèle standard comme ayant un spin demi-entier et respectant le principe d'exclusion de Pauli en accord avec le théorème spin-statistique. Il existe douze fermions décrits par le modèle standard.

Leptons

Parmi les douze fermions du modèle standard, six ne sont pas soumis à l'interaction forte et ne connaissent que l'interaction faible et l'interaction électromagnétique : ce sont les leptons.

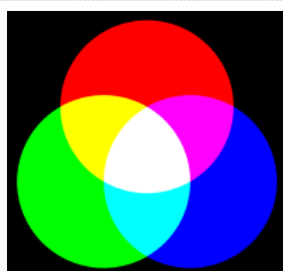
L'interaction électromagnétique ne concerne que les particules portant une charge électrique, tandis que l'interaction faible agit sur tous les leptons, y compris électriquement neutres.

<u>Charge électrique</u>	0			$-1 e$ ($e = 1,602176487 \times 10^{-19} C$)			
	<u>Génération</u>	Particule	Symbole / antiparticule	Masse (<u>keV/c²</u>)	Particule	Symbole / antiparticule	Masse (<u>keV/c²</u>)
	1 ^{re}	<u>Neutrino électronique</u>	$\nu_e / \bar{\nu}_e$	< 0,0022	<u>Électron</u>	e^- / e^+	511
	2 ^e	<u>Neutrino muonique</u>	$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$	< 170	<u>Muon</u>	μ^- / μ^+	105 700
	3 ^e	<u>Neutrino tauique</u>	$\nu_\tau / \bar{\nu}_\tau$	< 15 500	<u>Tau</u>	τ^- / τ^+	1 777 000

Chaque lepton a son antilepton, de même masse, même spin, mais de charge électrique opposée, d'isospin faible opposé ou encore d'hélicité inverse (gauche pour les neutrinos, droite pour les antineutrinos) :

- un antineutrino pour chaque saveur de neutrino
- le positon pour l'électron
- l'antimuon pour le muon
- l'antitau pour le tau

Quarks





[Synthèse additive](#) des [couleurs primaires](#).

Parmi les douze fermions du modèle standard, six seulement connaissent l'[interaction forte](#) au même titre que l'[interaction faible](#) et l'[interaction électromagnétique](#) : ce sont les [quarks](#).

L'interaction forte est responsable du [confinement des quarks](#), à cause duquel il est impossible d'observer une particule élémentaire ou composée dont la [charge de couleur](#) résultante n'est pas « blanche ». Il existe en effet trois « couleurs » (appelées conventionnellement *rouge*, *vert*, *bleu* en référence aux [couleurs primaires](#)) et trois « anticouleurs » (appelées conventionnellement *antirouge*, *antivert* et *antibleu*) qui obéissent aux règles suivantes, rappelant la [synthèse additive](#) des couleurs primaires :

- *rouge + vert + bleu = blanc*
- *rouge + antirouge = blanc*
- *vert + antivert = blanc*
- *bleu + antibleu = blanc*

Pour cette raison, les « anticouleurs » *antirouge*, *antivert* et *antibleu* sont généralement représentées respectivement en *cyan*, *magenta* et *jaune*.

Tout quark étant porteur d'une de ces trois charges de couleur (il n'existe pas de quark « blanc »), il doit nécessairement entrer en interaction avec ou bien un [antiquark](#) porteur de son anticouleur (ce qui donne un [méson](#), qui est un [boson](#) composite), ou bien deux autres quarks porteurs des deux autres charges de couleur dont la résultante à trois sera « blanche » (ce qui donne un [baryon](#), qui est un [fermion](#) composite) : c'est l'[interaction forte](#).

<u>Charge électrique</u>	<u>+2/3 e</u>			<u>-1/3 e</u>		
	<u>Génération</u>	<u>Particule</u>	<u>Symbole / antiparticule</u>	<u>Masse (keV/c²)</u>	<u>Particule</u>	<u>Symbole / antiparticule</u>
1 ^{re}	Quark up	u / u	1 500 – 3 300	Quark down	d / d	3 500 – 6 000
2 ^e	Quark charm	c / c	1 160 000 – 1 340 000	Quark strange	s / s	70 000 – 130 000
3 ^e	Quark top	t / t	173 100 000 ± 1 300 000	Quark bottom	b / b	4 200 000 ⁺¹⁷⁰⁰⁰⁰ – ₇₀₀₀₀

Bosons]

Les [bosons](#) sont décrits par le [modèle standard](#) comme ayant un [spin entier](#) et étant régis par la [statistique de Bose-Einstein](#) : plusieurs bosons peuvent occuper le même [état quantique](#), contrairement aux [fermions](#).

Bosons de jauge

Douze [bosons de jauge](#) sont vecteurs des trois interactions du modèle standard :

- un [photon](#), vecteur de l'[interaction électromagnétique](#)
- un [boson Z](#) et deux [bosons W](#), vecteurs de l'[interaction faible](#)
- huit [gluons](#), vecteurs de l'[interaction forte](#).

Le tableau ci-dessous résume leurs propriétés :

Boson	Symbol e	Spin	Charge électrique (e)	Charge de couleur¹	Masse (keV/c²)	Interaction	Symétrie de jauge
Boson Z	Z	1	0	« 0 » ²	91 187 600 ± 2 100	Faible	SU(2)
Boson W	W ⁻ W ⁺	1	-1 1	« 0 »	80 398 000 ± 25 000		
Photon	γ	1	0	« 0 »	0	Électromagnétique	U(1)
Gluon	g	1	0	$(r_g + g_r) / \sqrt{2}$ $(r_b + b_r) / \sqrt{2}$ $(g_b + b_g) / \sqrt{2}$ $i (g_r - r_g) / \sqrt{2}$ $i (b_r - r_b) / \sqrt{2}$ $i (g_b - b_g) / \sqrt{2}$	0	Forte	SU(3)

				$(rr - bb) / \sqrt{2}$			
				$(rr + bb - 2gg) / \sqrt{6}$			

Chacun de ces bosons est son antiparticule, hormis les bosons W^- et W^+ qui sont antiparticules l'un de l'autre.

Autres bosons [[modifier](#)]

À ces bosons de jauge du modèle standard s'ajoutent :

- le [boson de Higgs](#), observé avec une certitude de 99,999% pour la première fois au CERN de Genève ; le boson de Higgs est responsable de la masse des particules dans ce modèle, mais n'est vecteur d'aucune interaction : ce n'est donc pas un boson de jauge.
- le [graviton](#), introduit par les théories de [gravité quantique](#), qui tentent d'intégrer la [gravitation](#) au modèle standard, et qui n'a également jamais été observé ; le graviton ne fait donc pas partie du modèle standard, mais serait un boson de jauge, vecteur de la gravitation.

Les premières particules

Articles détaillés : [Neutron](#), [Proton](#) et [Électron](#).

Propriétés principales des premières particules identifiées³

Particule	Masse	Charge électrique
Neutron	1 u.m.a	neutre
Proton	1 u.m.a	e
Électron	1/2000 u.m.a.	-e

L'idée voulant que la [matière](#) soit composée de constituants fondamentaux est très vieille. Les [Grecs](#) de l'[antiquité](#), dont [Démocrite](#), ont introduit le mot « *atome* », qui signifie « *indivisible* », pour faire référence à de tels constituants.

On crut déceler au xix^e siècle des éléments indissociables de la matière que l'on nomma donc atomes. Le xx^e découvrit que ces "atomes" étaient eux-mêmes composés de plus petites particules : électron(s), proton(s) et neutron(s). Il fut décidé cependant de ne pas changer la terminologie existante et le paradoxe "briser un atome" devint courant. Il fut découvert que ces particules elles-mêmes pouvaient être vues comme assemblages d'objets plus petits, les quarks, assemblés toujours à plusieurs et de façons différentes.

On remarque que les protons et les neutrons ont des masses quasi-identiques. La valeur de l'unité de masse atomique (1 u.m.a.) est égale à 1 gramme divisé par le nombre d'Avogadro, si bien qu'une [mole](#) de [nucléons](#) pèse un gramme.

Les charges du [proton](#) et de l'[électron](#) sont *exactement* opposées, le [neutron](#) est *exactement* neutre électriquement. La [charge élémentaire](#), e , vaut $1,6 \times 10^{-19}$ C.

Les accélérateurs de particules

Article détaillé : [Accélérateur de particules](#).

Dans les [années 1930](#), les scientifiques pensaient que les électrons, les protons et les neutrons étaient les plus petits objets en quoi la matière pouvait être divisée. On les désigna comme des « particules élémentaires » pensant qu'ils étaient indivisibles ; les nouveaux « atomes » selon le terme originel.

Pour étudier l'interaction des neutrons et des protons dans le [noyau](#) de l'atome, les physiciens construisirent des [accélérateurs de particules](#). Dans un accélérateur, des particules sont accélérées par des [champs électriques](#) dans le but de les faire entrer en collision. L'[énergie](#) de ces collisions produit toutes sortes de particules qui sont ensuite détectées.

À l'aide des accélérateurs, il fallut quelques décennies pour réaliser qu'il y avait encore un autre niveau de structure à l'intérieur des protons et des neutrons. Ceux-ci étaient composés de sous-particules qu'on baptisa [quarks](#). Les protons et les neutrons sont construits à partir de trois quarks chacun. Ces particules composites sont presque toujours représentées sous une forme parfaitement sphérique mais cette dernière représente seulement la région de l'espace au-delà de laquelle la nature composite de ces particules devient visible. Dans le [modèle standard](#), proton et neutron n'ont pas de *forme* à proprement parler.

Jusqu'à maintenant, aucune sous-structure n'a été découverte aux quarks et aux électrons. Ce sont donc les nouvelles particules élémentaires.

Mais l'histoire ne s'arrête pas à ces quarks et aux électrons. L'observation de plusieurs centaines de particules différentes, composites et souvent instables, a permis aux physiciens de déduire l'existence d'un certain nombre d'autres particules élémentaires. La description des composants de base de la nature et de leurs interactions se trouve résumée dans une théorie physique appelée le « [modèle standard](#) » des particules.

L'antimatière

Article détaillé : [Antimatière](#).

À chaque particule correspond une antiparticule — c'est la [symétrie CPT](#). Une particule est semblable à son antiparticule, avec des changements de signe. La [charge électrique](#) est opposée, c'est ce qui définit l'antiparticule. La masse est en revanche identique.

Une particule de charge nulle peut d'ailleurs être sa propre antiparticule ; c'est le cas du photon.

En combinant des antiprotons, des antineutrons et des anti-électrons, il est possible de créer des anti-atomes. D'ailleurs, les [physiciens](#) se sont déjà appliqués à construire des atomes d'anti-hydrogène, plus récemment en quantités importantes (50 000 atomes) dans les laboratoires du [CERN](#).

Lorsqu'une particule de matière et son antiparticule se rencontrent, elles s'annihilent complètement et se transforment en [énergie](#). Les collisions entre particules et antiparticules produisent donc beaucoup d'énergie et sont couramment utilisées dans des expériences au sein des accélérateurs.

On appelle antimatière l'ensemble des antiparticules des particules composant la matière ordinaire.

L'antimatière a une durée de vie très courte dans notre environnement : à moins qu'elle ne soit isolée par des champs magnétiques, elle rencontre rapidement la matière ordinaire et s'annihile alors.

La première particule d'antimatière fut découverte en 1933. Il s'agissait d'un [positron](#) (anti-électron) produit par la rencontre entre un [rayon cosmique](#) et un noyau atomique de l'atmosphère.

Les quarks

Article détaillé : [Quark](#).

En 1964, [Murray Gell-Mann](#) et [George Zweig](#) découvrirent indépendamment que des centaines de particules pouvaient être expliquées par des combinaisons de seulement trois éléments. Gell-Mann choisit le nom « quarks » pour désigner ces éléments. Ce mot fut inventé par [James Joyce](#) dans son roman [Finnegans Wake](#) (ce roman regorge de mots imaginaires et viole volontairement les règles linguistiques). Ce n'est qu'au début des années 70 que la réalité physique de ces quarks fut prouvée, et qu'ils accédèrent au rang de particules.

Nous savons maintenant qu'il y a six sortes ou **saveurs** de quarks. Ils furent joliment baptisés, par ordre de masses croissantes : *up*, *down*, *strange*, *charm*, *bottom* et *top*. De plus, pour chacun de ces quarks, il y a un antiquark correspondant.

Les quarks ont l'étrange propriété d'avoir une charge électrique fractionnaire. Cette charge est de $2/3$ pour les quarks *up*, *charm* et *top* et de $-1/3$ pour les quarks *down*, *strange* et *bottom*.

Les quarks sont des particules sociables : on n'en trouve jamais un qui soit seul. Ils se tiennent en paquets de deux ou trois pour former des particules appelées [hadrons](#). Par exemple, le proton est un hadron composé de deux quarks *up* et d'un quark *down*. Quant au neutron, il est formé de deux quarks *down* et d'un quark *up*. Cette propriété fait que les particules observées à l'état libre ont toutes une charge électrique entière ou nulle.

Les particules formées de quarks et d'antiquarks sont appelées [hadrons](#). Elles se répartissent en deux classes :

- les [baryons](#), formés de trois quarks, comme les neutrons (*n*) ou les protons (*p*),
- les [mésons](#), formés d'un quark et d'un antiquark.

Les leptons

Article détaillé : [Lepton](#).

Les autres particules élémentaires formant la matière sont les leptons. Il y a aussi six sortes, ou **saveurs** de leptons, dont trois ont une charge électrique négative et trois sont neutres. Mais, à la différence des quarks, un lepton peut se retrouver seul. On ne sait pas en 2007 si des liens fondamentaux relient les 6 saveurs de leptons et celles de quarks.

Le lepton le plus connu est l'électron (*e*). Les deux autres leptons chargés sont le [muon](#) (μ) et le [tau](#) (τ). Ils sont beaucoup plus massifs que l'électron. Les trois leptons sans charge électrique sont les [neutrinos](#) (*v*). Il y a une saveur de neutrino associée à chacun des leptons chargés : un neutrino électronique (v_e), un neutrino muonique (v_μ) et un neutrino tauonique (v_τ).

L'existence du neutrino électronique fut prédite par [Wolfgang Pauli](#) en 1932, mais ce n'est qu'en 1956 qu'il fut découvert. Entre temps, le muon fut observé (en 1936) dans les réactions entre l'atmosphère et les [rayons cosmiques](#). Rien ne laissait présager son existence, à ce point qu'[Isidor Isaac Rabi](#), un physicien des particules, accueillit la nouvelle en demandant : « *Mais qui a commandé*

ce truc-là ? ». La surprise fit place à une recherche plus approfondie qui allait mener à la découverte des autres leptons.

Les neutrinos ont été très difficiles à voir car ils n'interagissent presque pas avec la matière. Il faut construire des observatoires souterrains, loin de toute perturbation, pour pouvoir détecter quelques neutrinos par jour. Pourtant, le Soleil émet une énorme quantité de neutrinos. Des milliards de neutrinos solaires traversent votre corps à chaque seconde !

Les trois familles de particules élémentaires

Toutes les particules élémentaires que nous avons vues jusqu'à maintenant sont appelées [fermions](#). Les chercheurs ont réalisé que les fermions élémentaires pouvaient être classés en trois familles. Chaque famille contient deux quarks, un lepton chargé et son neutrino. D'une famille à l'autre, les propriétés des particules sont semblables, à l'exception de leur masse. Ces masses sont de plus en plus élevées de la première à la troisième famille.

La première famille contient les particules les plus stables et les plus courantes : les quarks *up* et *down*, l'électron et le ν_e . Dans la deuxième famille, on trouve les quarks *charm* et *strange* ainsi que le muon et le ν_μ . Les quarks *top* et *bottom*, le tauon et le ν_τ forment la troisième famille.

Absolument tout ce qui existe résulte de l'agencement de ces 12 particules ou de leurs antiparticules.

Les bosons de jauge

Article détaillé : [Boson de jauge](#).

« Comment tiennent-elles ensemble ? » La réponse résulte dans l'interaction des quatre [forces physiques](#) : la [gravité](#), la [force nucléaire forte](#), la [force nucléaire faible](#) et la [force électromagnétique](#). Ces forces agissent sur les fermions élémentaires par l'échange de *bosons de jauge*, l'autre classe de particules élémentaires. On appelle aussi les bosons de jauge des « particules de rayonnement ».

Il y a 12 bosons de jauge dans le modèle standard : le [photon](#), 8 [gluons](#) et 3 bosons faibles. En plus, on prédit l'existence du [graviton](#) qui n'a pas encore été observé. Chaque boson de jauge est associé à une force :

- le photon transmet la force électromagnétique,
- les gluons transmettent la force nucléaire forte,
- les bosons faibles transmettent la force nucléaire faible,
- le rôle du graviton est de transmettre la force gravitationnelle.

Le graviton ne fait pas partie du modèle standard. Son existence est purement théorique et aucune expérience n'a encore démontré sa présence.

Boson de Higgs

Article détaillé : [Boson de Higgs](#).

Le modèle standard prédit l'existence d'une particule très spéciale : le [boson de Higgs](#).

À l'origine, dans le [modèle standard de la physique des particules](#), toutes les particules élémentaires ont une masse nulle, ce qui n'est pas conforme à la réalité. Les scientifiques ont pu établir expérimentalement les masses de plusieurs particules avec de bonnes précisions. Seuls le [photon](#), les [gluons](#) et le [graviton](#) seraient de masse nulle.

Pour corriger le modèle, [Peter Higgs](#) propose, vers la fin des [années 1960](#), d'y ajouter une autre particule : un [boson](#) conférant les masses à toutes les autres particules. L'idée de base est que les particules acquièrent une masse en interagissant avec le [champ de Higgs](#) porté par ce boson de Higgs. Ce mécanisme est maintenant considéré comme une partie essentielle du modèle standard et

l'existence du boson de Higgs est capitale pour les théoriciens — au point qu'elle est parfois surnommée, après le physicien [Leon Lederman](#), « *the God particle* » (« la particule-dieu »).

Le boson de Higgs n'avait encore jamais été détecté. Sa traque depuis le début du XXI^e siècle est l'un des principaux défis actuels de la [physique des particules](#). Le [Large Hadron Collider](#) (LHC) à [Genève](#), en fonction depuis le 10 septembre 2008, fut conçu largement pour pouvoir apporter une réponse sur l'existence du boson de Higgs.

Le 4 juillet 2012, le CERN a annoncé avoir mis au jour grâce au LHC un boson présentant pour la première fois les caractéristiques attendues du Higgs dans un domaine de l'ordre de 125 GeV (correspondant à environ 133 fois la masse du proton) avec 99,9999 % de certitude. La confirmation définitive de cette découverte pourrait encore prendre plusieurs années pour respecter tous les critères généralement admis en physique des particules⁴.

Au-delà du modèle standard

Le [modèle standard](#) est une bonne théorie. Maintes expériences ont validé ses prédictions avec d'incroyables précisions et toutes les particules postulées ont été trouvées. Une théorie, d'après le philosophe [Karl Popper](#), est considérée comme valide tant qu'elle n'a pas été réfutée. Le modèle standard résiste à toutes les réfutations expérimentales.

Cependant, cette théorie n'explique pas tout et plusieurs questions restent sans réponse. Par exemple : Pourquoi y a-t-il exactement 12 fermions et 4 forces ? Comment la gravitation peut-elle être incluse dans le modèle ? Les quarks et les leptons sont-ils réellement fondamentaux ou ont-ils une sous-structure (au-delà des 10⁻¹⁸ mètres) ? Quelles sont les particules qui forment la [matière sombre](#) dans l'Univers ?

Pour répondre à ces questions, les physiciens comptent sur la construction de nouveaux accélérateurs de particules pouvant sonder des énergies de plus en plus grandes (physique dite *Terascale*). Aussi, plusieurs théoriciens rêvent d'une nouvelle et [ultime théorie](#) pouvant unifier tous les phénomènes physiques. Plusieurs voient la solution dans la [théorie des cordes](#) qui stipule que toutes les particules élémentaires sont des modes de vibration d'une corde fondamentale. Cette corde existerait en 10 (1^{re} théorie), 11 (la [théorie M](#)), jusqu'à 26 dimensions (dans 2 des 5 théories pré théorie M).

Notes et références

- ↑ Chaque gluon est par nature porteur d'une des trois couleurs et d'une des trois anticouleurs, ce qui fait 3² = 9 combinaisons possibles, mais, en vertu du [principe de superposition quantique](#), tous ces états sont confondus sur chaque gluon de telle sorte qu'en réalité une infinité de combinaisons est possible, réductible à huit types de gluons indépendants dont la « couleur » résultante est une combinaison complexe de couleurs et anticouleurs.
- ↑ La [charge de couleur](#) n'est pas une valeur numérique, et la couleur « blanche » devrait, en toute rigueur, être représentée par le symbole « 1 » signifiant l'invariance dans le groupe de symétrie considéré.
- ↑ Les valeurs y sont données avec une précision de 1 % pour les masses.
- ↑ http://www.lemonde.fr/sciences/article/2012/07/04/le-boson-de-higgs-decouvert-avec-99-9999-de-certitude_1728737_1650684.html#ens_id=1728221&xtor=RSS-3208 [\[archive\]](#)

Bibliographie

- *Le charme de la physique*, recueil de textes de [Sheldon Glashow](#)
 - M. Crozon, F. Vannucci, *les particules élémentaires*, 1993, PUF, coll.«Que sais-je ?»
 - [Michel Crozon](#), *L'univers des particules*, 1999, Seuil, Points, Science, n° S134
 - M. Jacob, *Le modèle standard en physique des particules*, in pour La Science n° 300, octobre 2002
 - F. Vanucci, *Combien de particules dans un petit pois?*, 2003, Éditions du Pommier
 - F. Vanucci, *Le miroir aux neutrinos*, 2003, Odile Jacob, coll «Sciences», 256 p.
 - Pierre Fayet, *Les «sparticules» existent-elles ?*, Les dossiers de La Recherche, n° 23, mai 2006, pp 72-74
 - Jean Iliopoulos, *Dépasser le modèle standard*, in Pour La Science n° 361 de novembre 2007, pp 90-96
-

Comment l'Europe pourrait sortir de la dépression : la leçon du Cern

Jean-Paul Baquiast et Christophe Jacquemin

<http://www.automatesintelligents.com/>

Dans un ouvrage paru fin avril 2013 - *Le boson et le chapeau mexicain* -, les deux physiciens Gilles Cohen Tannoudji et Michel Spiro présentent une synthèse, aussi complète que possible mais voulant rester à la portée des non-spécialistes, de la «découverte» du boson de Higgs au Cern en 2012.

Le boson est la particule élémentaire prédite par le modèle standard des particules qui manquait encore. Sa découverte, grâce au grand collisionneur de hadrons du Cern (LHC), a été annoncée au monde entier le 4 juillet 2012. Postulé en 1964 par Robert Brout, François Englert et Peter Higgs, le boson explique que le photon – particule qui transmet la force électromagnétique (et la lumière) – n'ait pas de masse, au contraire de celles véhiculant la force faible. Une telle dissymétrie était a priori incompatible avec la symétrie fondamentale, dite «de jauge», sur laquelle est fondé le modèle standard. Le chapeau mexicain, dans le langage des auteurs, est le mécanisme grâce auquel le boson rend compte, en préservant les acquis du modèle standard, de l'origine des masses des particules élémentaires.

Mais le livre de 530 pages, très compact malgré son format de poche, ne se limite pas à relater les tenants et les aboutissants de cette découverte, y compris ses prolongements en cosmologie.

Ceci n'occupe que la seconde partie de l'ouvrage, intitulée *La nécessité du boson*. Deux autres parties sont tout aussi importantes pour faire comprendre la portée de l'événement. La première, *La généalogie du boson*, rappelle la courte mais riche histoire de la physique moderne, née en Europe au XVIII^e siècle et reprise, comme les auteurs tiennent à le souligner, par la révolution dite des Lumières au XVIII^e siècle. Sont ainsi apparues, avec Newton et ses successeurs, les théories de la gravitation, de la thermodynamique et de l'électromagnétisme. Puis sont venues les deux grandes théories de la relativité et de la mécanique quantique. A la fin des années soixante s'est précisée la physique des particules et des interactions fondamentales, avec notamment la théorie quantique des champs.

La troisième partie, *L'héritage du boson*, retiendra tout autant l'attention du lecteur. Elle montre clairement que cette découverte du boson, loin de marquer comme certains l'avaient trop vite dit, la fin de l'histoire de la physique, ouvre au contraire des portes infiniment riches et porteuses de surprises. Ce sera notamment le cas quand il s'agira de mieux comprendre ce que l'on nomme, tant en astrophysique qu'en physique des particules, la matière sombre et les neutrinos.

La conclusion de plus de 40 pages, *Nécessité, Hasard, Emergence, un Grand Récit universaliste*, développe ces perspectives d'une façon qui met en évidence le bilan épistémologique, c'est-à-dire philosophique et sociétal, des révolutions quantiques et relativistes comme de leurs prolongements dans nos représentations de la matière et de l'univers.

Dans une postface inspirée, *Une fugue à trois récits universels*, le philosophe Michel Serres reprend et élargit ces conclusions en montrant comment, grâce notamment au travail accompli par le Cern, une véritable vision du monde, humaniste et scientifique, pourrait se substituer aux guerres économiques et religieuses qui continuent à mettre en danger la planète.

Le Cern et la recherche fondamentale en réseau, un modèle de sortie de crise pour l'Europe

Il faut souligner ici que les deux auteurs, relayés par Michel Serres, esquissent, au-delà de la discussion sur le boson de Higgs, une voie qui permettrait à l'Europe, considérée aujourd'hui comme l'homme malade au sein des grandes puissances mondiales, de retrouver un rôle pilote. En extrapolant un peu à partir de leurs propos, mais sans, espérons-le, les trahir, nous proposons ici d'en retenir ce qui pourrait être une thérapeutique pour l'Europe. Il s'agirait de s'inspirer des méthodes mises au point avec succès au Cern pour promouvoir une véritable nouvelle révolution de la connaissance. Elle reposerait sur l'implication de l'ensemble de la population dans le développement de la recherche scientifique fondamentale.

Celle-ci ne mérite pas les réserves de plus en plus faites, particulièrement en Europe, à l'égard de la science appliquée, présentée parfois non sans raisons, comme principalement au service de la défense ou d'entreprises destructrices de l'environnement. Certes, la recherche fondamentale peut donner naissance à des technologies discutables, mais en elle-même, elle n'implique rien de tel. Il s'agit au contraire de la seule façon par laquelle l'esprit humain peut s'ouvrir à de nouvelles représentations du monde. Sans elle, comme d'ailleurs le montrent bien les auteurs du livre, nous en serions encore aux archaïsmes mythologiques. Ces nouvelles représentations présentent l'avantage de ne pouvoir être définies à l'avance par tel ou tel pouvoir institutionnel. Elles sont donc à la source de l'émergence toujours renouvelée de mondes nouveaux. Favoriser ce processus pourrait être pour l'Europe, comme pour le monde à sa suite, une véritable fontaine de Jouvence.

Mais comment transformer la recherche fondamentale, aujourd'hui encore très élitiste, en comportement sociétal de grande ampleur, impliquant les centaines de millions d'Européens pour qui elle ne signifie actuellement rien de concret ? C'est là que devraient intervenir les procédures qui ont été développées au sein du Cern pour faire coopérer en réseau des milliers de physiciens sur la planète. Gilles Cohen-Tannoudji et Michel Spiro ont eu raison d'insister à cet égard sur l'invention du Web, dont ils rappellent à juste titre qu'elle a été initialisée puis systématiquement appliquée par le Cern.

Une résurrection de ce qu'ils ont appelé la révolution des Lumières pourrait à cet égard reposer en Europe sur le développement systématique de réseaux de formation et de coopération associant des dizaines de millions de citoyens, au service de la recherche fondamentale. Il s'agirait d'abord de mobiliser toutes les compétences disponibles au service de la formation en ligne des jeunes et des moins jeunes, sur le mode des *Massive On line Open Courses (MOOC)*. Parmi ces compétences devraient se trouver, outre celles de scientifiques en activité, celles de tous les chercheurs et techniciens s'étant retirés de la vie active et pouvant ainsi reprendre bénévolement du service.

Parallèlement à la formation, il conviendrait d'encourager, dans le cadre de multiples portails adéquats, les expériences et réalisations de terrains, visant notamment à exploiter les innombrables idées innovantes qui naissent quotidiennement, comme le montre la fréquentation du web, au sein des universités, des entreprises et des collectivités, et qui demeurent sans suites, faute d'accompagnement. .

Mais qui financerait de tels travaux et initiatives ?

Les Etats et collectivités publiques devraient prendre en charge les infrastructures. Mais la plupart des initiatives, répétons-le, pourraient et devraient être bénévoles, tout au moins à leur début. Elles feraient appel aux innombrables compétences inemployées des individus et des groupes, dont ceux-ci seraient heureux de faire profiter la collectivité pour des raisons éthiques. C'est d'ailleurs sur un tel ressort que reposent les initiatives les plus enrichissantes du web, Wikipedia étant la plus souvent citée. Elles trouveraient ensuite, en cas de succès, des soutiens budgétaires adaptés, de plus en plus importants au fur et à mesure que l'Europe sortirait de la dépression.

Nous ne précisons pas ici les détails des solutions envisageables. Elles apparaîtraient d'ailleurs progressivement à l'expérience. L'essentiel serait d'initialiser un mouvement politique dans le sens

indiqué ici, sous le patronage, notamment, des grands scientifiques auxquels a été du le succès de la découverte du boson.

Références

* *Le boson et le chapeau mexicain. Un nouveau grand récit de l'univers*

Gilles Cohen Tannoudji, Michel Spiro. Postface de Michel Serres

Première édition

Collection Folio essais (n° 579), Gallimard Parution : 26-04-2013

* [Le site de Gilles Cohen Tannoudji](#)

* Michel Spiro est directeur de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS et président du Conseil du Cern

Le Big Bang

La Recherche : back to basic - 01/05/2006 par Jacques-Olivier Baruch, Pierre Binetruy
dans mensuel n°397

L'espace, le temps et tout ce que contient l'Univers seraient nés il y a 13,7 milliards d'années. La plupart des cosmologistes acceptent cette idée. Sans parvenir à décrire l'instant zéro.

Le Big Bang a-t-il eu lieu ?

Peut-être. Sans doute. Toute l'ambiguïté de la question provient des deux sens que l'on donne au terme Big Bang. S'il s'agit de la naissance de l'Univers, la réponse est « on ne sait pas », puisque les équations de la physique ne parviennent pas à remonter au temps zéro. Par contre le Big Bang est aussi l'ensemble des modèles qui racontent l'évolution de l'Univers à partir d'un état extrêmement chaud et dense. Ce sont les équations de la relativité générale qui en sont le point de départ. Pourtant, Einstein penchait pour un Univers statique et éternel. C'est ainsi qu'on le concevait au début du XXe siècle, puisqu'on ne connaissait de l'Univers que la Voie lactée, notre Galaxie. Pour que ses équations décrivent un Univers statique, Einstein y ajouta une constante dite cosmologique. Il n'empêche que ces équations permettaient aussi de décrire un Univers en expansion. C'est ce qu'étudièrent indépendamment le Russe Alexandre Friedmann en 1922 et l'abbé belge Georges Lemaître en 1927. L'observation concomitante de la fuite des galaxies par Edwin Hubble à l'observatoire du mont Wilson, en Californie, permit à leurs modèles de s'ancrer dans les observations. Il fallut quand même attendre presque un demi-siècle pour que la majorité des astrophysiciens se rangent à cette idée.

D'où vient le terme Big Bang ?

De l'Anglais Fred Hoyle, le plus farouche opposant à cette théorie. En 1950, lors d'une émission de radio sur la BBC, l'astronome employa dédaigneusement ce qualificatif pour décrire ce qu'on appelait auparavant le « modèle d'évolution dynamique ». Le terme était assez frappant - et grand public - pour qu'il reste gravé dans les mémoires. Pourtant les modèles de Big Bang ne décrivent pas une explosion au sens strict. C'est une expansion de l'espace lui-même à partir d'un état infiniment chaud et dense.

En 1993, la revue américaine *Sky and Telescope* a lancé un appel pour modifier ce nom. Aucune des plus de 13 000 propositions n'a plu au jury composé d'astronomes vulgarisateurs comme Carl Sagan.

De quoi l'Univers est-il né ?

Mystère ! Puisque l'Univers était en expansion, il était beaucoup plus concentré dans le passé. Georges Lemaître proposa même que ce début fût un « atome primitif ». Mais ce n'était que pure spéculation. Les équations ne permettent de remonter dans le temps que jusqu'à 10⁻⁴³ seconde après le Big Bang. Sauf à trouver une théorie qui marie les deux « soeurs ennemies » du XXe siècle que sont la relativité générale et la physique quantique, rien ne peut être décrit avant ce moment, dit temps de Planck. L'Univers possédait alors une température de 10³² kelvins. Sa partie observable actuellement depuis la Terre était réduite à une sphère de 10⁻³⁵ mètre de rayon. Cela ne veut pas dire que l'Univers avait cette taille, mais c'est cet embryon qui, en s'étendant, a donné naissance à ce que nous pouvons observer, soit une sphère de 13,7 années-lumière de rayon.

Qu'y avait-il avant ?

On ne sait pas, car les Anglais Stephen Hawking et Roger Penrose ont montré dans les années 1970 que tout modèle de Big Bang parvenait à une « singularité », un événement indescriptible par la physique actuelle, puisque les équations fourmillent alors de termes infinis dont les physiciens ne savent que faire. Il n'empêche que certains se jouent de cette singularité. On peut par exemple considérer, comme Gabriele Veneziano du Collège de France, qu'à la singularité, la notion d'espace disparaît, mais pas celle de temps. Il y a donc un « avant » Big Bang. Comme tout système physique se décrit à partir de ses conditions initiales, les physiciens se demandent alors si on peut trouver dans les données actuelles des indices sur celles qui régnaient avant la singularité.

Un exemple de cette traversée temporelle du Big Bang est donné par la théorie des cordes, dans laquelle les particules sont modélisées comme des cordes à une dimension. Y apparaît la notion de brane, sorte de surface multidimensionnelle analogue à une membrane sur laquelle s'attachent les extrémités des cordes. La partie perceptible de l'Univers serait une brane à quatre dimensions trois d'espace et une de temps plongées dans un Univers dont les autres dimensions ne sont accessibles qu'à la gravité. Une brane a pu entrer en collision avec une autre, ce qui a donné lieu au Big Bang. On peut décrire l'Univers avant ou après ce Big Bang, mais pas au moment de la collision !

Ce modèle implique qu'il existe des Univers multiples. C'est aussi ce que suggère, avec une approche différente, Andrei Linde. Ce Russe, aujourd'hui professeur à l'université Stanford, pense que l'Univers est né des fluctuations du vide quantique, c'est-à-dire de l'état fondamental de l'Univers, potentiellement très riche. L'une de ces fluctuations aurait donné naissance à une bulle qui serait notre espace-temps, comme d'autres bulles ont pu former d'autres Univers avec des constantes physiques différentes.

Quand a-t-il eu lieu ?

Il y a 13,7 milliards d'années, aux dernières nouvelles. Cette valeur a varié au cours des années et de la précision des observations, car c'est le taux d'expansion de l'Univers et sa variation qui fournissent son âge. Or ce taux, baptisé constante de Hubble et noté H_0 , dépend des vitesses et des distances des galaxies. Leur vitesse est déduite directement du décalage vers le rouge de la lumière qu'elles émettent. C'est l'effet Doppler, qu'on compare souvent au son d'une ambulance qui devient plus grave à mesure qu'elle s'éloigne de nous. La mesure de leur distance est quant à elle indirecte. Les astrophysiciens utilisent des « chandelles cosmiques », des types d'étoiles bien connues et dont la luminosité réelle est partout la même. Il suffit alors de mesurer leur luminosité apparente pour connaître leur distance. C'est le cas d'étoiles variables comme les Céphéides ou des supernovae de type Ia. Quand Edwin Hubble décrit sa loi d'expansion, en 1929, il évalue H_0 à 500 kilomètres par seconde et par mégaparsec*, soit un Univers vieux de moins de deux milliards d'années. L'Univers aurait été plus jeune que la Terre ! Les mesures de distances devenant plus précises, Allan Sandage trouve, en 1956, quatre milliards d'années. Encore trop court. Puis H_0 a oscillé entre 50 et 100 kilomètres par seconde et par mégaparsec. Aujourd'hui H_0 est estimé à 70 kilomètres par seconde et par mégaparsec.

L'âge de l'Univers est aussi très dépendant de la variation du taux d'expansion. Celle-ci dépend du modèle d'Univers, en particulier de son contenu. Car la gravité et donc la densité de matière ralentit l'expansion, alors que des forces répulsives l'accélèrent. C'est pourquoi des efforts importants sont consacrés en ce moment à cet inventaire du contenu de l'Univers.

Où s'est-il produit ?

Nulle part et partout à la fois. Le Big Bang étant une singularité spatio-temporelle, l'Univers devait être infiniment dense. Mais pas forcément localisé en un point. S'il est infini, il devait déjà l'être à cet instant, ou plus exactement au seul temps accessible par la physique, le temps de Planck, 10^{-43} seconde après cet instant initial. Par ailleurs, le Big Bang est la création de l'espace-temps lui-même. Il ne se serait donc produit à aucun endroit.

Jusqu'à quand observe-t-on le passé ?

Un mur est infranchissable aux télescopes, qu'ils soient en orbite terrestre ou au sol. C'est le rayonnement de fond cosmologique CMB émis lorsque l'Univers avait 380 000 ans. Ce flux de photons, aujourd'hui observable dans les micro-ondes, a été émis lorsque la température de l'Univers était de 3 000 kelvins, température maximale pour que les électrons puissent se combiner aux noyaux atomiques et arrêter ainsi d'entraver la marche de la lumière. Auparavant, l'Univers était un plasma ionisé totalement opaque à la lumière.

Ce n'est donc pas par le rayonnement qu'on observera ce qui s'est passé avant 380 000 ans. Il y a deux espoirs. La soupe primordiale contenait, outre les photons, tous les types de particules élémentaires, en particulier des neutrinos. Comme ceux-ci interagissent très faiblement avec la matière, l'Univers leur était quasi transparent et certains d'entre eux, émis environ une seconde après le Big Bang, seraient parvenus jusqu'à nous. Il y en aurait environ 300 par centimètre cube, mais très peu énergétiques. Parce qu'ils

interagissent encore plus faiblement avec la matière que leurs congénères actuels, personne ne sait encore comment détecter ces neutrinos primordiaux.

Il se peut aussi qu'on détecte un jour les ondes gravitationnelles, sortes de rides de l'espace-temps, qui auraient été émises 10-35 seconde après le Big Bang. Mais elles doivent être de très faible amplitude. Aucun instrument actuel ni envisagé n'est capable de les détecter.

C'est dans les accélérateurs de particules qu'on parvient à éviter le piège du CMB, car on y recrée presque les conditions qui régnaient jusqu'à une microseconde après le Big Bang. L'Univers était alors rempli d'un plasma de quarks et de gluons qu'on pense avoir observé au CERN, à Genève, et au RHIC, près de New York.

Y a-t-il plusieurs modèles de Big Bang ?

Il y a presque autant de modèles que de cosmologistes. Avant les années 1990, tout était ouvert car chacun diffère de l'autre par le contenu de l'Univers qu'il prend en compte. Avec peu de densité de matière, l'Univers s'étendrait sans fin. Avec une densité plus grande que celle dite critique, la gravitation prendrait un jour le pas sur l'expansion. L'Univers se recontracterait jusqu'à s'effondrer en un Big Crunch. Ces propositions sont aujourd'hui abandonnées. Les analyses du fond diffus cosmologique, observé par le satellite américain Cobe en 1992, et précisé par WMAP en 2003, montrent que la densité est voisine, sinon égale, à la densité critique. L'Univers s'étendrait alors infiniment tout en ralentissant progressivement son expansion, selon les modèles dits d'Einstein-de Sitter. Depuis 1998, les observations de supernovae lointaines de type Ia montrent que l'expansion, loin de décélérer, accélère. Les nouveaux modèles ont dû intégrer cette donnée, imputant la cause à une mystérieuse énergie noire. Celle-ci peut être une nouvelle composante dynamique ou simplement l'énergie du vide, ce qui rétablirait une sorte de constante cosmologique d'Einstein dans les équations. Ce qu'avaient fait en un sens Alexandre Friedmann et Georges Lemaître dans les années 1920.

Avec quels outils parvient-on à décrire l'évolution de l'Univers ?

La première époque sur la description de laquelle les cosmologues s'accordent est celle de l'inflation, un phénomène étonnant introduit en 1980 par Alan Guth, aujourd'hui professeur au Massachusetts Institute of Technology. À 10-35 seconde, on suppose que l'Univers est dans un état tel que l'énergie du vide quantique domine, sans qu'on sache vraiment pourquoi. Ce vide a un effet répulsif foudroyant sur l'Univers, dont la taille est brusquement multipliée par 1050. Toute courbure étant ainsi étirée, l'Univers devient extrêmement plat, une caractéristique confirmée par les observations du fond diffus cosmologique. Il devient, de plus, vide et froid. S'ensuit une période dite de réchauffement pendant laquelle se créent des particules chaudes. C'est une sorte de re-crédation de l'Univers. Heureusement, car sinon nous ne serions pas là pour le penser. Les étapes ultérieures de l'expansion et du refroidissement de l'Univers voir la chronologie du Big Bang sont modélisées par la physique des particules, puis nucléaire, aidée par les expériences en accélérateurs. Elles décrivent les réactions entre particules et antiparticules, en constante création et annihilation, la formation des protons et des neutrons, celle des noyaux des éléments légers, jusqu'à celle des atomes et la libération de la lumière 380 000 ans après le Big Bang. C'est alors la cosmologie observationnelle, puis la physique stellaire et galactique qui prennent le relais pour décrire la formation des grandes structures de l'Univers, des étoiles et des galaxies.

A-t-on des indices de sa réalité ?

Non, en ce qui concerne la singularité initiale. Mais oui, pour les modèles. Trois observations sont primordiales et sont considérées comme les piliers de l'édifice Big Bang. Tout d'abord l'expansion de l'Univers fut un élément déterminant pour que les modèles de Friedmann et de Lemaître soient pris en compte. Si les galaxies s'écartaient comme à la surface d'un ballon, elles devaient être plus proches dans le passé. L'Univers devait donc être plus dense et plus chaud. C'est ainsi que Lemaître imagina son modèle de l'atome primitif quand toutes les galaxies étaient réunies en un point.

La deuxième observation est le rayonnement de fond cosmologique émis 380 000 ans après le Big Bang. L'Univers se refroidissant à 3 000 kelvins, les photons n'avaient plus assez d'énergie pour arracher les électrons. Les atomes se formèrent, la lumière traversa sans encombre de grandes distances, jusqu'à parvenir

à nos détecteurs aujourd'hui. Ce bain de photons, aujourd'hui à 2,73 kelvins, avait été prédit par Ralph Alpher et Robert Herman en 1949, mais ce n'est qu'en 1965 que Arno Penzias et Robert Wilson, des laboratoires Bell, l'ont détecté en réglant leur antenne radio. Le fait qu'il soit homogène et isotrope sur de très grandes distances prouve sa nature cosmologique. Des fluctuations très faibles de l'ordre de 1/100 000 fournissent de précieuses informations sur la dynamique de l'Univers avant 380 000 ans.

La troisième « preuve » est la proportion d'éléments légers que l'on trouve dans l'Univers. George Gamow et Ralph Alpher montrèrent en 1948 que l'hydrogène et la majeure partie de l'hélium ont été créés lors de la nucléosynthèse primordiale, quelques secondes après le Big Bang. Les calculs qui ont suivi ont affiné la proposition. Ils arrivent à décrire les proportions observées de deutérium un proton, un neutron, d'hélium-3 et -4 deux protons, un ou deux neutrons et, dans une moindre mesure, de lithium-7 trois protons, quatre neutrons.

Par où ces modèles pêchent-ils ?

Des fluctuations du même type que celles qui apparaissent dans le fond cosmologique doivent être à l'origine de la formation des galaxies et des amas. Les simulations numériques permettent de reproduire assez finement cette formation en tenant compte de la présence de la matière noire, mais ce n'est pas le cas aux petites échelles où une meilleure compréhension est nécessaire. Un deuxième problème a longtemps été le fait que l'âge des plus vieilles étoiles semblait supérieur à celui de l'Univers. Par exemple, l'âge de l'étoile CS 22892, dont on a mesuré le contenu en thorium, était évalué à 15,2 milliards d'années, alors que l'Univers ne devait alors en avoir que 12. La détermination plus précise de la constante de Hubble et un affinement de la physique stellaire ont réglé la question.

Mais le plus gros hiatus est très récent : 95 % du contenu de l'Univers nous est inconnu ! Les données du fond diffus cosmologique et l'observation de l'accélération de l'Univers indiquent que 73 % de l'énergie de l'Univers est sous la forme d'une énergie noire, de nature énigmatique, mais que certains comparent à l'énergie du vide. Avec 23 % de matière noire, elle aussi de nature inconnue, il ne reste que 4 % de matière ordinaire, celle qui constitue les étoiles et toute la matière observable. C'est peu pour un modèle qui a la prétention de décrire l'Univers dans son ensemble et son évolution. Même si ces composantes noires existent réellement, des questions se posent quant à l'Univers primordial. Par exemple, l'inflation a-t-elle réellement eu lieu ou est-ce une idée *ad hoc*, comme elle fut qualifiée en 1980 quand Alan Guth l'a proposée ? Il faut dire que les conditions initiales nécessaires à la survenue d'un tel événement sont très peu naturelles.

Y a-t-il des modèles concurrents ?

Il y en a eu. Tout d'abord Einstein lui-même arrangea ses équations pour qu'elles décrivent un Univers statique et éternel. L'observation de la fuite des galaxies lui donna tort. Mais l'idée d'un Univers surgi de nulle part sinon de l'énergie le « et la lumière fut » de la Bible dérangerait plus d'un astrophysicien athée. Le modèle concurrent le plus célèbre est le modèle stationnaire que les Anglais Fred Hoyle, Thomas Gold et Hermann Bondy publièrent en 1948. Ils soutenaient que l'expansion observée se produisait à densité de matière constante. Il n'y avait pas eu de phase chaude, pas de Big Bang, mais création continue de matière. Le modèle perdit nombre de ses partisans après la découverte du fond diffus cosmologique qu'il n'arrivait pas à expliquer. Il en reste toujours : l'Indien Jayant Narlikar, le Français Jean-Claude Pecker ou l'Américain Halton Arp. Même s'ils défendent une variante du modèle stationnaire, leur démarche vise plus à questionner les scientifiques, afin de déboulonner le dogme qu'est devenu le modèle du Big Bang.

Dans les années 1970, les Suédois Hannes Alfvén, David Bohm et Oskar Klein imaginèrent le modèle de l'Univers-plasma. L'Univers serait né de l'énergie d'annihilation de la matière et l'antimatière dans un nuage en contraction. La force électromagnétique y remplace la gravitation dans la formation des grandes structures de l'Univers.

Depuis 2001 a émergé le modèle ekpyrotique. Ses plus ardents défenseurs sont l'Américain Paul Steinhardt, de Princeton, et Neil Turok, de l'université de Cambridge, en Angleterre. Ils imaginent que l'Univers est branaire et multidimensionnel. La phase d'inflation y est remplacée par la collision de deux Univers, un phénomène qui doit être cyclique.

Par Jacques-Olivier Baruch, Pierre Binétruy

À la recherche de la matière noire

Éric Armengaud, propos recueillis par Guillaume Jacquemont.

L'auteur

Éric Armengaud, physicien au CEA, au service de physique des particules de l'IRFU, travaille sur l'expérience edelweiss (expérience pour Détecter Les WImps En Site Souterrain).

ENTRETIEN - ASTROPHYSIQUE

Les observations cosmologiques sont formelles : il manque de la masse dans l'Univers. 83 pour cent de la matière serait ainsi constituée d'une mystérieuse « matière noire », que les physiciens traquent dans des laboratoires souterrains, comme nous le raconte Éric Armengaud.

La masse manquante ne serait-elle pas de la matière ordinaire hors de portée de nos moyens de détection ?

E. Armengaud : Jusqu'au début des années 1970, on ne savait effectivement pas détecter toute la matière ordinaire des amas de galaxies – par « ordinaire », on entend constituée d'électrons et de noyaux, eux-mêmes formés de protons et de neutrons. L'essentiel de celle-ci vient d'un gaz chaud, qui n'émet pas dans le visible, et il a fallu attendre l'avènement de l'astronomie X pour qu'on le découvre.

Toutefois, la nouvelle quantité de matière obtenue était toujours insuffisante pour expliquer les effets gravitationnels observés. De plus, un faisceau d'observations cosmologiques, comme les mesures du rayonnement fossile et des abondances des éléments légers, ont permis de déterminer à la fois la densité de matière ordinaire de l'Univers et la densité totale de matière, laquelle s'est révélée six fois plus élevée. Il doit donc exister une matière différente, réellement exotique.

L'expérience edelweiss traque la matière noire « exotique ». Comment détecte-t-on une matière dont on ignore tout ?

E. Armengaud : Il est bien sûr nécessaire de définir ce que nous cherchons. La matière noire doit représenter une grande masse, et elle doit interagir faiblement avec la matière ordinaire, sans quoi nous l'aurions déjà détectée. Nous l'imaginons comme un gaz froid de particules, immobile dans notre Galaxie, et qui nous traverse en permanence. La plupart des expériences recherchent des particules lourdes, appelées wimps (Weakly Interactive Massive Particles).

Plusieurs modèles décrivent de telles particules. Le plus en vogue découle d'une extension du modèle standard, fondée sur le concept de supersymétrie : celui-ci associe à chaque particule un partenaire de spin différent. Moyennant certaines conditions, l'un de ces partenaires supersymétriques, le neutralino, est un bon candidat : cette particule serait stable, de masse élevée (plusieurs centaines de fois celle du proton) et interagirait faiblement.

Tous les modèles prédisent des intervalles de masse et de taux d'interaction, les valeurs exactes dépendant de paramètres libres. Aux expérimentateurs d'explorer ces domaines ! Notons que dans certains cas, les taux d'interactions prédits sont si faibles que, si la nature a choisi cette voie, nous ne pourrions jamais détecter les particules correspondantes.

Il ne faut donc pas imaginer edelweiss comme un œil enregistrant tout ce qui l'entoure en espérant y voir

un élément inconnu. Au contraire, notre recherche est très ciblée : nous explorons un certain domaine de masse, entre 10^{10} électronvolts et quelques téraélectronvolts (10^{12} électronvolts), et un certain taux d'interaction avec la matière. On caractérise ce dernier par une probabilité que la particule a d'interagir avec une cible, ou section efficace, exprimée en picobarns.

Les autres particules ne brouillent-elles pas le signal ?

E. Armengaud : S'isoler du bruit de fond est en effet un défi majeur. Pour cela, nous avons mis en place des protections passives. La première est de taille, puisqu'il s'agit d'une montagne : edelweiss se situe dans le laboratoire souterrain de Modane, au milieu du tunnel du Fréjus entre la France et l'Italie, sous 1 700 mètres de roche, qui arrête une grande partie du rayonnement cosmique. Il faut ensuite se protéger de la radioactivité ambiante. Notre expérience est une sorte de poupée russe, avec le capteur, un cristal, au centre, et des blindages de différentes natures.

Malgré tout, un certain nombre de particules parasites franchissent nos barrières, et nous devons les distinguer de la matière noire. Par chance, les wimps interagiraient avec le cristal d'une manière bien particulière : elles provoqueraient un déplacement des noyaux, tandis que les autres particules – à l'exception des neutrons, que nous éliminons par des dispositifs spécifiques – interagissent avec les électrons.

Pour discriminer ces deux types d'interaction, nous utilisons une double mesure lors du passage d'une particule : l'ionisation du cristal et l'élévation de sa température. Le rapport de ces deux mesures est différent dans le cas d'un recul électronique et dans celui d'un recul nucléaire. Précisons que l'échauffement, très faible (de l'ordre du millionième de degré), n'est mesurable qu'à condition de se placer à très basse température ; nous refroidissons ainsi le cristal à deux centièmes de degré au-dessus du zéro absolu !

Et les neutrinos ?

E. Armengaud : Ceux qui provoquent un recul électronique, et non un recul nucléaire, ne nous dérangent pas. Seuls les neutrinos solaires d'une énergie de quelques mégaélectronvolts (10^6 électronvolts) interagiraient comme les wimps, en générant un recul comparable, mais leur flux est si faible que le nombre d'interactions prédites est nul pour les détecteurs actuels.

Quelles autres expériences recherchent la matière noire ?

E. Armengaud : Certaines expériences traquent des wimps avec des détecteurs de type edelweiss. La plus performante actuellement est américaine et se nomme cdms. Une deuxième grande famille utilise des détecteurs à gaz noble liquéfié (comme le xénon), dans lesquels les particules provoquent un flash de lumière.

Quelques expériences recherchent de la matière noire sous d'autres formes que les wimps. Par exemple, certaines visent des particules légères, nommées axions, que l'on doit supposer en très grand nombre pour expliquer la masse manquante.

Avez-vous eu des résultats ?

E. Armengaud : Pour l'instant, les résultats sont sous forme négative : nous avons exclu des sections efficaces de l'ordre de 10^{-6} picobarn, et cdms et les détecteurs au xénon ont atteint 10^{-7} picobarn. Les hypothétiques particules de matière noire ont donc un taux d'interaction plus faible que ces valeurs.

À court terme, peut-être d'ici un an ou deux, on espère atteindre une sensibilité de 10^{-8} , voire 10^{-9} picobarn. On aura ainsi balayé une fraction importante des domaines prédits par la supersymétrie. Si de nouveaux indices, recueillis par exemple au lhc, suggèrent une valeur de 10^{-10} , il faudra des détecteurs plus grands : leur masse devra aller jusqu'à une tonne, contre dix kilogrammes pour ceux d'edelweiss. Au-delà, nous aurons atteint nos limites.

Par ailleurs, une expérience italienne, nommée *dama*, a observé que l'ensemble des interactions sur son détecteur variait en fonction de la saison. C'est ce qu'on attendrait de la part des *wimps*, en raison de l'évolution de la vitesse de la Terre autour du Soleil, donc par rapport à la Galaxie, et donc par rapport au gaz de *wimps*. Ces résultats suscitent toutefois de fortes interrogations. Les variations ne sont-elles pas dues à la radioactivité résiduelle ? De plus, *dama* a annoncé des valeurs de section efficace quasi exclues par les autres expériences.

Vous avez évoqué le *lhc*. En attendez-vous quelque chose ?

E. Armengaud : Nous en attendons beaucoup ! Les instruments du *lhc* ne pourront pas détecter directement des *wimps*, car ils ne sont pas conçus pour des taux d'interaction aussi faibles, mais l'échelle d'énergie de cet accélérateur correspond à la masse supposée des particules que l'on recherche. Il sera alors utile de deux façons : d'une part, des déficits d'énergie dans les collisions révéleront peut-être la présence de *wimps*, et, d'autre part, les théories que nous voulons tester, notamment la supersymétrie, prédisent beaucoup d'autres particules qui, elles, seront détectables. Le *lhc* devrait donc nous aider à nous orienter dans toute la zoologie de modèles de matière noire.

L'existence de la matière noire est déduite d'observations indirectes. Celles-ci auraient-elles d'autres explications ?

E. Armengaud : Des théories alternatives existent et suscitent un regain d'intérêt depuis la découverte de l'énergie sombre, selon un raisonnement du type : « D'abord la matière noire, ensuite une mystérieuse énergie sombre encore plus abondante : au fond nous n'avons rien compris et il faut tout reprendre à la base ! »

Le modèle dit « *mond* », fondé sur une extension des équations newtonniennes de la gravitation, explique ainsi les phénomènes observés à l'échelle des galaxies. Toutefois, il ne fonctionne pas aussi bien aux échelles supérieures. L'hypothèse de la matière noire, elle, s'applique à toutes les échelles, et présente l'avantage de ne pas remettre en cause les lois de la gravitation telles qu'on les connaît.

Propos recueillis par Guillaume Jacquemont.

Sur la piste de l'énergie noire

LA RECHERCHE dossier - 01/07/2008 dans mensuel n°422

Les cosmologistes relient l'énergie noire à l'accélération de l'Univers par le biais d'une « équation d'état ». Cette équation décrit le rapport entre la pression et la densité d'énergie énergie par unité de volume de cette composante, sans hypothèse sur sa nature. Pour accélérer l'Univers, la pression doit être négative. Quels sont les candidats qui répondent à ce critère ? Parmi les nombreuses thèses, les cinq présentées ici illustrent les différentes voies de recherche explorées.

La constante cosmologique

Introduite dans les équations de la relativité générale par Einstein en 1917, la constante cosmologique a connu de nombreux rebondissements, enlevée puis remise à maintes reprises. Aujourd'hui, on pense qu'elle correspond à un type de matière très particulier : un fluide homogène doté d'une densité d'énergie constante au cours du temps et d'une pression négative. Le rapport entre pression et densité étant égal à -1 , si ce fluide domine l'Univers, il a bien pour effet d'en accélérer l'expansion. Les physiciens l'ont assimilé à l'énergie du vide, mais les prédictions de la mécanique quantique aboutissent à une valeur bien trop grande, entre 1060 et 10120 fois celle déduite des observations cosmologiques. Malgré cela, elle reste l'hypothèse la plus proche des observations.

La quintessence

depuis 1998, les théories fondées sur l'introduction d'un nouveau type de matière dont la densité d'énergie évolue au cours du temps se sont multipliées. La quintessence est la plus simple de ces matières. Elle n'interagit pas avec les particules ordinaires mais elle joue sur la dynamique de l'Univers *via* la gravitation. Sa pression est suffisamment négative pour expliquer l'accélération. Contrairement à la matière ordinaire qui forme les grandes structures sous l'action de la gravité, la quintessence ne s'effondre pas pour former des grumeaux, elle reste diffuse avec d'infimes fluctuations. Très en vogue il y a quelques années, cette hypothèse est un peu délaissée en raison des nombreux problèmes qu'elle pose.

La relativité générale modifiée

cette voie revient à mettre en jeu une nouvelle matière dont non seulement la densité d'énergie varie au cours du temps mais qui est aussi responsable d'interactions à longue portée avec d'autres particules, modifiant la gravitation. Autrement dit, elle crée une cinquième force, négligeable à l'échelle du système solaire, mais qui affecte l'Univers aux échelles cosmologiques. Selon les interactions considérées avec les autres particules, se déclinent différentes théories dites des « tenseurs scalaires ». Une voie extrêmement prolifique, mais aucune observation actuelle ne permet de discriminer l'une ou l'autre de ces théories.

Les axions

dans ce modèle, il n'y a plus d'accélération de l'expansion de l'Univers. Les nouvelles particules considérées, les axions, ont une densité d'énergie négligeable par rapport à la matière ordinaire : elles n'accélèrent donc pas l'expansion de l'Univers. Mais on suppose qu'une partie des photons peut se transformer en axions. Le télescope qui ne détecte que les photons sous-estime alors la luminosité de l'objet qu'il observe ; ce qui revient à le situer plus loin qu'il n'est en réalité. Interprété comme une accélération de l'expansion, ce décalage est seulement dû au biais sur l'étalon de luminosité induit par le nouveau phénomène. Les axions ont connu un fort succès il y a sept ou huit ans, mais ils sont rejetés aujourd'hui.

Les modèles inhomogènes

Cette approche résout la question de l'accélération de l'expansion en... la supprimant : cette accélération ne serait liée qu'à une mauvaise interprétation des données due à une hypothèse erronée sur la géométrie de l'Univers. Dans l'Univers, la matière ne serait pas distribuée de manière homogène, ni isotrope identique dans toutes les directions, comme le stipule le principe cosmologique. Remettre en question ce principe fondamental n'est pas une idée nouvelle. Elle date des années 1970, mais revient sur le devant de la scène et force à considérer des modèles d'Univers plus complexes. Dans cette vision, nul besoin de densité d'énergie supplémentaire, donc pas d'énergie noire.