



Physique des Hautes Energies

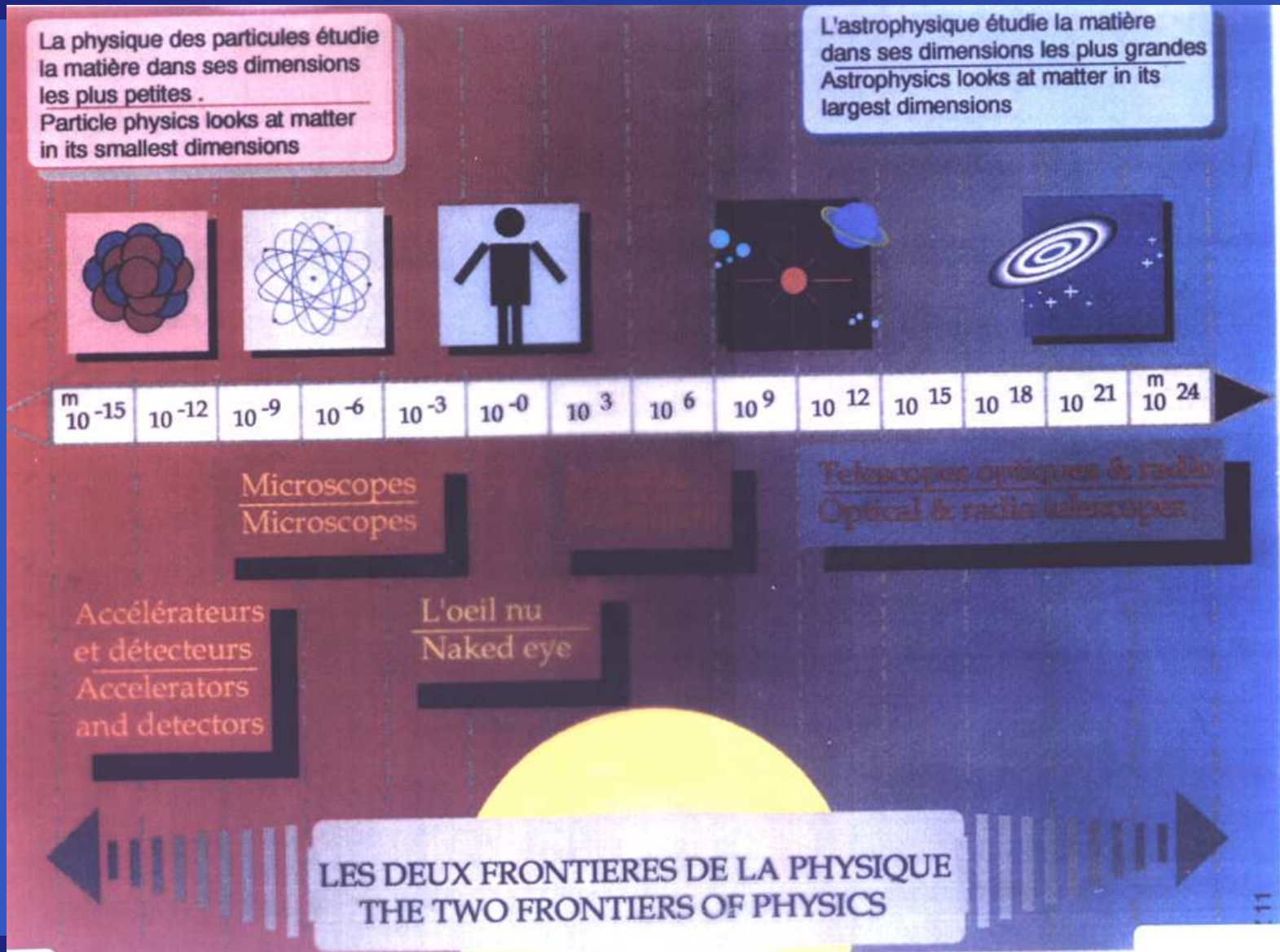
pour Non Physiciens

Stephan Narison

CNRS - IN2P3 - LPTA (Montpellier)



L'échelle de l'Univers : les deux infinis

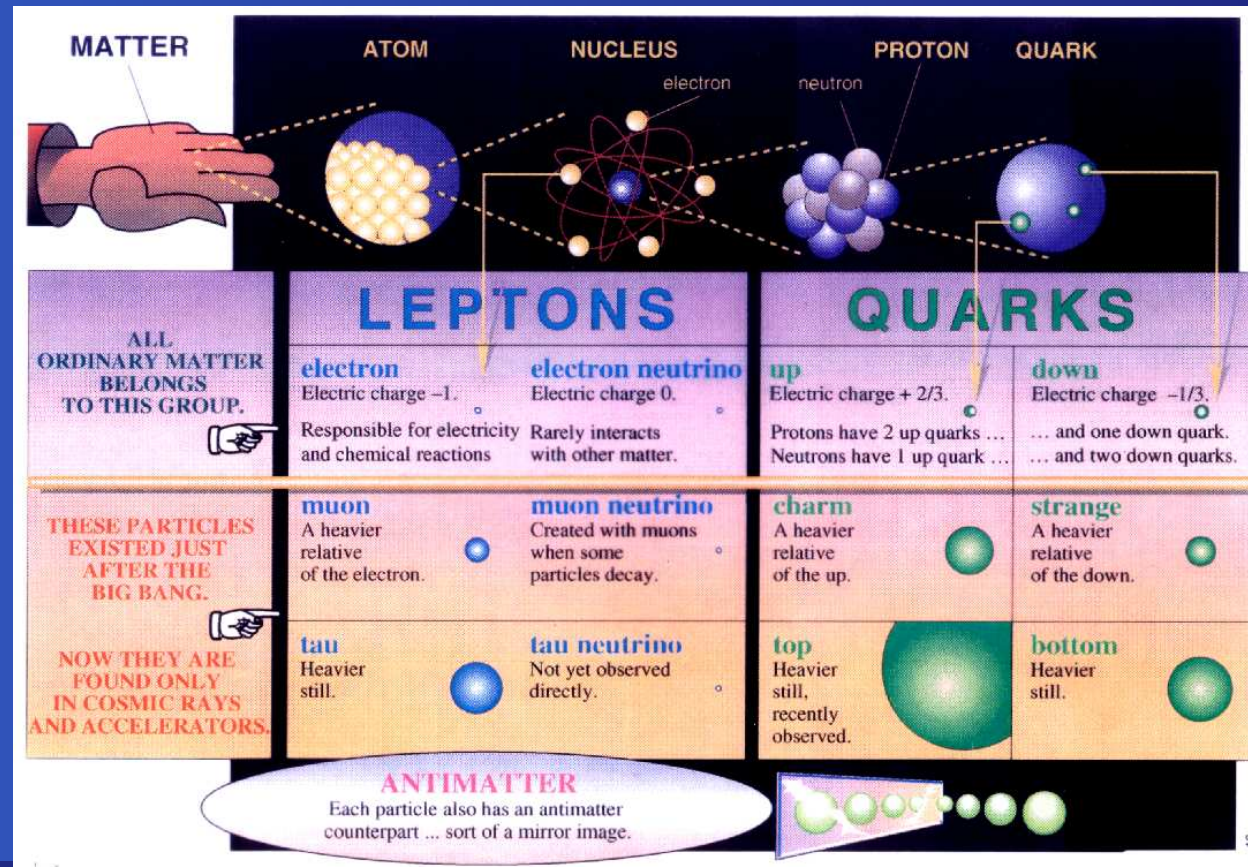


Qu'est ce la Physique des Hautes Energies ?



Qu'est ce la Physique des Hautes Energies ?

- ➔ Etude des plus petits constituents de la matière
- Modèle Standard: 6 quarks ⊕ 6 leptons: Prix Nobel 80



Unités de Mesure

♣ Equivalence entre Masse et Energie

$$E = mc^2 : c=1 \implies E \equiv m \text{ en Electron-Volt (eV)}$$

$$1\text{keV} = 1000 \equiv 10^3 \text{ eV}, \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}, \quad 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

Unités de Mesure

♣ Equivalence entre Masse et Energie

$$E = mc^2 : c=1 \implies E \equiv m \text{ en Electron-Volt (eV)}$$

$$1\text{keV} = 1000 \equiv 10^3 \text{ eV}, \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}, \quad 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

◇ Masses des Leptons: mesurées experimentalement

$$m_e = 0.5 \text{ MeV}, \quad m_\mu = 200m_e, \quad m_\tau = 18m_\mu.$$

$$m_{\nu_e} \leq 2 \text{ eV}, \quad m_{\nu_\mu} \leq 2\text{eV}, \quad m_{\nu_\tau} \leq \text{keV}$$

Unités de Mesure

♣ Equivalence entre Masse et Energie

$$E = mc^2 : c=1 \implies E \equiv m \text{ en Electron-Volt (eV)}$$

$$1\text{keV} = 1000 \equiv 10^3 \text{ eV}, \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}, \quad 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

◇ Masses des Leptons: mesurées expérimentalement

$$m_e = 0.5 \text{ MeV}, \quad m_\mu = 200m_e, \quad m_\tau = 18m_\mu.$$

$$m_{\nu_e} \leq 2 \text{ eV}, \quad m_{\nu_\mu} \leq 2\text{eV}, \quad m_{\nu_\tau} \leq \text{keV}$$

♥ Masse des quarks: prédictions théoriques

$$m_u = 2.8 \text{ MeV}, \quad m_d = 5. \text{ MeV}, \quad m_s = 96 \text{ MeV}$$

$$m_c = 1.2 \text{ GeV}, \quad m_b = 4.2 \text{ GeV}, \quad m_t = 174 \text{ GeV (expérience)}$$

(SN: Livre sur QCD - Cambridge): résultats utilisés par PDG (Particle Data Book)

Que sont les Hadrons des quarks u, d, s ?

Modèle des quarks Gell-Mann (2 Prix Nobel dans les années 60)

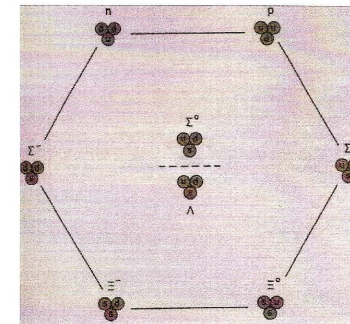
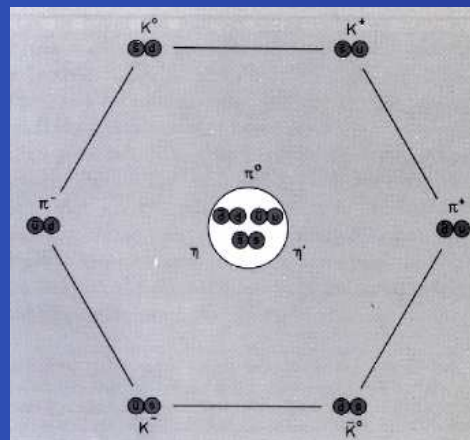


Fig. 2.2. The octet baryons built from the u, d, s quarks.

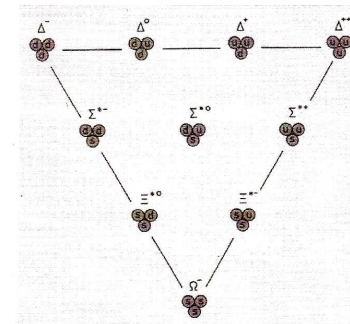


Fig. 2.3. The ten spin 3/2 baryons built from the u, d, s quarks.

Figure 1: a) Mesons : $\bar{q}_1 q_2$:
 b) Baryons : $q_1 q_2 q_3$:

$M_\pi = 140 \text{ MeV}$
 $M_p = 1 \text{ GeV}$

Quelles sont les Forces qui regissent la Nature ?

Forces electromagnetique, faible, forte & gravitation

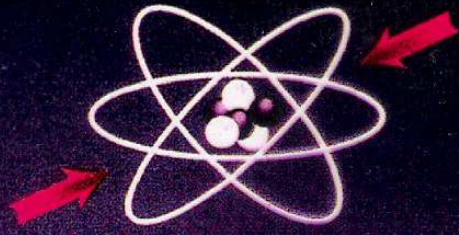
THE FORCES IN NATURE			
TYPE	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN :
STRONG NUCLEAR FORCE	~ 1 <i>10⁻¹³ cm</i>	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO -MAGNETIC FORCE	$\sim 10^{-3}$	PHOTONS (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	$\sim 10^{-5}$	BOSONS Z ⁰ , W ⁺ , W ⁻ (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	GRAVITONS (?)	HEAVENLY BODIES

THE EXCHANGE OF PARTICLES IS RESPONSIBLE FOR THE FORCE

Z 004



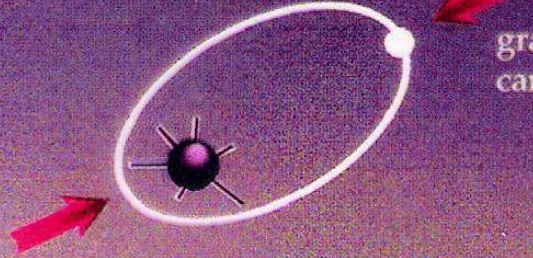
strong force
carried by the gluon



electromagnetic force
carried by the photon



weak force carried by
the W and Z particles



gravitational force
carried by the graviton

Comment Unifier ces Forces ?

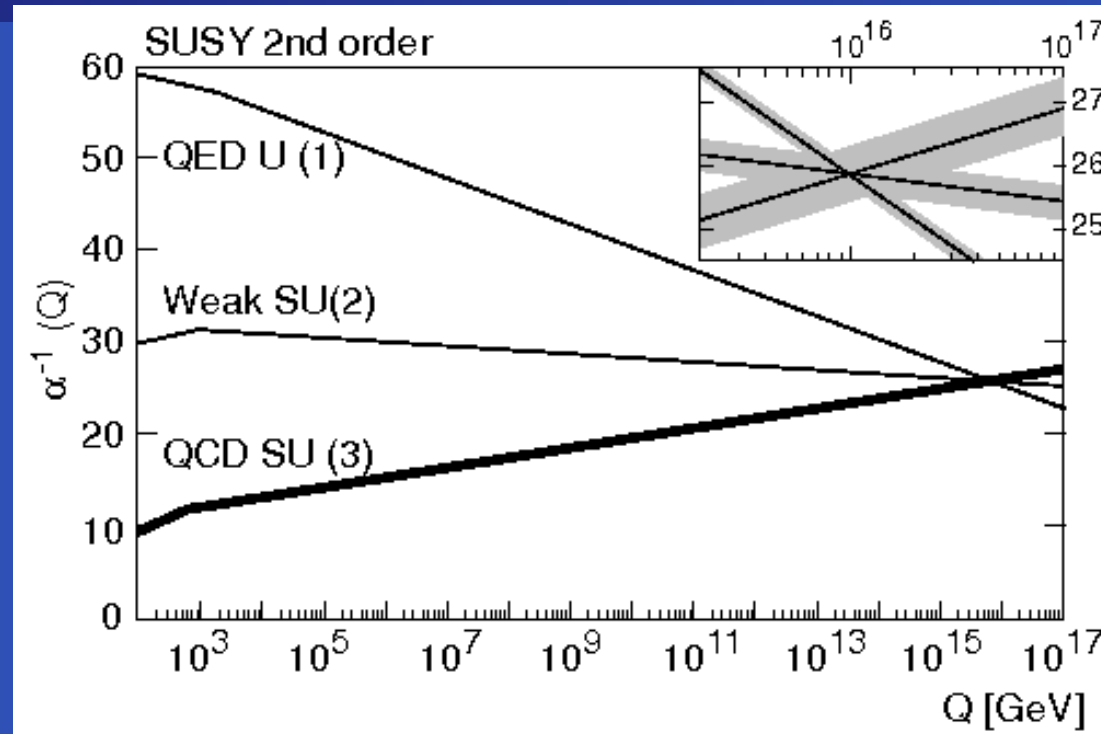




Figure 2: On pense qu' à plus haute energie la nature est décrite par une théorie plus simple (une seule force unifiée) et ayant des (super) symetries (SUSY)...! : **Le Paradis ?**

Modèles d'unification & Consequences

SUSY

- Unification des 3 forces fortes, faibles et electromagnetiques à 10^{15} GeV
- ⇒ Proliferation de particules !
-  Visibles au LHC ?
-  Expliquent-elles la matière noire (96% de l'univers) ?

Modèles d'unification & Consequences

♣ SUSY

- Unification des 3 forces fortes, faibles et electromagnetiques à 10^{15} GeV

⇒ Proliferation de particules !

● Visibles au LHC ?

● Expliquent-elles la matière noire (96% de l'univers) ?

◇ Où est la force gravitationnelle de Newton?

- Modèle des cordes ? Gravité quantique ?

Modèles d'unification & Consequences

♣ SUSY

- Unification des 3 forces fortes, faibles et electromagnetiques à 10^{15} GeV

- ⇒ Proliferation de particules !

- Visibles au LHC ?

- Expliquent-elles la matière noire (96% de l'univers) ?

◇ Où est la force gravitationnelle de Newton?

- Modèle des cordes ? Gravité quantique ?

♥ Origine des masses



- Boson de Higgs ? nécessaire pour valider le modèle standard $SU(2) \times U(1)$

- Dimension Supplémentaire d'espace-temps ? modèle des cordes

- Brisure Dynamique de Symétrie? technicouleur

Modèles d'unification & Consequences

SUSY

- Unification des 3 forces fortes, faibles et electromagnetiques à 10^{15} GeV
- ⇒ Proliferation de particules !
-  Visibles au LHC ?
-  Expliquent-elles la matière noire (96% de l'univers) ?

Où est la force gravitationnelle de Newton?

- Modèle des cordes ? Gravité quantique ?

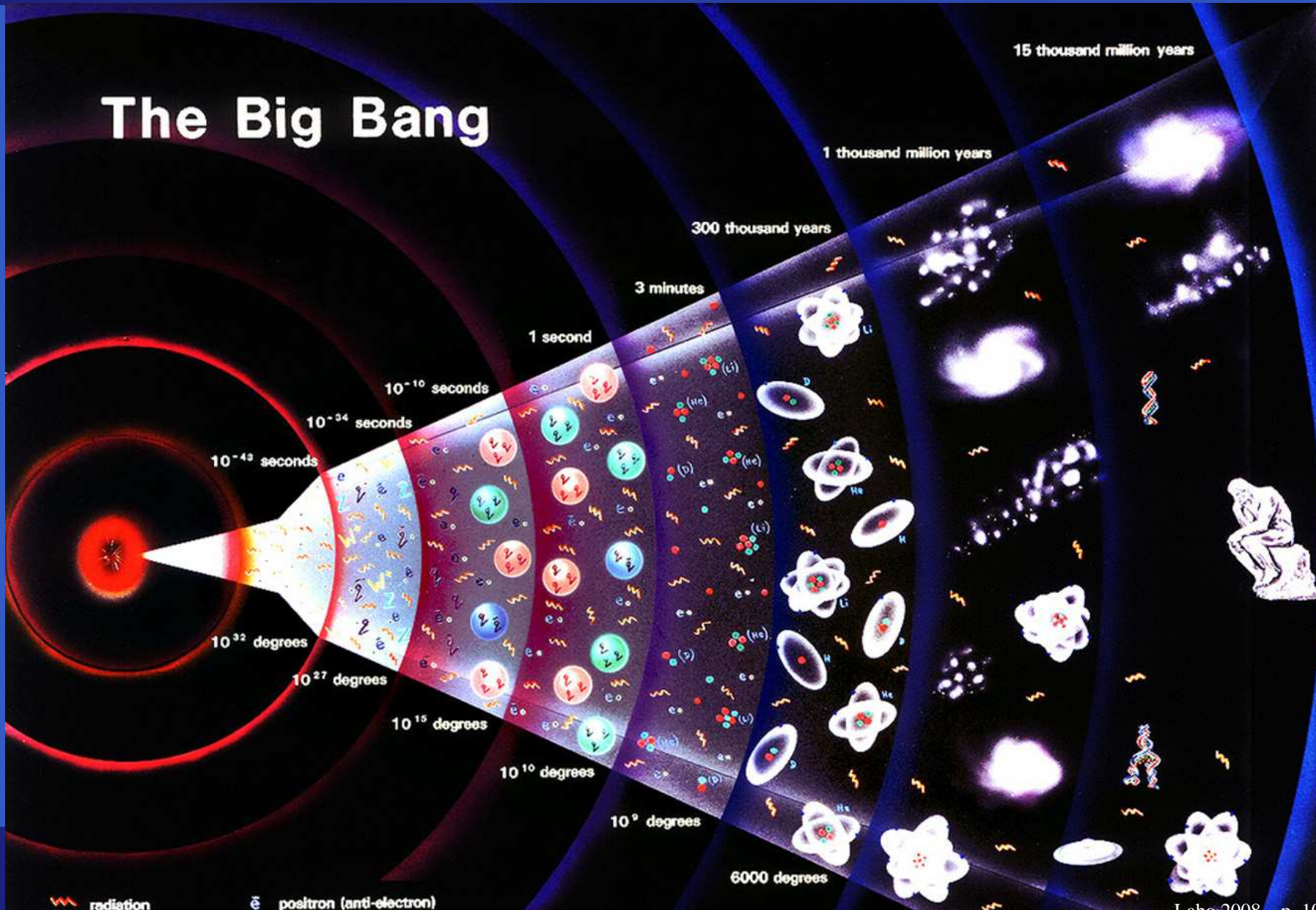
Origine des masses

- Boson de Higgs ? nécessaire pour valider le modèle standard $SU(2) \times U(1)$
- Dimension Supplémentaire d'espace-temps ? modèle des cordes
- Brisure Dynamique de Symétrie ? technicouleur

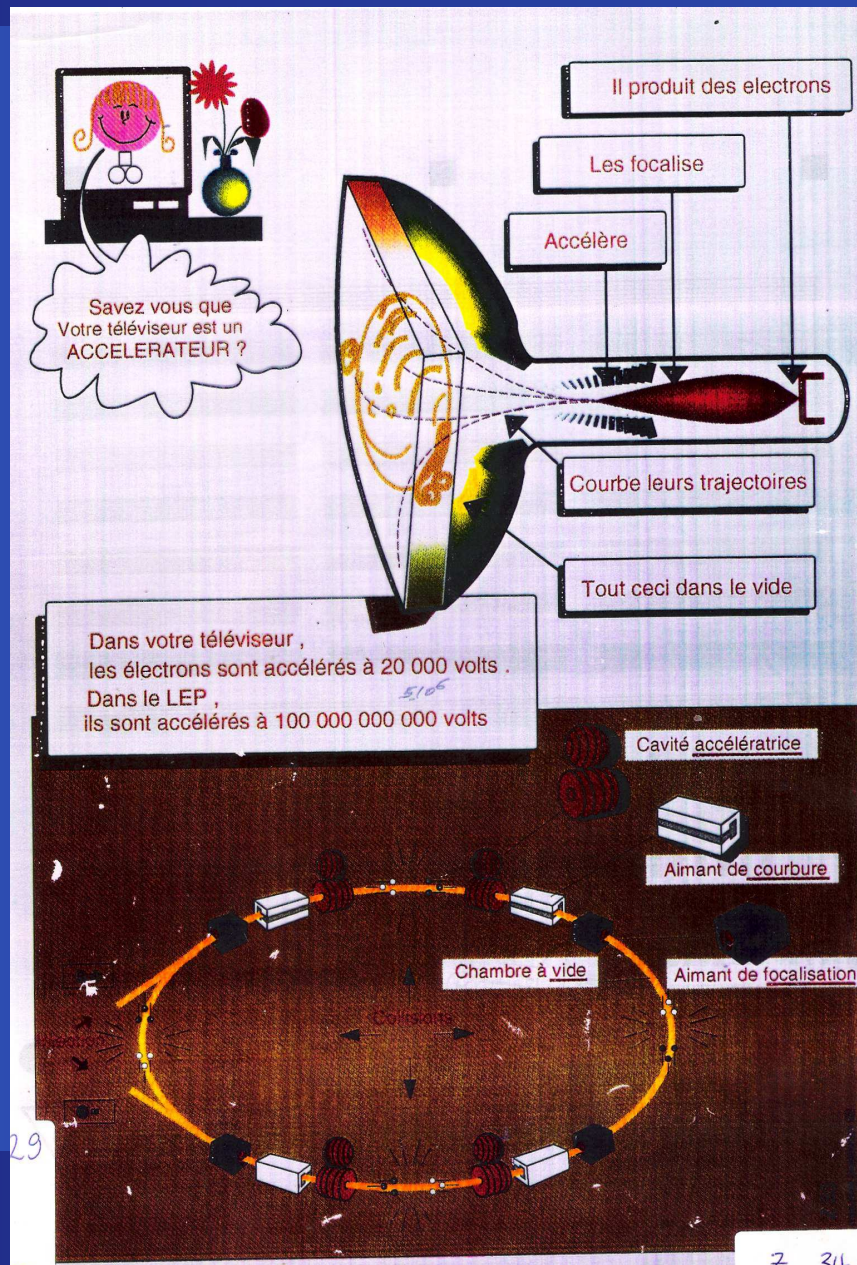
Autres Questions Fondamentales ?

- Pourquoi plus de matière que d'anti-matière ? (naïvement : 50-50!)
- A sa naissance (μsec), l'univers est-il une soupe de quarks- et gluons (plasma) ?

Des experiences à remonter le temps !



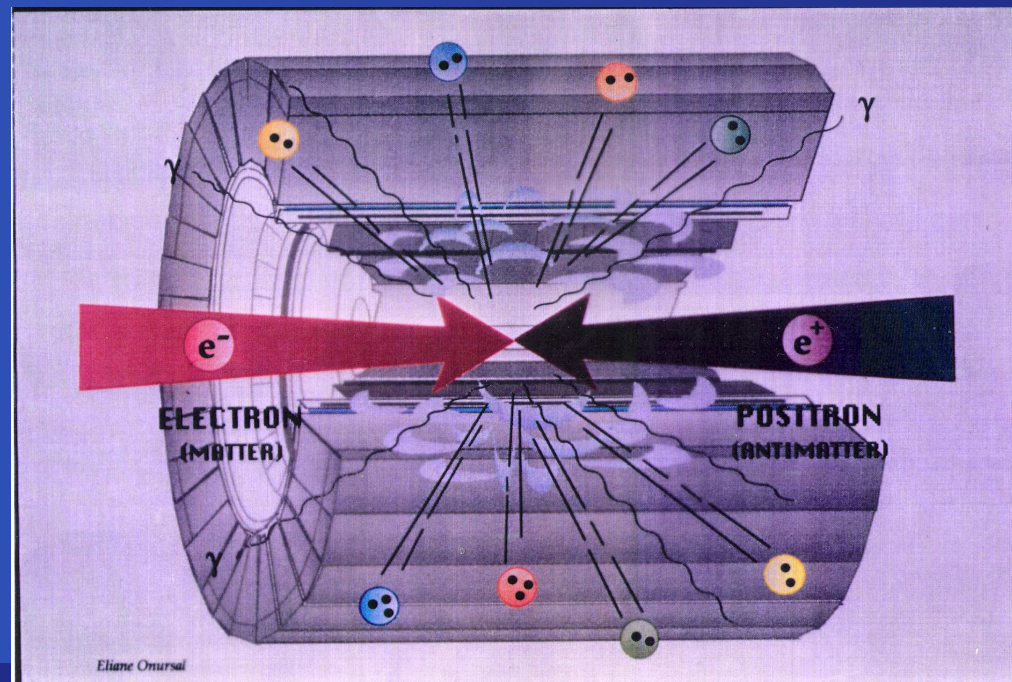
Accélérateur des Particules = une Grande Tele !



29

- Avec des Energies plus puissantes mais plus pacifique que la bombe d'Hiroshima ! (CERN-Geneve, STANFORD-USA, DESY-Hamburg, KEK-Japan,...)

LEP-CERN

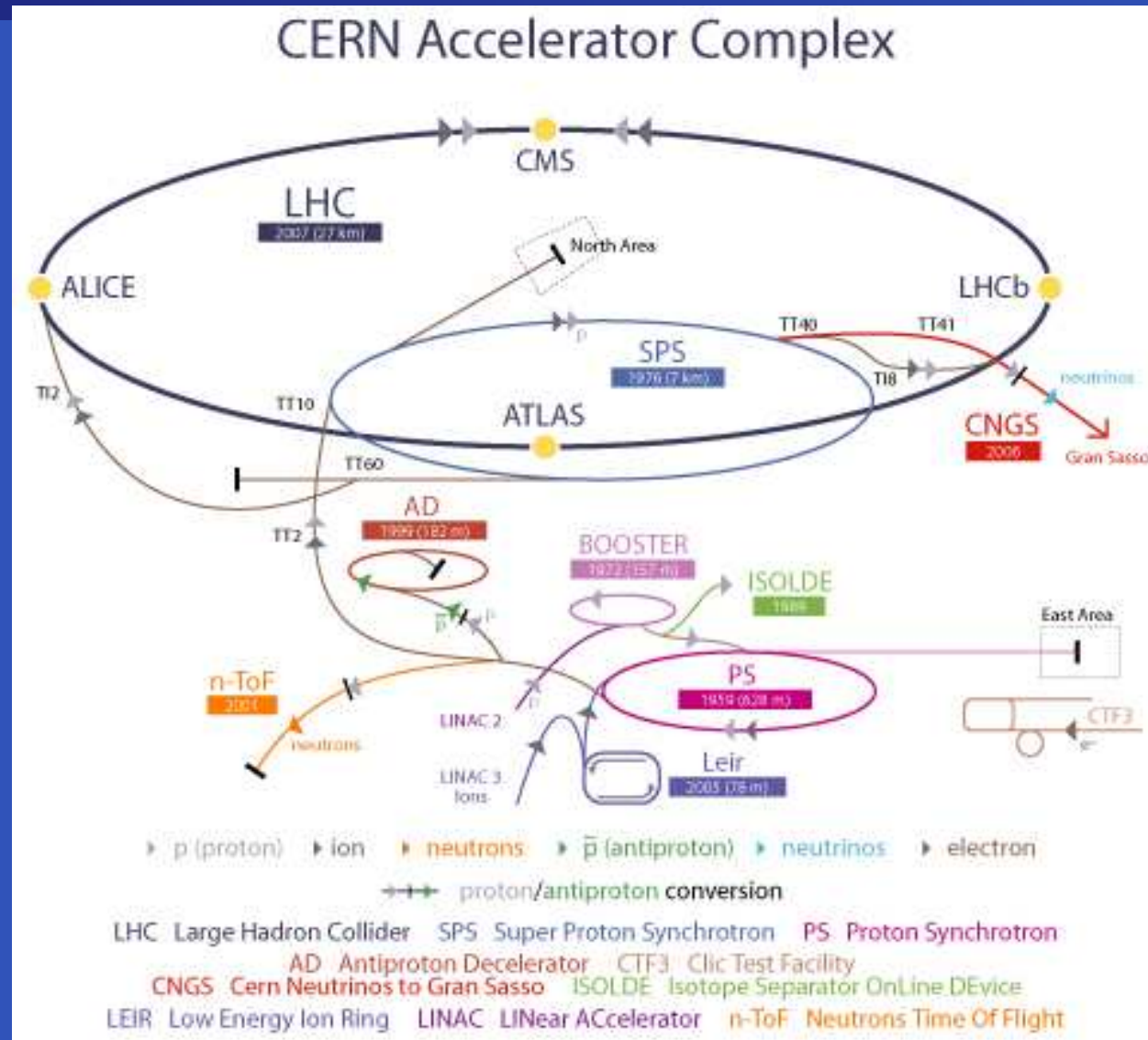


Le tunnel du LEP et du LHC

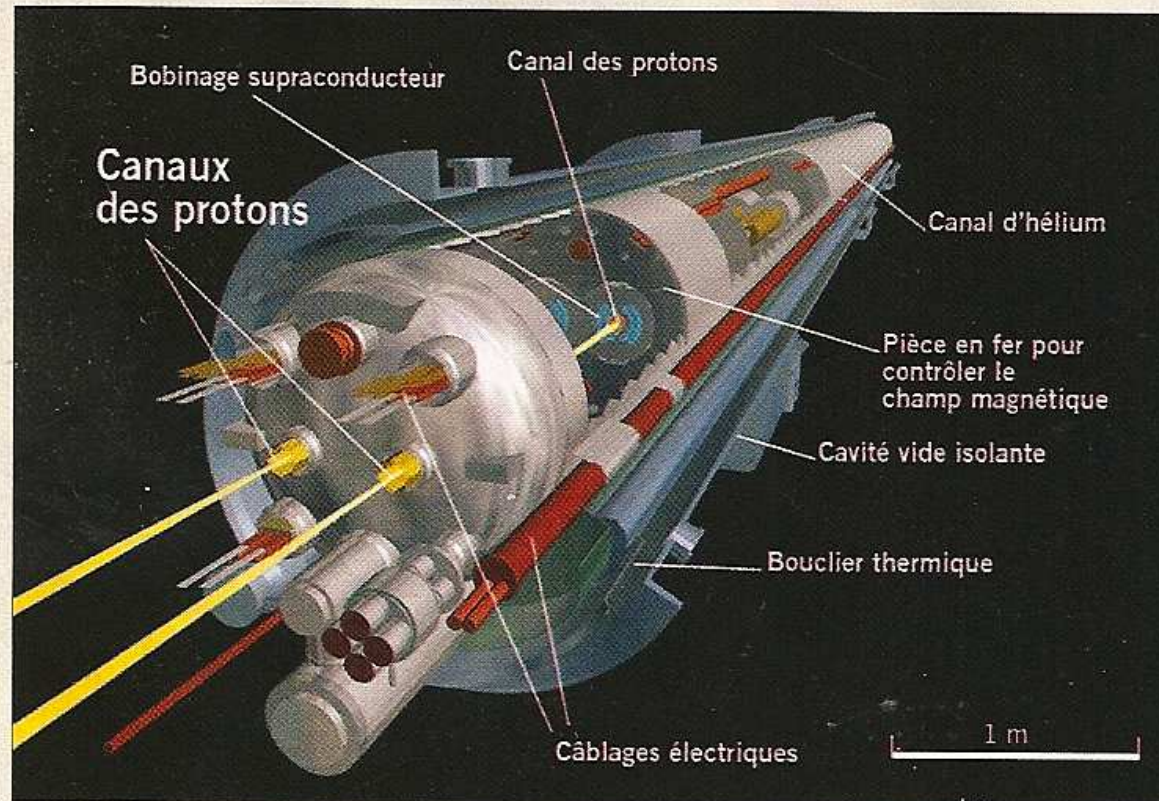


Figure 3: Tunnel de 27km; 100m au-dessous du sol; Energie de 7000 GeV = 70 fois le LEP = 7 fois le Tevatron (peut fondre 500kg de cuivre); 600 millions de choc proton/proton par sec et 10^{17} pendant toute la durée de l'expérience; Côté: 2.6 Milliards d'Euros + 1.2 Milliard pour le personnel.

Accélérateur du CERN:



Coupe du LHC:



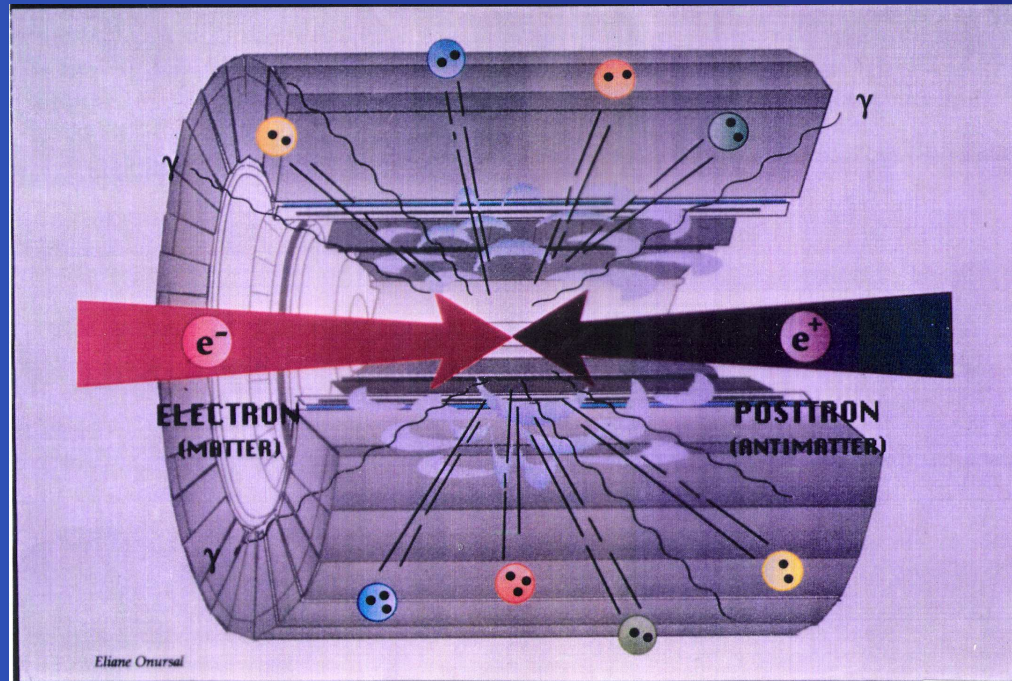
L'accélérateur le plus puissant au monde

Plus de 9600 aimants définissent les trajectoires des particules accélérées dans l'anneau ; 1232 d'entre eux (comme celui détaillé ci-dessus) sont entièrement dédiés à la courbure des faisceaux de protons. Chaque aimant mesure quinze mètres de long pour un mètre de diamètre environ. Il est constitué d'un bobinage de fils supraconducteurs, en bleu, qui baignent dans de l'hélium superfluide, en gris pâle, afin de les maintenir à environ $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le champ magnétique créé est opposé dans chacun des petits canaux centraux, en jaune: les protons y circulent en sens inverse.

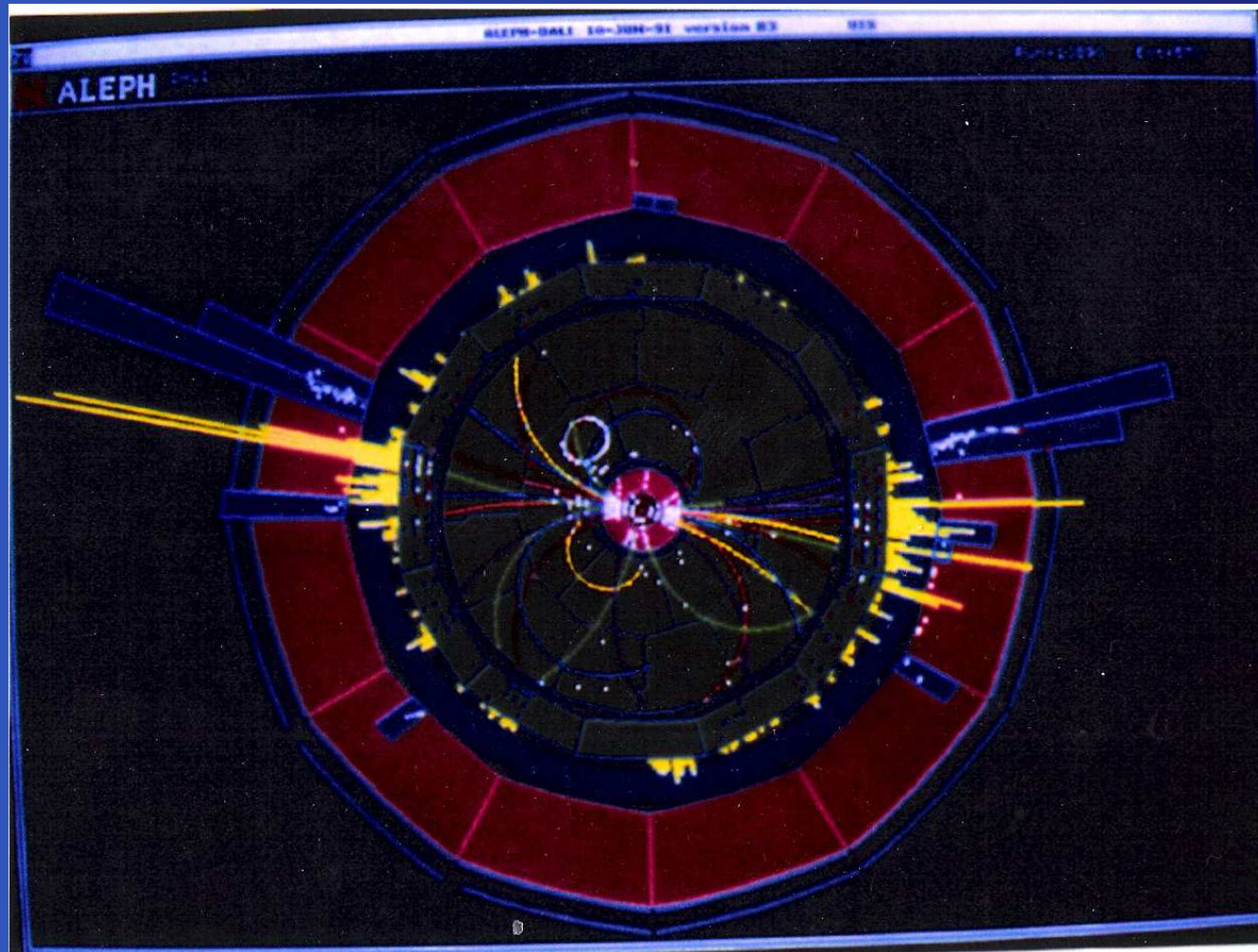
LHC-CERN



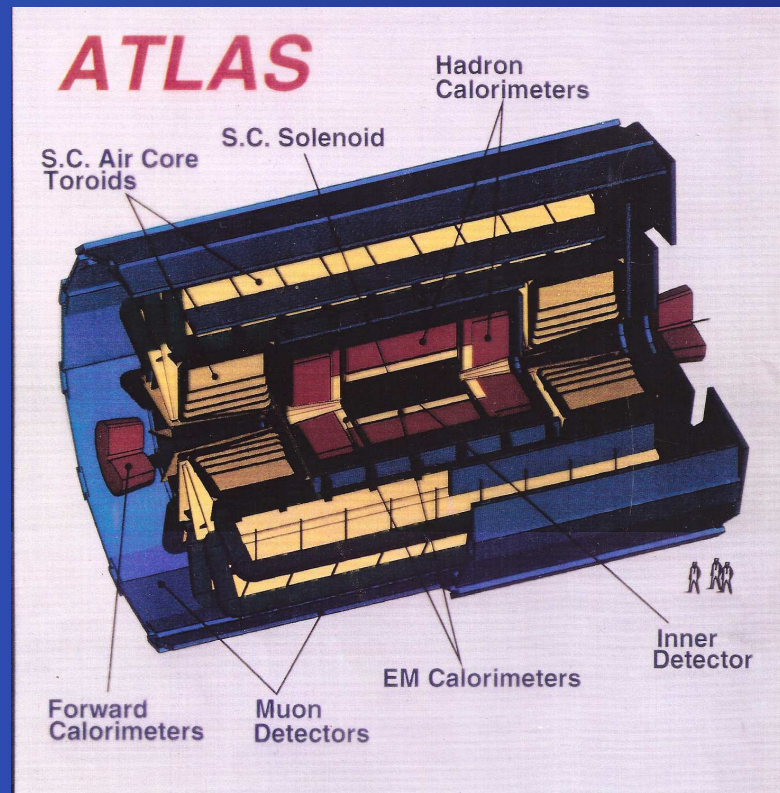
DETECTEUR DU LEP-CERN



JETS DE PARTICULES DANS LE DETECTEUR ALEPH



LE DETECTEUR ATLAS DU LHC



Groupe de Sécurité du LHC !



- Radiocativité: évitée grâce à des tonnes de béton: tunnel à 100m au-dessous du sol.

Groupe de Sécurité du LHC !



- Radiocativité: évitée grâce à des tonnes de béton: tunnel à 100m au-dessous du sol.
- Formation de Mini-trou noir ?
 - Doit se désintégrer par radiation (**Hawkings**) et donc n'est pas dangereux !
 - Les rayons cosmiques plus puissants que le LHC ont attaqué la terre depuis sa formation et nous sommes toujours là (10^{31} expériences LHC depuis la création de l'univers!).

Groupe de Sécurité du LHC !



- Radiocativité: évitée grâce à des tonnes de béton: tunnel à 100m au-dessous du sol.
- Formation de Mini-trou noir ?
 - Doit se désintégrer par radiation (**Hawking**) et donc n'est pas dangereux !
 - Les rayons cosmiques plus puissants que le LHC ont attaqué la terre depuis sa formation et nous sommes toujours là (10^{31} expériences LHC depuis la création de l'univers!).
- Production de matières nucléaires "étranges" stables: strangelet ?
 - Comme le proton mais faites avec des quarks étranges
 - Peut provenir de la soupe de plasma quark-gluon, mais n'a pas été vu au RHIC (Rich Heavy Ion Collision) où elles doivent être plus abondantes.

Groupe de Sécurité du LHC !



- **Radiocativité:** évitée grâce à des tonnes de béton: tunnel à 100m au-dessous du sol.
- **Formation de Mini-trou noir ?**
 - Doit se désintégrer par radiation (**Hawking**) et donc n'est pas dangereux !
 - Les rayons cosmiques plus puissants que le LHC ont attaqué la terre depuis sa formation et nous sommes toujours là (10^{31} expériences LHC depuis la création de l'univers!).
- **Production de matières nucléaires "étranges" stables: strangelet ?**
 - Comme le proton mais faites avec des quarks étranges
 - Peut provenir de la soupe de plasma quark-gluon, mais n'a pas été vu au RHIC (Rich Heavy Ion Collision) où elles doivent être plus abondantes.
- **Autres particules exotiques ?**
 - Monopole magnétique comme catalyseur de désintégration de proton: mais on prédit une masse de $\geq 10^{15}$ GeV et un effet très faible.
 - A cause de l'instabilité de l'univers, le vide actuel n'est peut-être pas le vrai vide: LHC ne peut pas les produire comme ne peuvent pas les rayons cosmiques.

Retombées Technologiques !

⇒ Recherches Fondamentales

- HEP a pour but ... de comprendre le mécanisme de notre Univers
- ... **mais** a aussi des retombées technologiques indirectes





Retombées Technologiques !

⇒ Recherches Fondamentales





- HEP a pour but ... de comprendre le mécanisme de notre Univers
- ... **mais** a aussi des retombées technologiques indirectes
- Applications à long terme ... **mais** souvent utiles:
 - Electricité (loi de Maxwell vers 1865)
 - Médecine: traitement du cancer par faisceau de protons (**Orsay**)
 - Détecteur à fils de **Charpak (Prix Nobel)** pour contrôler les containers dans les ports maritimes (**le Havre, Toamasina, ...**)
 - Ordinateurs puissants pour faire des calculs numériques

Retombées Technologiques !

⇒ Recherches Fondamentales

- HEP a pour but ... de comprendre le mécanisme de notre Univers
- ... **mais** a aussi des retombées technologiques indirectes
- Applications à long terme ... **mais** souvent utiles:
 -  Electricité (loi de Maxwell vers 1865)
 -  Medecine: traitement du cancer par faisceau de protons (**Orsay**)
 -  Detecteur à fils de **Charpak (Prix Nobel)** pour controler les containers dans les ports maritimes (**le Havre, Toamasina, ...**)
 -  Ordinateurs puissants pour faire des calculs numériques
- **Page Web** : savez-vous que les pages web d'Internet ont été inventées au **CERN en 1990** pour communiquer des données entre les groupes experimentaux.

- LHC : un concentré de High-Tech !

-  Découverte de la grille de calculs: mise en réseau de plusieurs centres de données et calculs
-  Transmission à très haut débit: 10 Gigaoctet à comparer avec 20 Mega pour l'ADSL
-  Logiciels qui trient 600 Millions d'événements par seconde
-  Utilisation des grand-froids, ultra-vide, électronique rapide, champ magnétique, supraconducteurs,...

- LHC : une expérience décisive pour l'avenir de la physique :

-  On ouvre une porte sans savoir ce qui est derrière (John Ellis - CERN)

- LHC : crée de l'emploi (chercheurs, personnels,...)!

Rétombées Politiques

- **LE CERN** : 1ere coopération Européenne **bien avant** la création de l'UE
- **LHC** : Un bel exemple de collaboration mondiale :
je souhaite que Madagascar y participera !

Concluding Comments for HEPMAD 09 !



Concluding Comments for HEPMAD 09 !



- Different Experts in these HEP fields will present the latest results.

Concluding Comments for HEPMAD 09 !



- Different Experts in these HEP fields will present the latest results.
- Malagasy physicists in some other fields will present their recent works

Concluding Comments for HEPMAD 09 !



- Different Experts in these HEP fields will present the latest results.
- Malagasy physicists in some other fields will present their recent works
- I wish that during meeting, Malagasy Students & Researchers will take the opportunity to learn new topics and to create new collaborations !

Concluding Comments for HEPMAD 09 !



- Different Experts in these HEP fields will present the latest results.
- Malagasy physicists in some other fields will present their recent works
- I wish that during meeting, Malagasy Students & Researchers will take the opportunity to learn new topics and to create new collaborations !