

Le détecteur LHCb

Masterclass @ LAL - 2014

Alexis Vallier & Yasmine Amhis

Votre Mission:

*Mesurer le temps de vie de la
particule D^0*

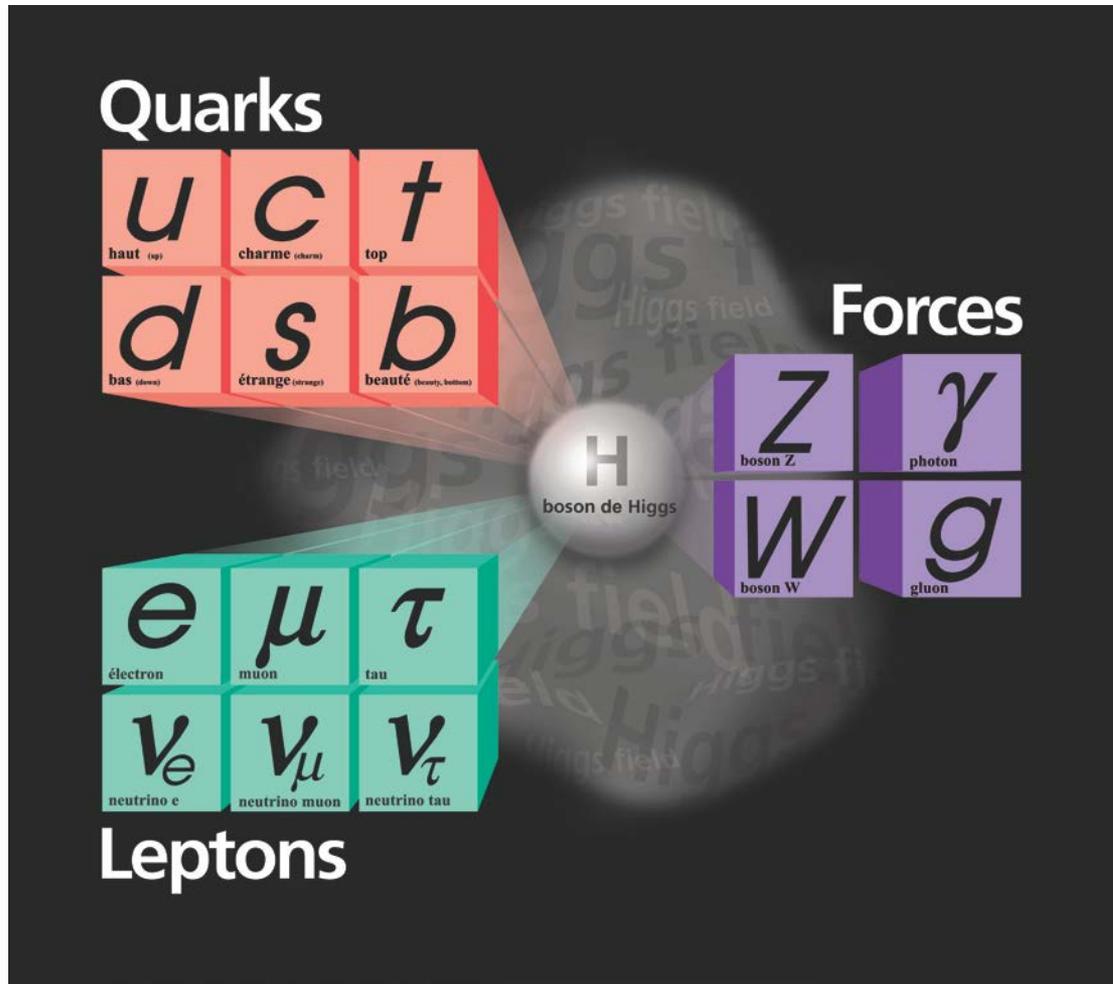


BRIEFING

1. Pourquoi les particules ont une vie ?
2. Comment mesure-t-on un temps de vie ?
3. Pourquoi la particule D^0 ?
4. Le détecteur LHCb.
5. Comment mesure-t-on une masse ?

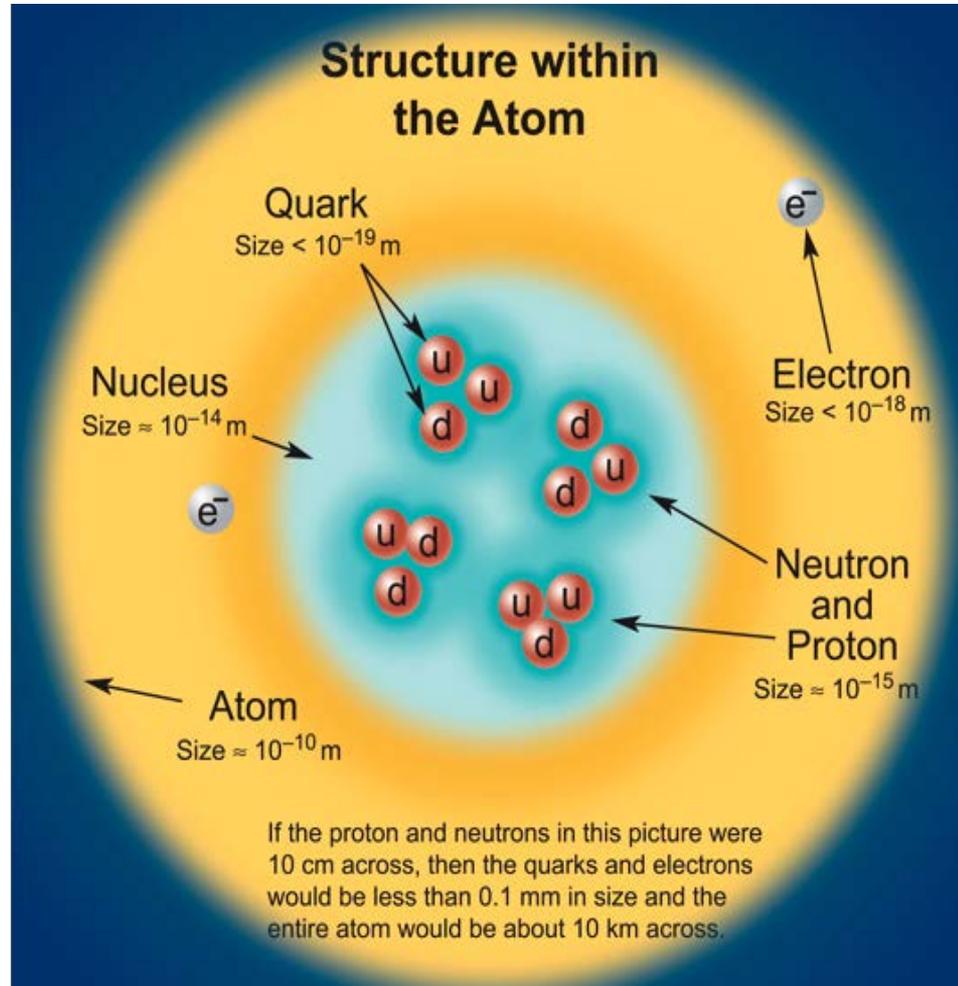
Pourquoi les particules ont une vie?

Un monde de particules

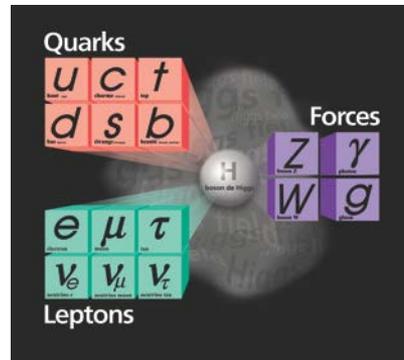


Il existe un petit nombre de particules fondamentales.

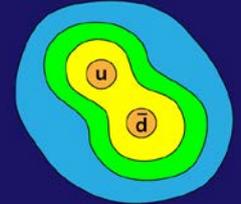
Bien plus petites que les atomes!



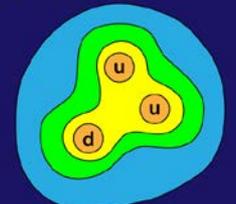
Elles sont les briques formant la matière:



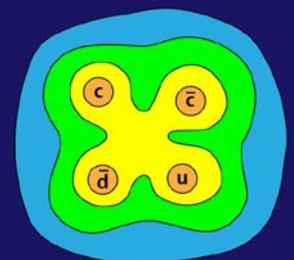
a) pion



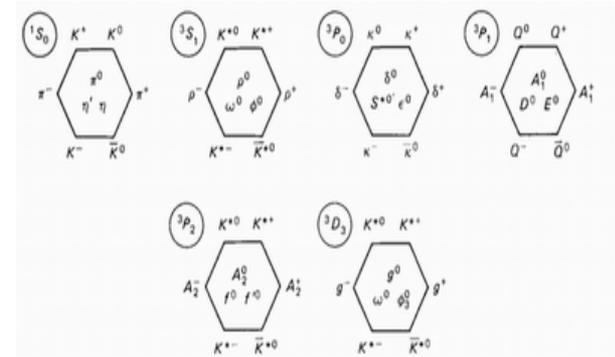
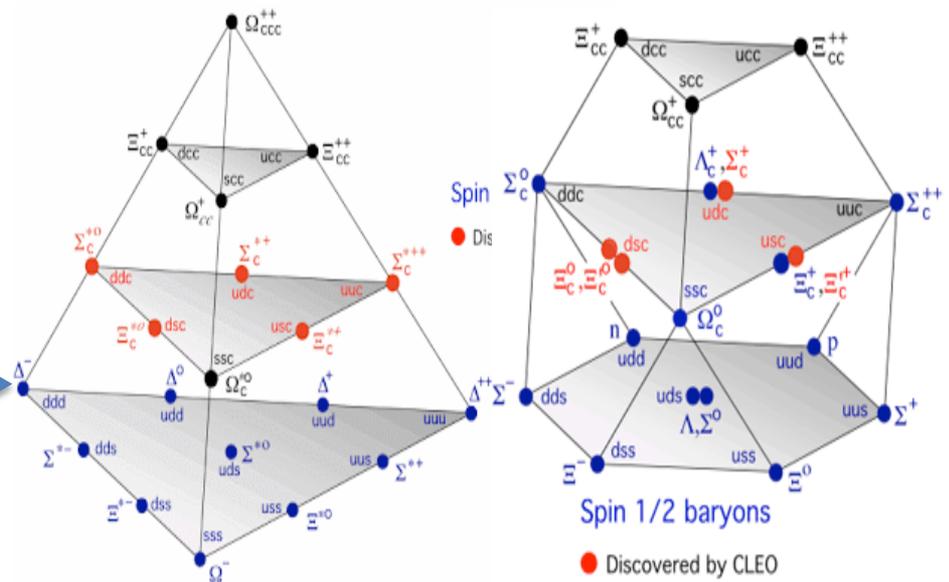
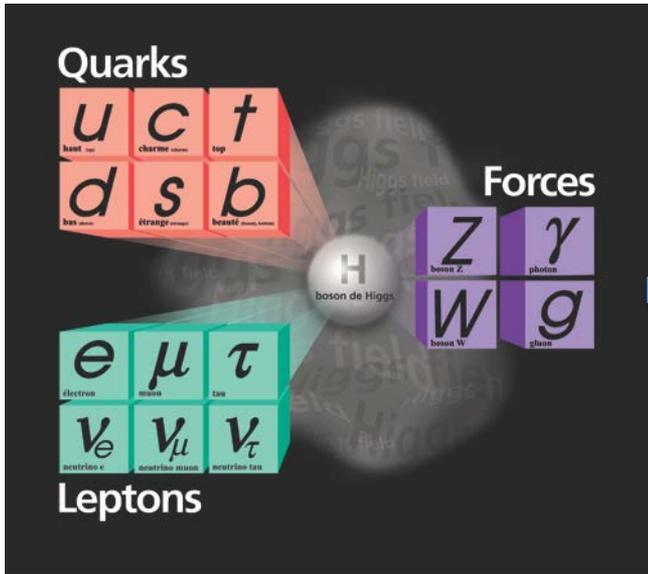
b) proton



c) $Z_c(3900)$



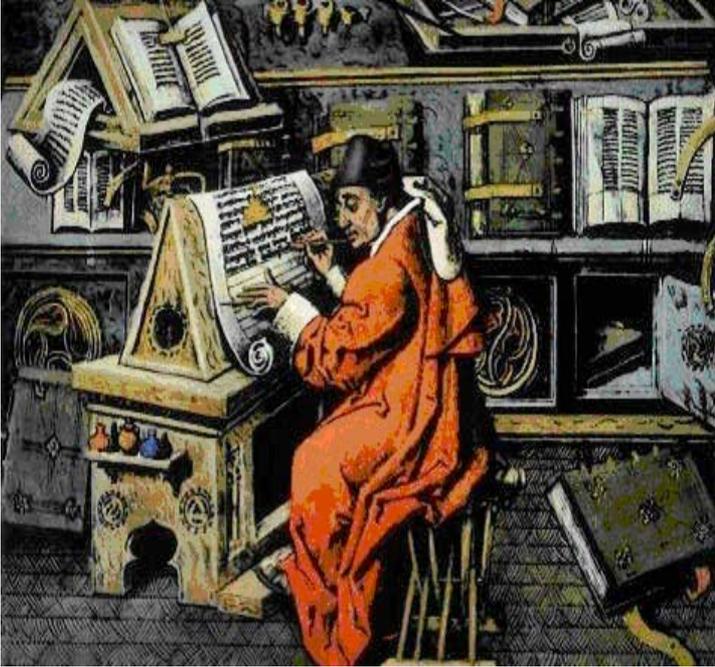
Elles s'assemblent de plusieurs façon



Il existe un petit nombre de particules fondamentales.

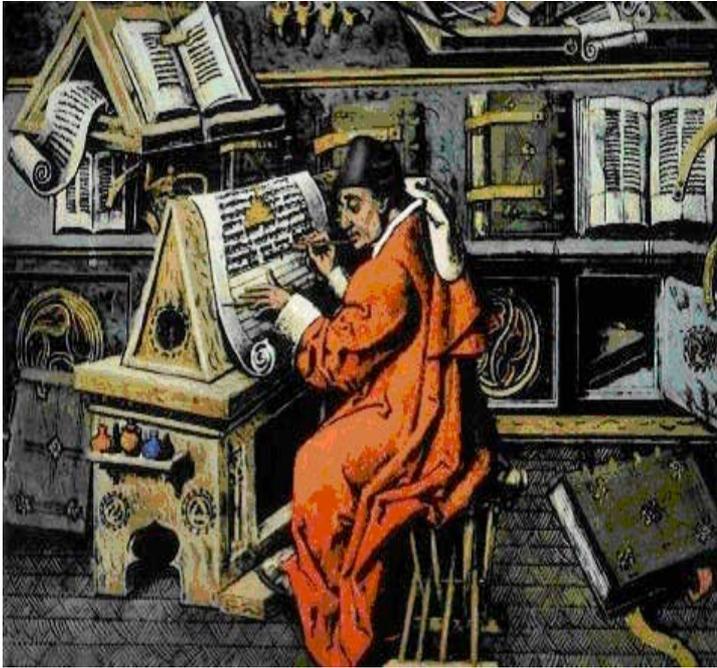
Et un très grand nombre de combinaisons de quarks !

Quelles sortes de particules existe-t-il?

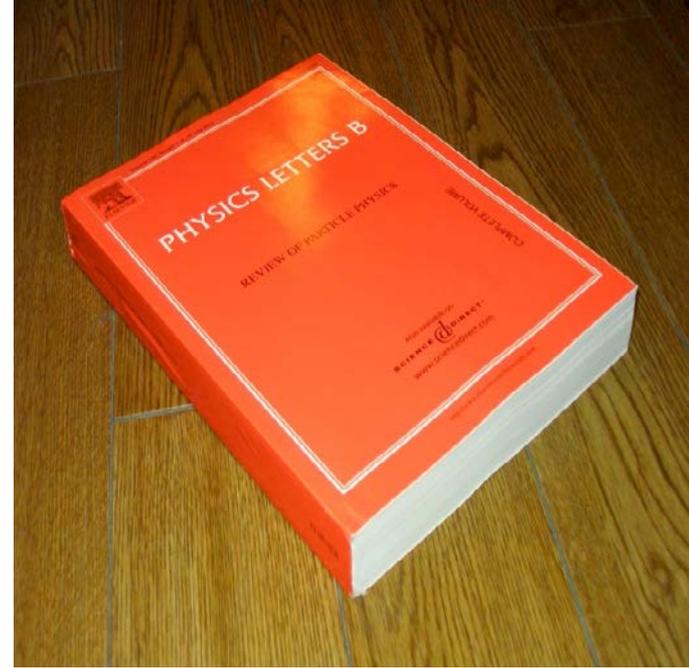


Les érudits des anciens temps,
décrivaient la Nature dans leurs
parchemins

Quelle sorte de particules existe-t-il?

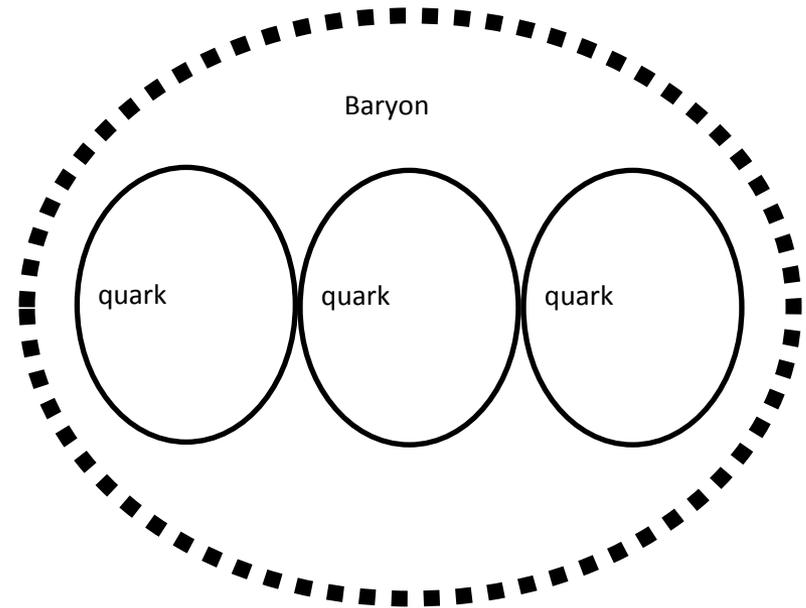
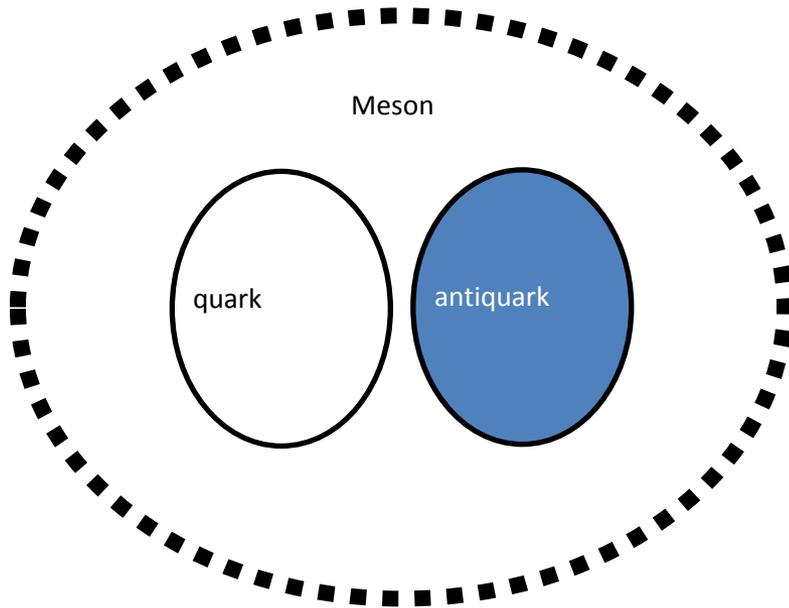


Les érudits des anciens temps,
décrivaient la Nature dans leurs
parchemins



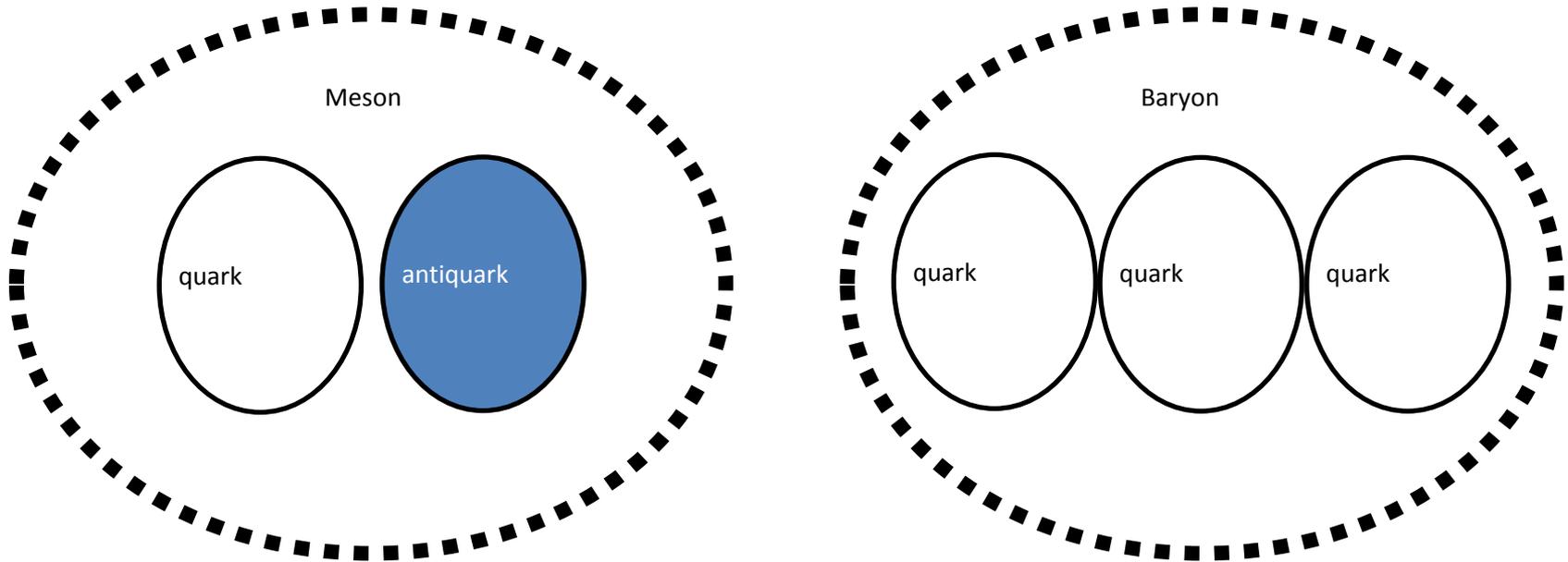
Nous avons le Particule Data Book!

Que forment les quarks?



Deux types de combinaison : **méson** ou **baryon**.

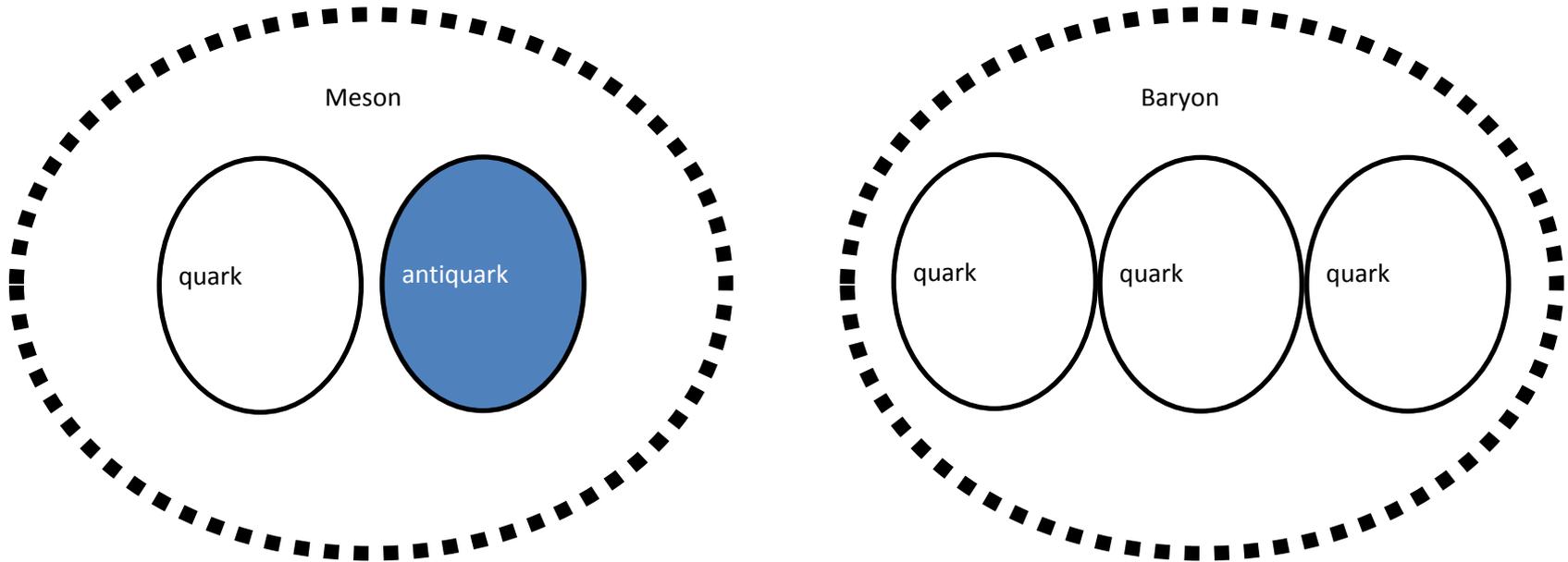
Que forment les quarks?



Deux types de combinaison : **méson** ou **baryon**.

Les **Antiparticules** ont une **même masse** mais une **charge opposée** aux Particules, elle sont supposées interagir de la même façon.

Que forment les quarks?



Deux types de combinaison : **méson** ou **baryon**.

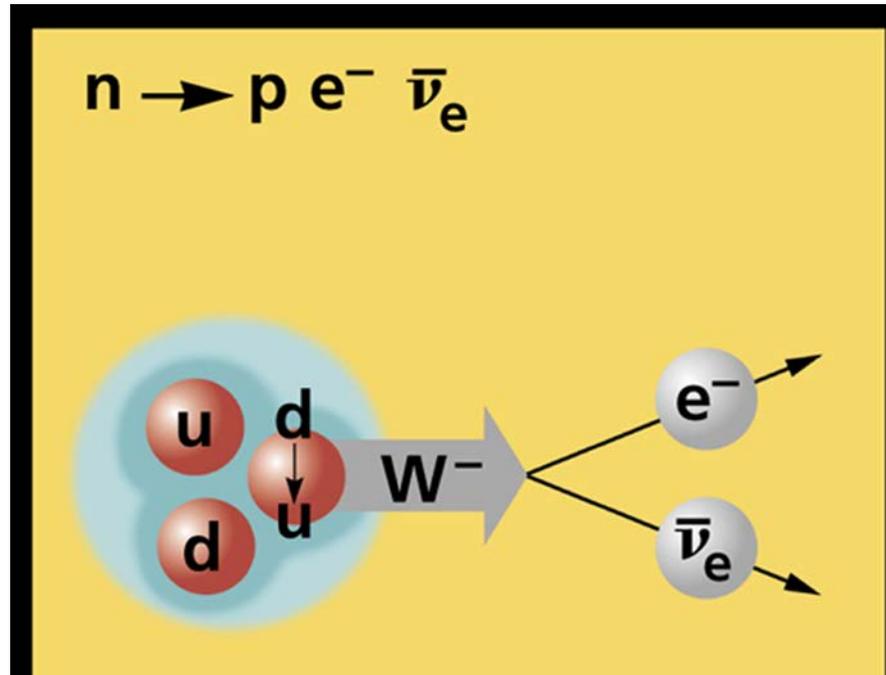
Les **Antiparticules** ont une **même masse** mais une **charge opposée** aux Particules, elle sont supposées interagir de la même façon.

Exemple:

électron : masse $m = 9.10^{-31}$ kg charge $q = -1.6.10^{-19}$ C

anti-électron: masse $m = 9.10^{-31}$ kg charge $q = +1.6.10^{-19}$ C

Les quarks se désintègrent!



- A l'intérieur du neutron, un **quark down se transforme en quark up**.
- Transformation avec émission d'autres particules : désintégration.
- Le **neutron se transforme en proton!**
- Le neutron à donc une durée de vie limitée.
- La plupart des particules ont une durée de vie limitée.

Combien de temps vit une particule?

| Type | Name | Symbol | Energy (MeV) | Mean lifetime |
|--------|-----------------------|-------------------|--------------|-------------------------------|
| Lepton | Electron / Positron | e^- / e^+ | 0.511 | $> 4.6 \times 10^{26}$ years |
| | Muon / Antimuon | μ^- / μ^+ | 105.7 | 2.2×10^{-6} seconds |
| | Tau lepton / Antitau | τ^- / τ^+ | 1777 | 2.9×10^{-13} seconds |
| Meson | Neutral Pion | π^0 | 135 | 8.4×10^{-17} seconds |
| | Charged Pion | π^+ / π^- | 139.6 | 2.6×10^{-8} seconds |
| Baryon | Proton / Antiproton | p^+ / p^- | 938.2 | $> 10^{29}$ years |
| | Neutron / Antineutron | n / \bar{n} | 939.6 | 885.7 seconds |
| Boson | W boson | W^+ / W^- | 80,400 | 10^{-25} seconds |
| | Z boson | Z^0 | 91,000 | 10^{-25} seconds |

Temps de vie \approx Demi-vie d'un élément radioactif.

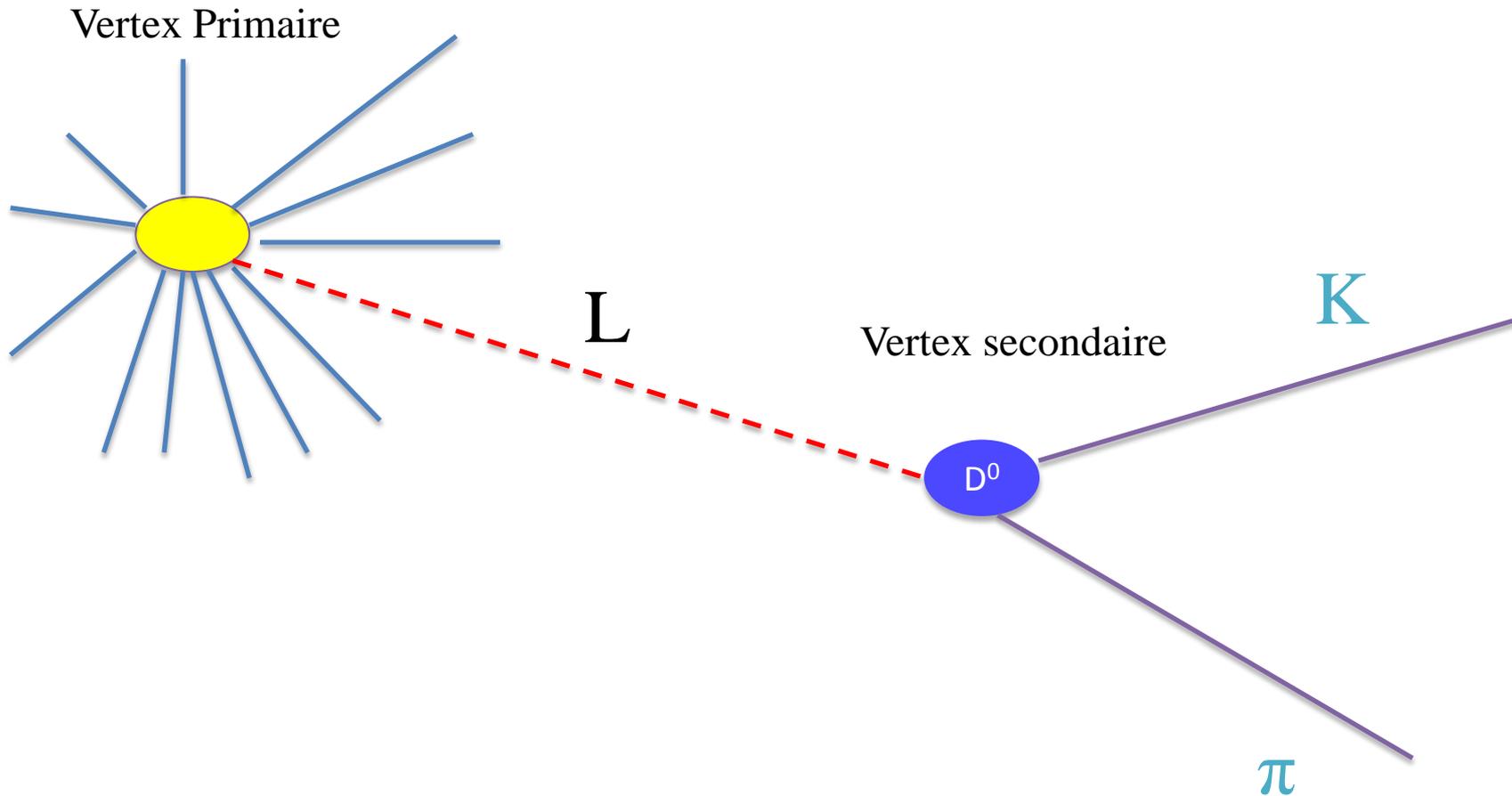
Combien de temps vit une particule?

| Type | Name | Symbol | Energy (MeV) | Mean lifetime |
|--------|-----------------------|-------------------|--------------|-------------------------------|
| Lepton | Electron / Positron | e^- / e^+ | 0.511 | $> 4.6 \times 10^{26}$ years |
| | Muon / Antimuon | μ^- / μ^+ | 105.7 | 2.2×10^{-6} seconds |
| | Tau lepton / Antitau | τ^- / τ^+ | 1777 | 2.9×10^{-13} seconds |
| Meson | Neutral Pion | π^0 | 135 | 8.4×10^{-17} seconds |
| | Charged Pion | π^+ / π^- | 139.6 | 2.6×10^{-8} seconds |
| Baryon | Proton / Antiproton | p^+ / p^- | 938.2 | $> 10^{29}$ years |
| | Neutron / Antineutron | n / \bar{n} | 939.6 | 885.7 seconds |
| Boson | W boson | W^+ / W^- | 80,400 | 10^{-25} seconds |
| | Z boson | Z^0 | 91,000 | 10^{-25} seconds |

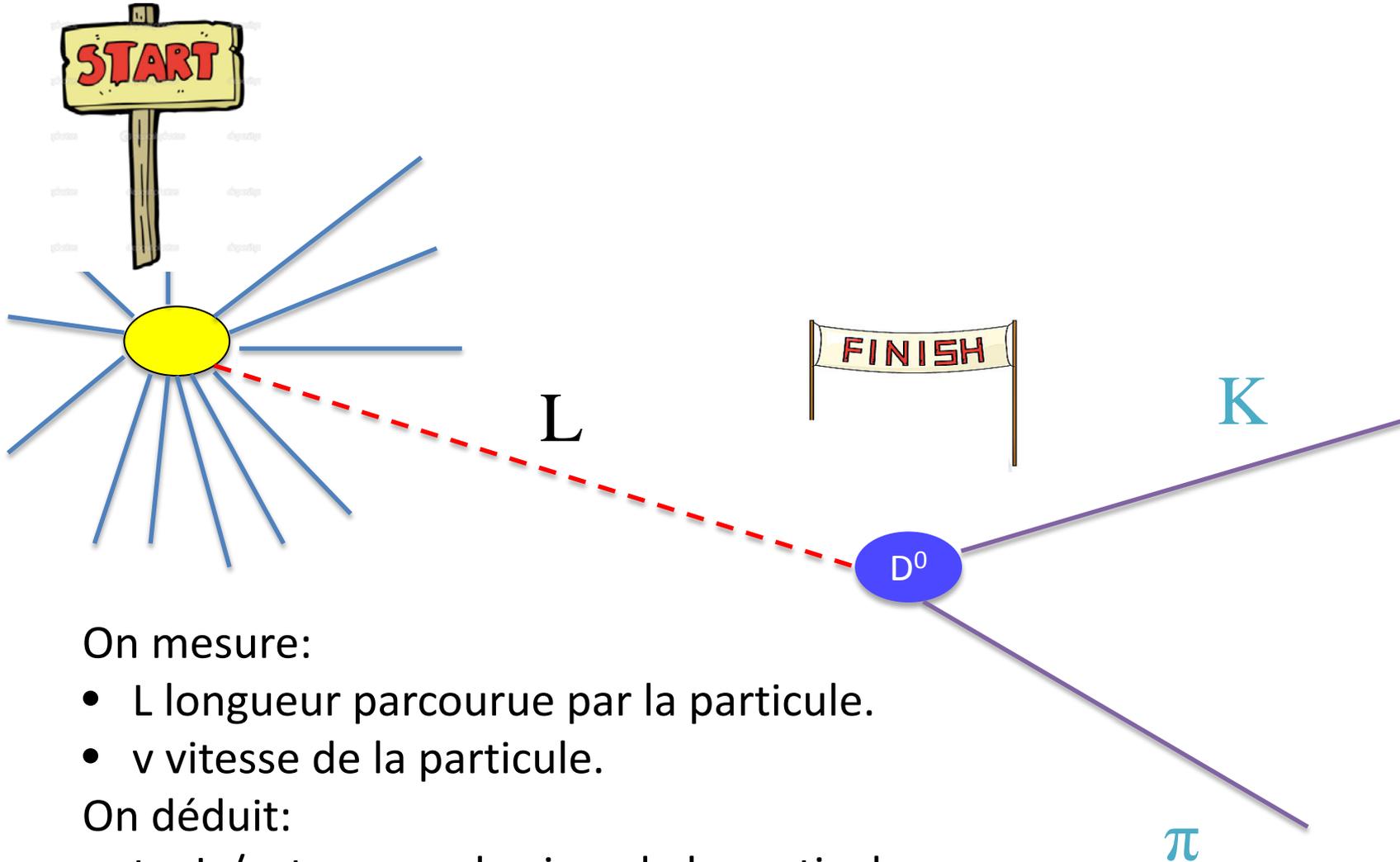
Les durées de vie sont très variées : vous allez en mesurer une particulièrement petite...

Comment mesure-t-on un temps de vie?

Comment mesurer un temps de vie?



Comment mesurer un temps de vie?



On mesure:

- L longueur parcourue par la particule.
- v vitesse de la particule.

On déduit:

- $t = L / v$ temps « de vie » de la particule.

Comment mesurer une durée de vie courte ?

Par exemple, prenez une particule qui vit en moyenne 10^{-12} seconde

Comment mesurer une durée de vie courte ?

Par exemple, prenez une particule qui vit en moyenne 10^{-12} seconde

Quelle distance parcourt elle si elle va à une vitesse très proche de celle de la lumière?

Comment mesurer une durée de vie courte ?

Par exemple, prenez une particule qui vit en moyenne 10^{-12} seconde

Quelle distance parcourt elle si elle va à une vitesse très proche de celle de la lumière?

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Donc elle parcourt $3 \cdot 10^{-4}$ m, ou **0.3 mm**

Comment mesurer une durée de vie courte ?

Par exemple, prenez une particule qui vit en moyenne 10^{-12} seconde

Quelle distance parcourt elle si elle va à une vitesse très proche de celle de la lumière?

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Donc elle parcourt $3 \cdot 10^{-4}$ m, ou **0.3 mm**

Ce n'est pas très long! Heureusement, le calcul est faux – nous avons oublié la relativité restreinte qui nous dit que **le temps se dilate pour une particule qui se déplace**, (pour nous qui sommes au repos, elle vit plus longtemps).

Comment mesurer une durée de vie courte ?

Par exemple, prenez une particule qui vit en moyenne 10^{-12} seconde

Quelle distance parcourt elle si elle va à une vitesse très proche de celle de la lumière?

$$c = 3.10^8 \text{ m/s}$$

Donc elle parcourt 3.10^{-4} m, ou **0.3 mm**

Ce n'est pas très long! Heureusement, le calcul est faux – nous avons oublié la relativité restreinte qui nous dit que **le temps se dilate pour une particule qui se déplace**, (pour nous qui sommes au repos, elle vie plus longtemps).

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Référentiel du Labo

Référentiel de la particule

Comment mesurer une durée de vie courte ?

Par exemple, prenez une particule qui vit en moyenne 10^{-12} seconde

Quelle distance parcourt elle si elle va à une vitesse très proche de celle de la lumière?

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Donc elle parcourt $3 \cdot 10^{-4}$ m, ou **0.3 mm**

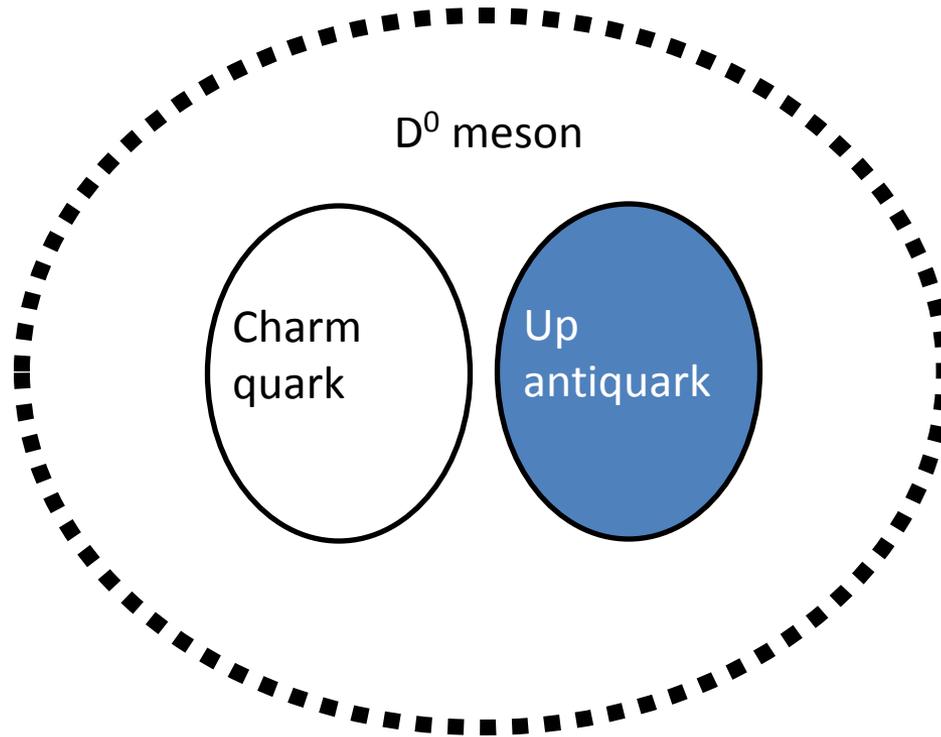
Ce n'est pas très long! Heureusement, le calcul est faux – nous avons oublié la relativité restreinte qui nous dit que **le temps se dilate pour une particule qui se déplace**, (pour nous qui sommes au repos, elle vit plus longtemps).

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

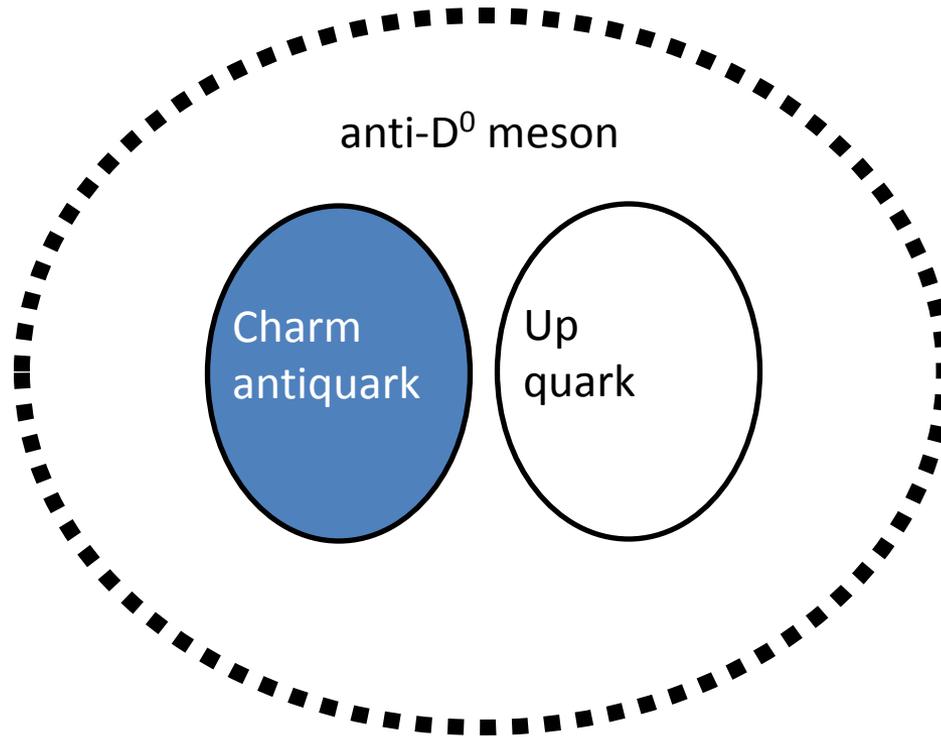
Typiquement au LHC, **une particule vivant 10^{-12} s**, va traverser le détecteur sur **1cm**. C'est suffisant pour pouvoir le mesurer!

Pourquoi la particule D^0 ?

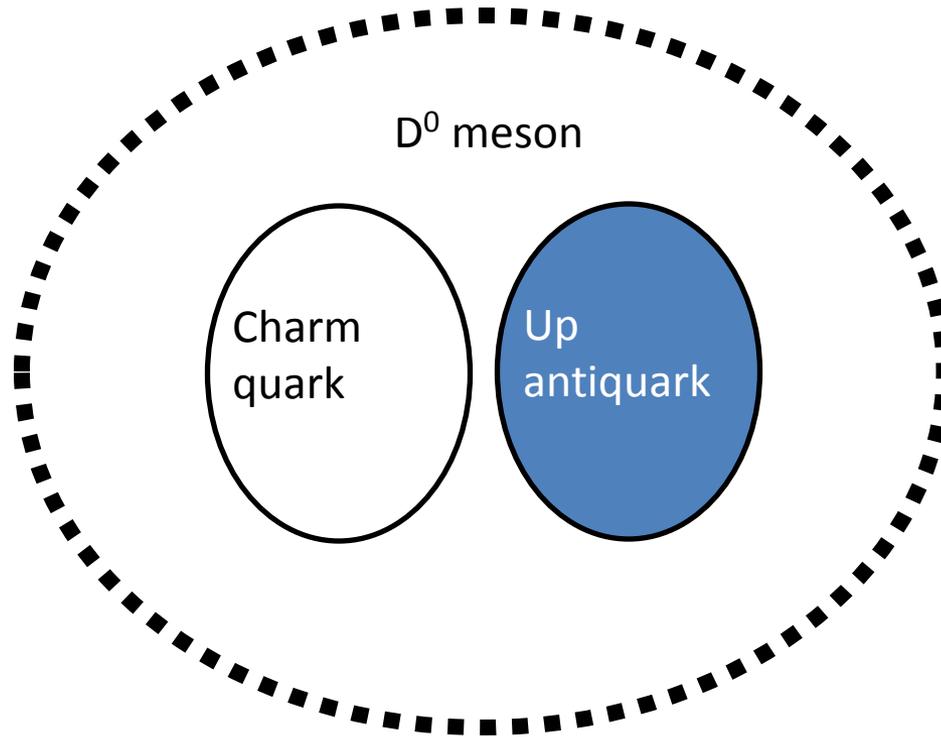
Mais qu'a de spécial le D^0 ?



Mais qu'a de spécial le D^0 ?

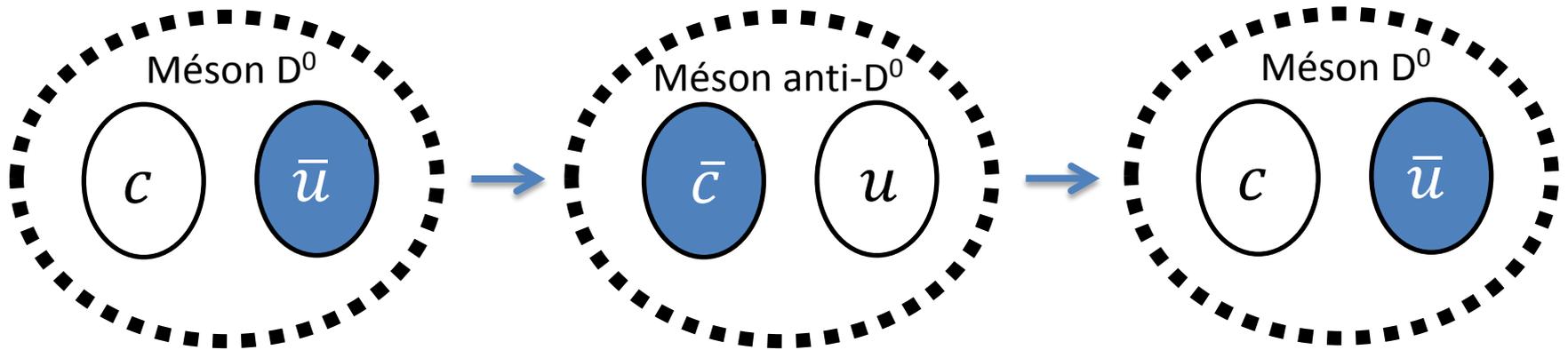


Mais qu'a de spécial le D^0 ?



Il oscille!

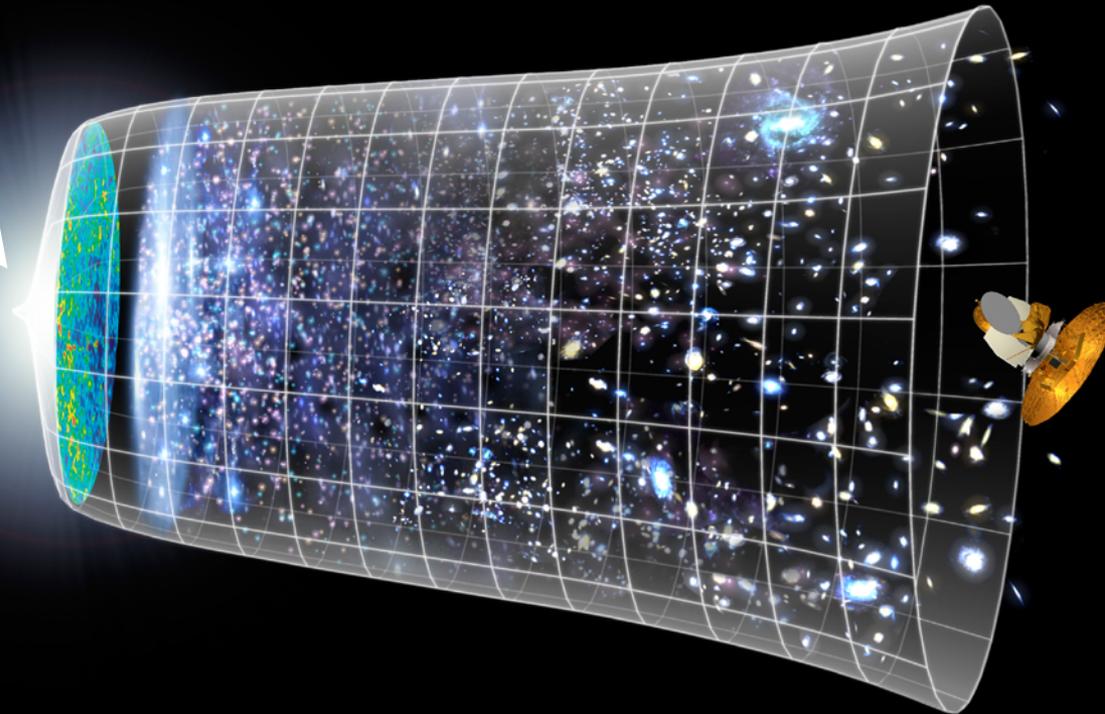
$$D^0 \rightarrow \bar{D}^0 \rightarrow D^0$$



- Le D^0 est une particule neutre : il peut **osciller entre matière et antimatière** avant de se désintégrer!

Pourquoi s'intéresser à l'anti-matière?

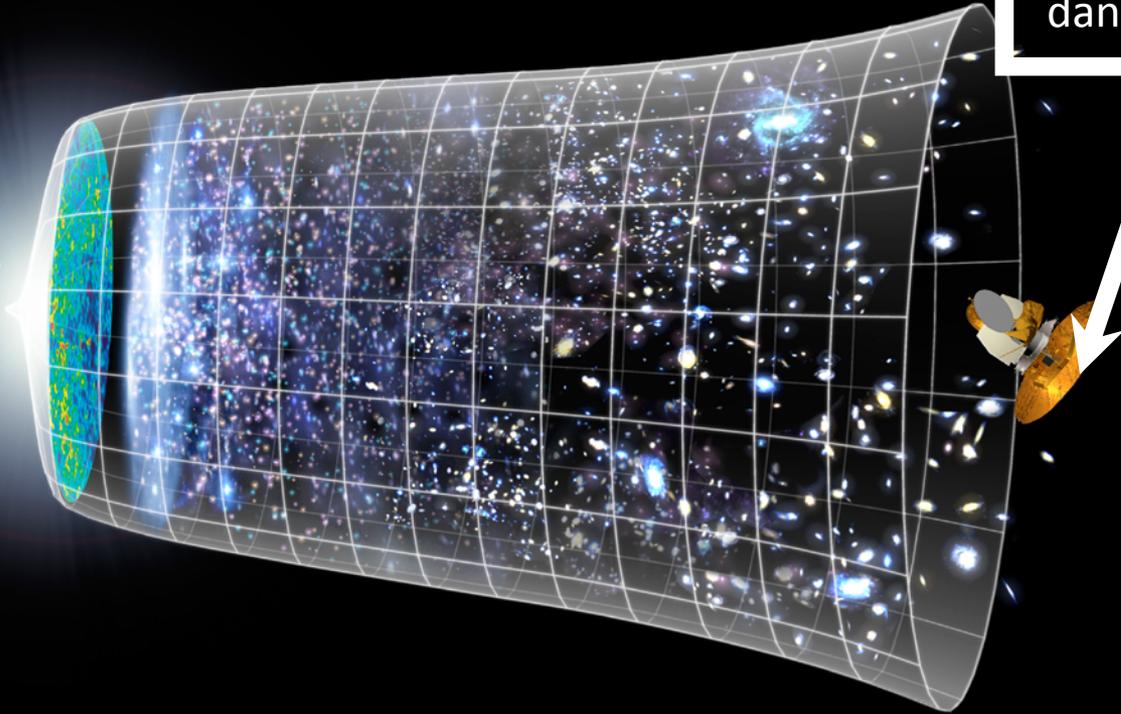
Création de
matière et
d'antimatière en
quantité égale



Pourquoi s'intéresser à l'anti-matière?

Création de matière et d'antimatière en quantité égale

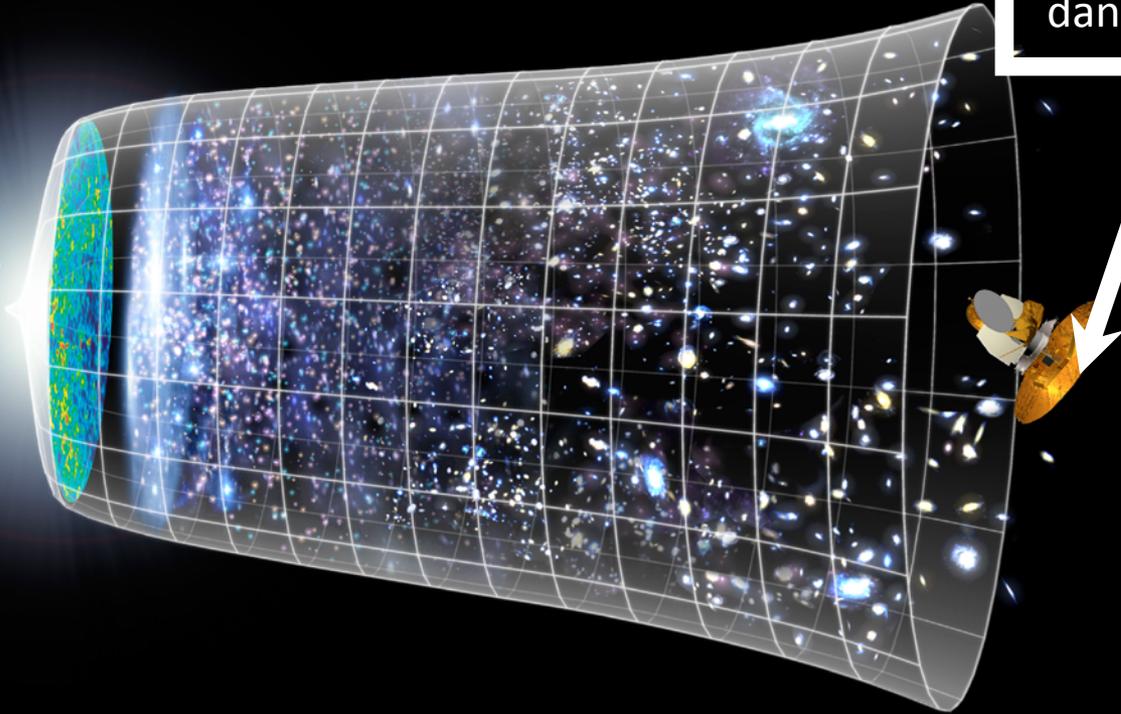
Aujourd'hui: presque pas d'antimatière dans l'Univers



Pourquoi s'intéresser à l'anti-matière?

Création de matière et d'antimatière en quantité égale

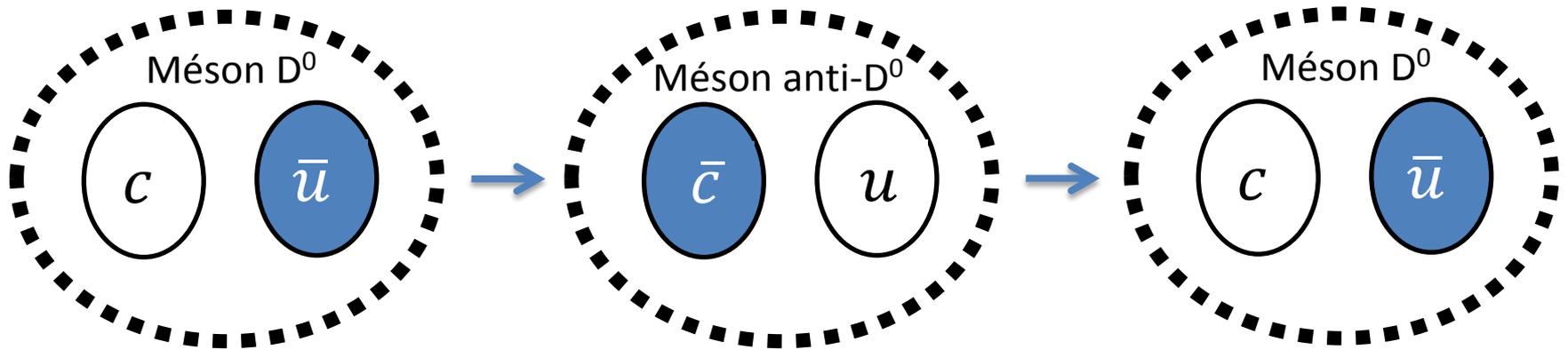
Aujourd'hui: presque pas d'antimatière dans l'Univers



Mais où est donc passée l'anti-matière?

Il oscille!

$$D^0 \rightarrow \bar{D}^0 \rightarrow D^0$$

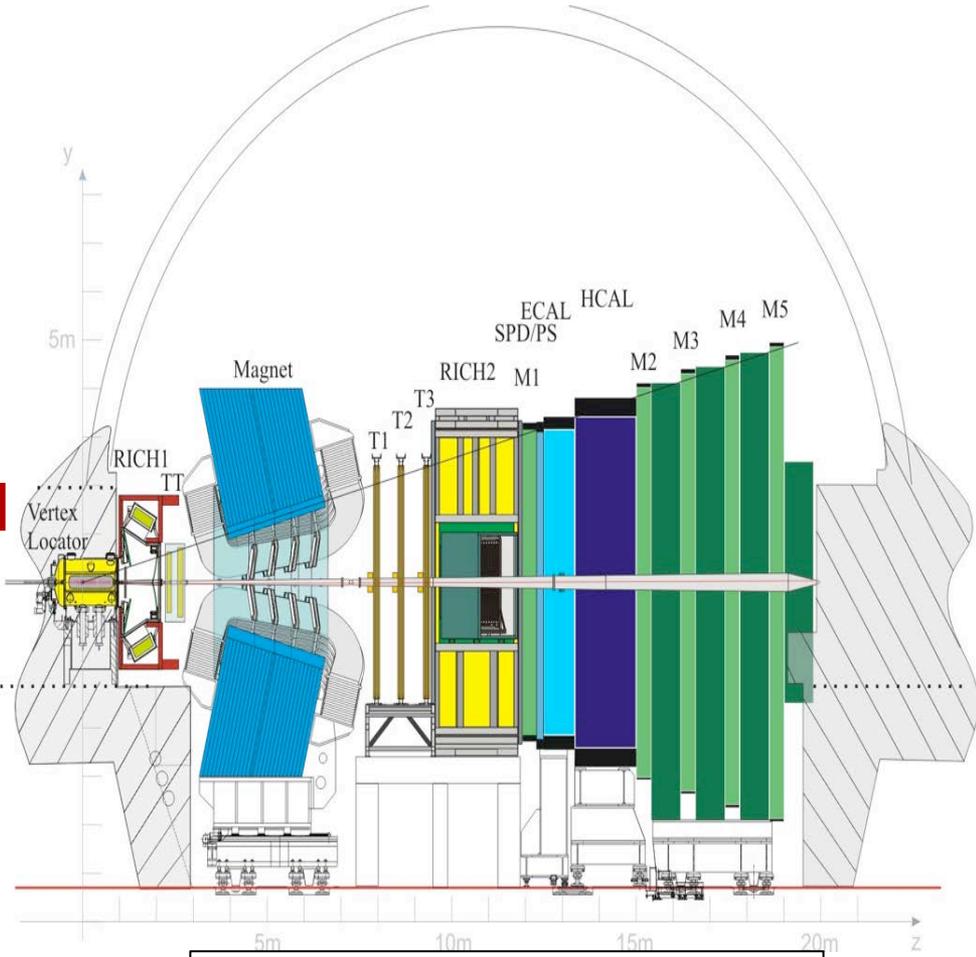
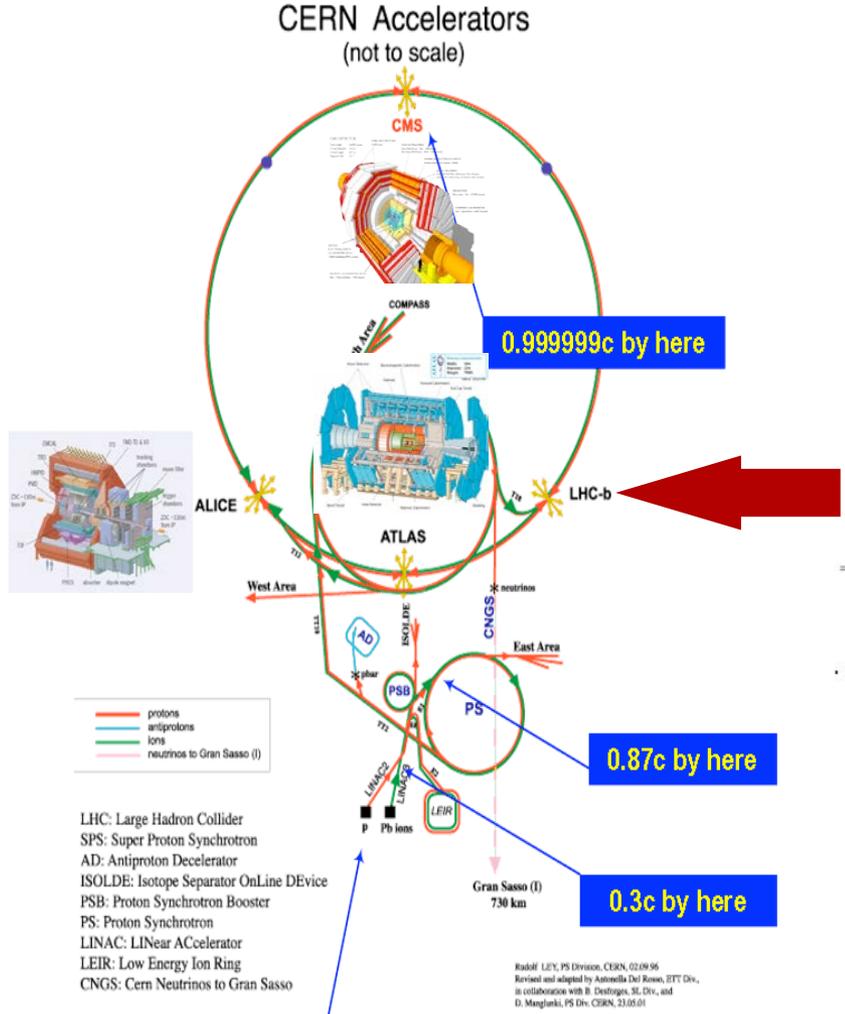


- Le D^0 est une particule neutre : il peut **osciller entre matière et antimatière** avant de se désintégrer!
- Une telle particule peut donc nous donner des indices sur ce qui fait la **différence entre la matière et l'antimatière**.

Le détecteur LHCb au LHC



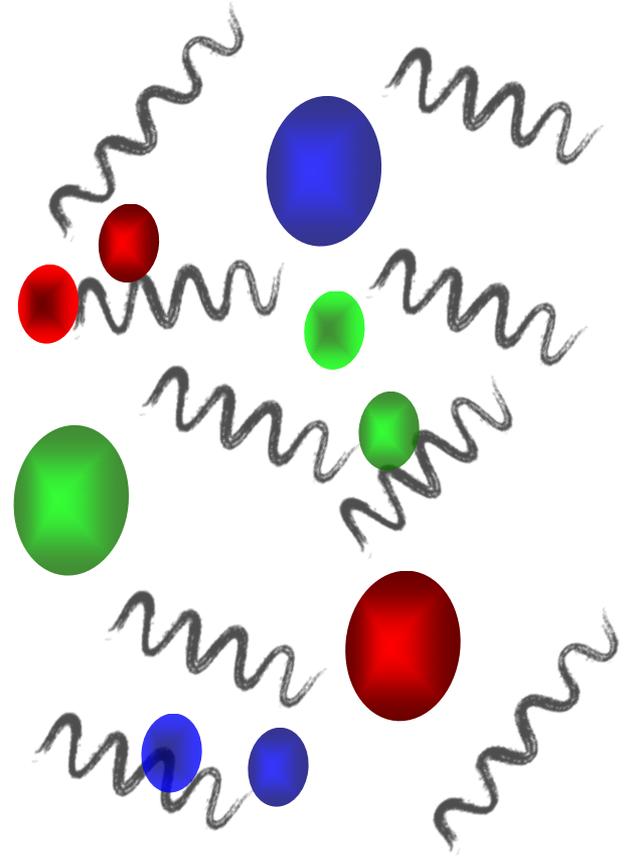
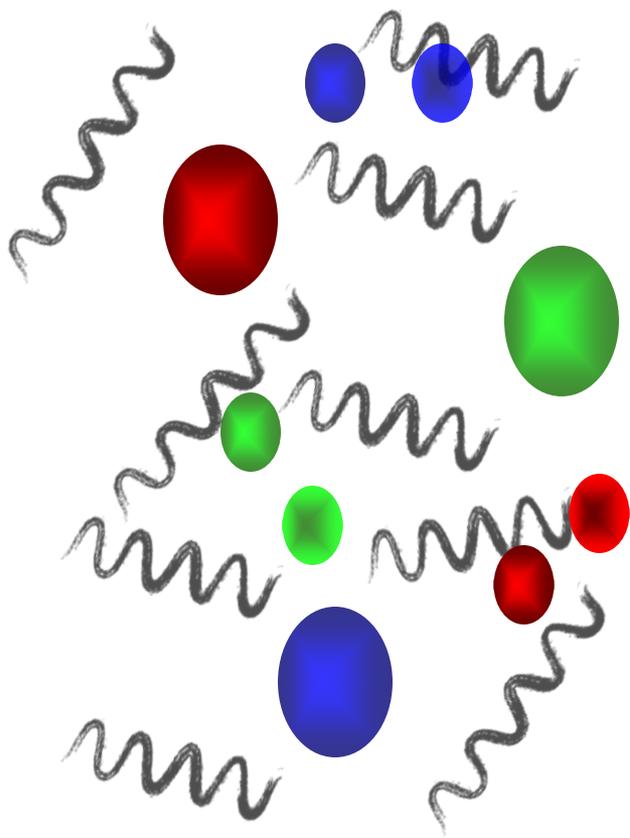
Large Hadron Collider @ CERN



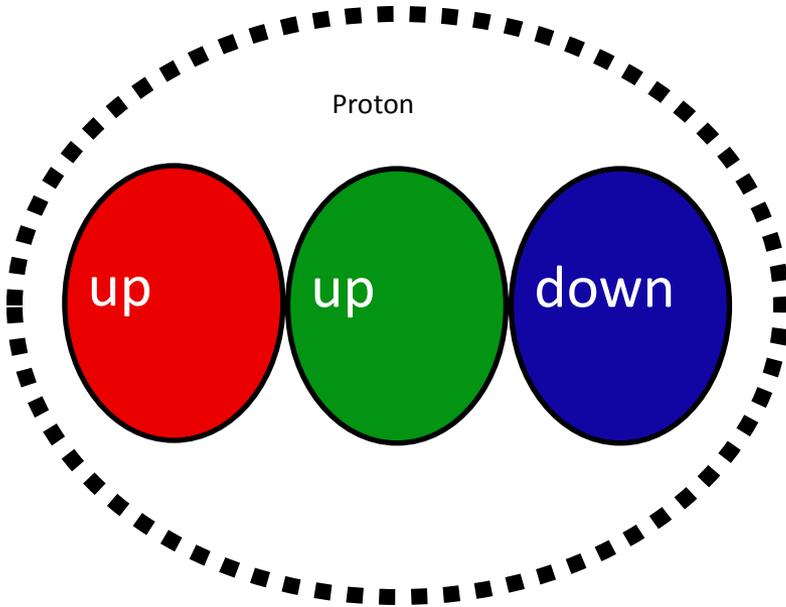
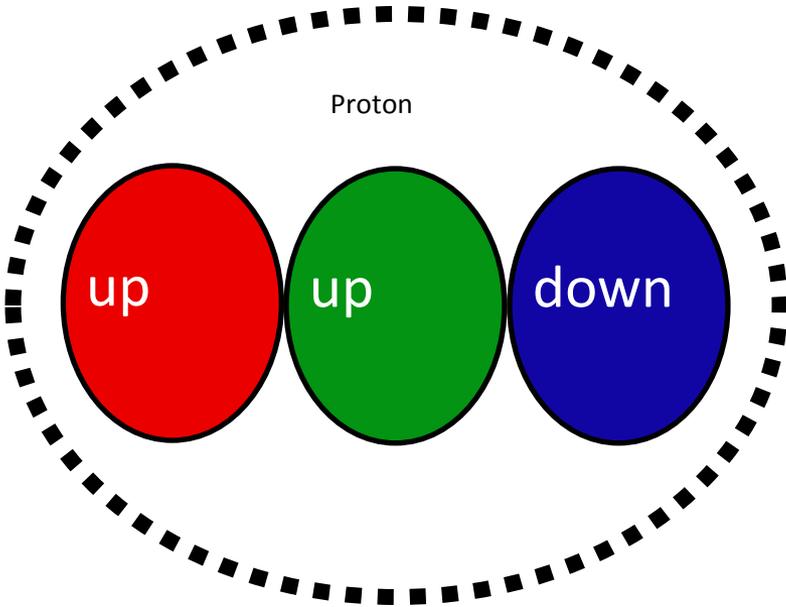
Le détecteur LHCb

Rodolphe LEY, PS Division, CERN, 02/09/96
 Revised and adapted by Antonella Del Ross, ITT Div.,
 in collaboration with B. Desforges, SE, Div., and
 D. Mangeljari, PS Div. CERN, 23/05/01

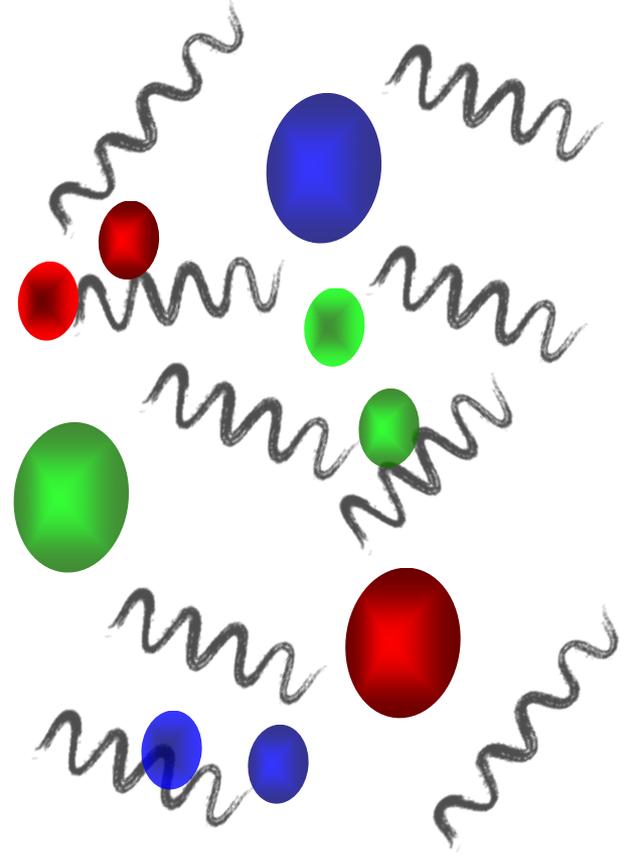
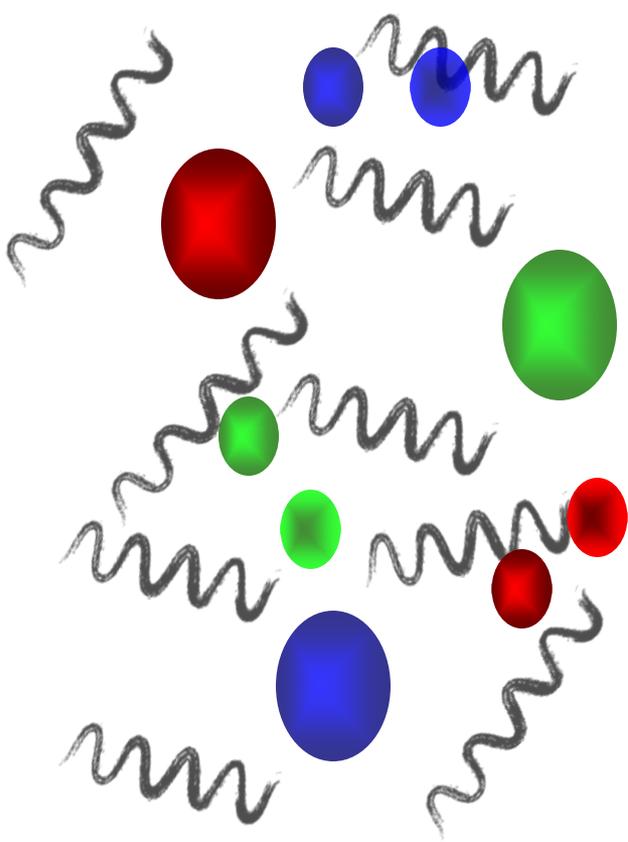
Les protons entrent en collision...



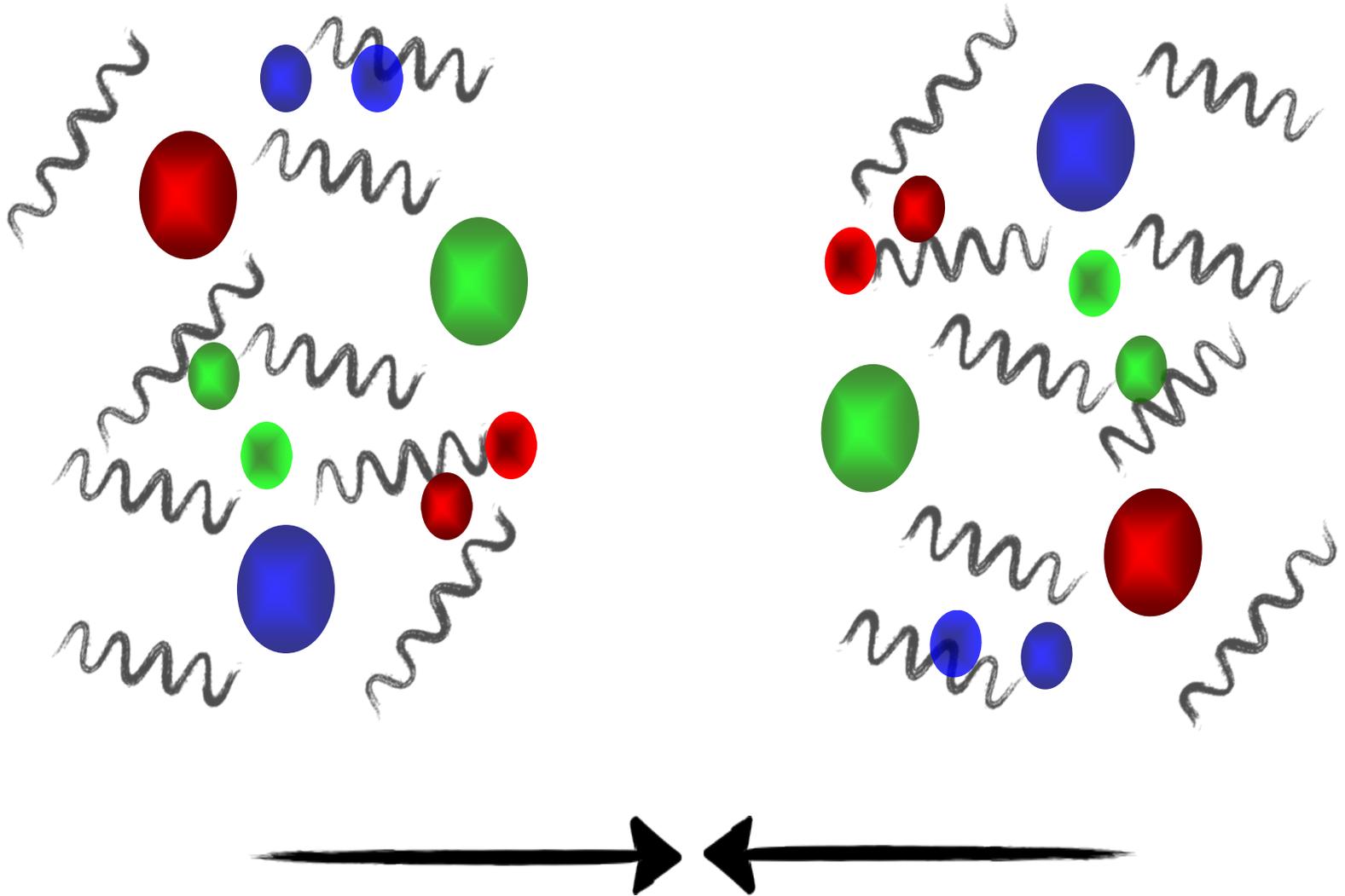
Les protons entrent en collision ...



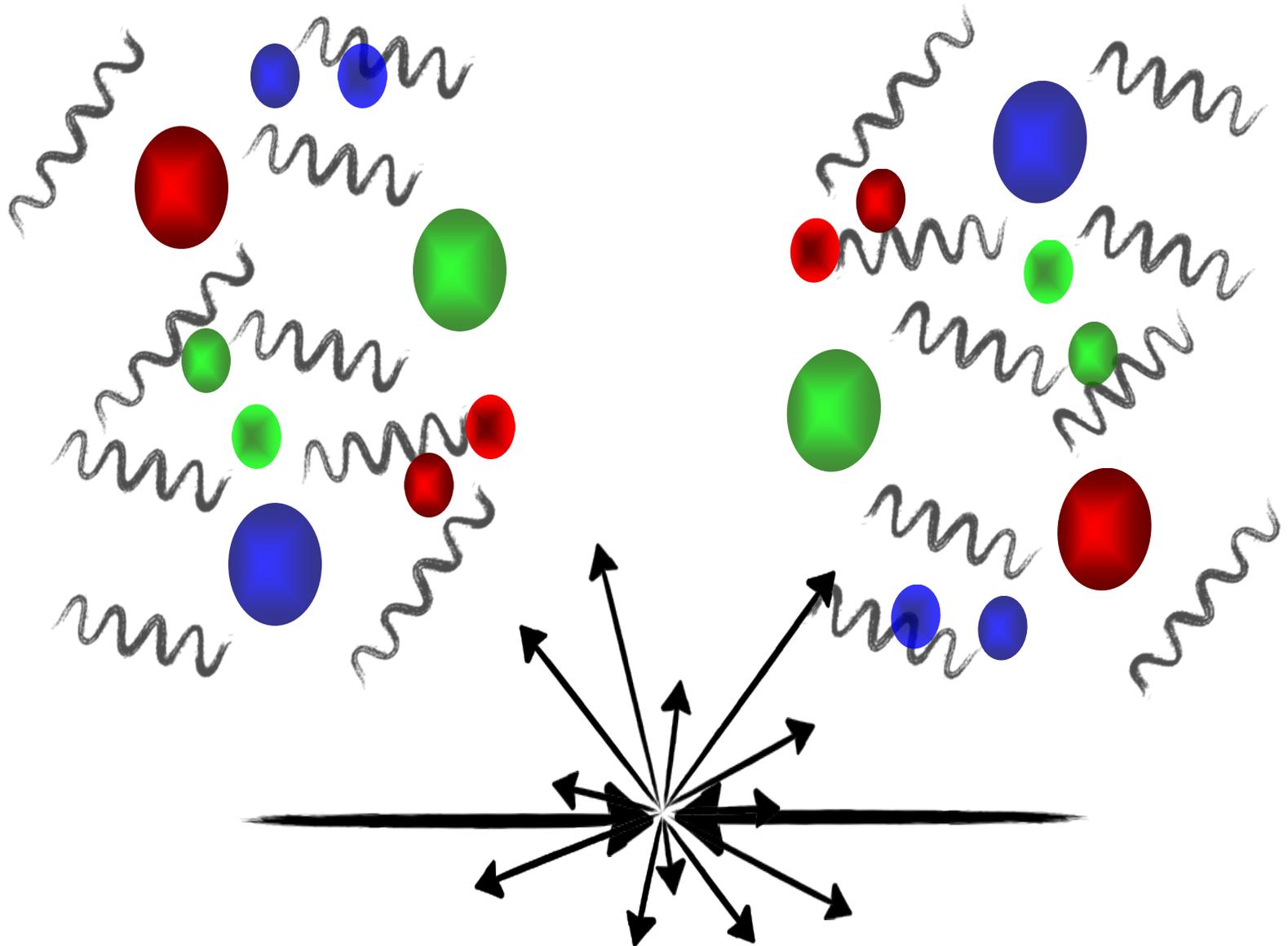
Les protons entrent en collision...



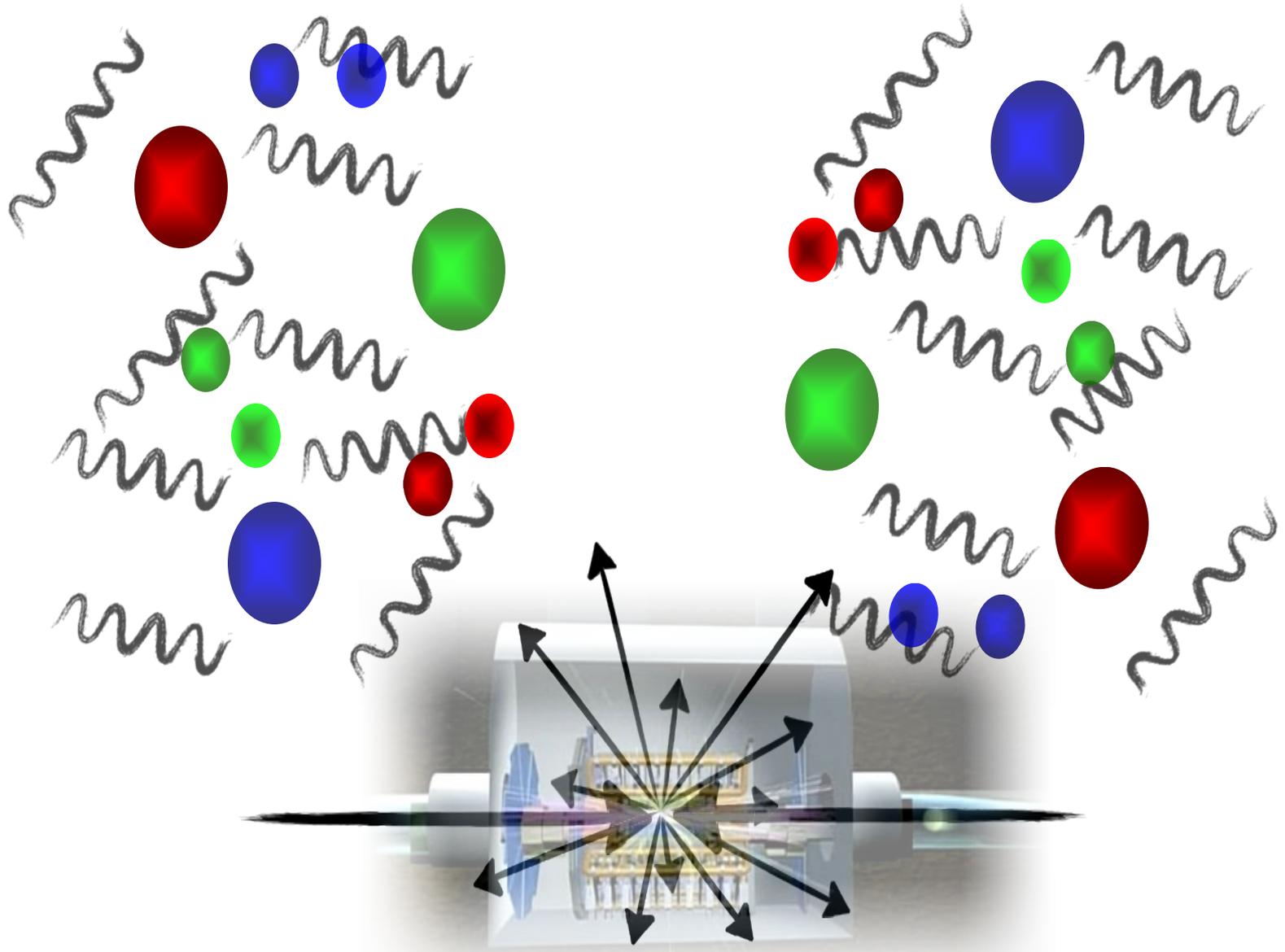
Les protons entrent en collision...



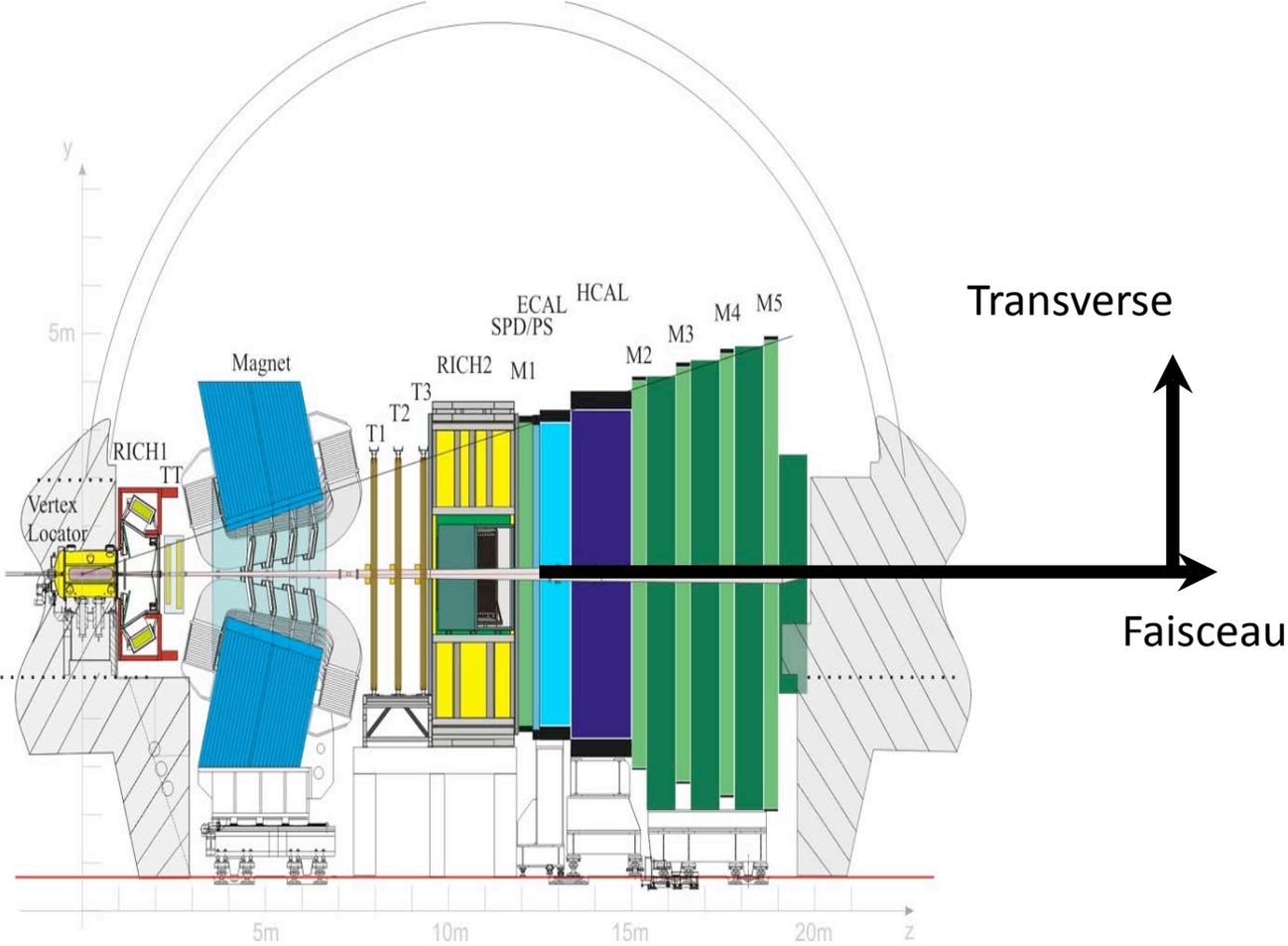
Les protons entrent en collision...



Les protons entrent en collision...



LHCb @ LHC

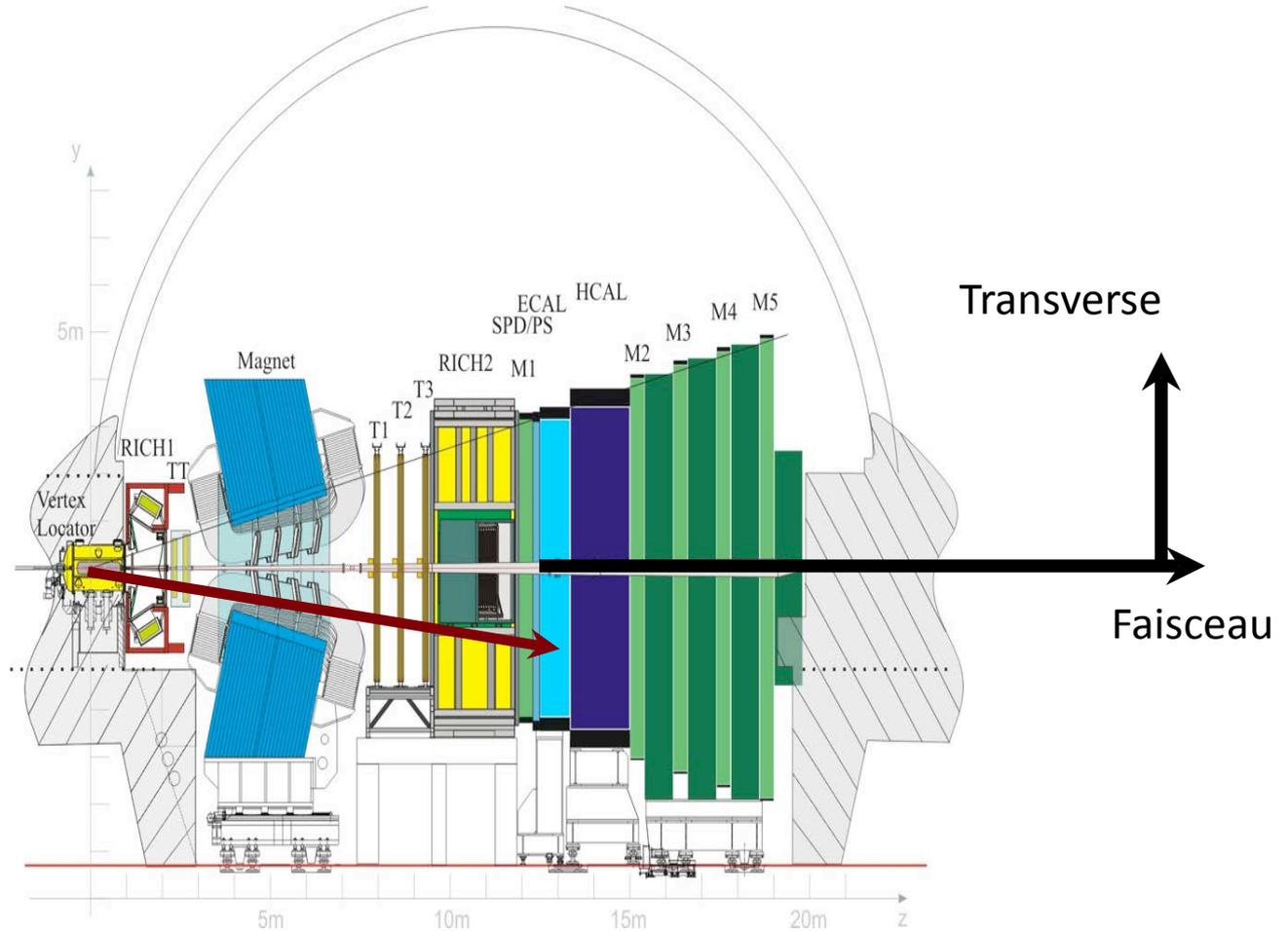


p_T = impulsion transverse

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

LHCb @ LHC

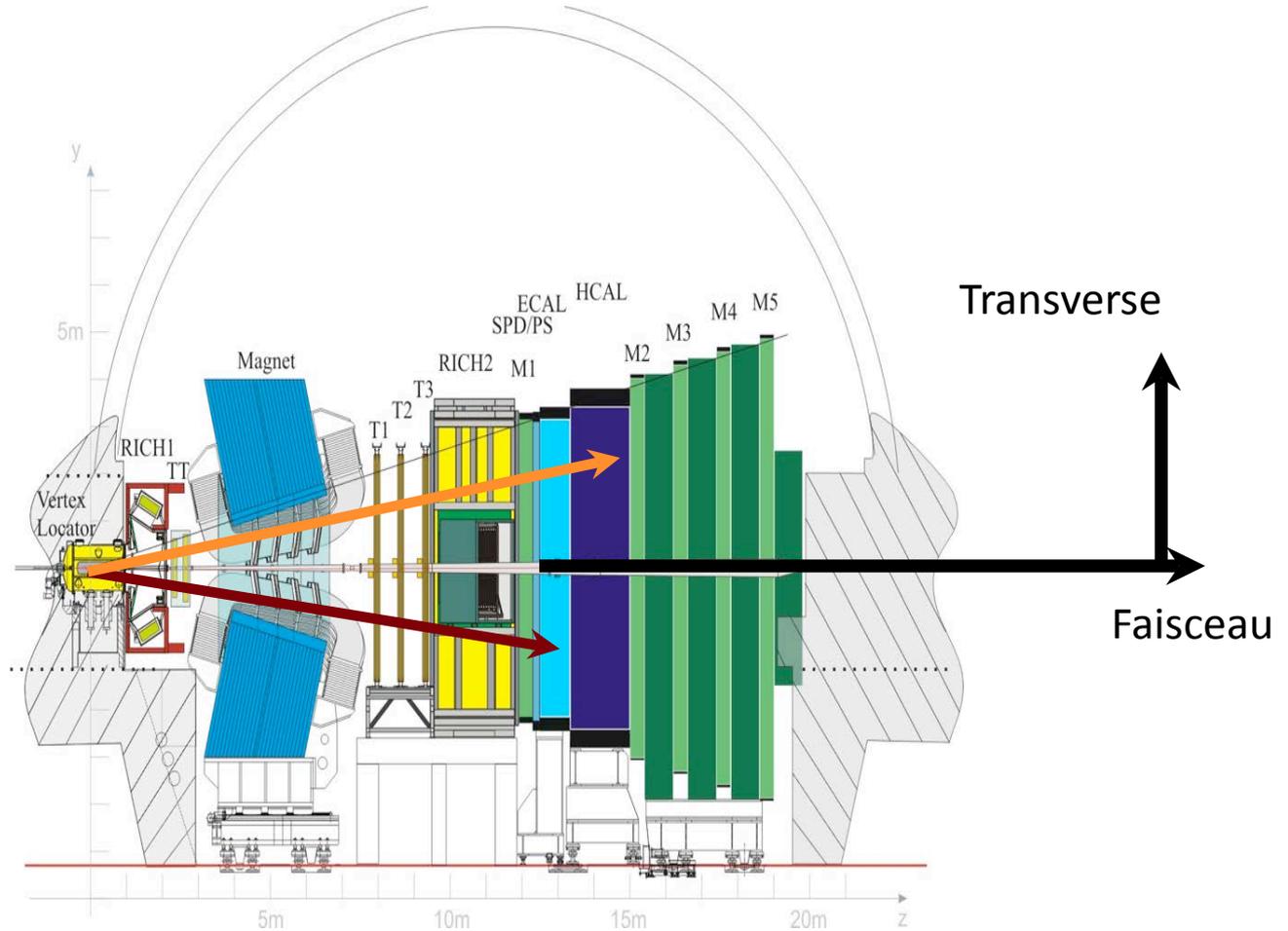
- ➔ ELECTRONS
- ➔ PHOTONS



- Chaque particule dépose son énergie dans les différents sous-détecteurs.

LHCb @ LHC

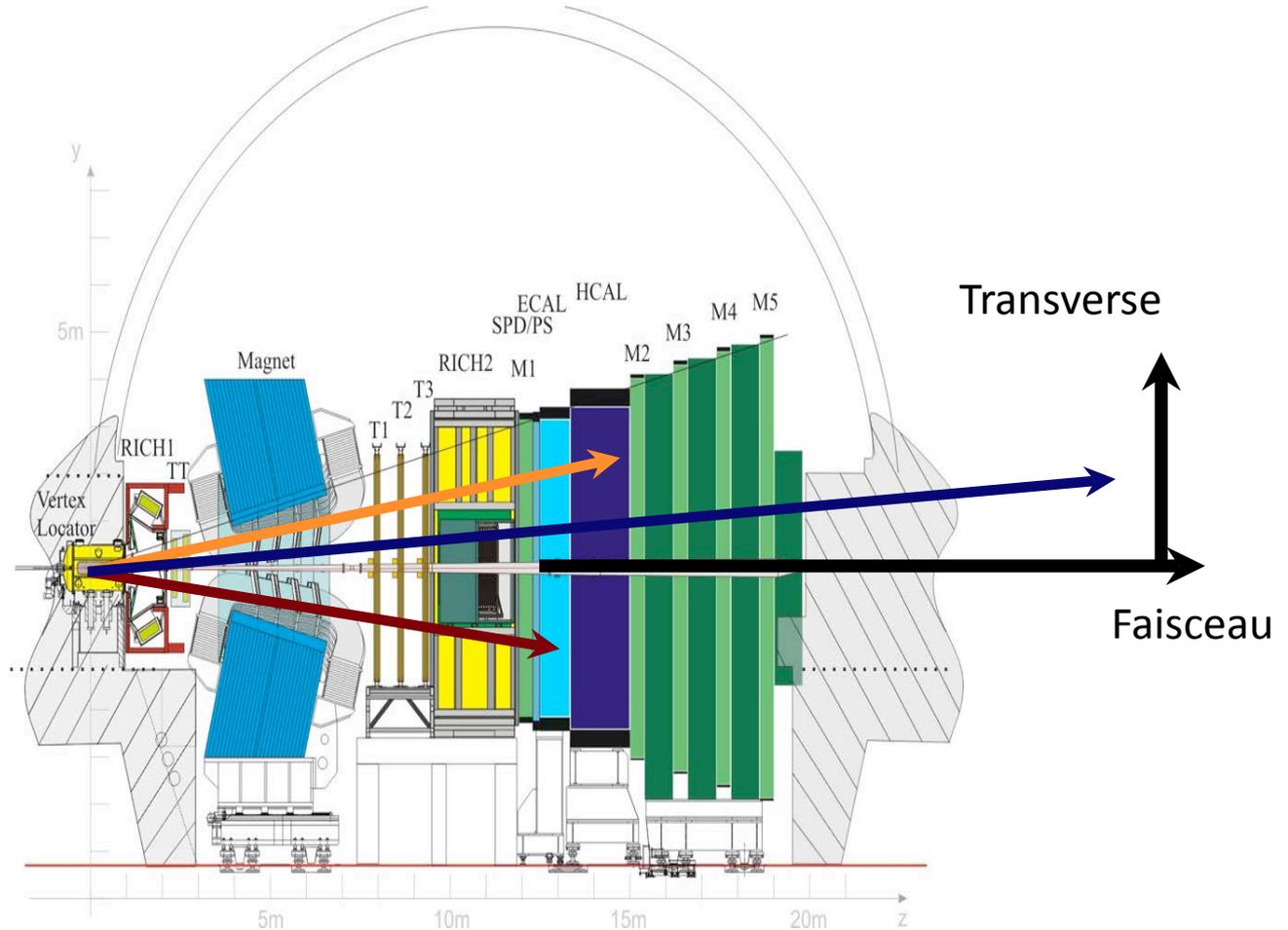
- ➔ ELECTRONS
- ➔ PHOTONS
- ➔ HADRONS



- Chaque particule dépose son énergie dans les différents sous-détecteurs.

LHCb @ LHC

- ➔ ELECTRONS
- ➔ PHOTONS
- ➔ HADRONS
- ➔ MUONS

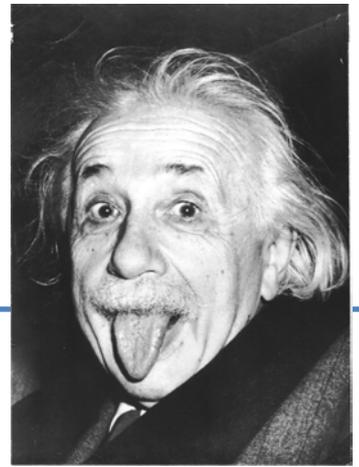


- Chaque particule dépose son énergie dans les différents sous-détecteurs.
- De ces dépôts d'énergie on déduit : Energie totale, Vitesse, position...

Comment mesure-t-on une masse?

Comment mesurer une masse?

$$\vec{p} \approx m\vec{v}$$

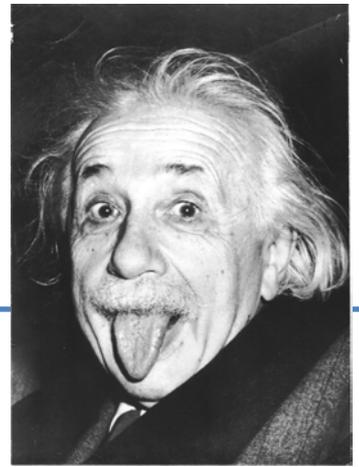


- Einstein nous dit:

$$m = \sqrt{E^2 - \vec{p}^2}$$

Comment mesurer une masse?

$$\vec{p} \approx m\vec{v}$$



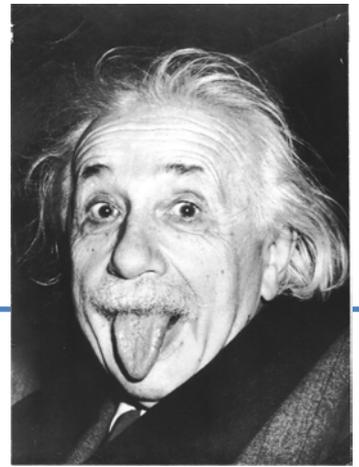
- Einstein nous dit:

$$m = \sqrt{E^2 - \vec{p}^2}$$

- On mesure l'**énergie** et l'**impulsion** de notre particule: on en déduit sa masse.

Comment mesurer une masse?

$$\vec{p} \approx m\vec{v}$$

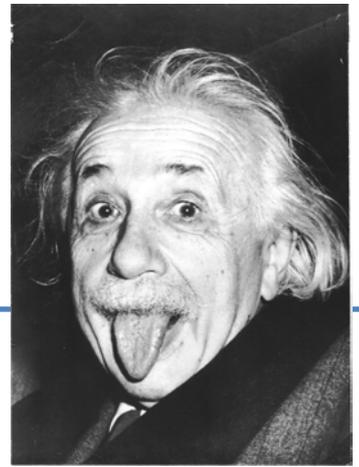


- Einstein nous dit:

$$m = \sqrt{E^2 - \vec{p}^2}$$

- On mesure l'**énergie** et l'**impulsion** de notre particule: on en déduit sa masse.
- Le méson D^0 se **désintègre**, sans traverser tout le détecteur!

Comment mesurer une masse?

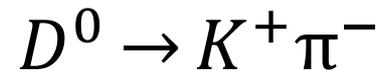


$$\vec{p} \approx m\vec{v}$$

- Einstein nous dit:

$$m = \sqrt{E^2 - \vec{p}^2}$$

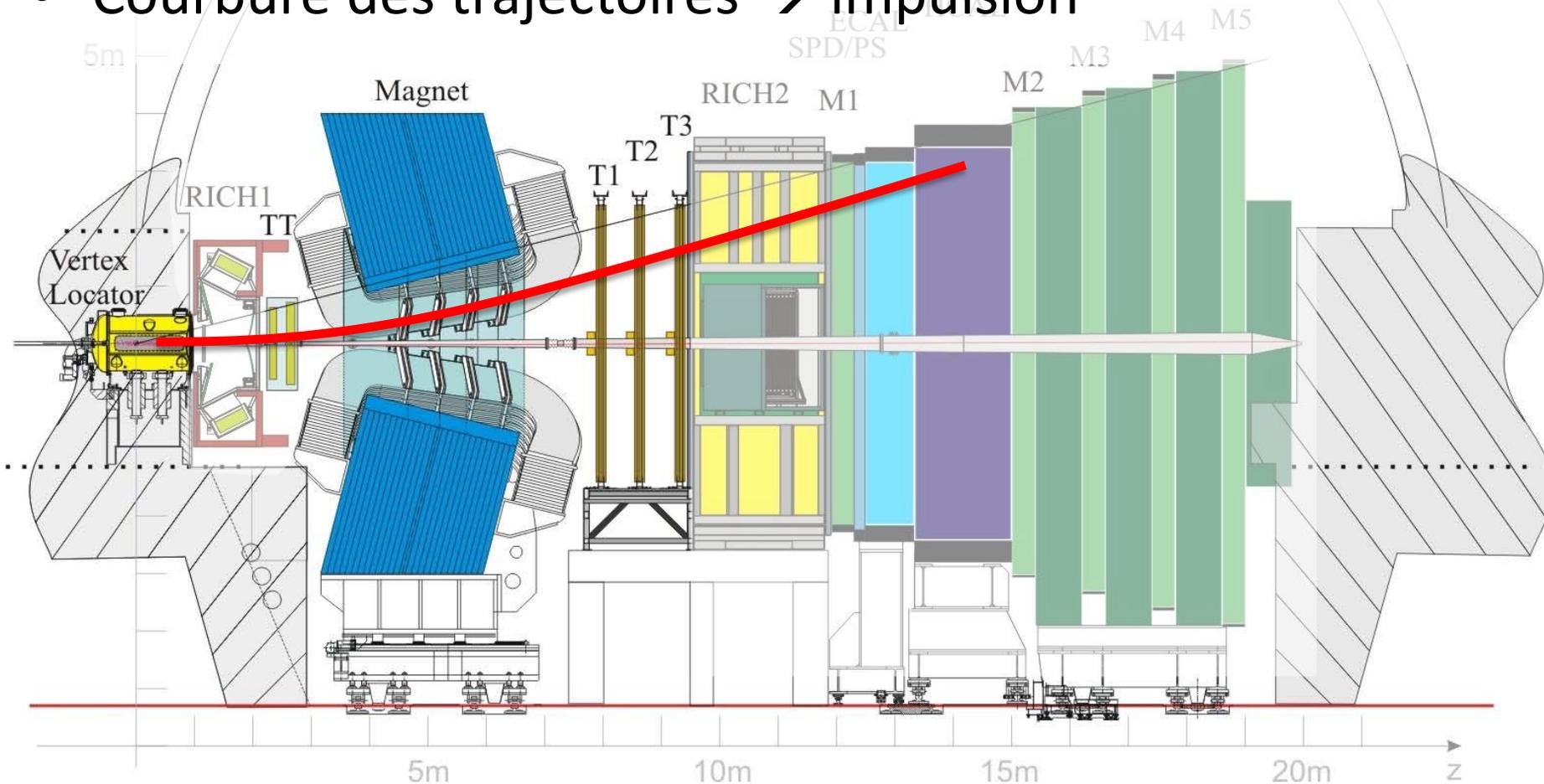
- On mesure l'**énergie** et l'**impulsion** de notre particule: on en déduit sa masse.
- Le méson D^0 se **désintègre**, sans traverser tout le détecteur!
- Il donne deux mésons, un **Kaon** et un **Pion**, qui eux traversent tout le détecteur:



- On mesure plutôt l'énergie-impulsion du Kaon et du Pion.

Comment mesurer une impulsion?

- Champ magnétique courbe les trajectoires des particules chargées.
- Courbure des trajectoires \rightarrow impulsion



Résumé

- Les particules ont un temps de vie car elles se désintègrent en des particules plus « légères.
- Chaque particule à son propre temps de vie.
- Pour mesurer son temps de vie:
 - Production avec une collision proton-proton
 - Détection de la désintégration, grâce au traces laissées dans le détecteur (dépôts d'énergie).

Questions?

