



IN2P3
INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES



Ecole « techniques de base du détecteur » Cargèse

Pascal Vincent
Université Pierre et Marie Curie
LPNHE, Paris

Introduction

Les systèmes expérimentaux
Les interactions des particules chargées
Les interactions des particules neutres
Le détecteur de particules
Visite d'une expérience

« de quoi parlons nous ? »

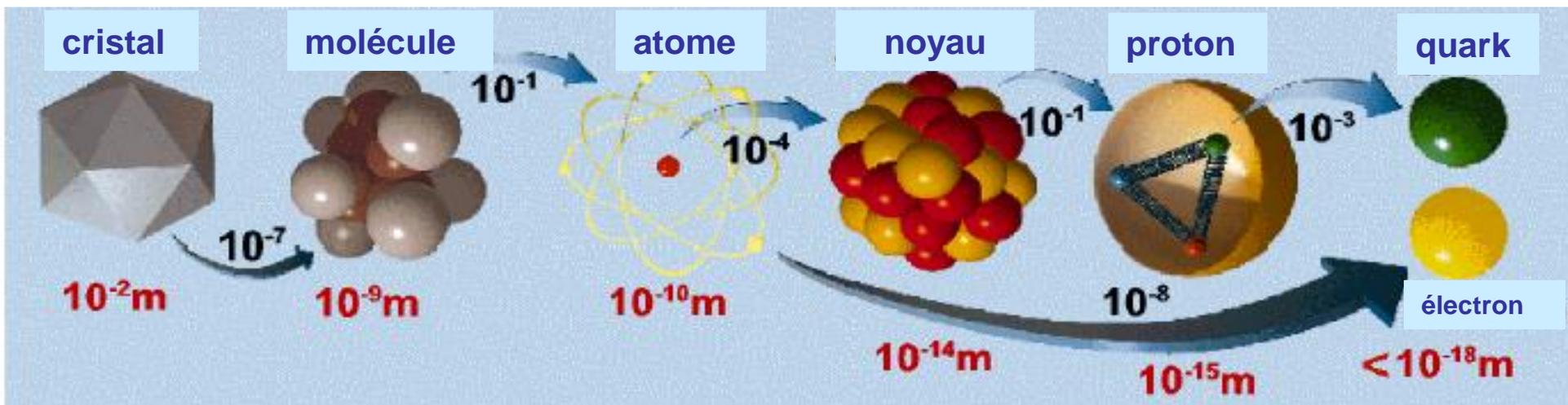
PRÉFACE



Le monde des **particules** (désir de simplicité)

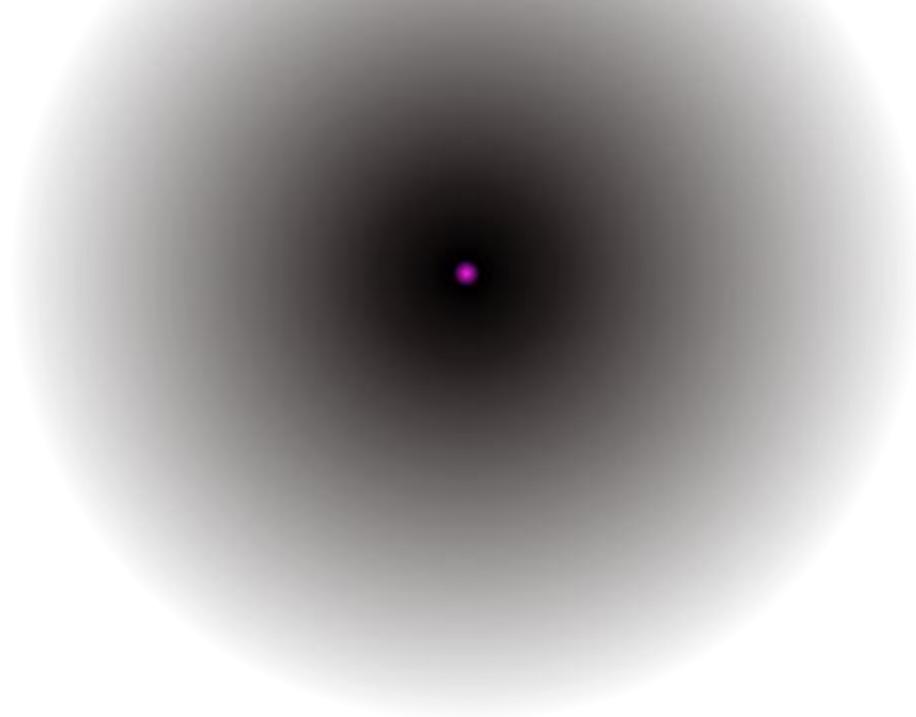


Vers l'infiniment petit



Vers l'infiniment petit

Un atome est formé d'un noyau dont le rayon est de quelques Fermi ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$) et d'un cortège électronique dont les dimensions sont celle de quelques angströms ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).



Quelques ordres de grandeur

Les masses en présence :

$$m_p = 1,672\,621 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_n = 1,674\,927 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9,109\,381\,88(72) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p \cong 2\,000 \times m_e$$

La « densité matière nucléaire » :

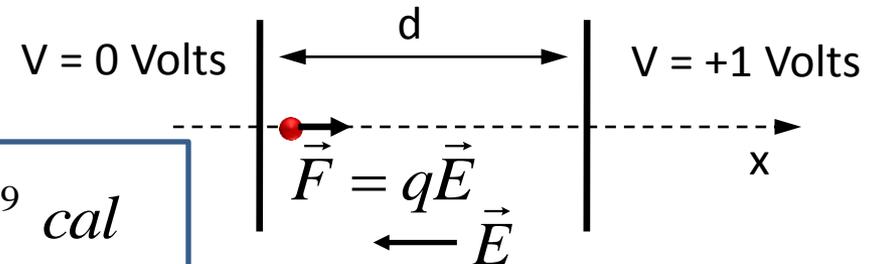
$$\rho = \frac{\text{Masse du nucléon}}{\text{"Volume nucléaire"}} = \frac{m_N}{\frac{4\pi}{3} r_{\text{nucléaire}}^3} \sim 4 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\cong 60\,000\,000\,000\,000 \times \bar{\rho}_{\oplus}$$

Unités d'énergie

L'unité d'énergie utilisée pour le monde subatomique est l'électronvolt (eV).

C'est l'énergie cinétique d'un électron accéléré depuis le repos par une différence de potentiel d'un volt.



$$1 eV = 1,602 \cdot 10^{-19} J = 0,383 \cdot 10^{-19} cal$$

Il faut 26 000 000 000 000 000 000 eV = 26 EeV pour élever la température d'un gramme d'eau pure de 14 à 15 degrés centigrades.

$$\begin{aligned} 1 keV &= 1\,000 eV \\ 1 MeV &= 1\,000\,000 eV \\ 1 GeV &= 1\,000\,000\,000 eV \\ 1 TeV &= 1\,000\,000\,000\,000 eV \end{aligned}$$

Quelques ordres de grandeur

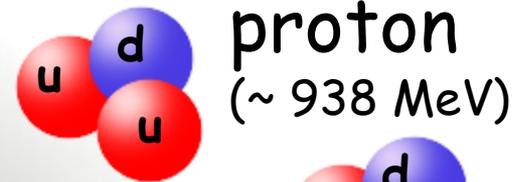
Densité d'énergie :

	Densité d'énergie (J/tonne)
TNT	4 600 000 000
Carburant	45 000 000 000
Nucléon de 1 GeV	166 000 000 000 000 000 000 000

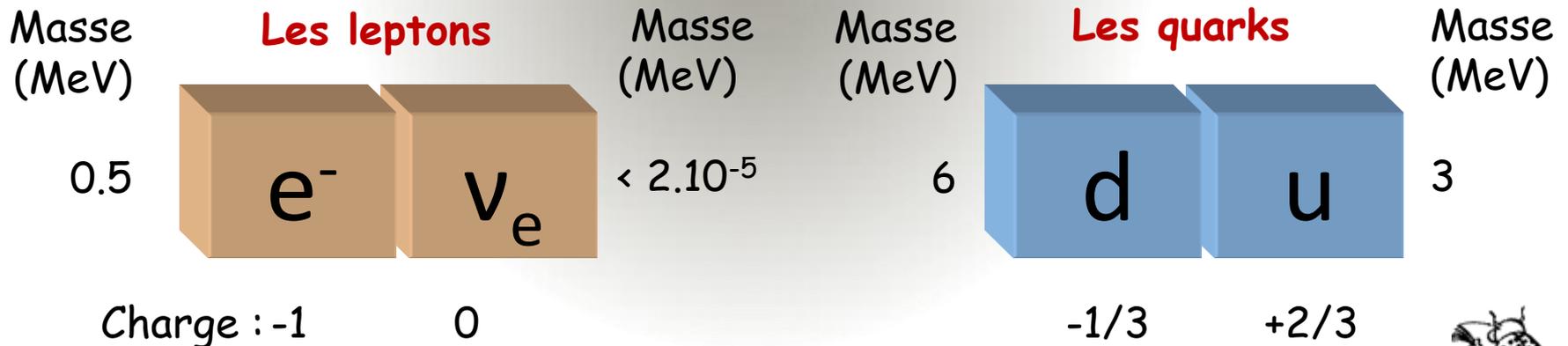
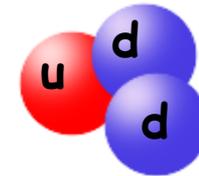


Les particules « élémentaires »

Les fermions (spin = $\frac{1}{2}$).

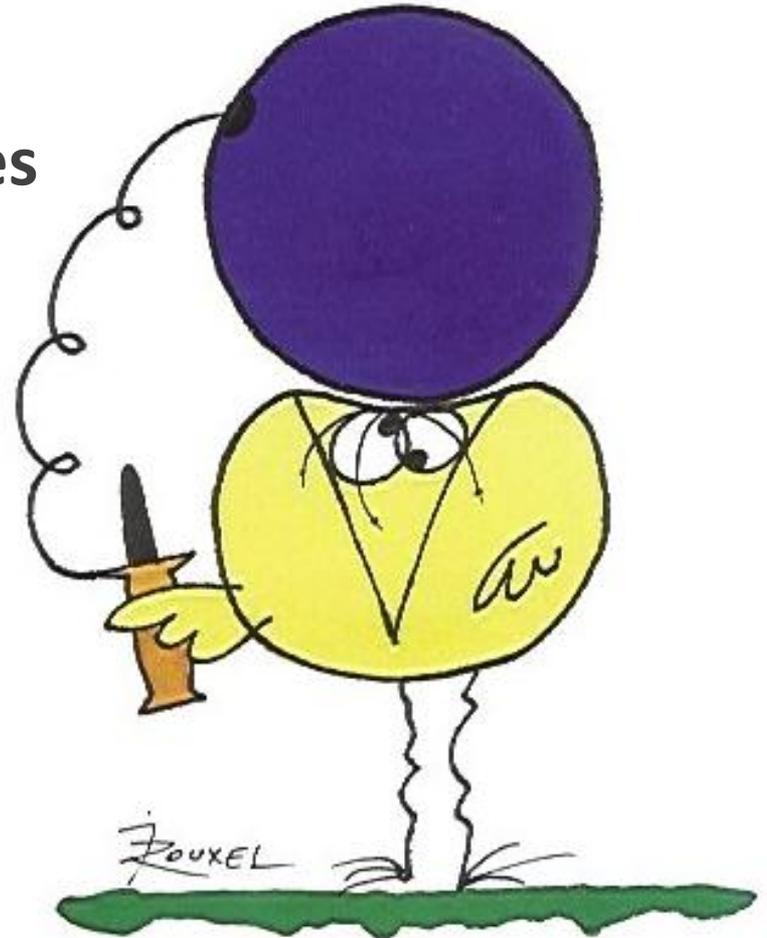
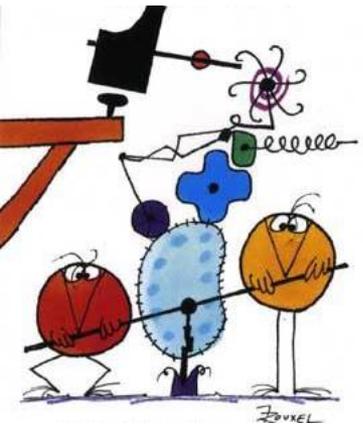


Les baryons



Comment en sommes nous arrivé là ?

En cassant la matière avec des machines de plus en plus puissantes



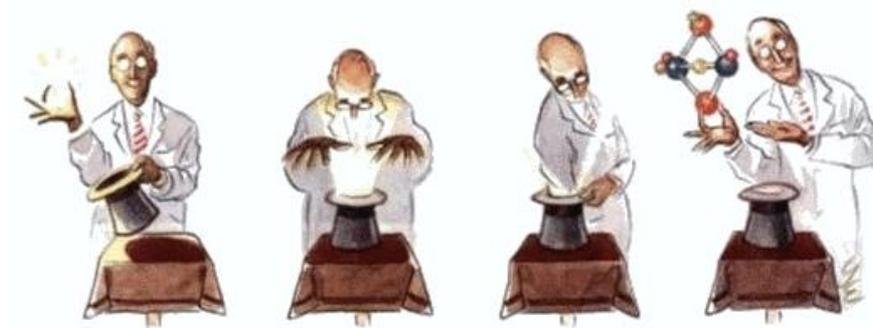
mais ...



Ca se complique

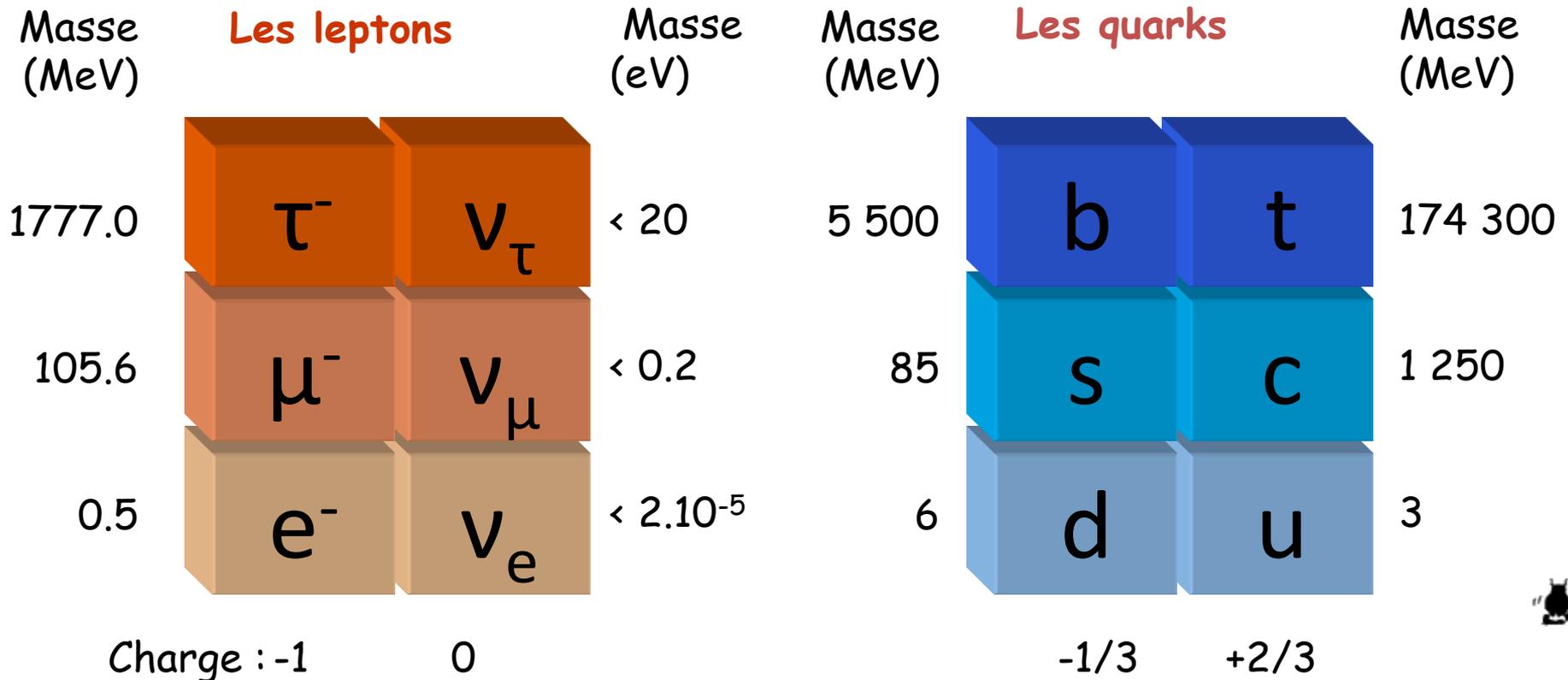
En augmentant l'énergie on peut aussi faire apparaitre de nouvelles particules étranges

$$E = mc^2$$



Les particules « élémentaires »

Les fermions (spin = ½).

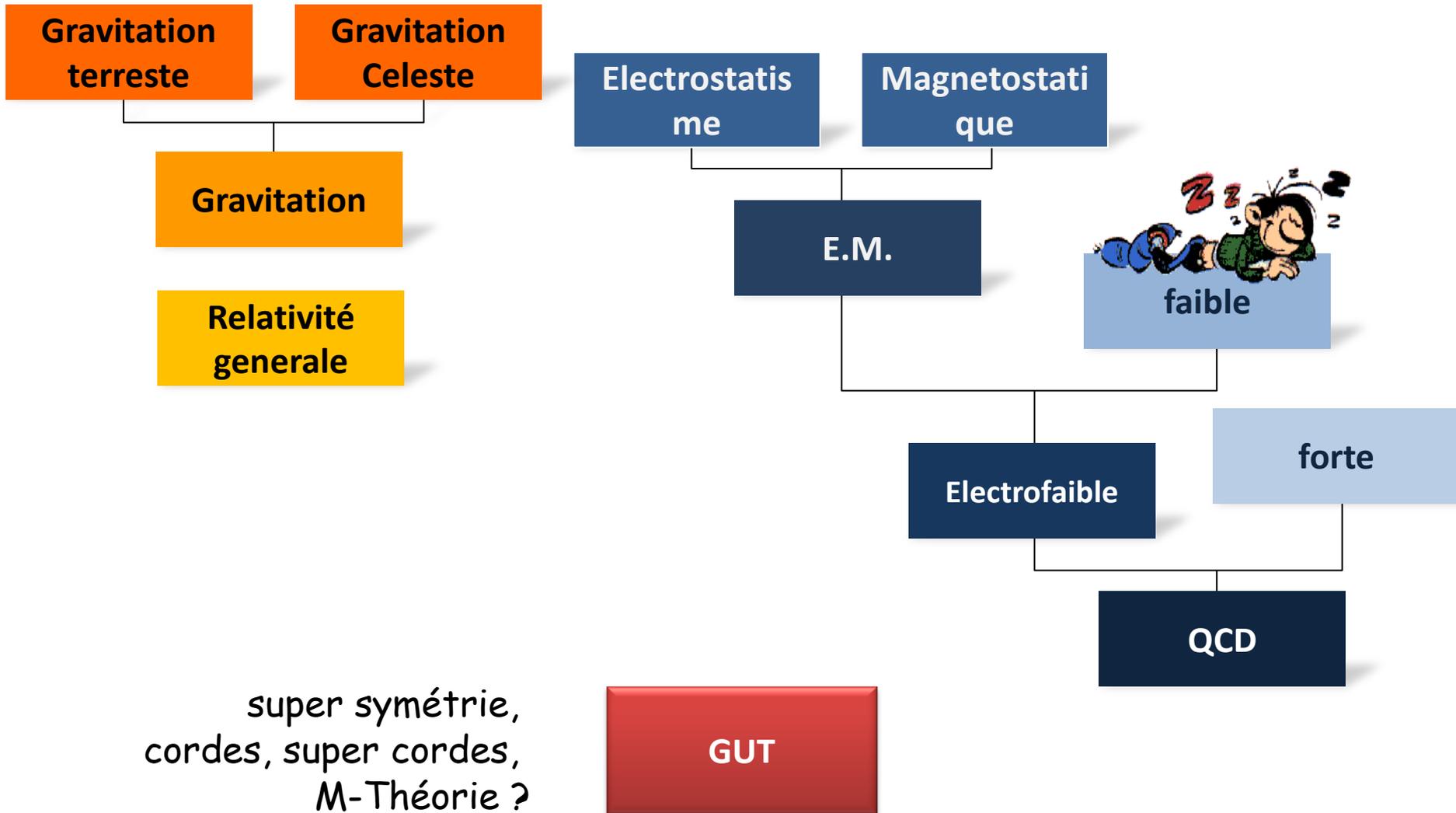


(6 leptons + 6 quarks × 3 couleurs) × 2 spins + Antimatière = **96 états**

Le monde des **interactions** (désir d'unicité)



Le monde des interactions



Le monde des interactions

Type	Portée	Intensité	Quanta	Charge	domaine
Forte	fm	1	8 gluons	Couleur	Nucléaire
E.M.	Très grande	1/1000	photon	électrique	Nucléaire, atomique et moléculaire
Faible	1/100 fm	$\sim 10^{-5}$	Z^0, W^\pm	saveur	Nucléaire
Gravitation	Très grande	$\sim 10^{-38}$	graviton	Masse ou énergie	Matière

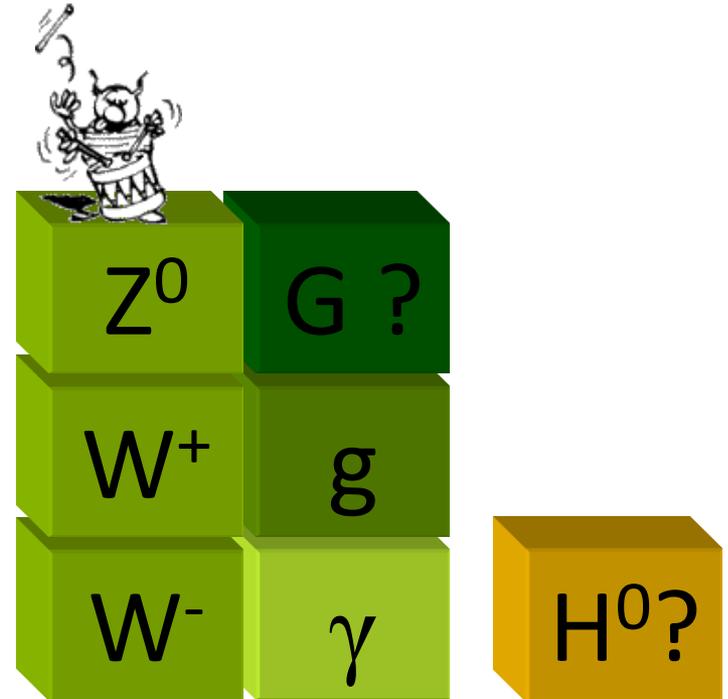
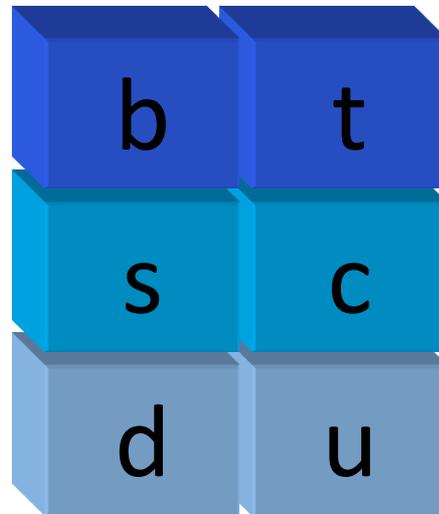
Les particules « élémentaires »

Les fermions

Les bosons

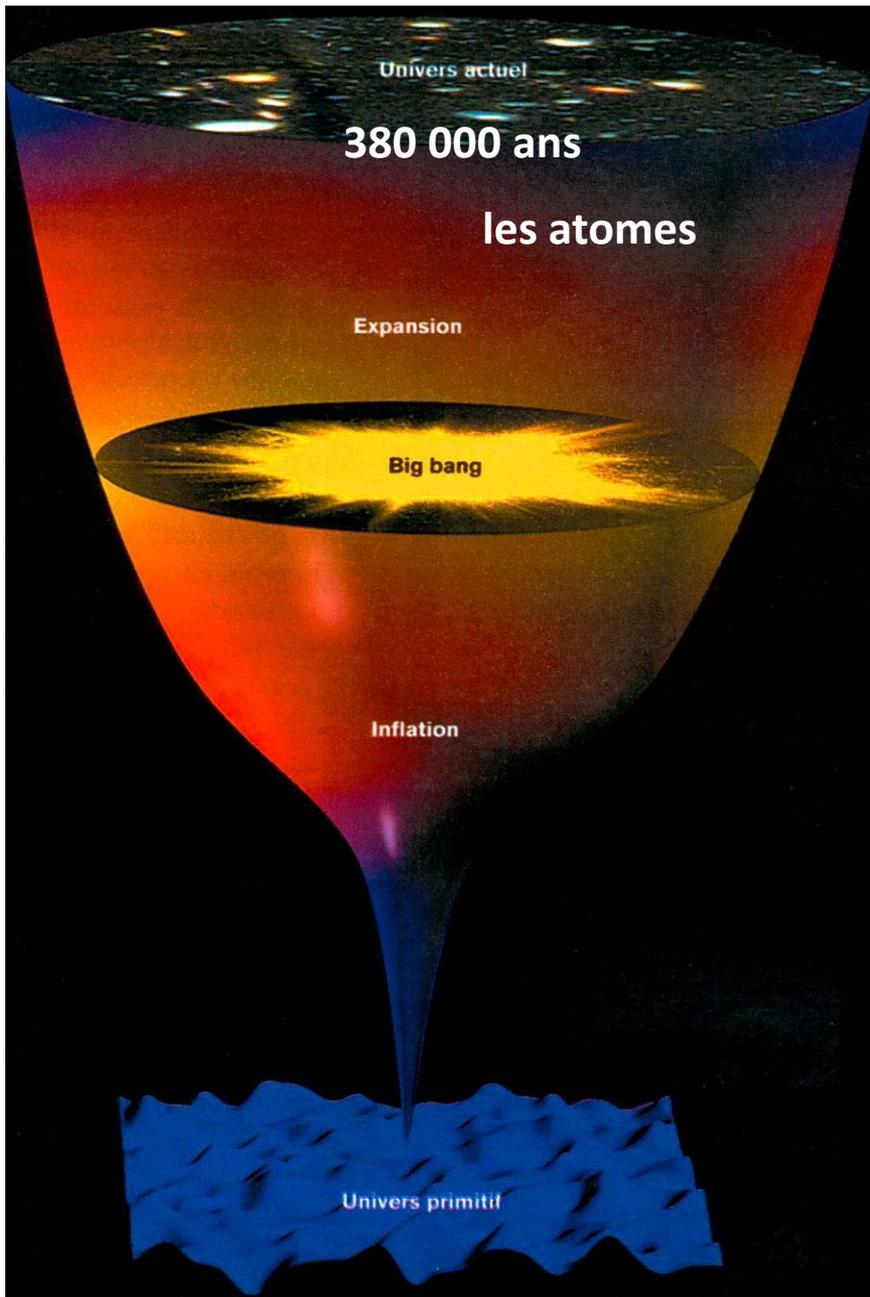
Les leptons

Les quarks



Une vision de l'Univers





13 700 000 000 d'années auront été nécessaires pour donner naissance à l'école « techniques de base du détecteur » de Cargèse (à 1.4% près). Dans 4 milliards d'années Andromède (M31) y mettra un terme.

10^{-10} ... 1 s : les particules

10^{-32} s : le « big bang »

$\sim 10^{-34}$ s : l'inflation

Univers observable était avant l'inflation contenu dans un espace considérablement petit (1/1 000 000 000 du proton !),

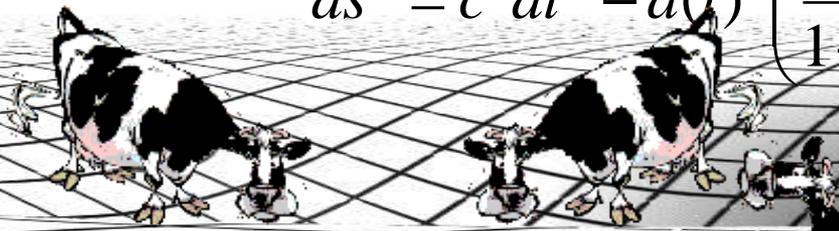
$< 10^{-43}$ s : l'aire de Planck

Vide primordial : 10^{94} GeV/cm³ ?

L'Univers actuel

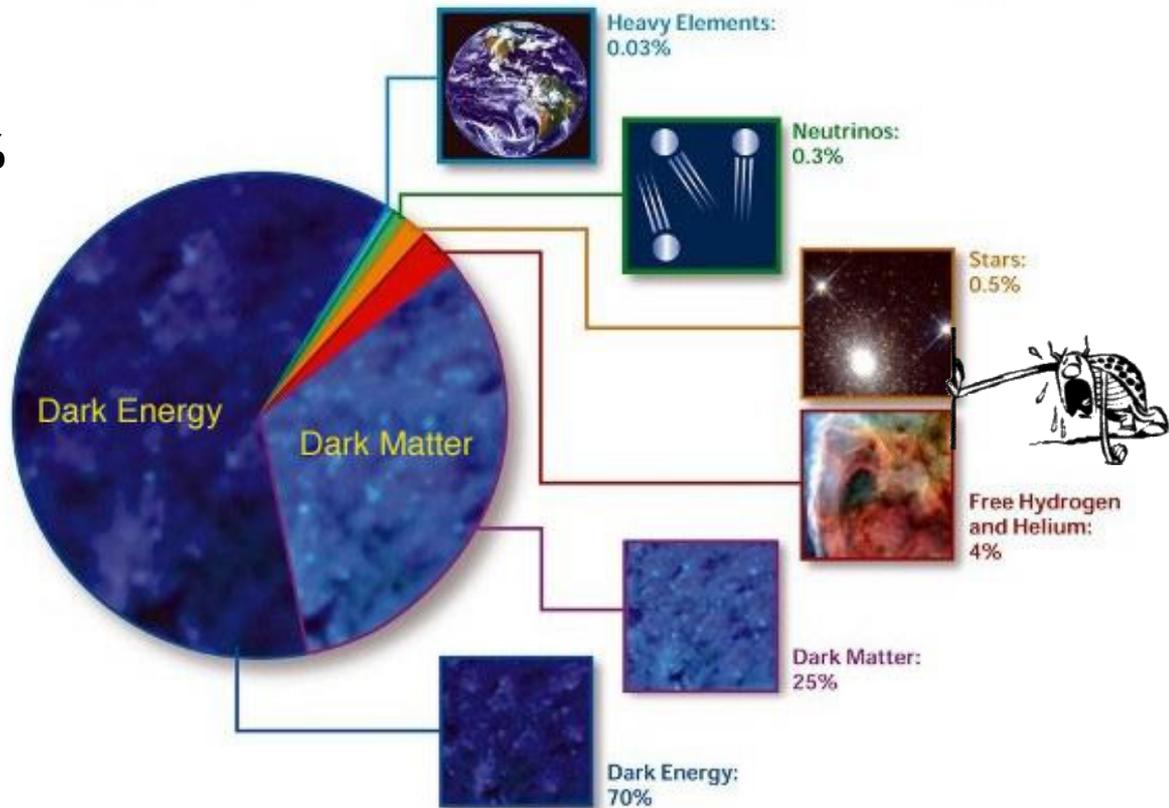
- ❖ Plat
- ❖ Homogène et isotrope
- ❖ En expansion accélérée
- ❖ Décrit par la métrique de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a(t)^2 \left(\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right)$$



Notre compréhension de l'Univers

Matière hadronique	4.03%
Neutrinos	0.3%
Rayonnement	0.5%
Matière noire	25%
Energie noire	70%



Seul **~4.83%** du contenu de l'Univers est **identifié**

Quelles sont les questions ouvertes et les moyens d'y répondre ?

EPILOGUE

Quelles sont les limites du modèle standard

La compréhension des masses et hiérarchie (mécanisme de Higgs)

Quelle est la masse des neutrinos ?

L'élémentarité des quarks et des leptons

Pourquoi trois familles ?

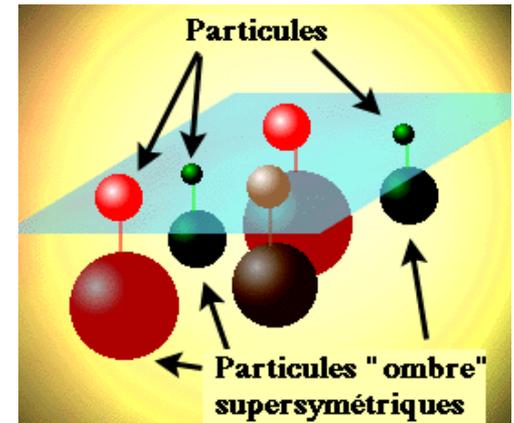
Où est passé l'antimatière ?

L'unification des forces est elle possible ?

Deux familles de particules : bosons - fermions ?

Y a t'il de nouvelles particules et interactions ?

...



Quelles sont les limites du modèle cosmologique

Quelle est l'origine des rayons cosmique d'énergie extrême ?

Quel phénomène est responsable de l'inflation ?

Pourquoi 4 dimensions ?

Comment l'Univers a t'il commence (quelle a été la fluctuation primordiale)?

Quelle est l'origine de la matière noire (matière baryonique $\sim 4\%$ de l'univers)?

- ❖ Autre forme de concentration de matière baryonique : Machos (quelques candidats...)
- ❖ Neutrinos produit dans les événements cosmiques (la masse est trop petite) ?
- ❖ Neutrinos cosmologiques (découplage)?
- ❖ Particules super massives (reliques du big bang) ?

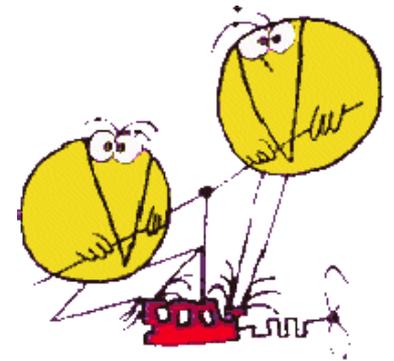
L'énergie noire

- ❖ Energie du vide? Fluctuations quantiques des champs
- ❖ L'antimatière+antigravitation au delà de l'Univers ?
- ❖ Inflaton
- ❖ La constante cosmologique d'Einstein.



Comment répondre a ces questions ?

LA MÉTHODE



La méthode

On cherche à étudier des **objets qui ont existé dans un passé lointain** où régnait des conditions bien différentes (haute énergie, haute densité) des conditions actuelles.

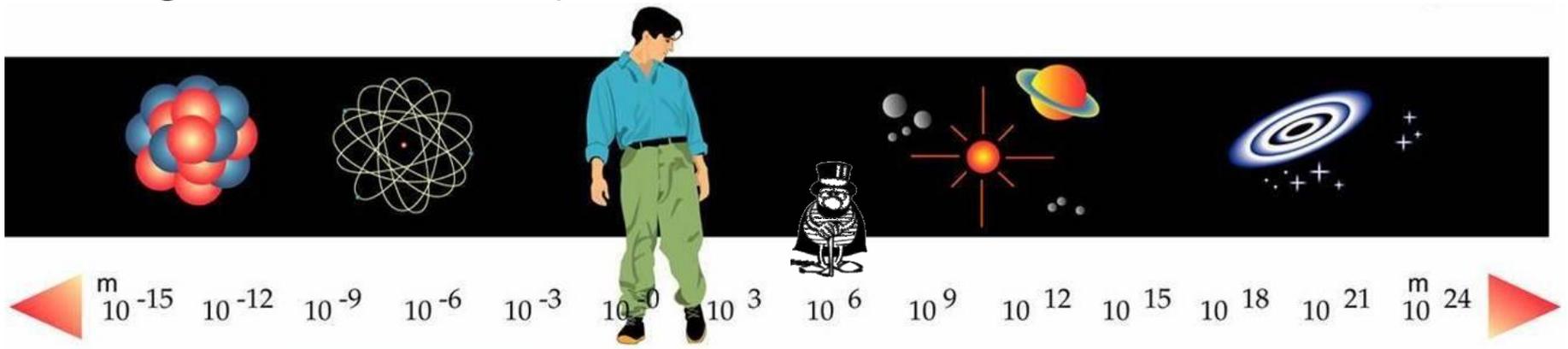
Solutions :



1. Reproduire les conditions qui ont pu exister à leur création.
2. Remonter le temps pour observer ces objets dans le passé.

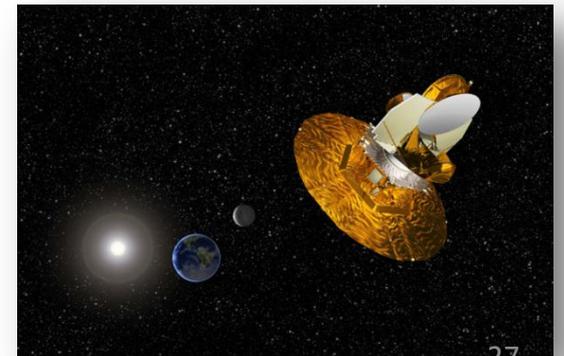
La méthode

On cherche à étudier des **objets qui ont existé dans un passé lointain** où régnait des conditions bien différentes (haute énergie, haute densité) des conditions actuelles.



Pascal Vincent

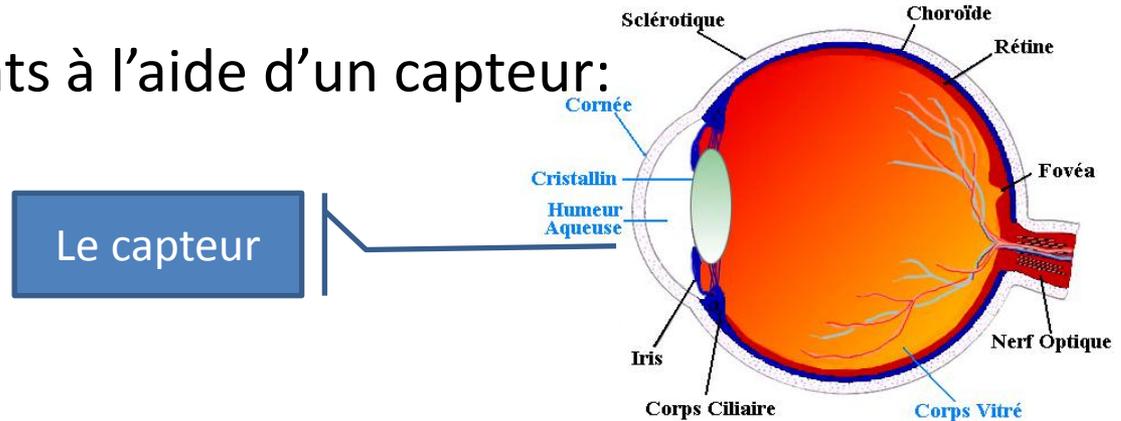
Cargèse



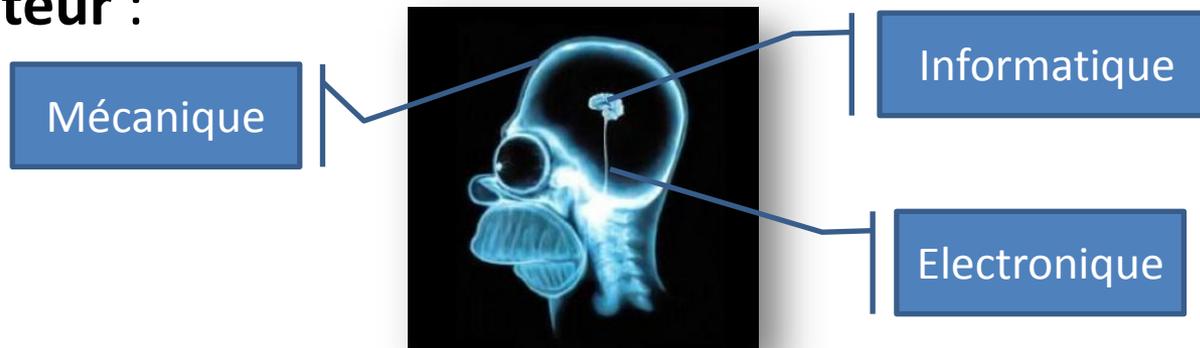
La méthode



On saisi les constituants à l'aide d'un capteur:

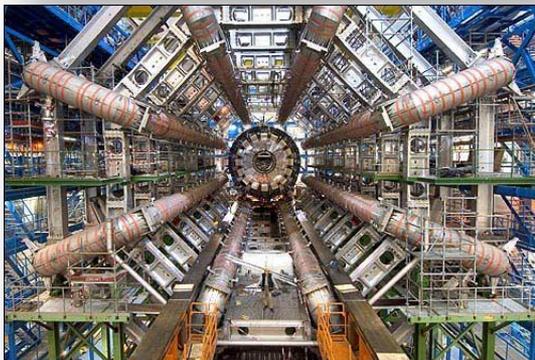


On instrument le capteur d'une **électronique** rapide, d'un **système d'acquisition** performant dans une **structure** pour créer un **détecteur** :



Reproduire les conditions initiales

Ces machines peuvent être des **installations artificielles** conçues par des laboratoires de recherche



Pascal Vincent

ou **naturellement produites dans l'Univers** par des événements cataclysmiques.



Cargèse

