

Semaine thématique Sciences Académie

« Connexions : quand les sciences créent des liens »

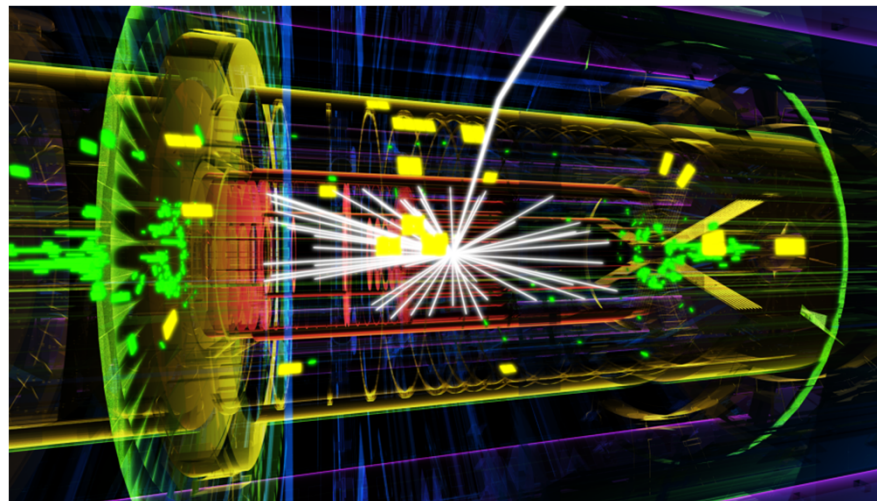
LAL, 17 juillet 2014

Nicolas Arnaud (narnaud@lal.in2p3.fr)

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (CNRS/IN2P3)



[@LALOrsay](https://twitter.com/LALOrsay)



Comprendre le monde,
construire l'avenir®

Plan

- Qui suis-je ?
- Présentation du **L**aboratoire de l'**A**ccélérateur **L**inéaire
- Un exemple de **connexion scientifique** :
les liens entre « l'infiniment petit » et « l'infiniment grand »
- Le **CERN** comme symbole de « **connexions entre individus** »
dans un but commun : **le progrès scientifique**
- **L'offre pédagogique** du **LAL** et du **CNRS/IN2P3**
pour **vous** (**élèves** et **futurs étudiants**), vos **enseignants** et le **grand public**

Commençons par les présentations !

Qui suis-je ?

- 39 ans (déjà)
- 1992 : bac C (mention AB) au lycée H. Boucher (Paris 20^e)
- 1992-1995 : Classes préparatoires au lycée M. Berthelot (St Maur, Val de Marne)
 - Spéciale « M' » (aujourd'hui « MP* » je crois) ; 3/2 puis 5/2
- 1995-1999 : formation d'ingénieur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
 - Stage long d'un an (1997-1998) déjà au LAL : le début d'une longue histoire ...
 - 1998-1999 : DEA (« Master 2 ») en physique théorique
- 1999-2002 : thèse de physique, toujours au LAL
 - Projet Virgo situé à Pise en Italie : recherche directe des ondes gravitationnelles
 - Sur liste complémentaire du concours CNRS 2002
- 2002-2003 : post-doc au CERN dans l'expérience LHCb
- 2003 : reçu 1^{er} au concours d'entrée au CNRS
 - Affectation au LAL (!) dans l'expérience BaBar de physique des particules
- 2003 – aujourd'hui : physicien au LAL (BaBar, SuperB, Virgo à nouveau)
 - 2005-2008 : séjour au SLAC près de San Francisco (Californie)

Le Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire

Présentation générale

- Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL) : <http://www.lal.in2p3.fr>
 [@LALOrsay](https://twitter.com/LALOrsay)
- Situé sur le campus de l'Université Paris Sud entre Orsay et Bures sur Yvette
- Fondé en 1956 par une équipe issue de l'École Normale Supérieure
- **Nom historique** : le grand accélérateur linéaire a cessé ses activités fin 2003.
Des accélérateurs plus petits sont en fonctionnement ou en construction : PHIL,
ThomX



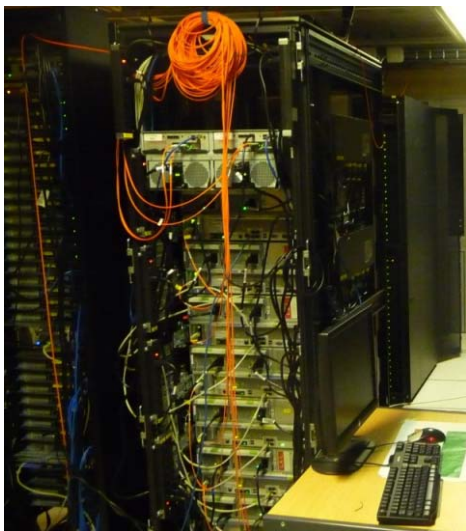
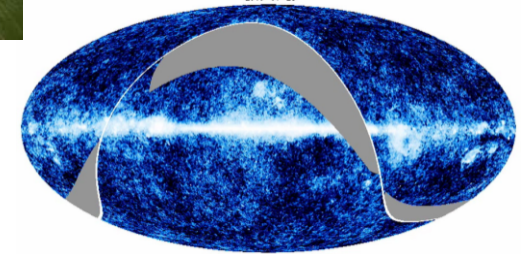
Présentation générale

- Le LAL est une **unité mixte** de **l'IN2P3/CNRS** et de **l'Université Paris Sud**
- **CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique
→ Un **organisme public de recherche** : 32 000 personnes, budget de 3,4 milliards d'€
- **IN2P3** : Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules
→ Un des dix instituts [structures regroupant plusieurs disciplines proches] du CNRS
→ L'un des deux instituts nationaux ; créé en 1971
- **Unité mixte** : le LAL rassemble des **chercheurs CNRS** et des **enseignants-chercheurs** qui dépendent de l'Université Paris Sud et enseignent sur le campus



Présentation générale

- Le plus grand laboratoire de l'IN2P3/CNRS consacré à la **physique des particules** et à la **cosmologie** :
 - ~120 chercheurs (70% / 30%) répartis en une douzaine de groupes
 - ~190 ingénieurs et techniciens
 - Budget annuel hors salaires : 9 millions d'€
- Implication dans des **expériences sur plusieurs continents** : Europe, Etats-Unis, Argentine, Japon et même... dans l'espace
- **Des services techniques**, un **département accélérateur**



Le LAL en chiffres

Laboratoire fondé en 1956

49 Chercheurs CNRS
11 Enseignants-Chercheurs
124 Chercheurs
32 Thésards
20 Post-doctorants
12 Chercheurs émérites

Personnel

57 Ingénieurs de Recherche
26 Ingénieurs d'Études
65 Techniciens
35 Assistants Ingénieurs
43 CDD
350 Agents
200 Formations suivies par an
226 ITA

18 000 m² de surface au total,
7 000 m² de halls, ateliers et salles blanches,
3 plateformes technologiques

Auditorium de 250 places Photoinjecteur à 6 MeV

3 000 Factures
traitées par an

Moyens Budget annuel 7,5 M€

Chiffre d'affaire magasins : 240 k€ Soutien de base du CNRS 1,5 M€
Marchés industriels 15 M€

2 700 processeurs informatiques, 600 TB de stockage

Une bibliothèque riche de 12 500 titres : 7 000 livres,
3 500 rapports, 2 000 thèses

50 Séminaires organisés

160 Publications
160 Interventions en conférence

Une année de recherche au LAL

2 000 Missions en France et à l'étranger

10 Thèses et 2 HDR

5 Conférences, écoles ou journées thématiques

1 Département Accélérateur

14 Groupes de physique

1 Pôle interlaboratoires
de microélectronique

Organisation

30 Projets scientifiques

1 Service administratif

5 Services techniques

200 Scolaires et visiteurs accueillis

Sciences ACO

70 Stages de Licence et Master par an

Transmission du savoir

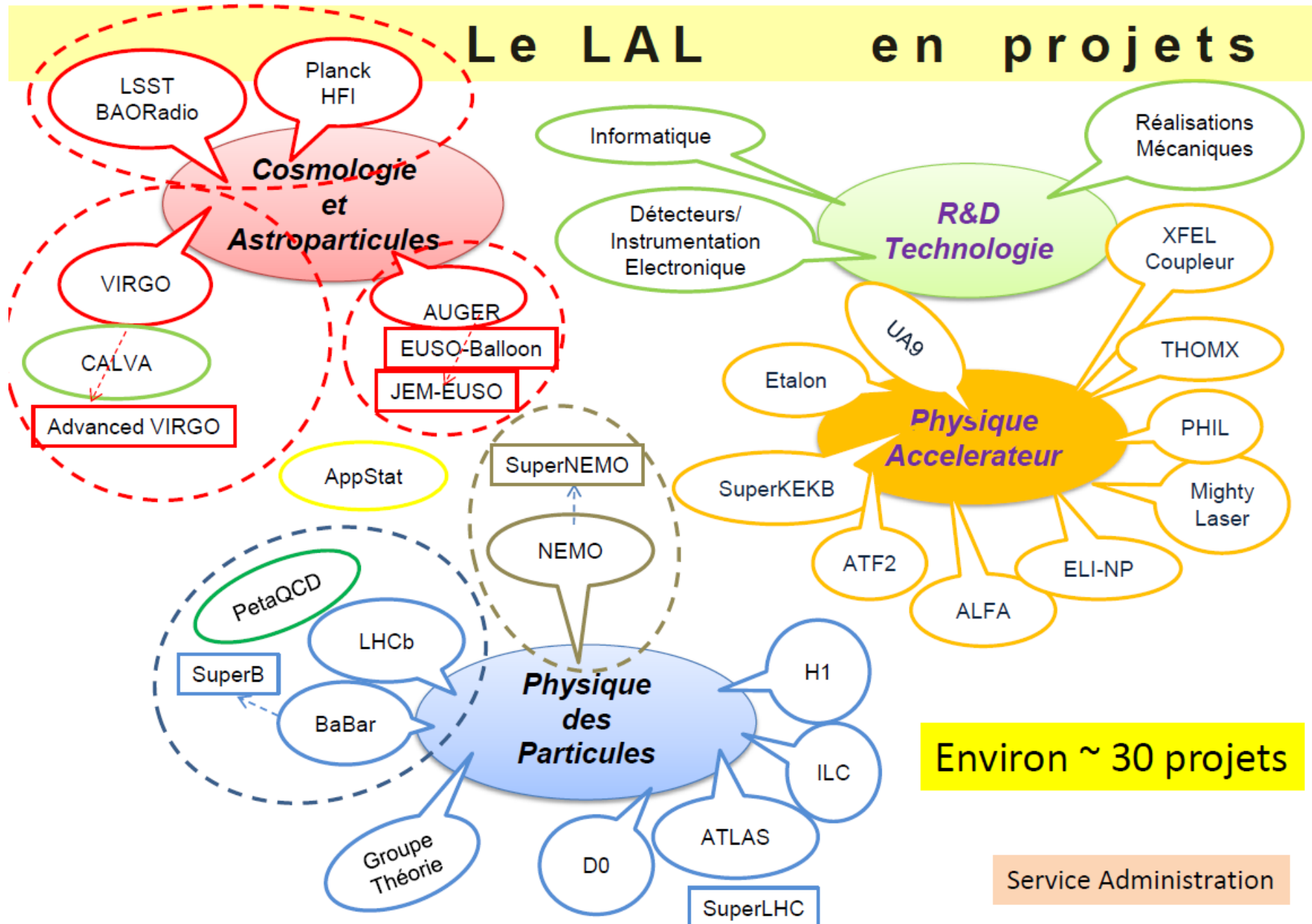
1 Salle dédiée à l'enseignement informatique

40 Agents impliqués dans l'enseignement

Revue Élémentaire - Passeport pour les deux infinis

Salle de Musée

Les projets au LAL



Liens entre « l'infiniment petit »
et « l'infiniment grand »

« Infiniment petit » / « Infiniment grand »

- Deux abus de langage
 - L'infini (∞) est une limite mathématique inatteignable
 - Mais les questions physiques associées sont pertinentes
 - Y-a-t-il une plus petite brique élémentaire de matière ?
 - Quelle est la taille de l'Univers ?
 - Et je ne connais pas de manière plus concise de désigner ces deux concepts ...
- Ces expressions sont bien commodes et utilisées par tous – moi le premier !
- L'important est de savoir leur donner un sens scientifique – et sans aller au-delà
- **Infiniment petit**
 - Les particules élémentaires de la matière : électrons, quarks, etc.
 - Les interactions fondamentales qui agissent sur elles
 - **Infiniment grand**
 - L'histoire, l'évolution et la composition de l'Univers

L'infiniment petit en ... un transparent

- **12 particules élémentaires** : à la base de tout l'Univers connu

- Réparties en **3 familles** ayant la même structure : 2 quarks, 1 lepton chargé, 1 neutrino

- **3+1 interactions fondamentales**

- **2 de portée (vraiment) infinie**

- **Force électromagnétique**

- **Gravitation**

- **Aucun rôle pour l'infiniment petit**

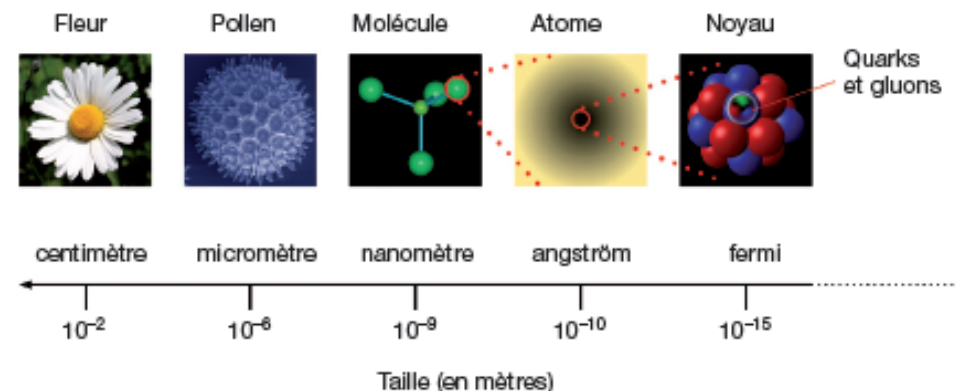
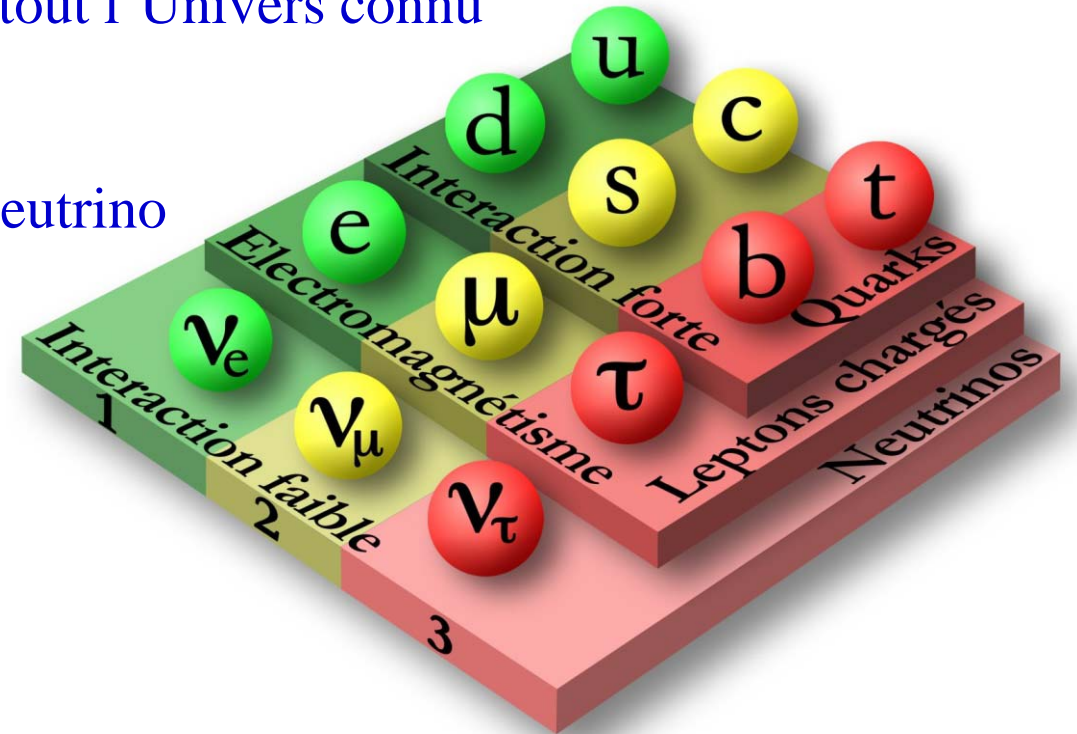
- **Dominante pour l'infiniment grand**

- **2 à très courte portée**

- Et donc **inexistantes à notre échelle !**

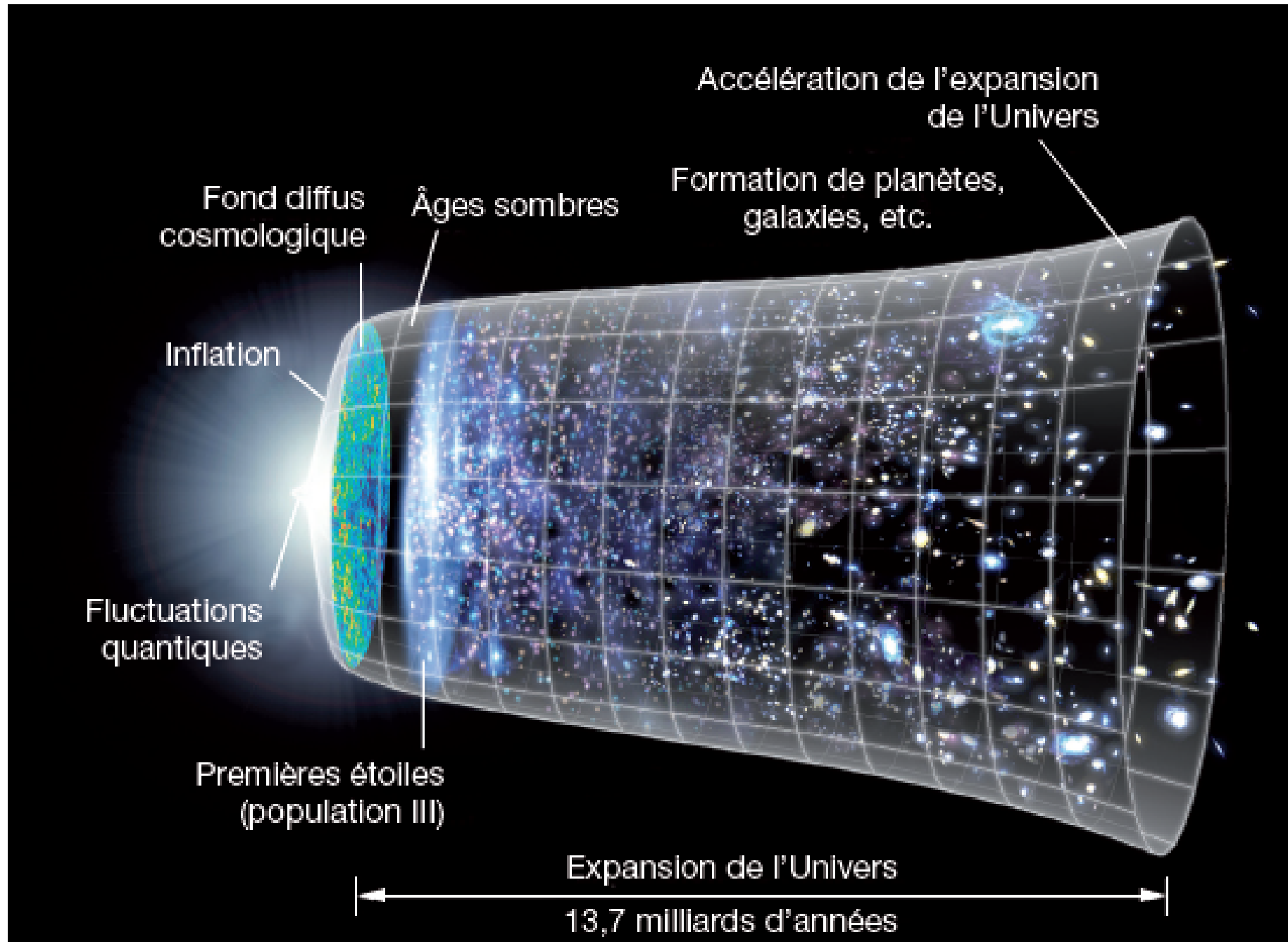
- **L'interaction forte**

- **L'interaction faible**



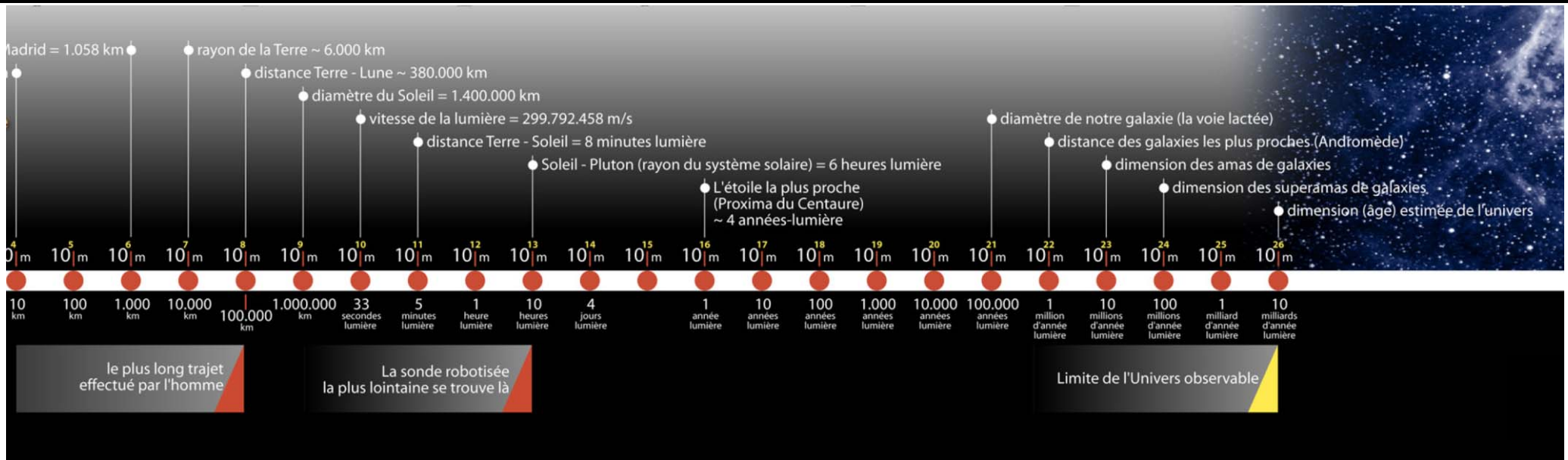
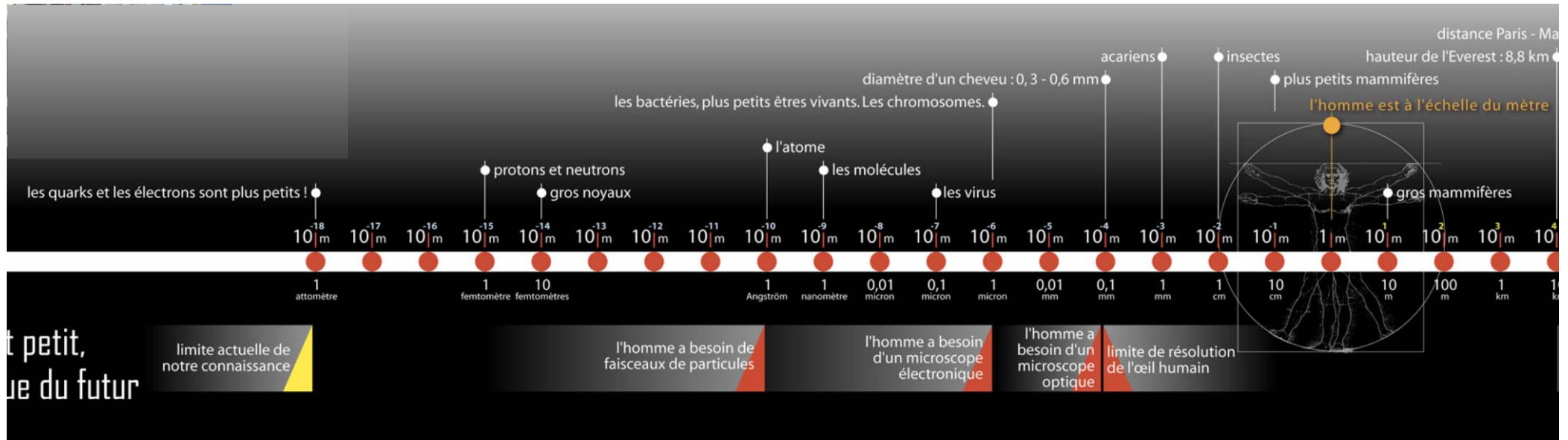
- A chaque particule de **matière** est associée une particule d'**antimatière**

L'évolution de l'Univers



Quelles échelles de distance ?

- De 10^{-18} m (infinitement petit) à 10^{26} m (infinitement grand)



Difficile de faire plus éloigné ...

- $10^{26} \text{ m} / 10^{-18} \text{ m} = 10^{44}$

- Un (très très très très très) grand nombre :

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

44 zéros ...

→ Avez-vous déjà rencontré des « grands nombres » ? Si oui, lesquels ?

- Quel(s) lien(s) peut-il exister entre ces « deux infinis » aussi « distants » ?

- Progrès considérables de ces deux sciences au cours du XX^e siècle

- Et également depuis le début du XXI^e ...

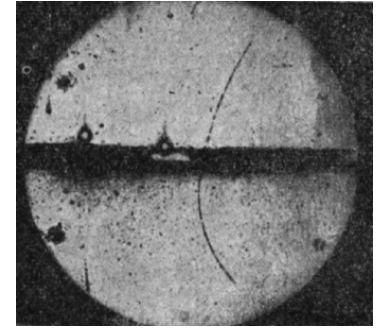
- Peu à peu apparition de relations, de correspondances, de points communs, etc.

→ En bref des connexions puisque c'est le fil rouge de votre semaine

- En voici quelques exemples ...

Où est passée l'antimatière dans l'Univers?

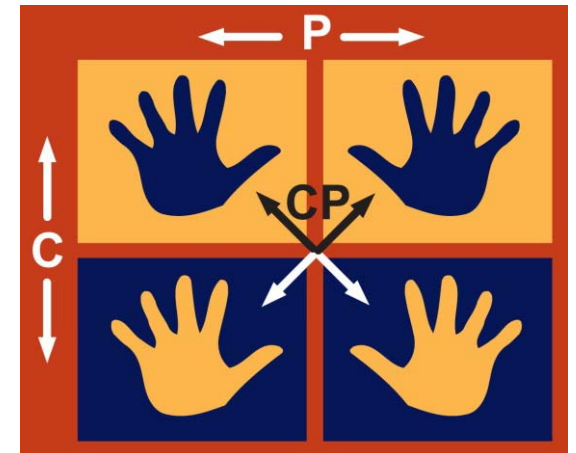
- A chaque particule de **matière** est associée une particule d'**antimatière**
 - Exemple : **le positron (e^+) est l'antiparticule de l'électron (e^-)**
 - **Mêmes propriétés, mêmes masses, charges électriques opposées**



- **Lors du Big bang, matière et antimatière ont été produites en quantités identiques**
- **L'Univers observable n'est formé que de matière**

→ **Que s'est-il passé ?**

- **Le Modèle Standard, la théorie des particules élémentaires, fait une différence entre particules et antiparticules**
 - **Phénomène bien vérifié dans les expériences sur accélérateurs**
 - **On y produit de l'antimatière de manière routinière !**
 - **Mais bien trop faible pour expliquer l'asymétrie observée dans l'Univers**
- **La solution de cette énigme se trouve certainement dans une « nouvelle physique » qui reste à découvrir et qui généraliserait la théorie actuelle**



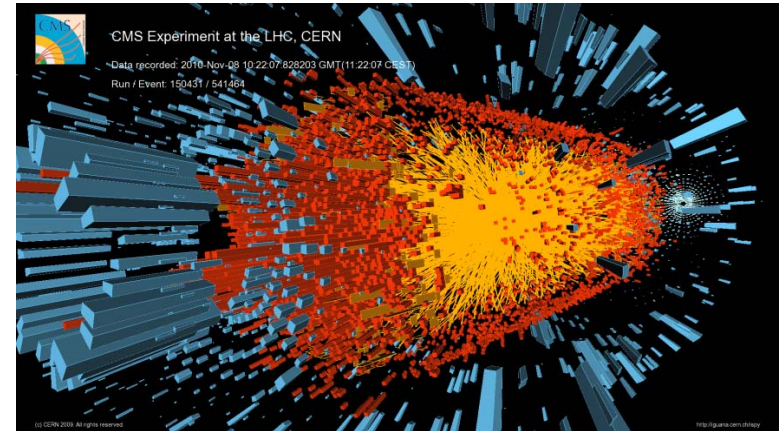
Recréer les premiers instants de l'Univers

- Les collisions entre particules sont un moyen extrêmement performant d'explorer le monde de l'infiniment petit – via la formule d'Einstein $E = mc^2$



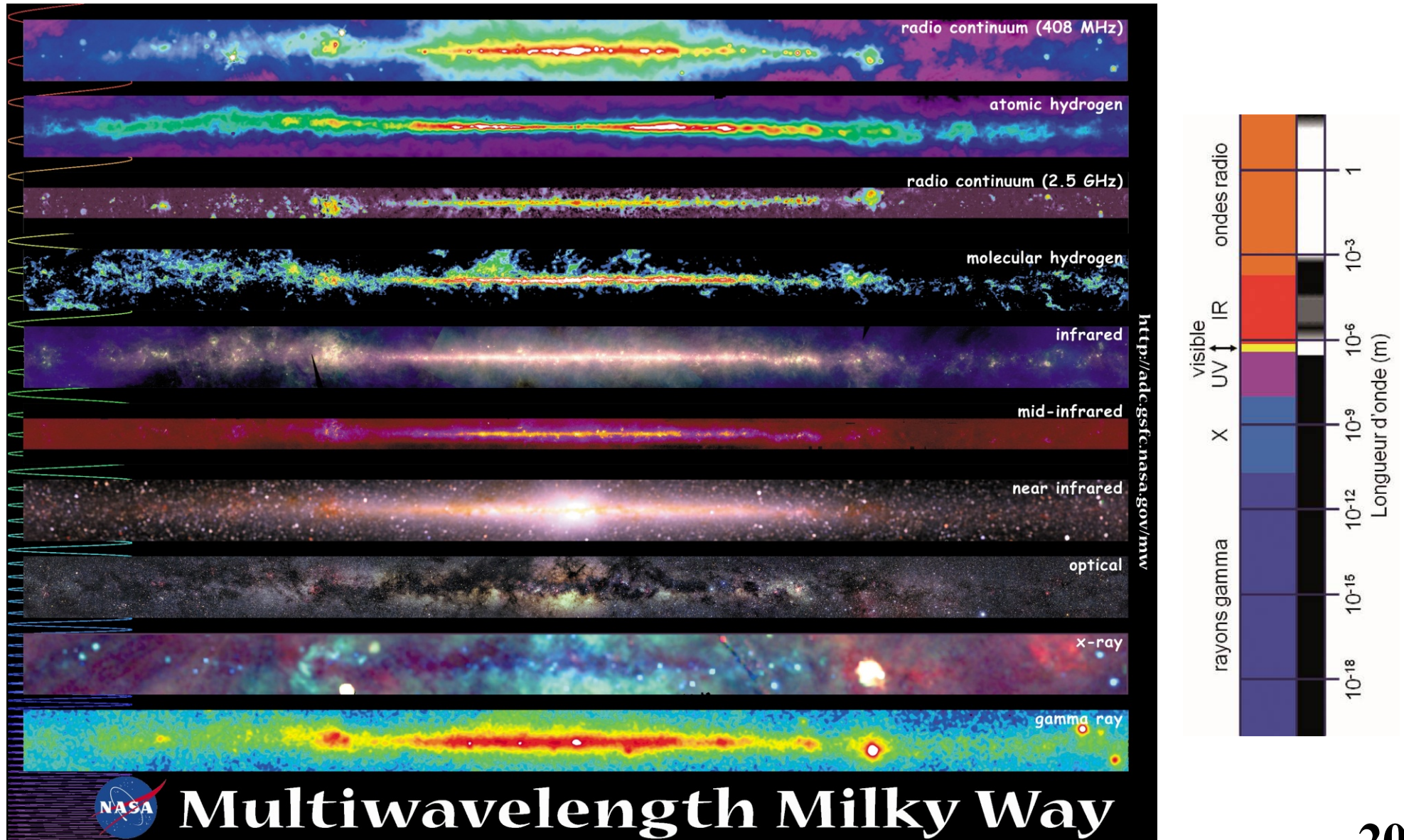
Recréer les premiers instants de l'Univers

- Les collisions entre particules sont un moyen extrêmement performant d'explorer le monde de l'infiniment petit – via la formule d'Einstein $E = mc^2$
- On obtient des densités d'énergie extrême
 - $\sim 10^{24}$ J/m²
 - Température de 1600 milliards de degrés
→ Equivalence température ↔ énergie
- Création de nouvelles particules
- Mise en évidence de comportements différents de la matière – et de nouveaux états
- L'Univers est en expansion depuis le Big bang
 - Dilution de l'énergie, diminution de la température
- Les collisions permettent de recréer – fugacement – des conditions « proches » du Big bang : moins de 1 millionième de seconde après
- Et si on voulait s'approcher encore plus près du Big bang ?
 - Impossibilité au niveau expérimental – pour le moment
 - Difficulté théorique : les équations ne fonctionnent plus – hypothèses non valables



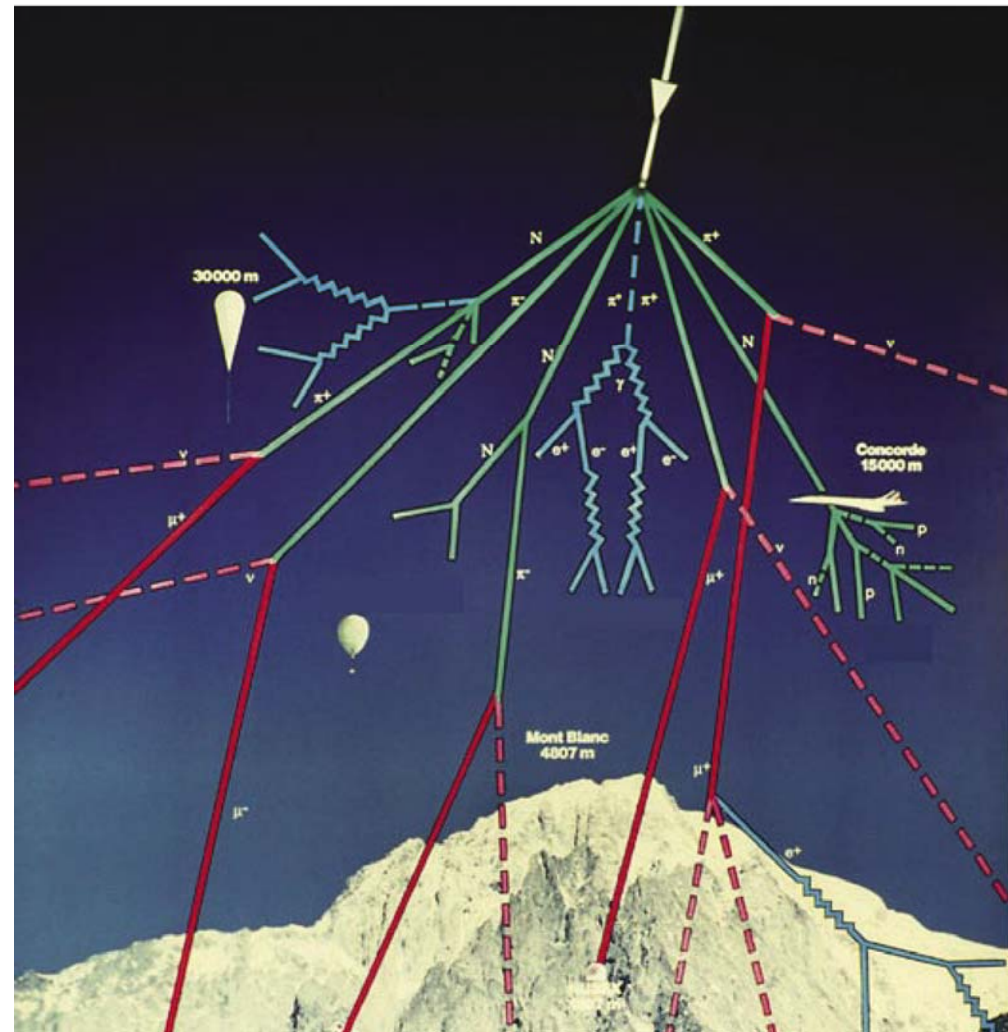
Observer (ce que nous envoie) le Cosmos

- L'Univers apparait très différent selon la manière dont on le regarde en optique



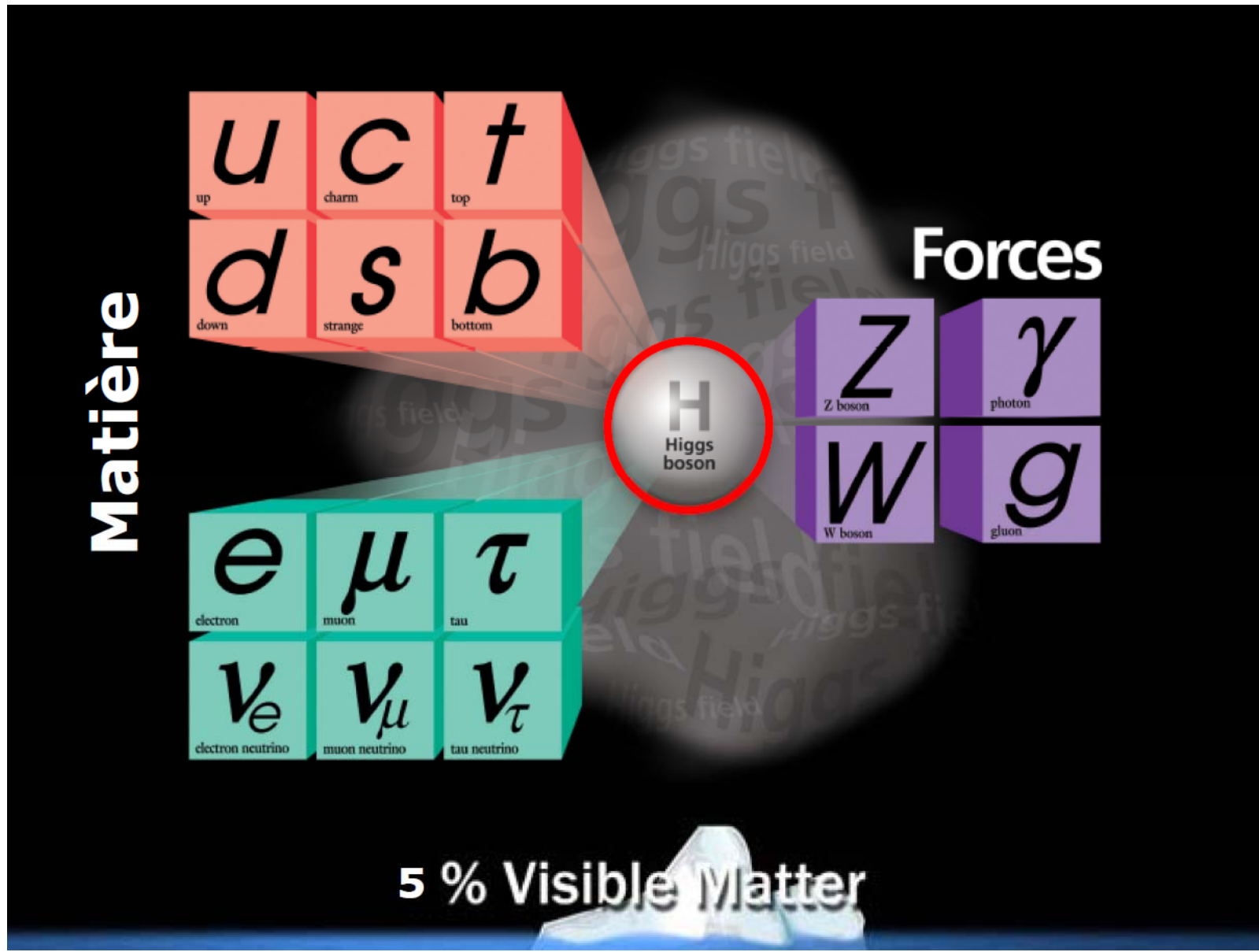
Observer (ce que nous envoie) le Cosmos

- La Terre est « bombardée » par des particules énergétiques venant de l'espace
 - Photons, protons, noyaux atomiques ...
- Leur interaction avec l'atmosphère provoque des cascades de particules détectables
 - Très rarement, on peut avoir une énergie macroscopique dans une particule élémentaire !
 - L'équivalent d'une balle frappée par une raquette de tennis
- D'où proviennent ces particules ?
- Quels mécanismes les accélèrent ?
- Observation « multi-messagers » de l'Univers
 - Spectre électromagnétique
 - Rayons cosmiques
 - Neutrinos ...



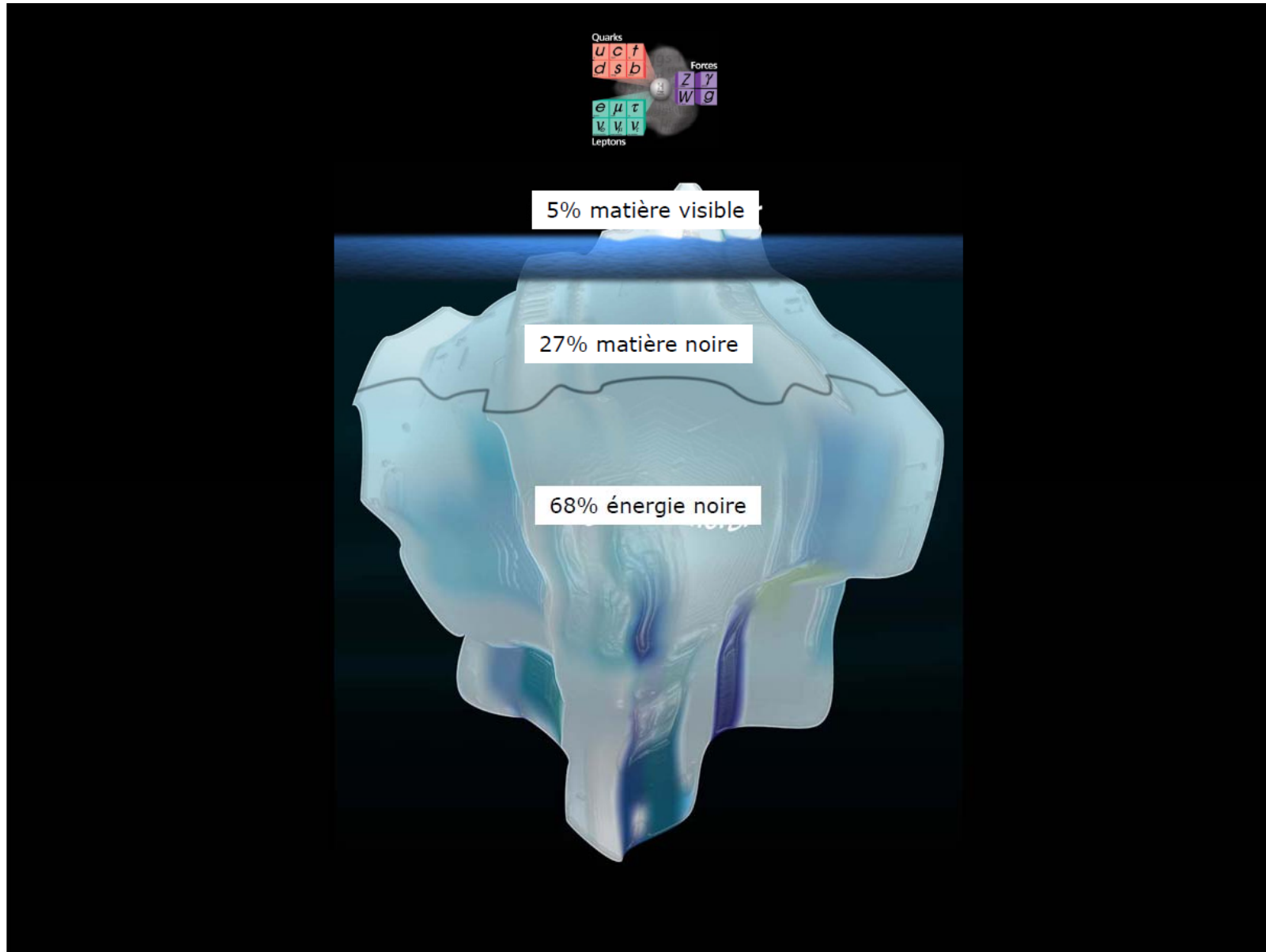
Matière noire et énergie noire

- Nous connaissons bien la matière visible ...



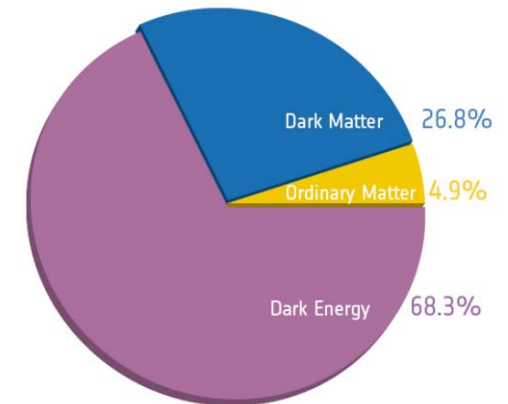
Matière noire et énergie noire

- ... mais elle ne représente que 5% du contenu énergétique total de l'Univers !

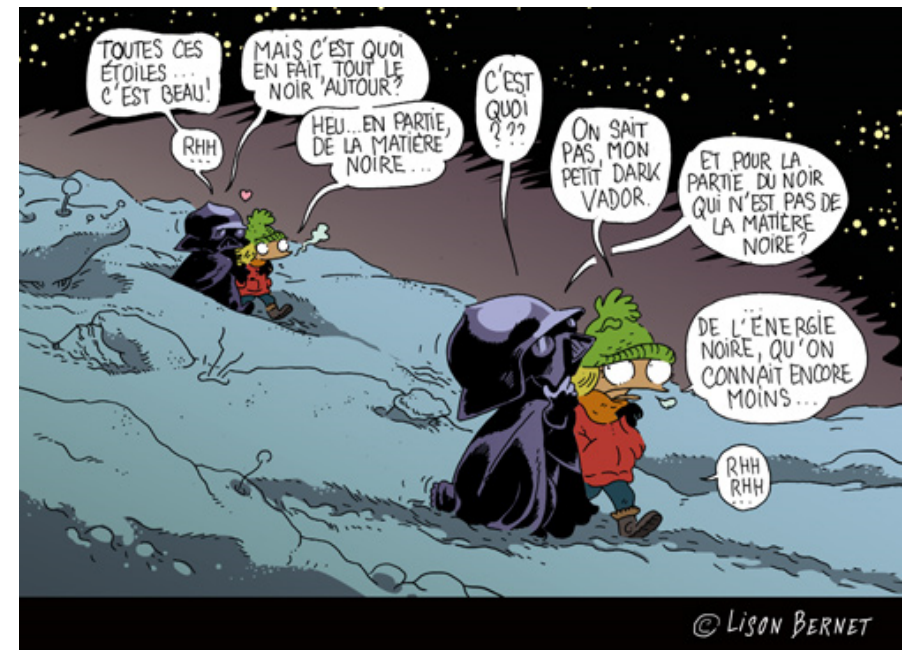


Matière noire et énergie noire

- La matière noire apparaît quand on « pèse » les galaxies
 - La matière visible ne représente qu'une (petite) partie de leur masse !
- La matière noire pourrait être formée de particules encore inconnues, stables, massives et interagissant très peu avec la matière ordinaire



- L'expansion de l'Univers semble s'accélérer
 - L'énergie noire, dont on ignore tout, serait le moteur de cette expansion
- Pour assurer sa validité, ce modèle doit être confirmé par l'expérience
 - C'est la manière « la plus simple » de décrire de manière excellente toutes les données existantes dans un même cadre
 - Rien ne permet d'affirmer (ni d'infirmier) que c'est la « bonne » théorie



Le CERN et ses grandes collaborations internationales

Le CERN

- Nom officiel : « **Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire** »

- **Plus grand laboratoire de physique des particules au monde :**

- ~ **3000** employés à plein temps
- ~ **6500** scientifiques y réalisent leurs expériences

- Créé le **29 septembre 1954**

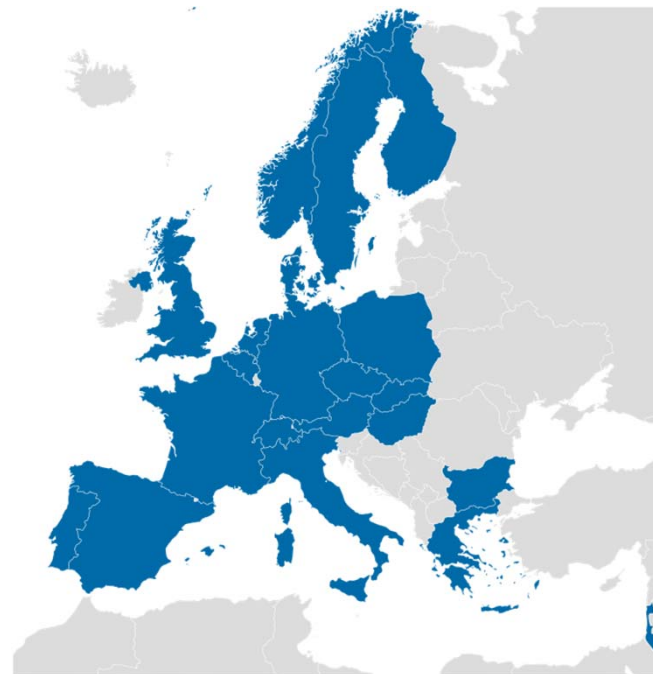
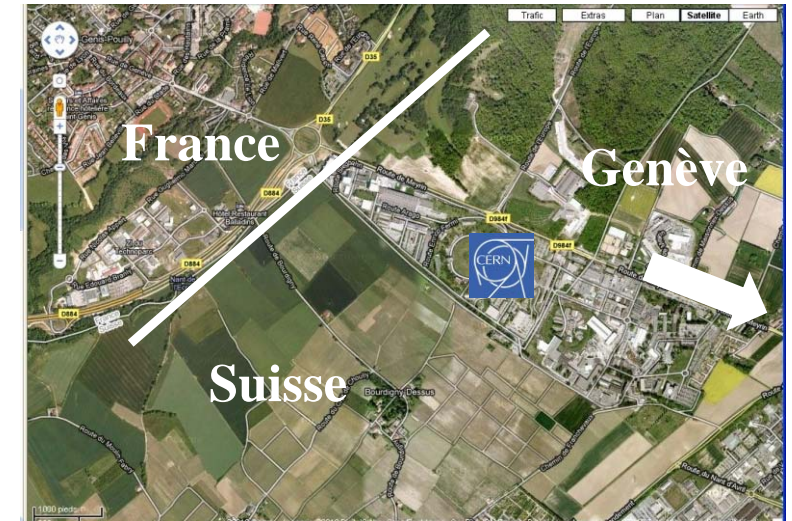
- France : un des douze états fondateurs

- **21 états membres**

- + pays « observateurs »
ou « participants »

- Le CERN est situé près de Genève,
à cheval sur la frontière franco-suisse

- **Le web a été inventé au CERN**
au début des années 1990 !



<http://info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html>



La première page web au monde !

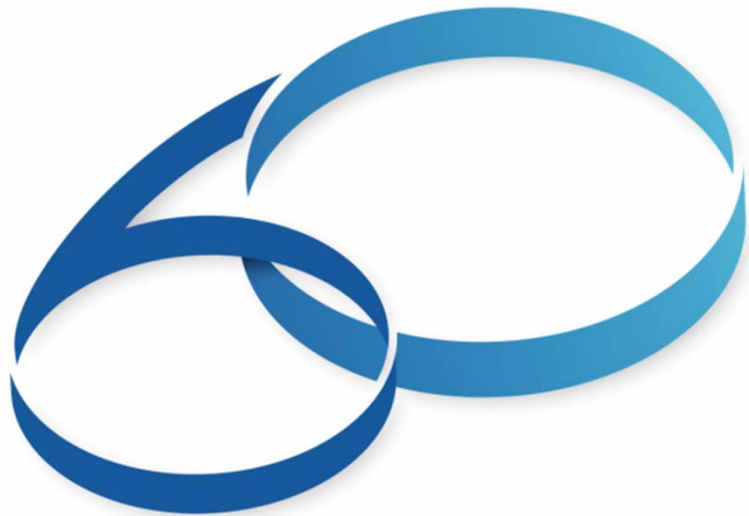
[En fait la version de 1992. La toute première]
[version (1990) est considérée comme *perdue*.]
[Si quelqu'un a une sauvegarde ... ☺]

1954-2014 : le CERN a 60 ans

- En 2014, le CERN célèbre 60 ans de science au service de la paix

Chercher des réponses aux questions concernant l'Univers

<http://cern60.web.cern.ch/fr>

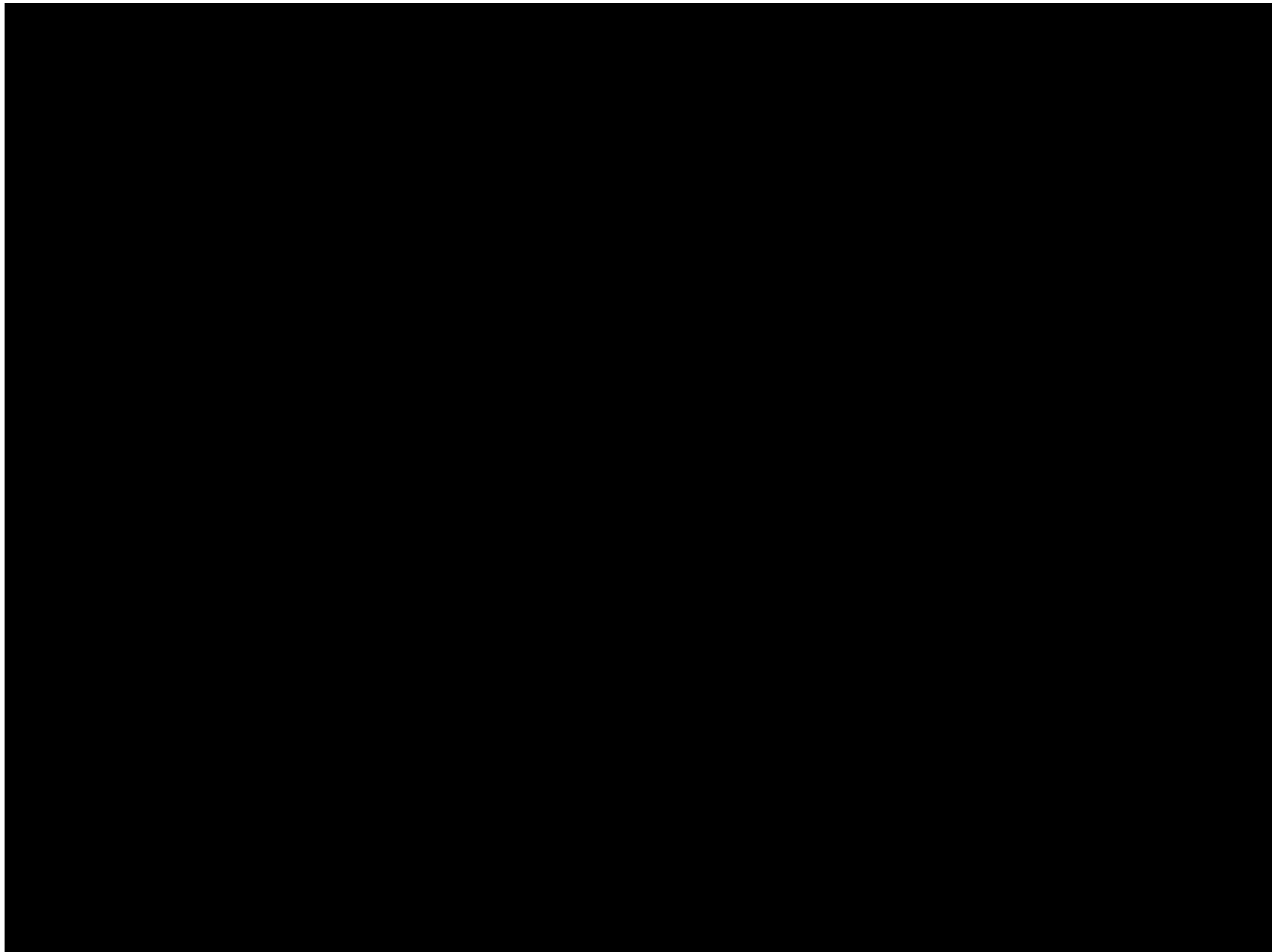


YEARS/ANS **CERN**



- Événement célébré dans les 21 états membres – dont la **France**
 - **Exposition « Collider »** au Palais de la Découverte à partir de l'automne
 - **Portraits** de chercheurs, ingénieurs, techniciens, administratifs, etc.
en relation avec le CERN
 - **Manifestations locales** dans les laboratoires

Le Large Hadron Collider (LHC) au CERN

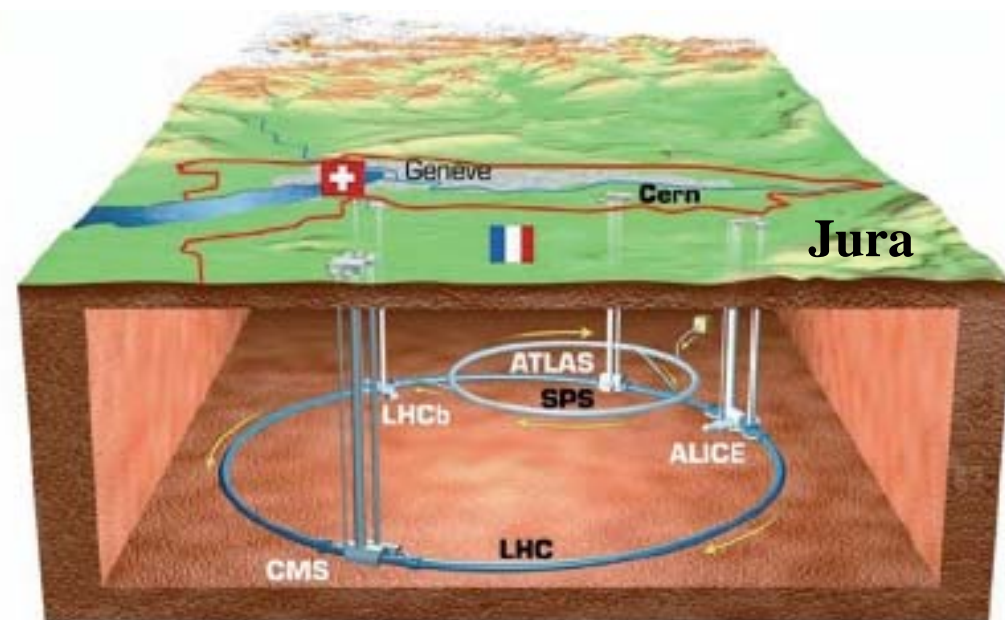


Le LHC



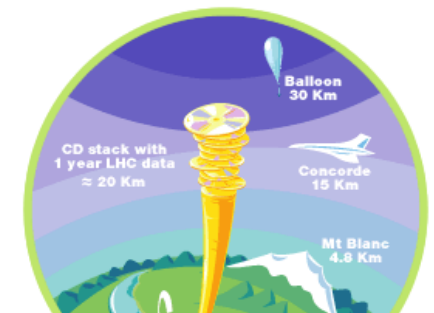
L'ancêtre :
Lawrence
(1930)

- Anneau quasi-circulaire de **~27 km de circonférence** creusé à **~100 m sous terre**
- **2 faisceaux de protons** (ou d'ions Pb selon les périodes) y circulent en sens opposé
- **Ils se croisent au centre de 4 détecteurs géants** (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb) où se produisent les collisions dont les produits sont étudiés par les physiciens
- **Les particules sont accélérées par tout une série d'accélérateurs en amont ;** la dernière phase de ce processus a lieu dans l'anneau LHC lui-même



Un petit tour du côté des détecteurs du LHC

- **Des cathédrales de métal et d'électronique !**
 - Dimensions de **plusieurs dizaines de mètres**
 - Poids de **plusieurs milliers de tonnes** (\approx Tour Eiffel)
- Des **millions de canaux électroniques** reçoivent des informations lors des collisions
 - **Les particules déposent de l'énergie en traversant les différents détecteurs ; ces dépôts sont convertis en signaux électriques puis lus**
 - Surfaces/volumes actifs, câbles, alimentations, etc.
- **Volume total de données : \sim plusieurs Encyclopédia Universalis / seconde**
 - Impossible de tout conserver
 - **Tri en temps réel des événements : drastique et très performant**
- Données stockées et analysées au moyen de **milliers d'ordinateurs** répartis dans des **centaines de centres de calcul du monde entier**
- Chaque collaboration du LHC compte **plusieurs milliers de membres**

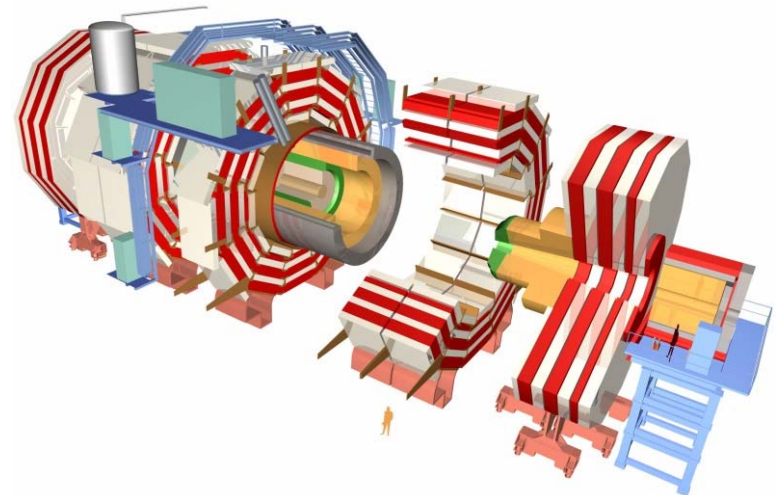
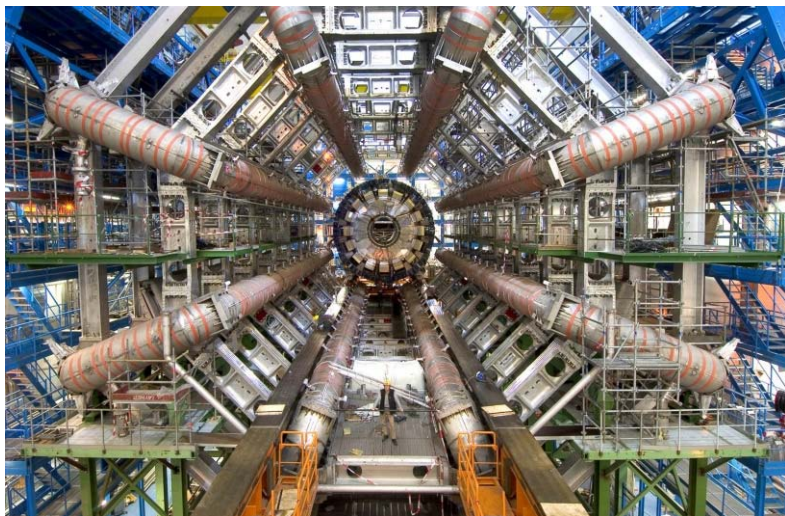


Deux exemples de collaborations mondiales

ATLAS



CMS



Offre pédagogique du LAL et du CNRS/IN2P3

Education et vulgarisation à l'IN2P3 et au LAL

- Des pages web de l'IN2P3-CNRS : l'Ecole des deux infinis
http://www.in2p3.fr/physique_pour_tous/aulyce/introduction.htm
http://www.in2p3.fr/physique_pour_tous/aulyce/media/ecole2infinis.pdf
- L'affiche des composants élémentaires de la matière
<http://quarks.lal.in2p3.fr/afficheComposants/index.html>
- La revue de vulgarisation «Élémentaire»
<http://elementaire.web.lal.in2p3.fr>
→ Nouveau projet : le « Quark poker »
- Le « Passeport pour les 2 Infinis »
<http://www.passeport2i.fr>
- Le site LHC-France
<http://www.lhc-france.fr>
- Etc.



L'Ecole des Deux Infinis de l'IN2P3



**Conférences dans les lycées:
la science en partage**

Les conférences dans les lycées (Nepal*) constituent avant tout une rencontre privilégiée entre les jeunes et les physiciens de l'IN2P3 et du CEA. L'occasion pour les lycéens:

- d'explorer la physique nucléaire, la physique des particules ou la cosmologie;
- de discuter ouvertement avec les chercheurs ou ingénieurs de la recherche et ses métiers.

Elles peuvent être éventuellement complétées par une visite dans un laboratoire de l'Institut.

Les conférences Nepal ont reçu l'aval de la Direction des lycées et collèges et du doyen de physique-chimie de l'inspection générale, ainsi que le soutien de l'Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC), anciennement Union des physiciens (UDP).



pluie de rayons cosmiques sur les lycées!
Cosmos à l'école :

À tout instant la Terre est bombardée par des particules en provenance de l'Univers. Étudier ces particules au lycée, c'est possible!

Fruit d'un partenariat entre le dispositif ministériel *Sciences à l'école* et l'IN2P3, l'opération *Cosmos à l'école* permet l'étude des rayons cosmiques grâce à des détecteurs mis à disposition dans les lycées.

Chaque lycée participant reçoit par ailleurs le parrainage d'un chercheur de l'IN2P3 et un accompagnement pédagogique par le réseau de *Sciences à l'école*.

Des cahiers pédagogiques et de ressources sont disponibles sur le site de *Sciences à l'école*: www.sciencesalecole.org

**Masterclasses:
chercheurs d'un jour**

En quoi consiste le quotidien d'un physicien travaillant sur une expérience du LHC, l'accélérateur de particules le plus puissant au monde?

Faire partager à des lycéens pendant une journée la vie de chercheur en physique des particules et les initier aux méthodes de travail des grandes collaborations internationales, tel est l'objectif des *Masterclasses*.

Les sessions se déroulent au sein d'un laboratoire de l'IN2P3. Au programme : un cours d'introduction à la physique des particules, l'analyse de données réelles produites au Cern* à Genève puis la mise en commun des résultats des élèves avec ceux des classes d'autres pays grâce à une vidéoconférence animée depuis le Cern. Les résultats finaux sont confrontés à ceux des physiciens.

Les *Masterclasses* sont pilotées au niveau européen par le Cern et le réseau Eppog. Elles sont coordonnées en France par l'IN2P3. Actuellement, 90 instituts de 15 pays participent à ce projet. www.physicsmasterclasses.org



Labos ouverts : au cœur de la science

C'est ici l'occasion de découvrir les lieux où se « fait » la science. Les élèves pourront rencontrer les chercheurs, les ingénieurs ou les techniciens de l'IN2P3 qui travaillent auprès des accélérateurs, sur des projets spatiaux, des expériences sous-marines, dans des laboratoires souterrains...

Dernière ces expériences et instruments hors-norme, les recherches portent aussi bien sur les particules les plus élémentaires que sur la matière noire, les neutrinos, les rayons cosmiques, l'énergie noire, la première lumière de l'Univers, les rayons cosmiques, les trous noirs...

* « Noyaux et particules au lycée »

**Formations d'enseignants:
dépasser les frontières**

Depuis plusieurs années, le Cern organise chaque année, en partenariat avec l'IN2P3 et le dispositif *Sciences à l'école*, un stage de formation national destiné aux enseignants souhaitant développer des projets autour de la physique des particules. D'autres stages d'un à trois jours sont également mis en place par les laboratoires de l'IN2P3 sur tout le territoire et couvrent de nombreux thèmes: les particules élémentaires, le nucléaire et ses applications, les mystères de l'Univers...

Passeport pour les deux infinis: un outil, un réseau



Construit autour d'un livre réversible qui dresse un panorama des sujets liés au monde des particules et de l'astrophysique, *Passeport pour les deux infinis* c'est:

- un outil pédagogique adapté aux programmes;
- un dispositif invitant les enseignants à développer avec leurs élèves des activités dans le domaine de la physique de l'infiniment petit ou de l'infiniment grand;
- l'opportunité pour les élèves de rencontrer des chercheurs, visiter de hauts lieux scientifiques et voyager dans l'univers des particules.

Au *Passeport pour les deux infinis* est associée une plate-forme d'échanges en ligne où les professeurs peuvent obtenir le livre gratuitement: www.passeport2i.fr

*Cern : Organisation européenne pour la recherche nucléaire

Conférences dans les lycées

Visites de laboratoires

Masterclasses

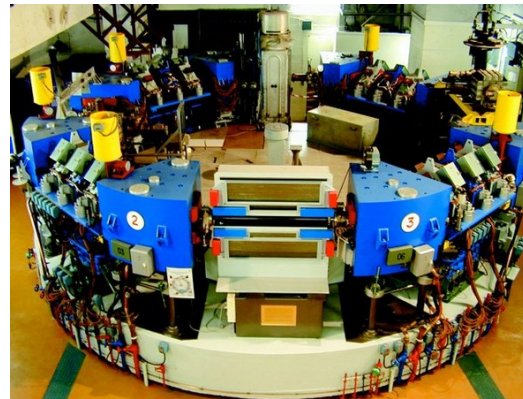
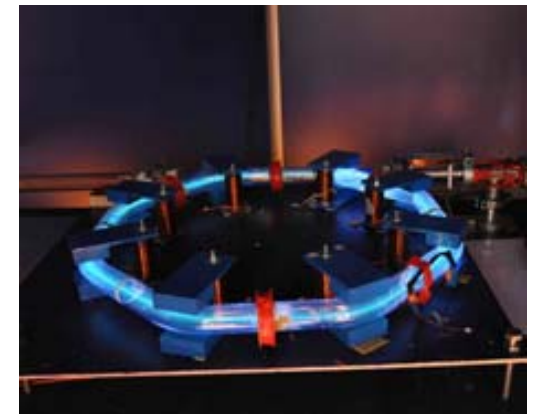
Cosmos à l'Ecole

Passeport pour les deux infinis

Formations d'enseignants

Le LAL & la communication

- **Visites grand public** et de **scolaires** sur demande
<http://indico2.lal.in2p3.fr/indico/categoryDisplay.py?categId=123>
- Participation chaque année aux **Masterclasses** du **CERN**
<http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=country&page=fr>
- La revue de vulgarisation « **Élémentaire** »
<http://elementaire.web.lal.in2p3.fr>
- Le « **Quark Poker** »
 - Un jeu de cartes sur les particules élémentaires
- Le « **Passeport pour les 2 Infinis** »
<http://www.passeport2i.fr>
- **Sciences-ACO**
<http://www.sciencesaco.fr>
- L'**affiche des composants élémentaires** de la matière
<http://quarks.lal.in2p3.fr/afficheComposants/index.html>



Composants élémentaires de la matière

Composants élémentaires de la matière

10²⁶ m : L'UNIVERS

10⁷ m : TERRE

1 m : OBJET

10⁻⁸ m : CRISTAL

10⁻¹⁰ m : ATOME

10⁻¹⁴ m : NOYAU ATOMIQUE

10⁻¹⁶ m : PROTON

10⁻¹⁶ m : NEUTRON

10⁻¹⁷ m : QUARKS

10⁻¹⁸ m : LEPTONS

10⁻¹⁹ m : PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

À chaque particule correspond une antiparticule qui possède les mêmes caractéristiques. Le charge électrique d'une antiparticule est l'opposé de la charge de la particule correspondante.

1^{re} famille
Les membres de la 1^{re} famille interagissent l'un avec l'autre par les forces électrofaibles et fortes.

2^e famille
Particule qui agit par le biais de la 2^e famille de quarks ou de la 2^e famille de leptons pour donner naissance à l'atome.

3^e famille
Particule qui agit par le biais de la 3^e famille de quarks ou de la 3^e famille de leptons pour donner naissance à l'atome.

LEPTONS		QUARKS		
e	μ	u	c	t
ν _e	ν _μ	d	s	b
ν _τ				

Les interactions fondamentales

Il existe des PARTICULES ASSOCIÉES aux interactions fondamentales permettant leur propagation.

- Gravitation**
Attraction universelle, planètes, galaxies.
GRAVITON?
- Interaction faible**
Désintégrations radioactives.
Z⁰, W⁺, W⁻
- Interaction électromagnétique**
Électricité, magnétisme, cohésion de l'atome et du cristal, lumière.
PHOTON
- Interaction forte**
Cohésion des protons et des neutrons.
GLUON

Les 4 forces fondamentales sont responsables du fonctionnement de notre univers et des étoiles.

- l'interaction de l'atome est due à la gravitation
- l'interaction de l'atome est due à la gravitation
- l'interaction de l'atome est due à la gravitation
- l'interaction de l'atome est due à la gravitation

Les 4 particules de la première famille sont présentes dans la matière qui compose notre univers. Elles interagissent par les forces électrofaibles et fortes.

http://www.in2p3.fr

IN2P3

Le passeport pour les 2 infinis

- Un livre **réversible** de 192 pages couleur (Dunod)
 - Côté **pile** : **vers l'infiniment petit**
 - Côté **face** : **vers l'infiniment grand**
- **Courts articles** (2 pages)
 - **Principales notions du domaine**
 - **Description des grandes expériences actuelles** (Planck, LHC, etc.)
 - Quelques fiches plus appliquées + un **glossaire** fourni pour conclure chaque partie
- **Plus de cinquante contributeurs** du CNRS, du CEA et de l'Université
- **Comité de rédaction de sept chercheurs et ingénieurs**
- **Première parution en 2010 ; seconde édition mise à jour pour la rentrée 2013**
- **Livre disponible gratuitement pour les enseignants du secondaire et du supérieur**
→ **Site web** : <http://www.passeport2i.fr>
- **Fiches pédagogiques** élaborées par des professeurs à partir d'articles du livre
- **Rencontres** avec des enseignants et le grand public



La revue Élémentaire

- **Revue de vulgarisation** (2003-2010)
format A4, ≥ 64 pages, en couleur
- **Cible** : grand public avec une formation scientifique niveau secondaire
- **Fil rouge** : le LHC
- **De nombreux sujets abordés** :
 - Grandes questions scientifiques
 - Articles théoriques
 - Perspectives historiques
 - Développements technologiques
 - Retombées
- **8 numéros publiés**
→ 1 thème central pour chaque numéro
- Tous disponibles sur le site de la revue

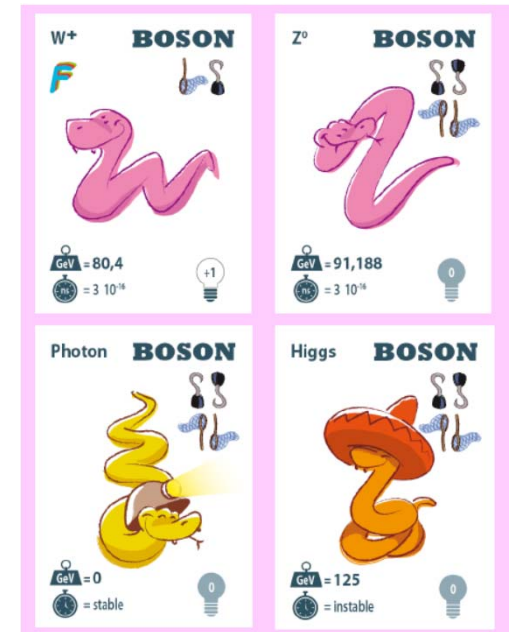




Le Quark poker



- Où comment découvrir les particules élémentaires et leurs interactions de manière ludique : en jouant aux cartes et en s'amusant
- Le quark poker
 - 64 cartes représentant chacune une particule élémentaire
 - Des règles basées sur les lois de la physique
 - Plusieurs jeux possibles : 7 familles, poker, collisions
- Livre d'accompagnement
 - Passerelle entre les cartes et la physique
 - Complément au jeu
 - Peut se lire indépendamment
- Projet en cours de développement
 - Un peu immobile ces derniers temps ...
- Démonstration et test dans des classes de lycée
→ Contact : elementaire@lal.in2p3.fr



Pour en savoir plus sur le LHC

- Le site **LHC-France**
<http://www.lhc-france.fr>
- Site grand public du **CERN**
<http://public.web.cern.ch/public/welcome-fr.html>
- Sites grand public des **expériences du LHC** :
 - ALICE <http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>
 - ATLAS <http://atlas.ch/>
 - CMS <http://cms.web.cern.ch/cms/index.html>
 - LHCb <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public>
- Films disponibles gratuitement sur le web :
 - Film “**Bottle to Bang**” produit et dirigé par Chris Mann (© CERN, 2008)
<http://cdsweb.cern.ch/record/1125472>
 - Film « **LHC First Physics** » (© CERN video productions, 2010)
<http://cdsweb.cern.ch/record/1259221>

