

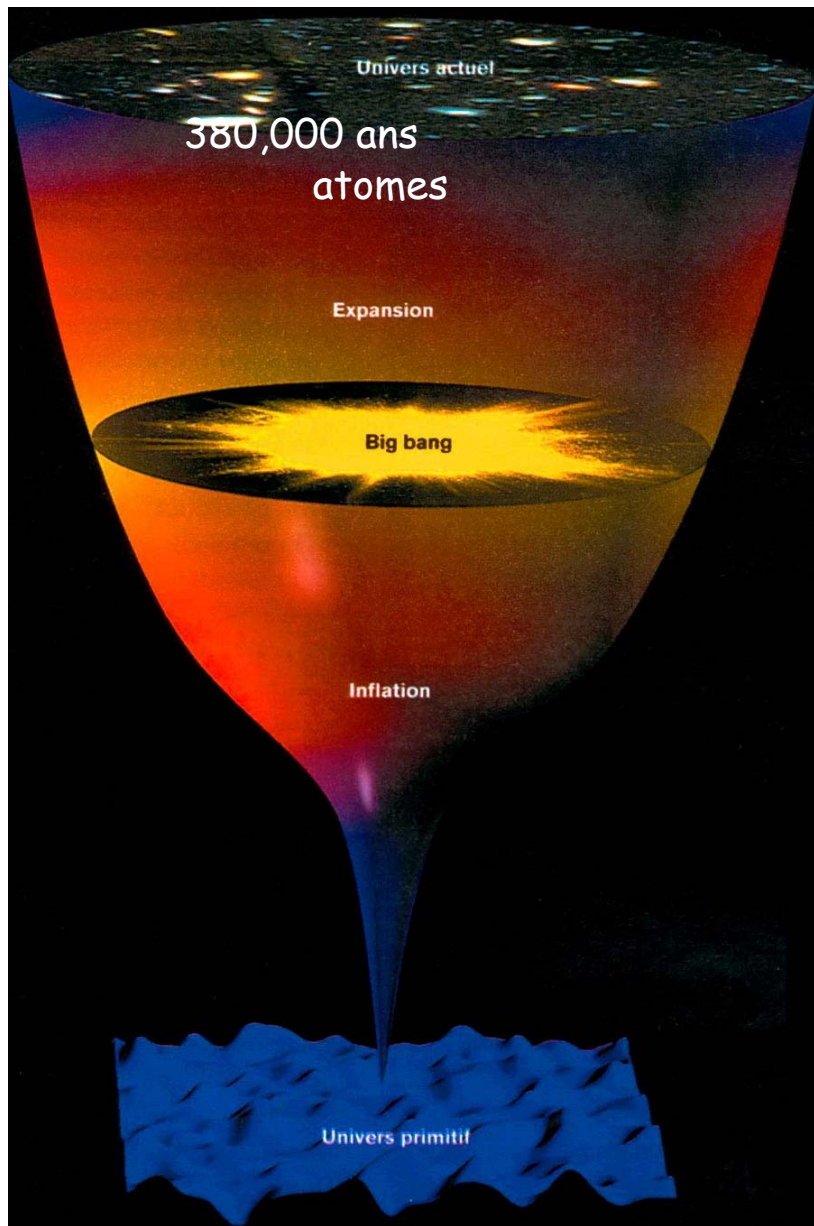
Cargèse - 25 au 31 mars 2007

**Ecole des techniques de base
des détecteurs**

**Pascal Vincent
Université Pierre et Marie Curie
LPNHE, Paris**



L'Univers primordial



13 700 000 000 d'années auront été nécessaires pour donner naissance à l'école des techniques de bases des détecteurs de cargèse (à 1.4% près). Dans 4 milliards d'années Andromède (M31) y mettra un terme.

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

10^{-32} s "big bang"

$\sim 10^{-34}$ s inflation

Univers observable était avant l'inflation contenu dans un espace considérablement petit ($1/10000000000$ du proton !), chacune de ses parties ont pu communiquer, interagir, et donc faire disparaître d'éventuelles hétérogénéités de départ.

notre univers observable n'est que la partie visible d'un univers immense et courbe

$< 10^{-43}$ s 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

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

Preuves experimentales

Red-shift des galaxies

L'expansion de l'univers

Fond cosmique

CMB : résultat du découplage des photons et de la matière
 $T = 2.725 \pm 0.002$ K

IRB : époque de formation des grandes structures

Abondance ^4He , ^3He , ^2H et ^7Li

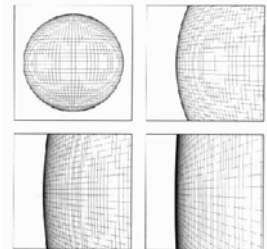
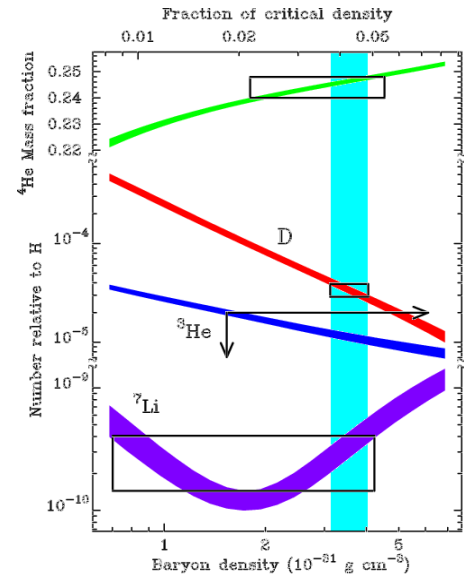
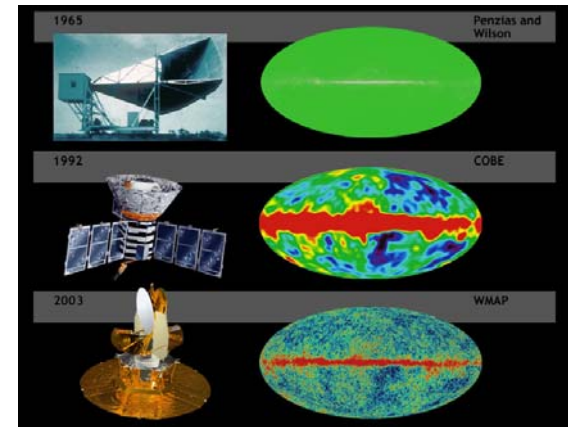
deutérium disparaît facilement lors de la fusion nucléaire au sein des étoiles et il n'y a pas de processus astrophysique autres que le Big Bang pour en produire en de telles quantités

Distribution des quasars dans l'Univers

$z=1-2$ c.a.d. $\frac{1}{2}$ distance à l'horizon. Cette distance correspond à une époque où la densité de matière environnante était suffisante pour alimenter le trou noir qui le compose

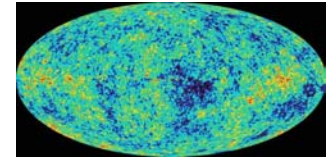
Paradoxe d'Olbers

les nuits sont noires. Existence d'un horizon donnant un âge fini à l'univers

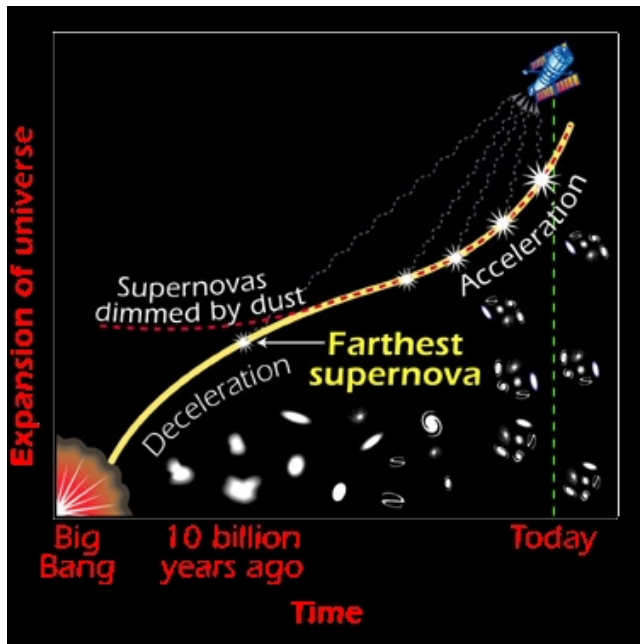


Evidence de l'existence de l'énergie noire

Evidence #1 - Homogénéité du fond cosmologique
→ modèle de inflation



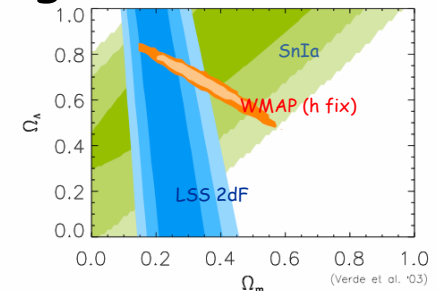
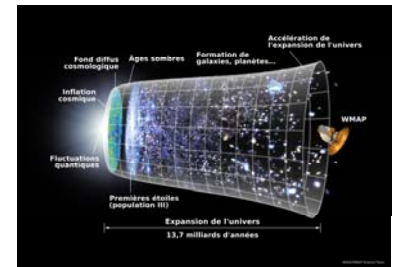
Evidence #2 - Histoire de l'expansion de l'Univers



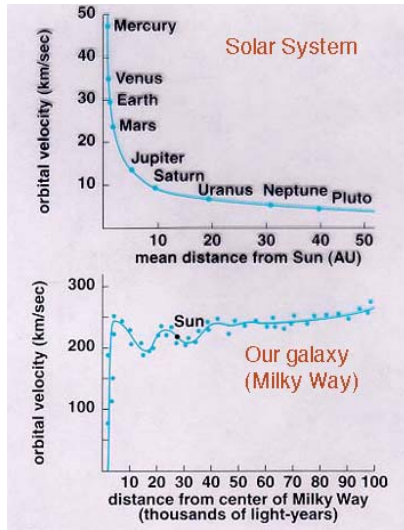
Etude des supernovae
à grand red-shift



La vitesse d'expansion de
l'Univers augmente sous
l'effet de cette energie
noire



Evidences de la matière noire

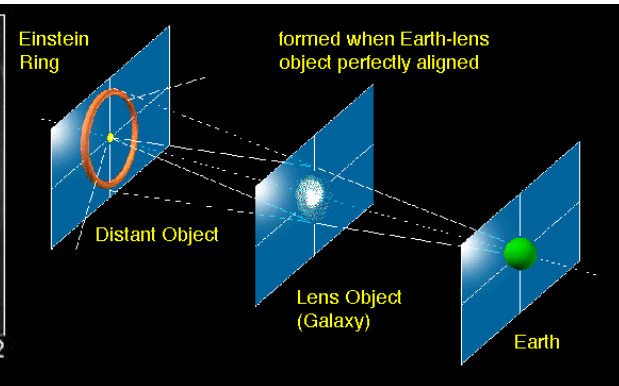
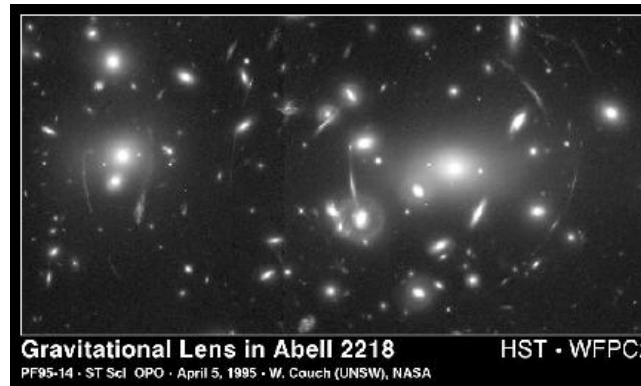
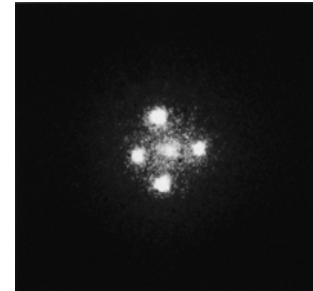


Courbes de rotation des galaxies

(la vitesse de rotation des étoiles est trop forte en périphérie)

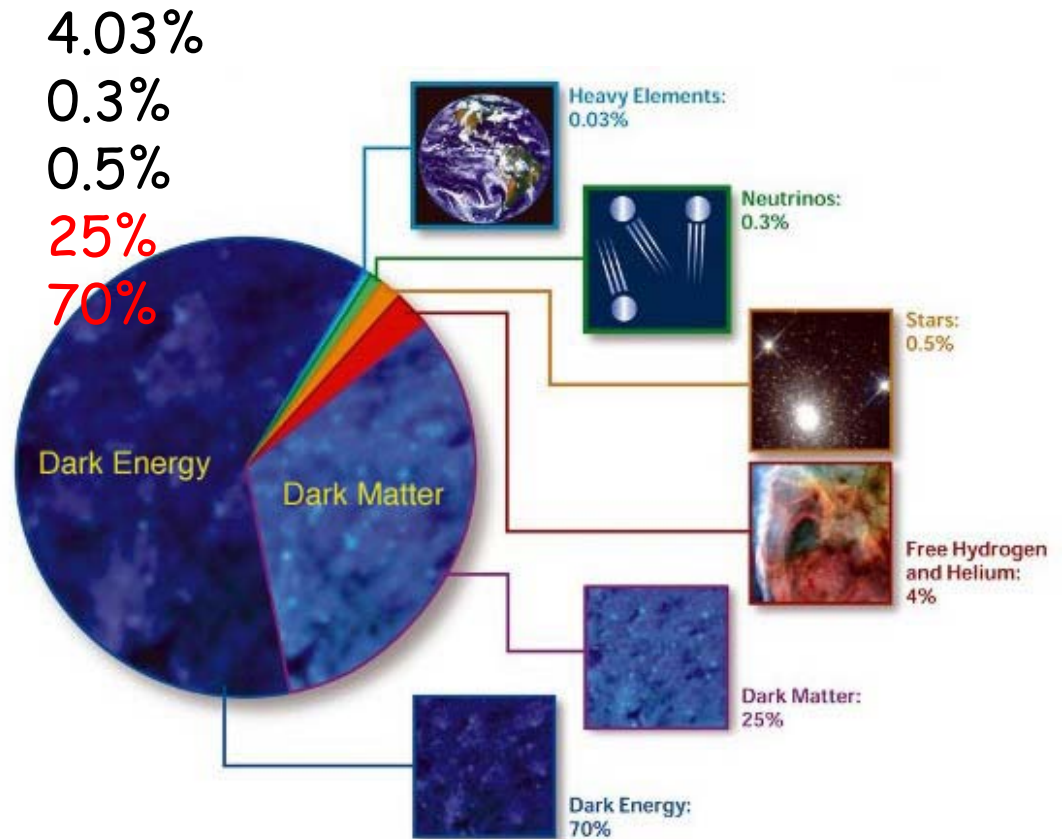
Lentilles gravitationnelles

(Effet trop fort pour être interprété avec la matière visible)



Le contenu de l'Univers

matiere hadronique
neutrinos
rayonnement
matiere noire
energie noire



Seul **4.83%** du contenu de l'Univers est **identifie**

Quelle est l'origine de l'énergie noire

Energie du vide?

Fluctuations quantiques des champs

L'antimatière+antigravitation

Au delà de l'Univers ?

Inflaton

Champs responsable de la fluctuation primordiale

Champs de Higgs

Les bosons responsable de la naissance de la masse des particules

La constante cosmologique d'Einstein.

Un champ qui balance l'effondrement gravitationnel de l'univers

Quelle est l'origine de la matière noire

Matière baryonique $\sim 4\%$ de l'univers. Qu'est ce qui stabilise les galaxies sans émettre de rayonnement?

Autre forme de concentration de matière baryonique : Machos (quelques candidats...)

Neutrinos produit dans les événements cosmiques (la masse est trop petite) ?

Neutrinos cosmologiques (découplage)? (aucun modèle ne permet réellement de quantifier leur présence et ou peuvent-ils être?)

Particules super massives (reliques du big bang) ?

Questions ouvertes

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 ?

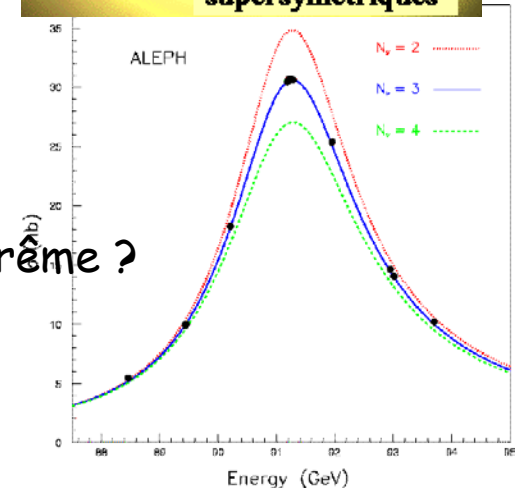
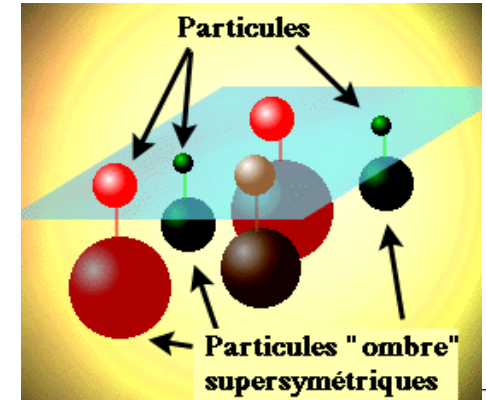
Y a t'il de nouvelles particules et interactions ?

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 initiale)?



Que pensons nous savoir?

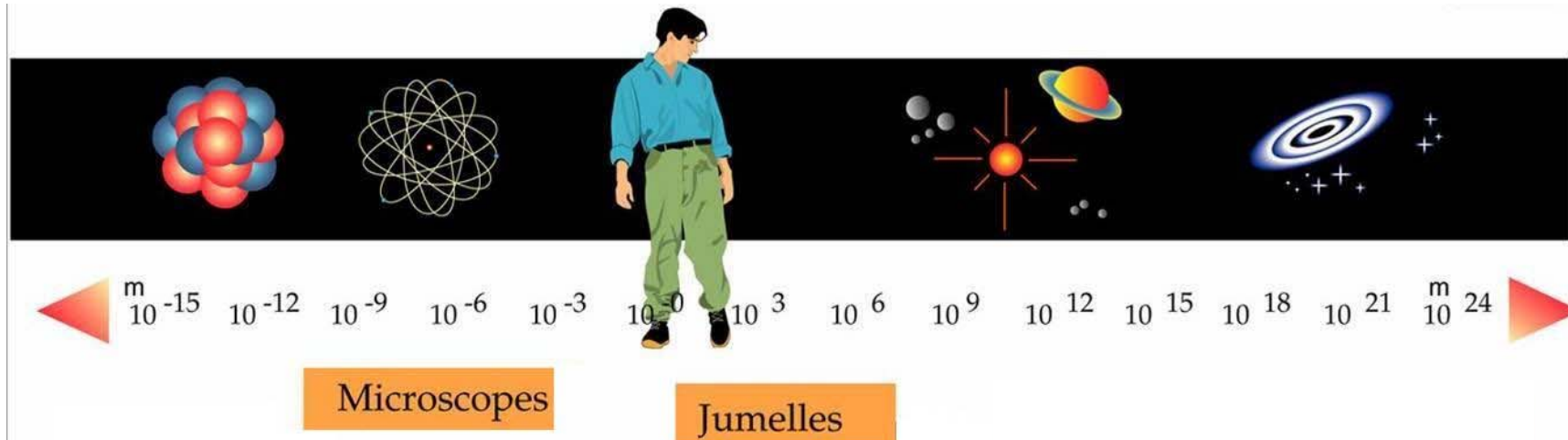
Quelles sont les questions ouvertes?

Quels sont les moyens d'y répondre ...

Remarques : On recherche des objets qui ont existés dans un passé lointain ou qui se produisent aux confins de l'Univers dans des événements cataclysmiques.

Solutions :

1 - Reproduire les conditions qui ont pu exister à leur création.



2 - Augmenter la sensibilité aux événements lointains

La méthode

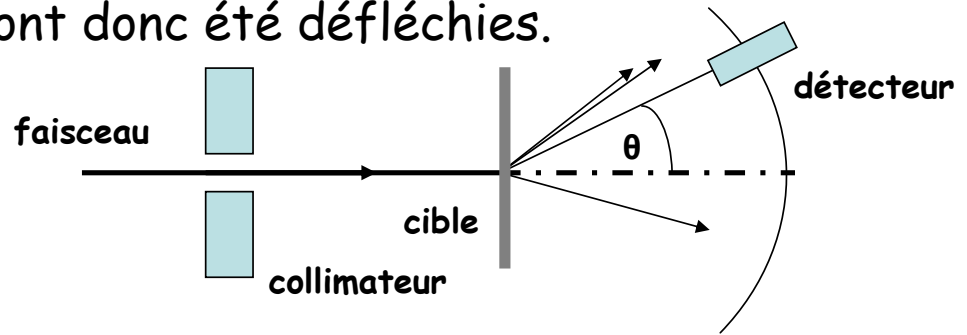
Qu'est ce qu'un événement?



Quelles informations peut-on en tirer?

Recherche de l'infiniment petit : méthode expérimentale

Une méthode générale d'investigation de la matière subatomique consiste à diriger un faisceau de particules d'énergie déterminée sur une cible, et à détecter, à tous les angles, celles qui ont interagit avec un élément de la cible et ont donc été défléchies.



On reconstruit la distribution angulaire des particules diffusées $dn(\theta, \varphi)$:

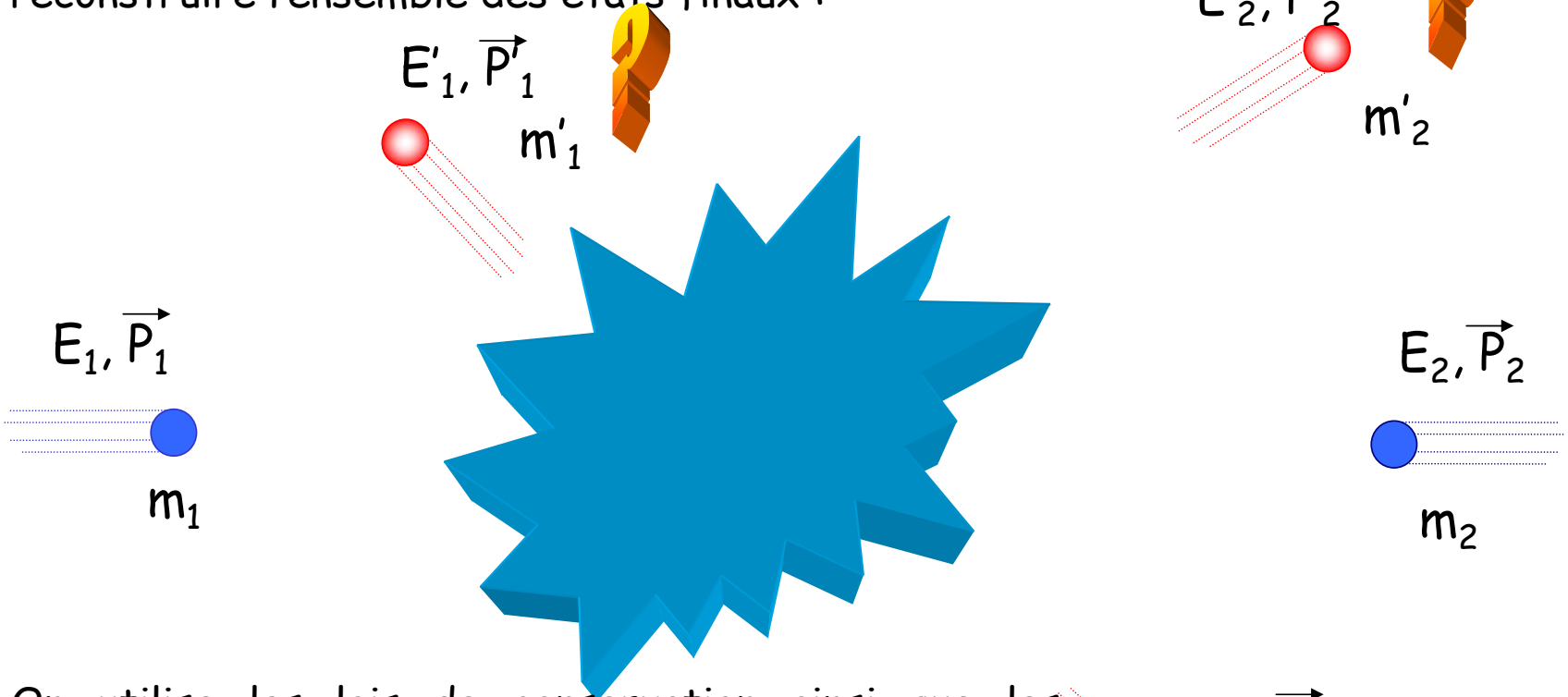
$$dn(\theta, \varphi) = \sigma(\theta, \varphi) \cdot \phi_i \cdot d\Omega$$

Observable

$$\sigma(\theta, \varphi) = |f(\theta, \varphi)|^2$$

Théorie

En supposant l'état initial connu, il reste à reconstruire l'ensemble des états finaux :



On utilise les lois de conservation ainsi que les paramètres de l'état initial pour **déterminer les états intermédiaires** et ainsi reconstruire l'événement.

Remarque : **si l'une des lois n'est pas conservée** c'est que l'un des états finaux n'était pas détectable. Dans le cas contraire, c'est un **indice pour une nouvelle physique**.

Qu'est ce qui caractérise une particule ?

- Sa masse
- Sa charge et autre nombre quantique (spin, saveur, couleur, isospin ...).
- Son état dans « l'espace des phases » :
 - Impulsion : $\vec{p} = \gamma m \vec{V}$ ($\vec{p} = m \vec{V}$)
 - Energie : $E = \gamma m c^2$ ($E = \frac{1}{2} m V^2$)

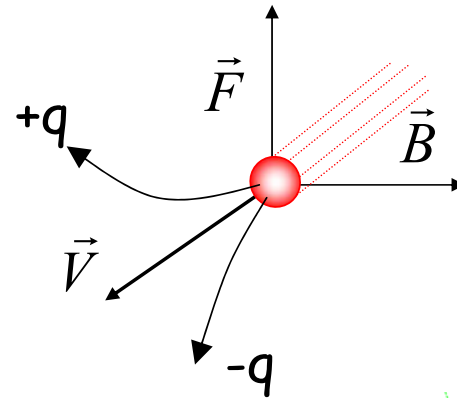
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

Déterminer la **charge** et de **l'impulsion**

Il faut reconstruire la trajectoire de la particule dans un champ magnétique :

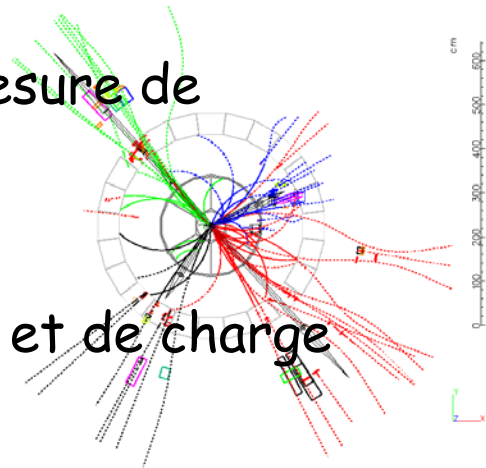
$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{V^2}{R} \vec{i} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$$

$$\Rightarrow R = \frac{mv}{qB} = \frac{P}{qB}$$



La courbure de la trajectoire donne une mesure de l'impulsion

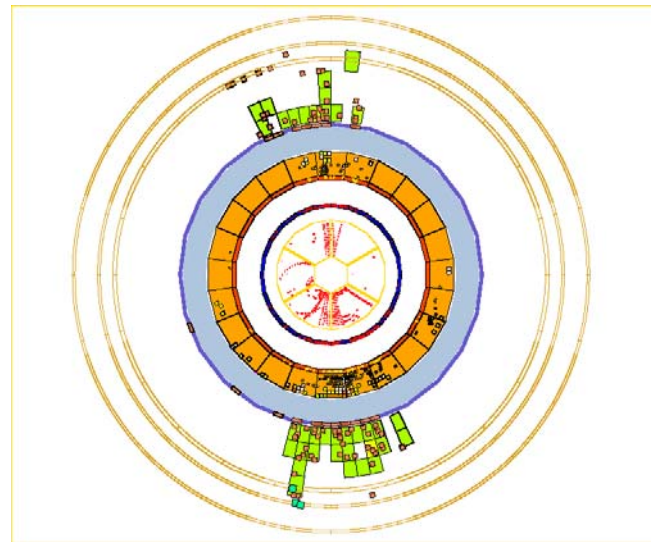
Les sens de la courbure détermine le signe et de charge



Mesurer l'énergie :

Stopper la particule dans de la matière.

L'interaction dépendra du type de la particule, ce qui permet également de l'identifier.



Identifier la masse

Quelques outils :

$$E^2 = P^2 + m^2 \quad : \quad (E, P) \Rightarrow m$$

$$E = \gamma(v)mc^2 \quad : \quad (E, v) \Rightarrow m$$

$$P = \gamma(v)mv \quad : \quad (P, v) \Rightarrow m$$

On se base sur les lois connues de la physique ou tout au moins pas encore invalidée pour reconstituer le puzzle :

Conservations :

Energie/impulsion ou 4-moment :

on connaît : $\sum E_i = \sum E_f$ en relativité :

$$\sum \vec{P}_i = \sum \vec{P}_f \quad \vec{P} \cdot \vec{P} - E^2 = \text{invariant}$$

Nombres quantiques :

Charge,

Nombres leptoniques, baryoniques ...

La parité, le spin ...