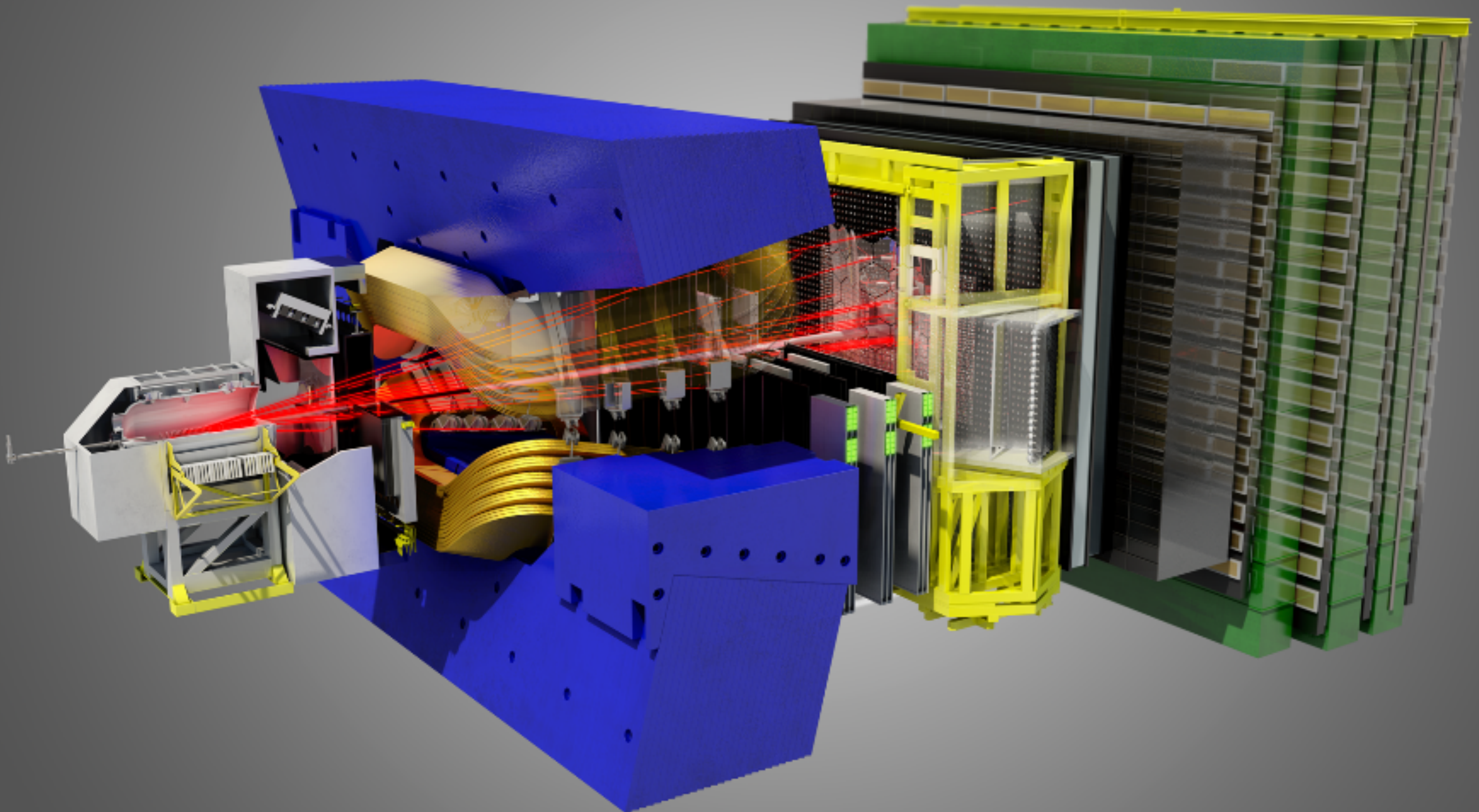
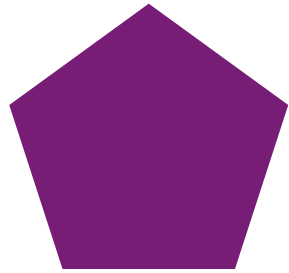


# LHCb Masterclass

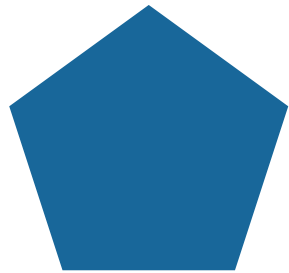
---

Guillaume Pietrzyk ~ 27 février 2024

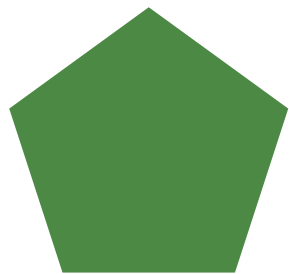




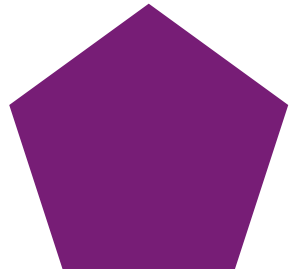
Introduction : Le méson  $D_0$  et pourquoi il est intéressant



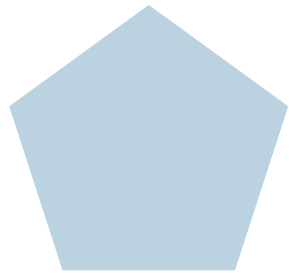
Mesurer les propriétés des particules avec LHCb



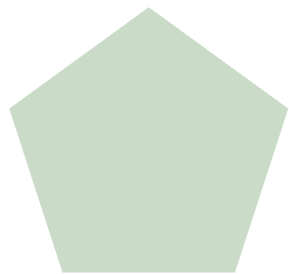
Votre mission !



Introduction : Le méson  $D_0$  et pourquoi il est intéressant



Mesurer les propriétés des particules avec LHCb



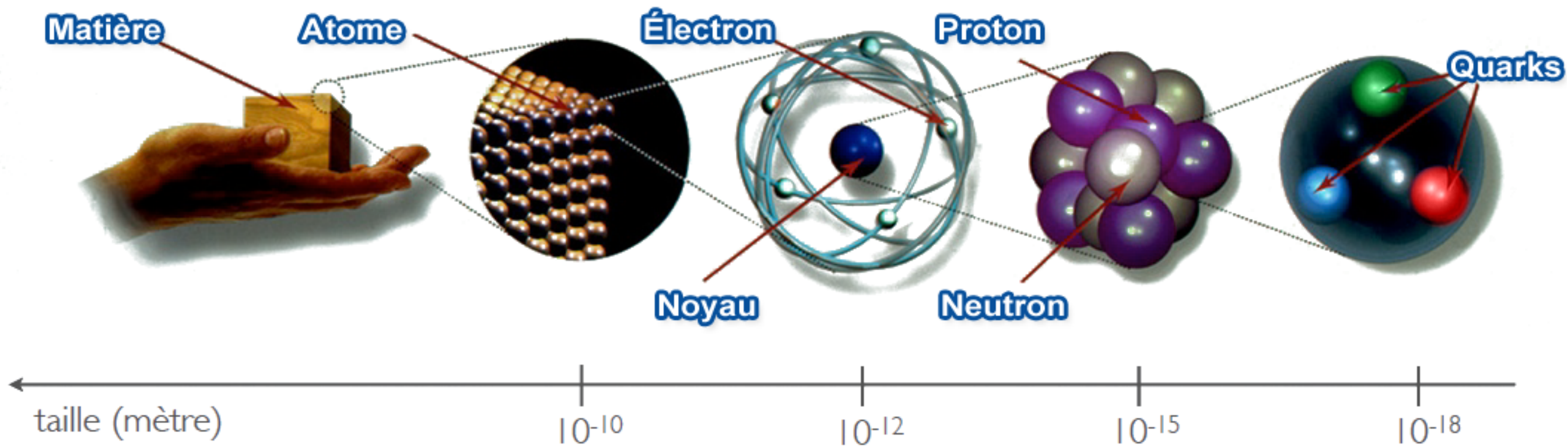
Votre mission !

A large orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

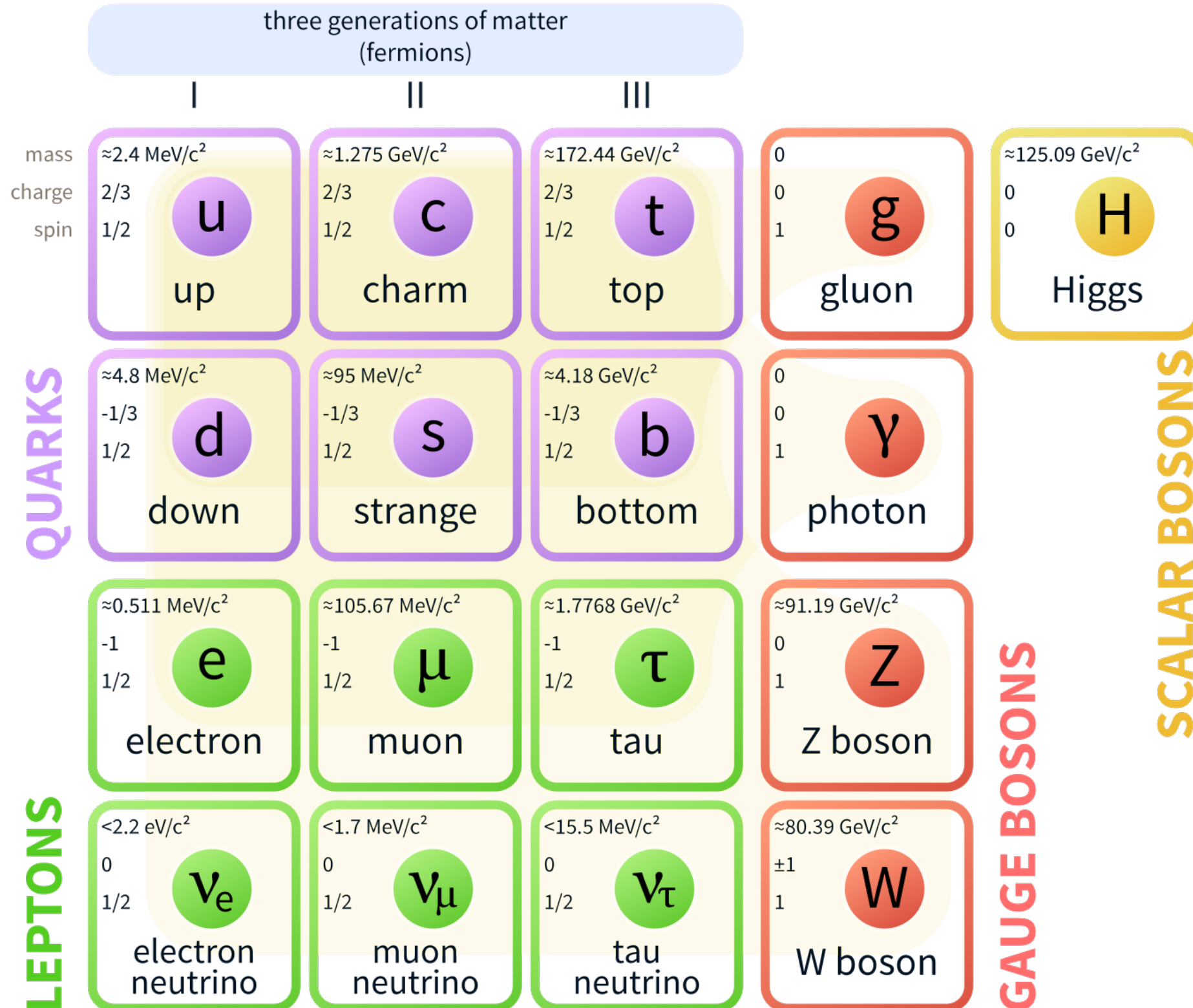
**QU'EST-CE QUE LA PHYSIQUE DES  
PARTICULES ?**



L'étude des composants élémentaires de la matière et de leurs interactions



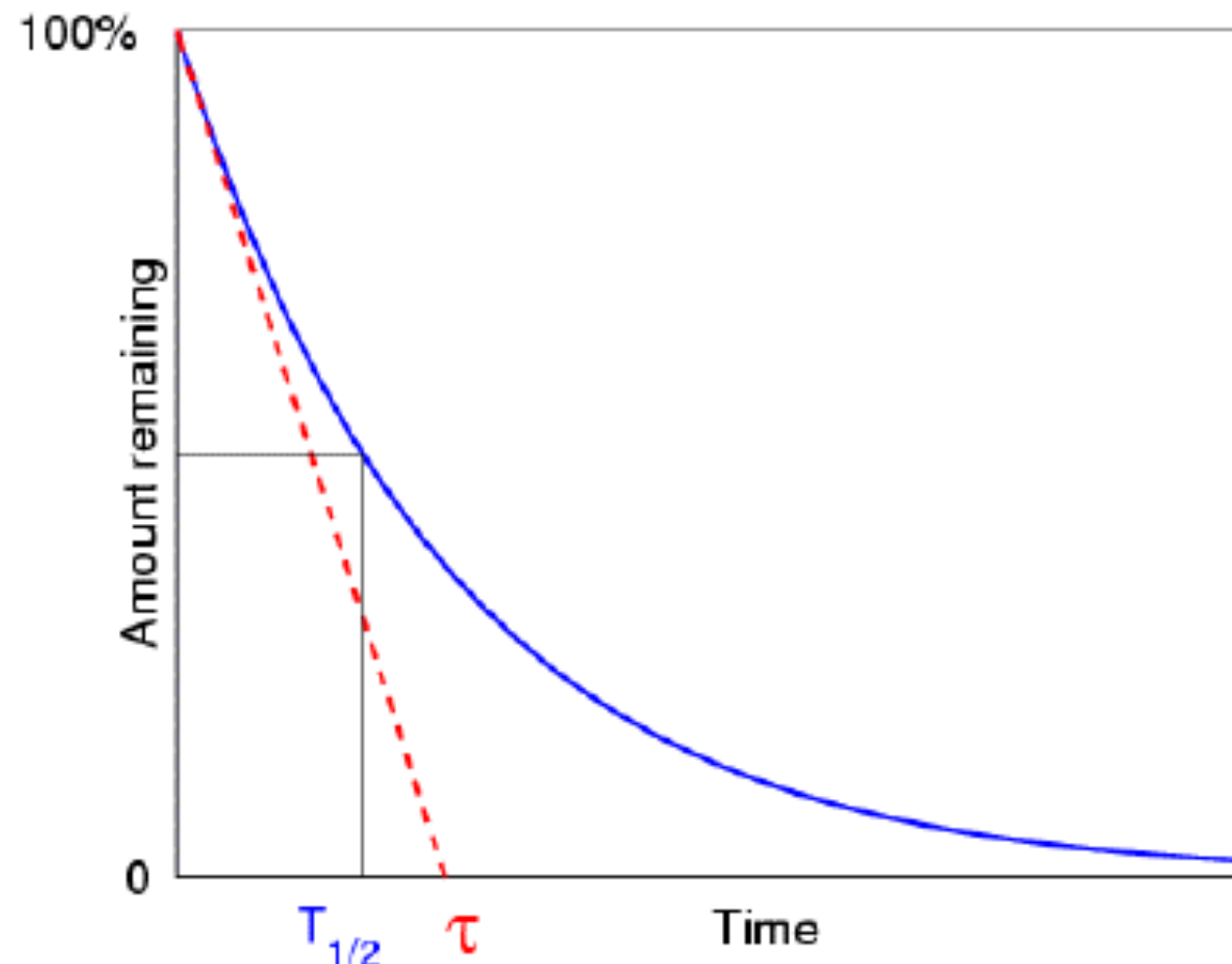
# Standard Model of Elementary Particles



A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

**COMBIEN DE TEMPS VIT UNE PARTICULE ?**

La probabilité qu'une particule se désintègre au bout d'un temps  $t$  suit une loi exponentielle de moyenne  $\tau$  (comme pour les désintégrations nucléaires)



# TEMPS DE VIE DE PLUSIEURS PARTICULES

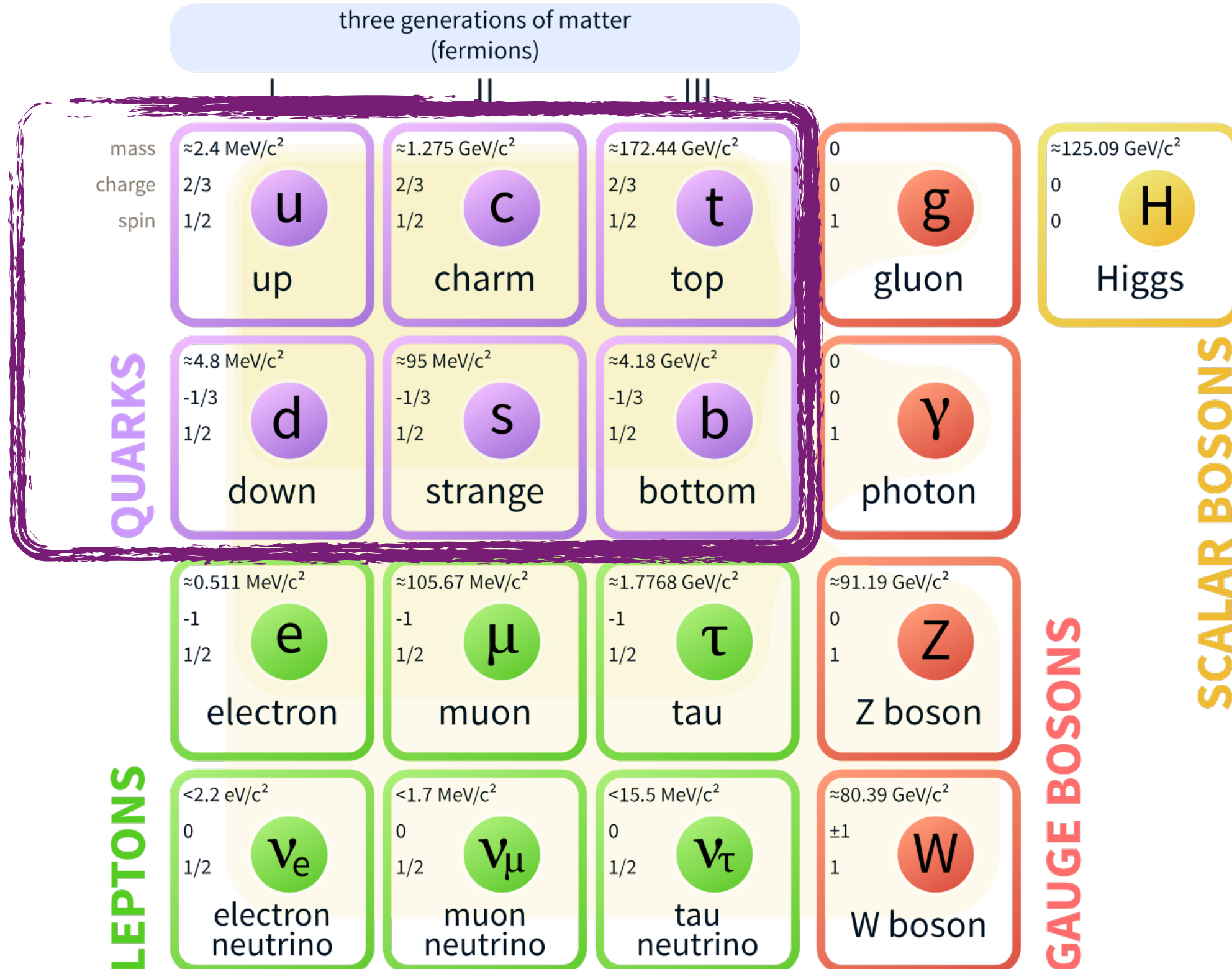
Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	$e^- / e^+$	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	$\mu^- / \mu^+$	105.7	$2.2 \times 10^{-6}$ seconds
	Tau lepton / Antitau	$\tau^- / \tau^+$	1777	$2.9 \times 10^{-13}$ seconds
Meson	Neutral Pion	$\pi^0$	135	$8.4 \times 10^{-17}$ seconds
	Charged Pion	$\pi^+ / \pi^-$	139.6	$2.6 \times 10^{-8}$ 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

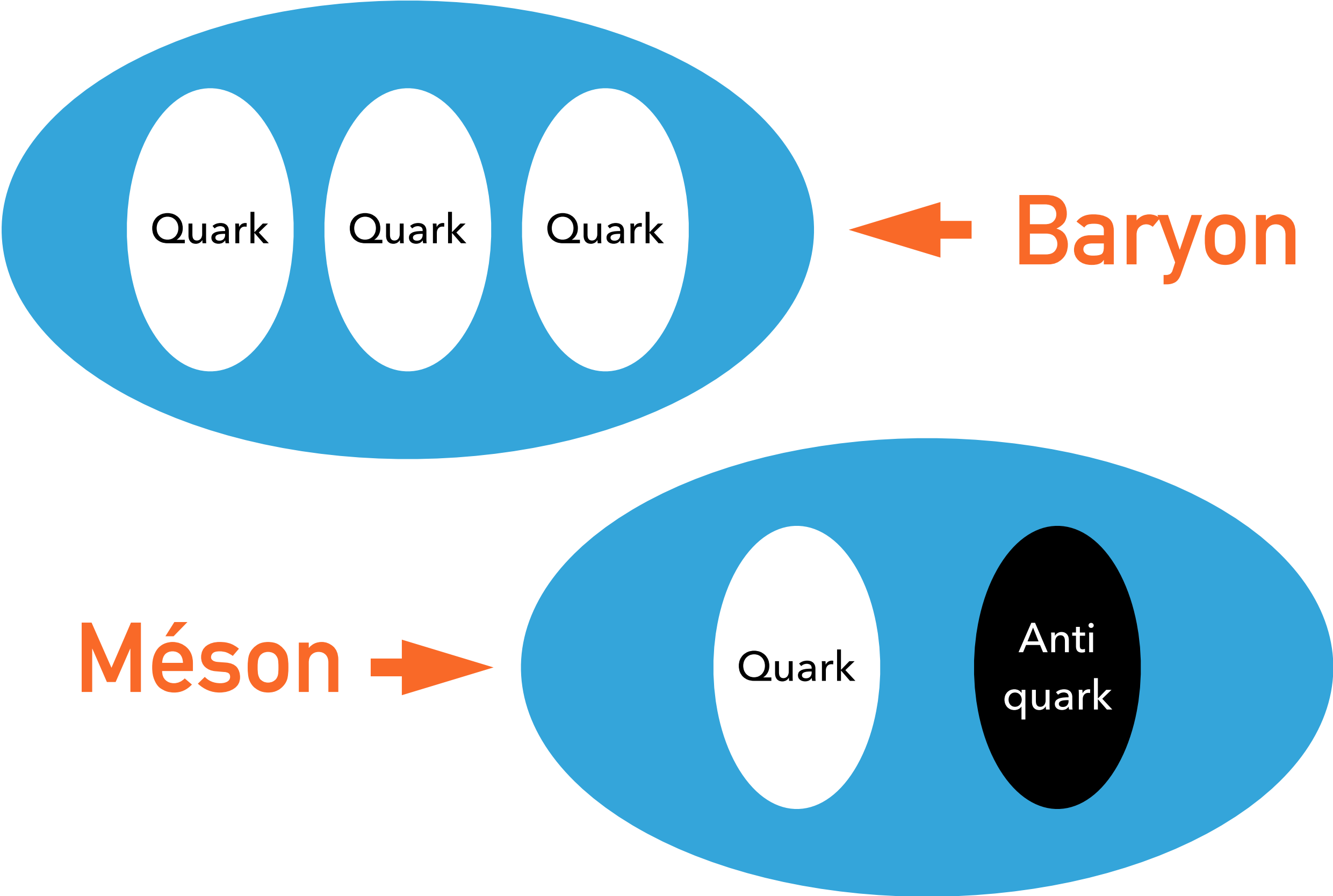
Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	$e^- / e^+$	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	$\mu^- / \mu^+$	105.7	$2.2 \times 10^{-6}$ seconds
	Tau lepton / Antitau	$\tau^- / \tau^+$	1777	$2.9 \times 10^{-13}$ seconds
Meson	Neutral Pion	$\pi^0$	135	$8.4 \times 10^{-17}$ seconds
	Charged Pion	$\pi^+ / \pi^-$	139.6	$2.6 \times 10^{-8}$ 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

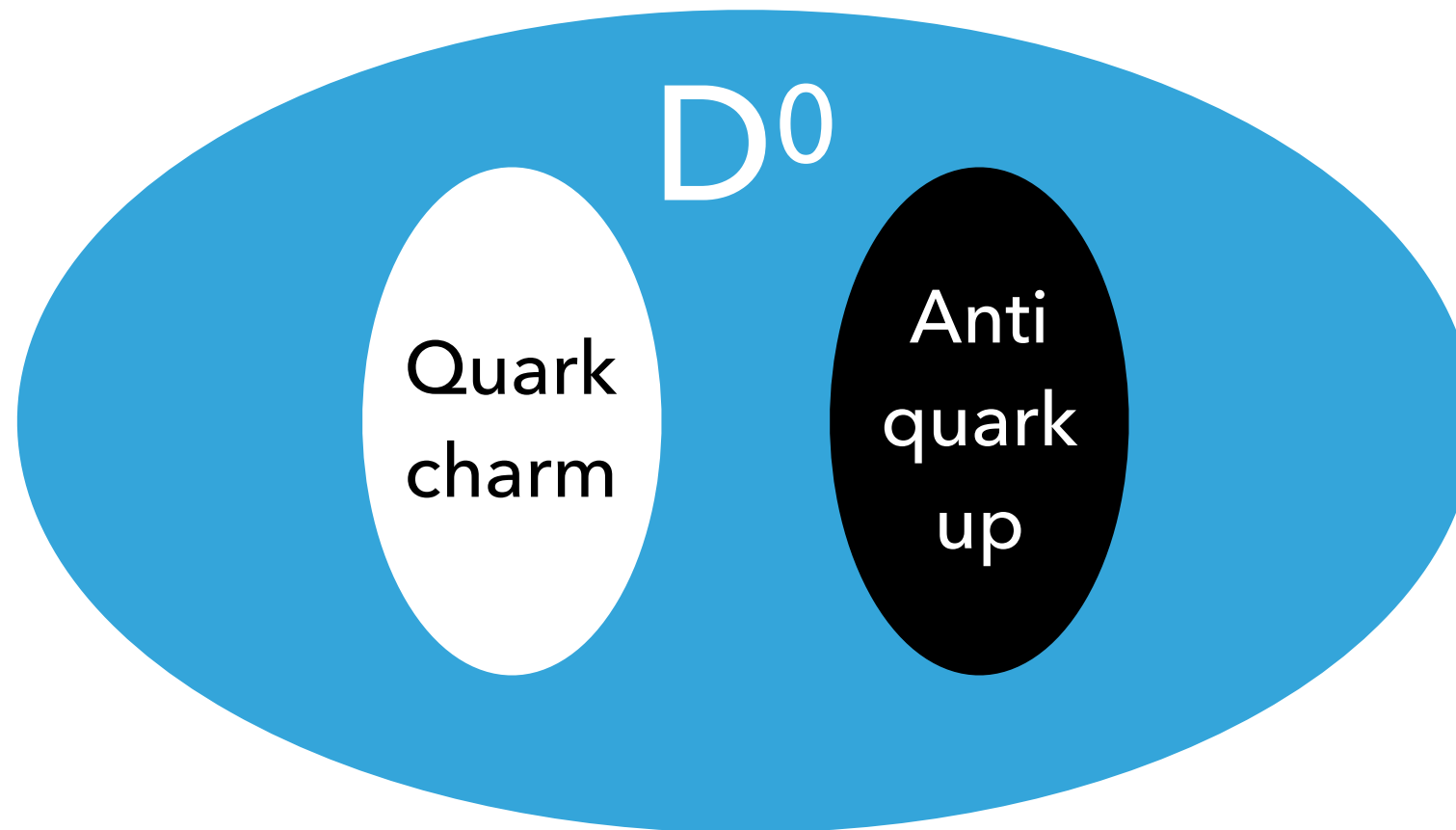


Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	$e^- / e^+$	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	$\mu^- / \mu^+$	105.7	$2.2 \times 10^{-6}$ seconds
	Tau lepton / Antitau	$\tau^- / \tau^+$	1777	$2.9 \times 10^{-13}$ seconds
Meson	Neutral Pion	$\pi^0$	135	$8.4 \times 10^{-17}$ seconds
	Charged Pion	$\pi^+ / \pi^-$	139.6	$2.6 \times 10^{-8}$ 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

# Standard Model of Elementary Particles

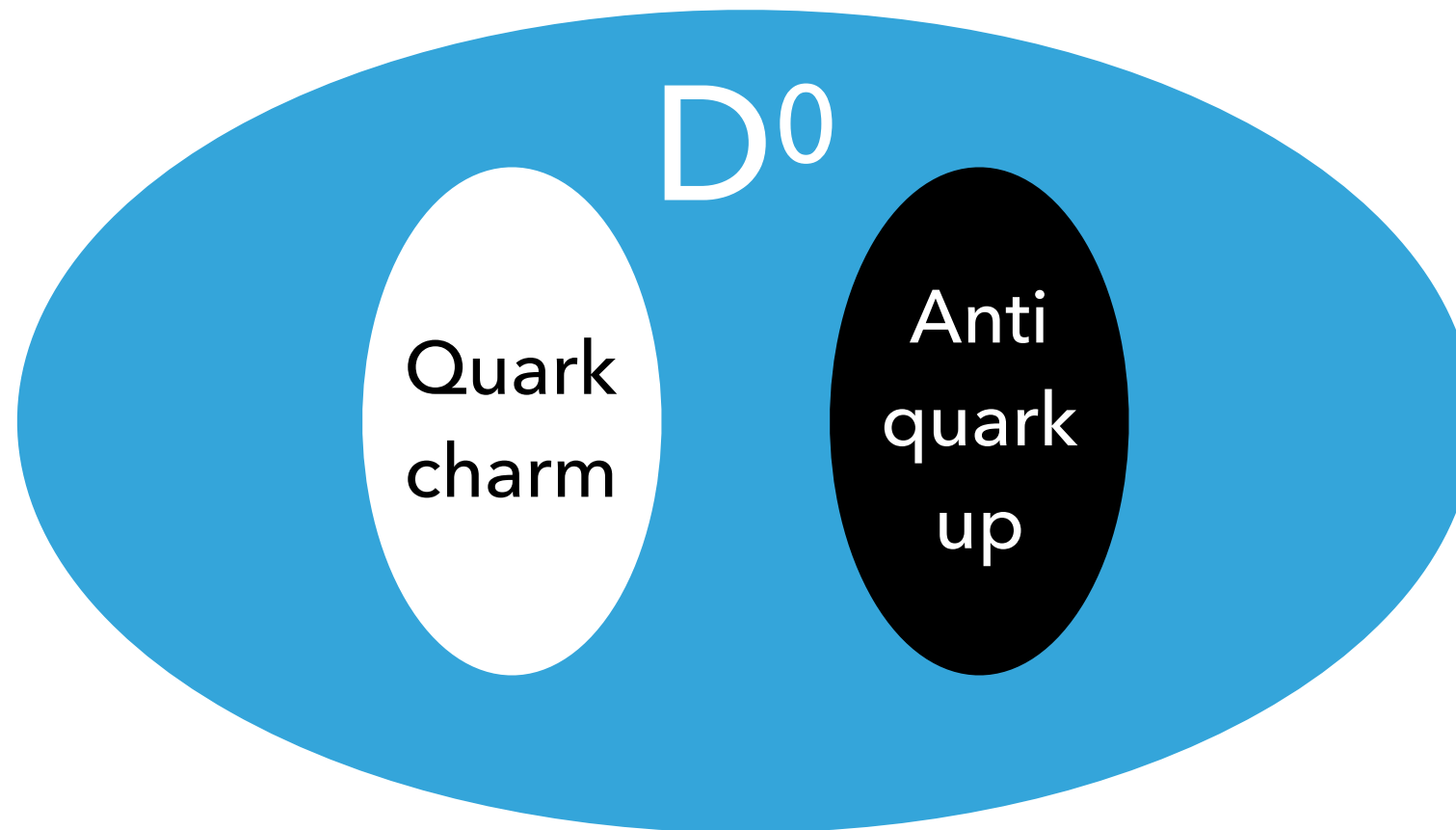




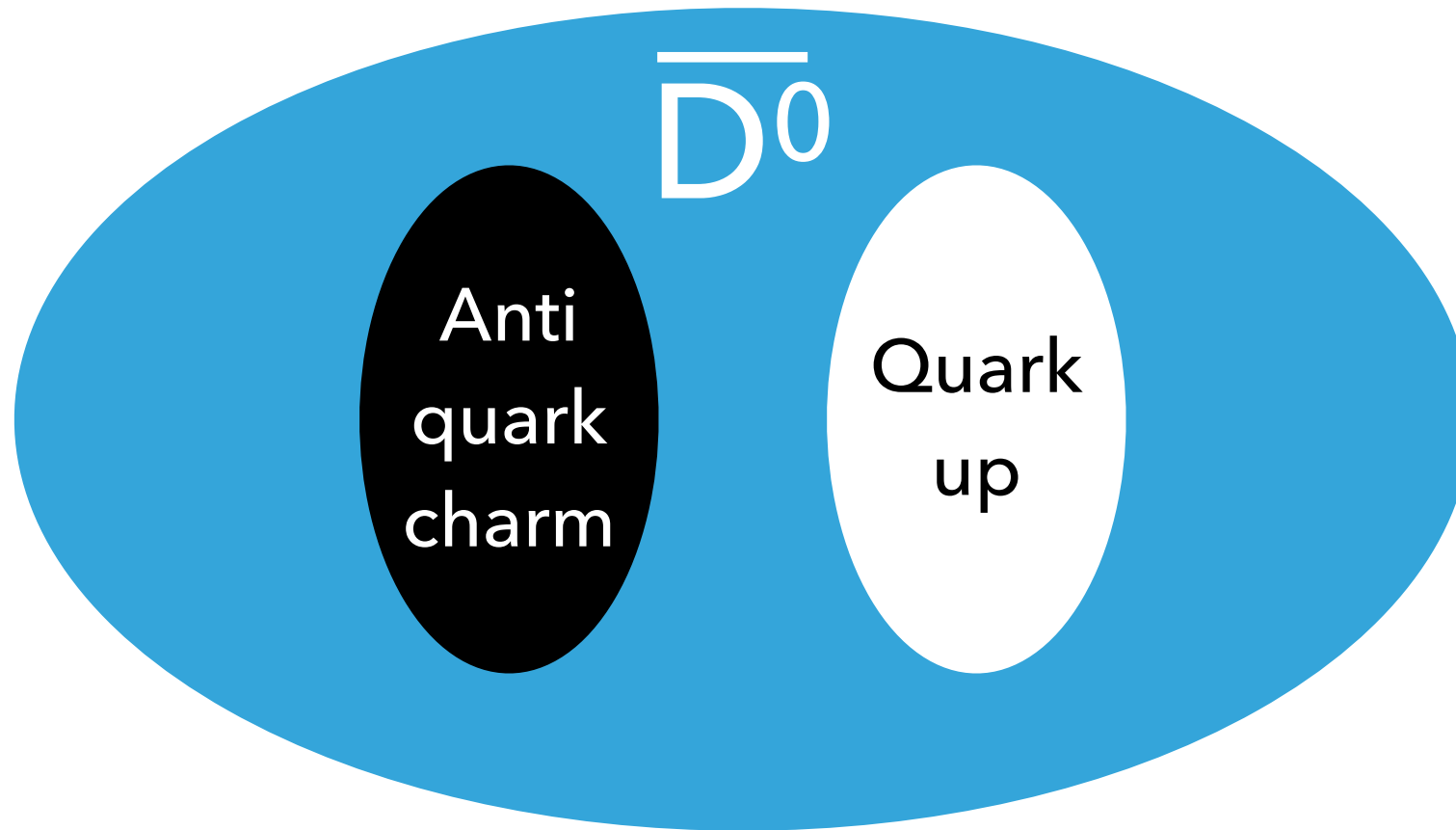


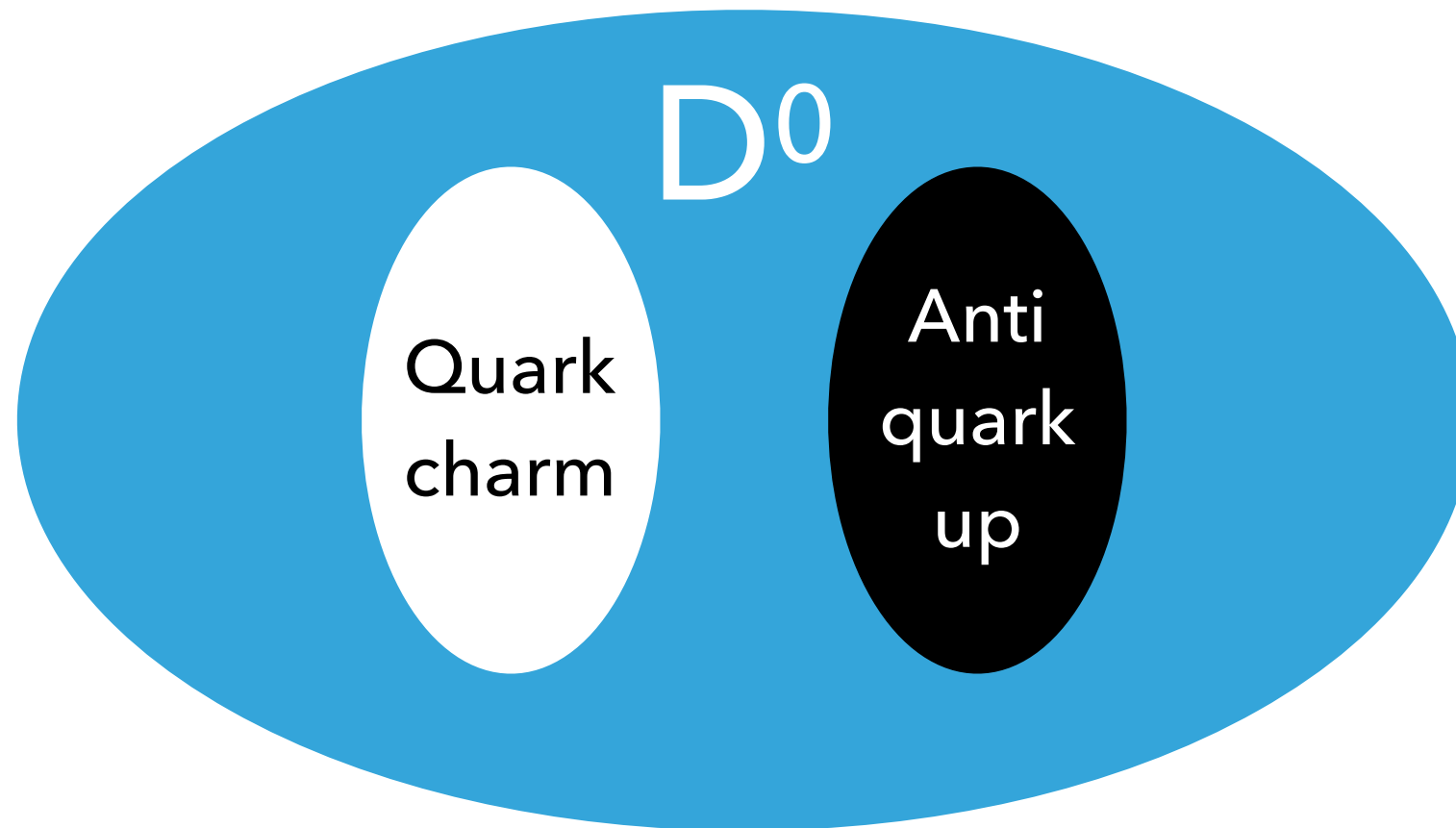
A large orange speech bubble with a white question inside.

**POURQUOI S'INTÉRESSE-T-ON AU D<sup>0</sup> ?**

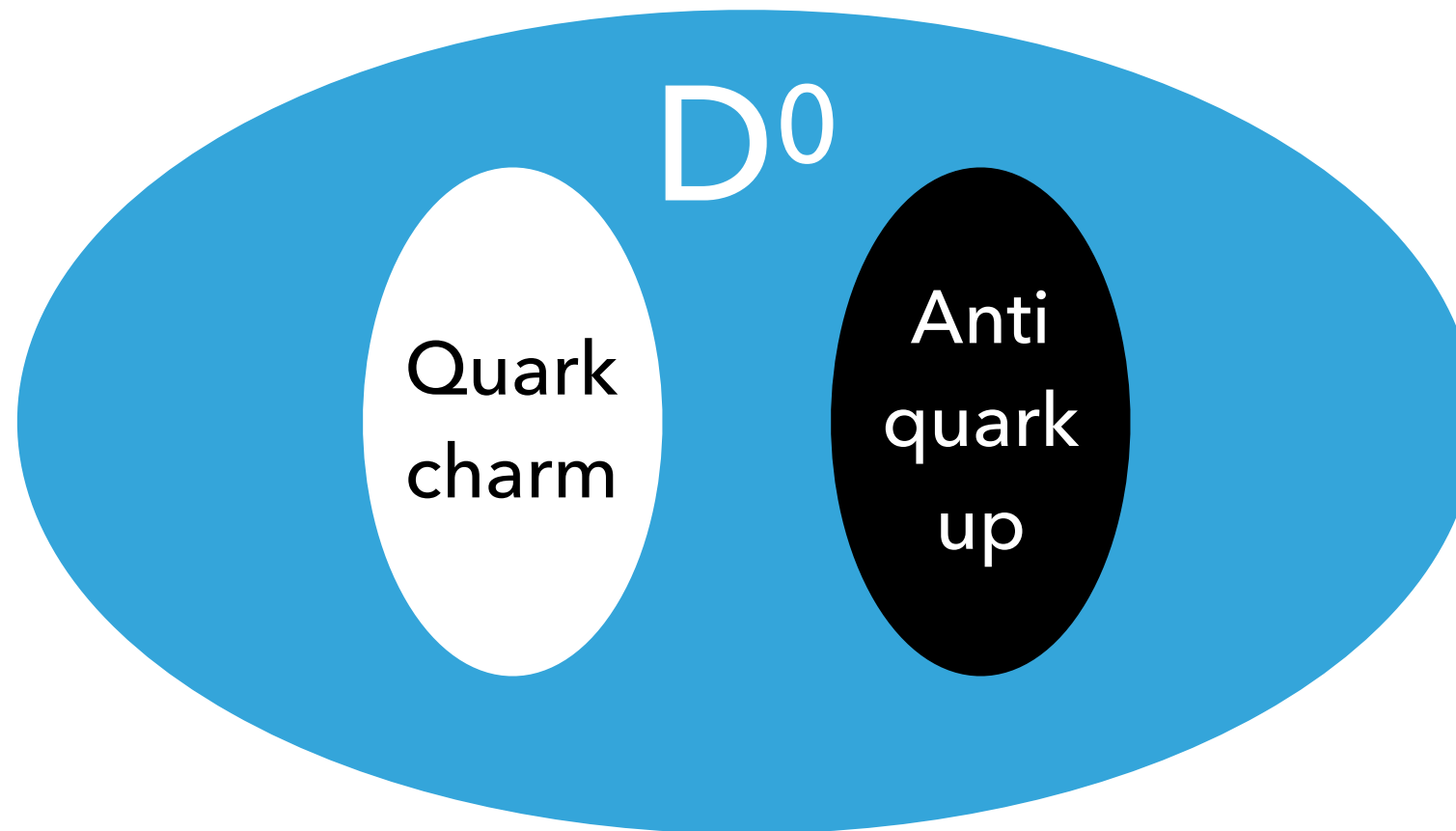




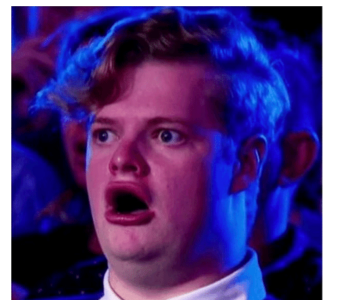




IL OSCILLE !



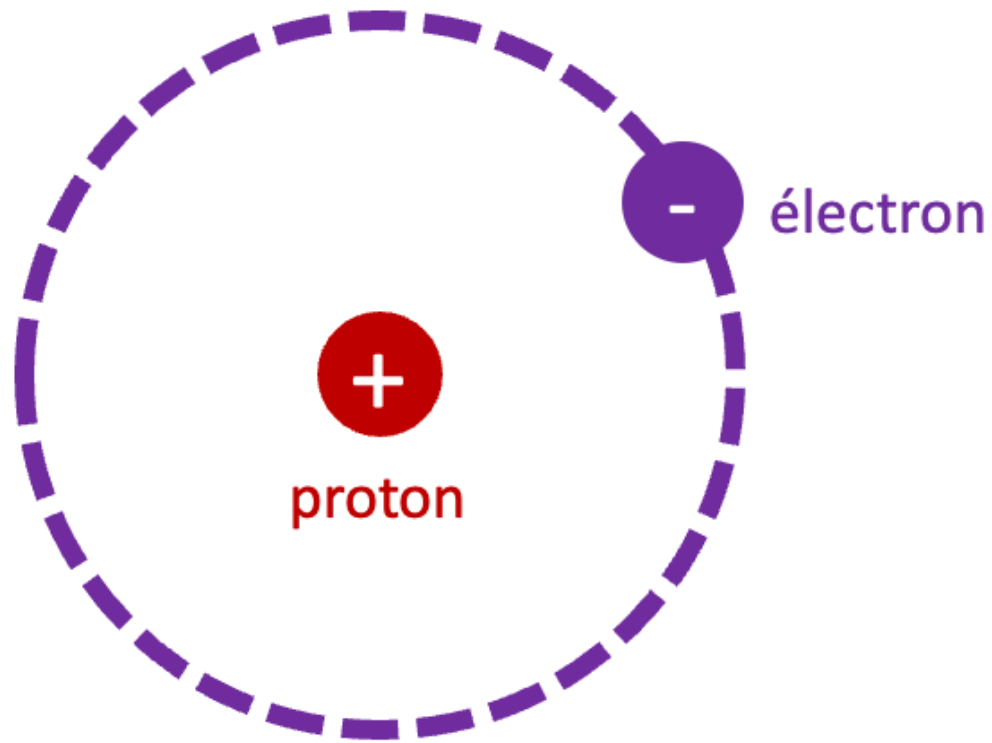
Le D<sup>0</sup> est une particule neutre : il peut osciller entre matière et antimatière avant de se désintégrer !



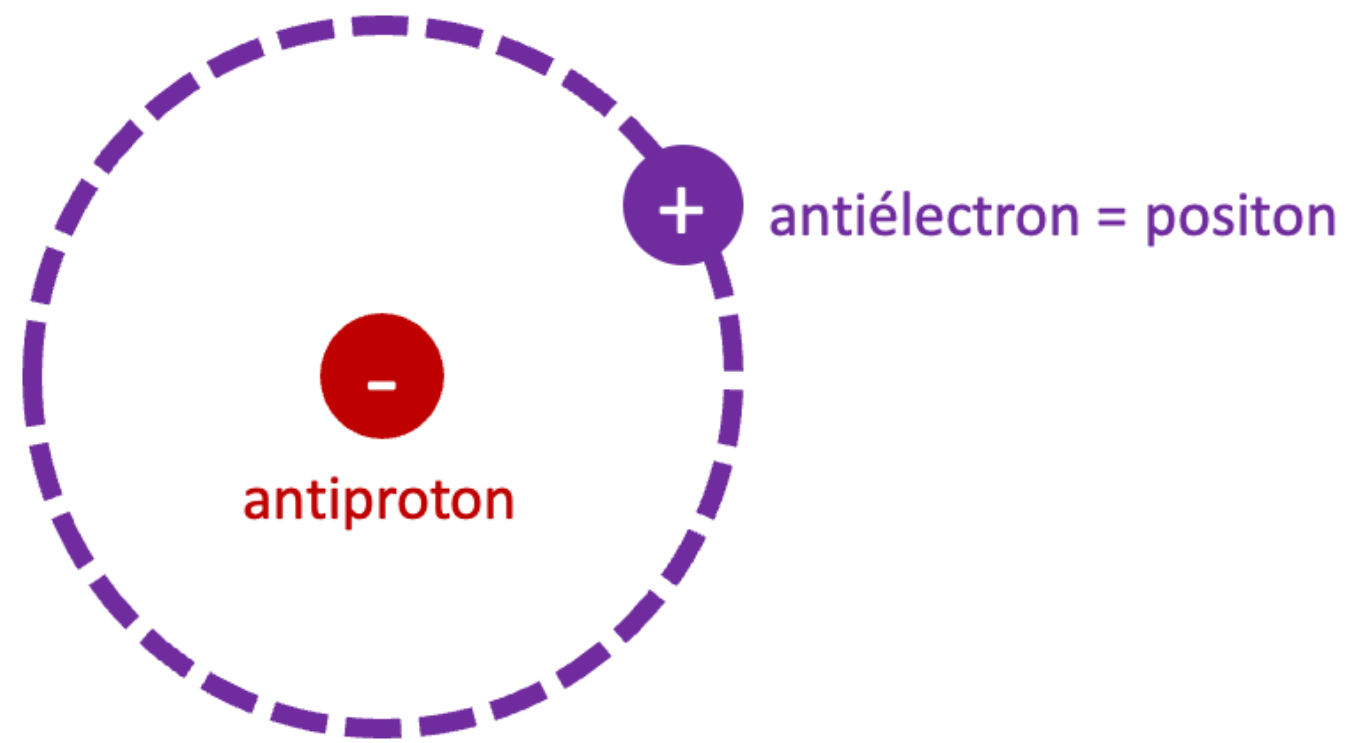
A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

**POURQUOI S'INTÉRESSE-T-ON À  
L'ANTIMATIÈRE ?**

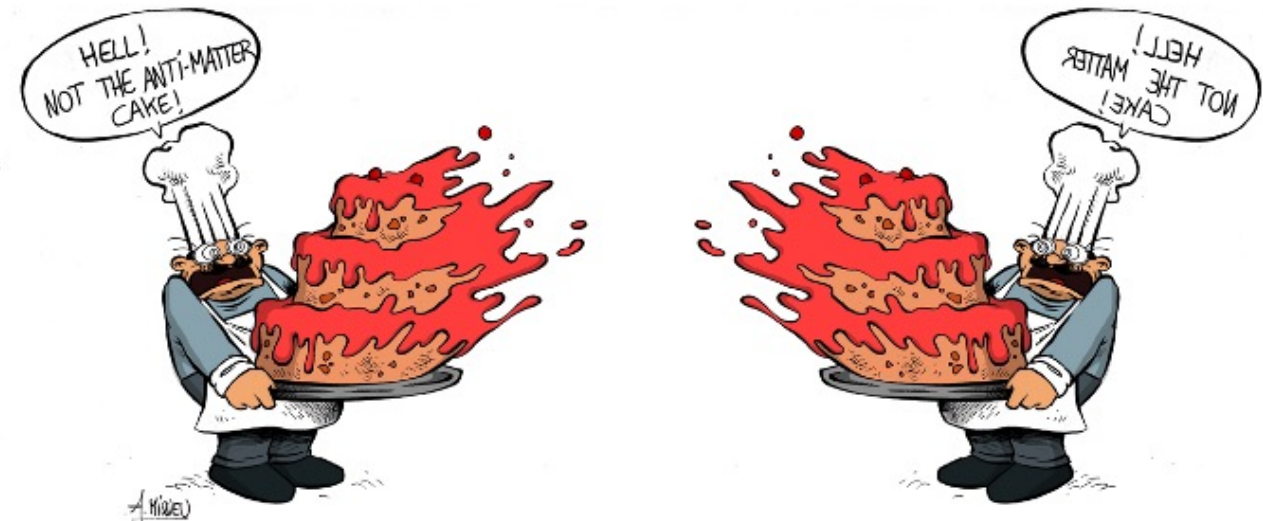
## Atome d'hydrogène

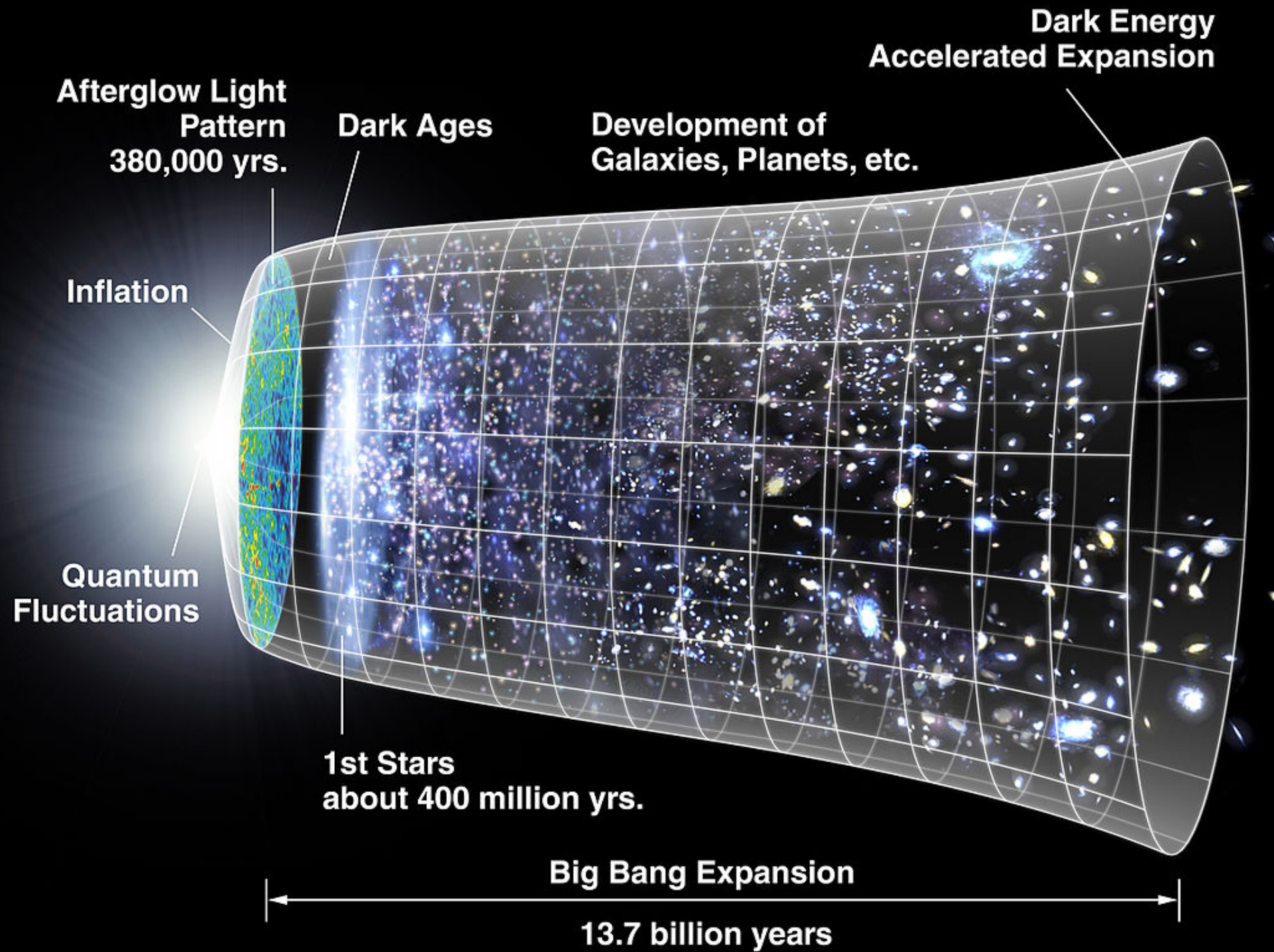


## Atome d'antihydrogène

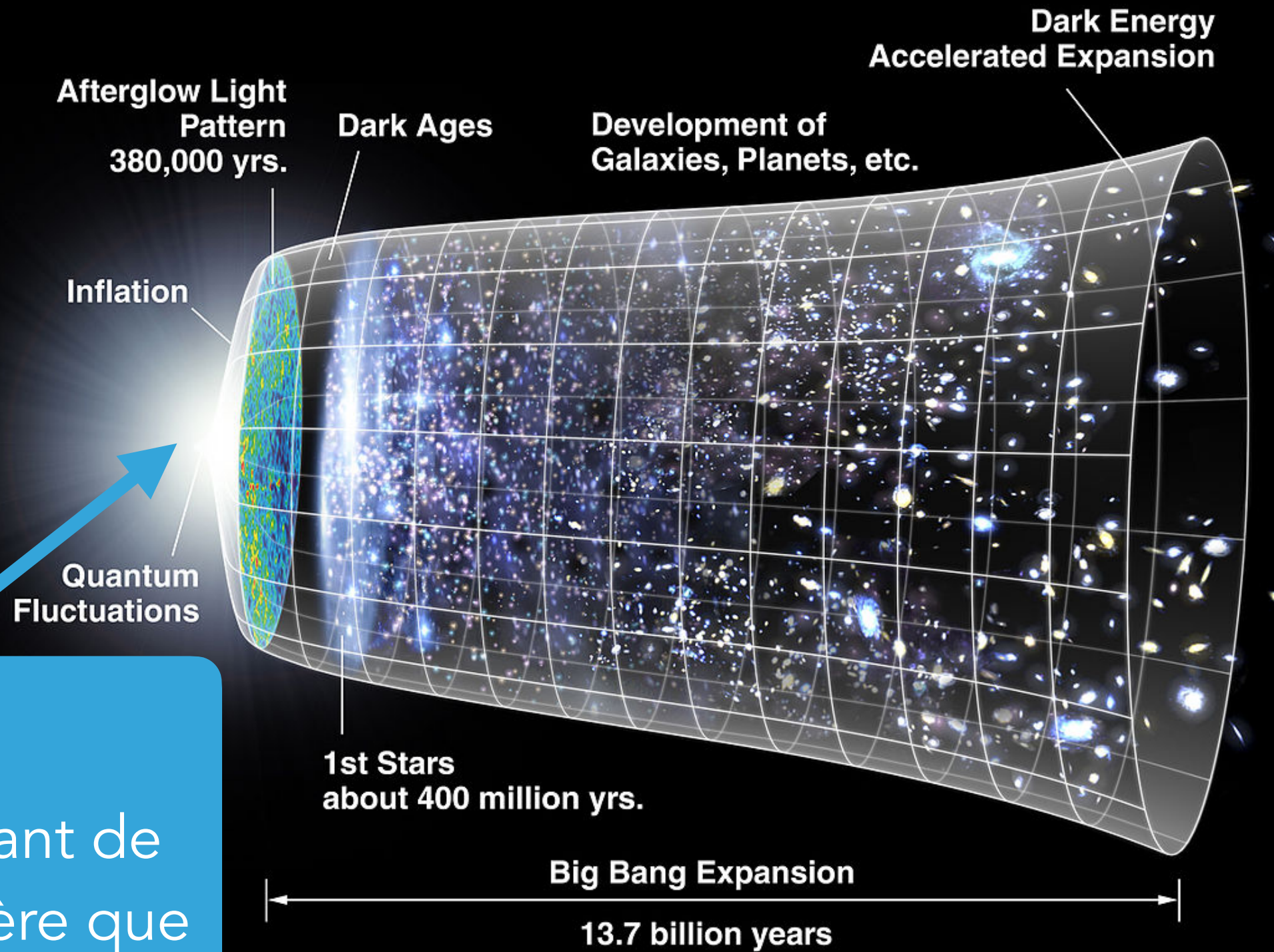


- ▶ Même masse, mais charges électriques opposées.
- ▶ Matière et antimatière semblent donc parfaitement symétriques.
- ▶ Quand matière et antimatière se rencontrent: BOOM!



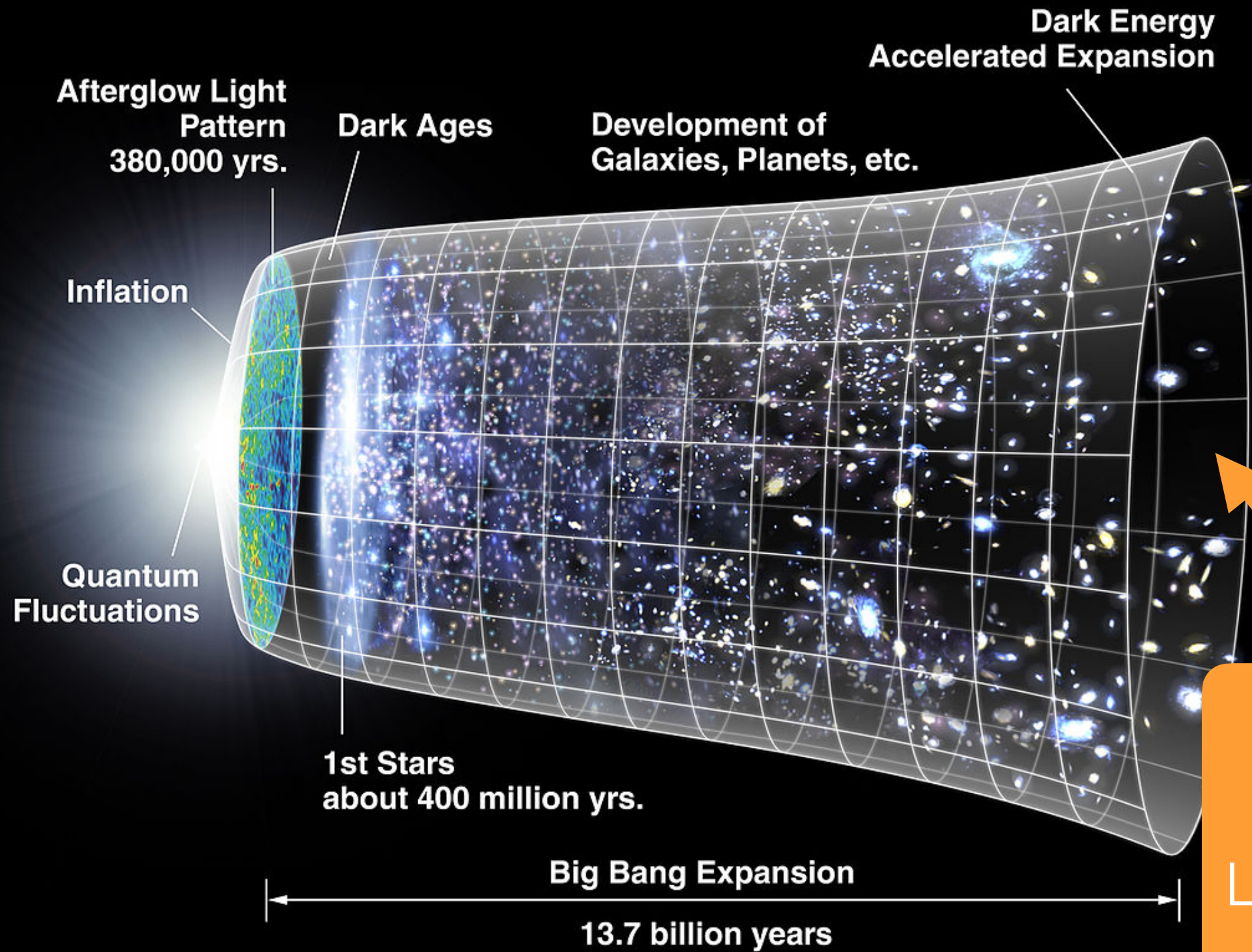




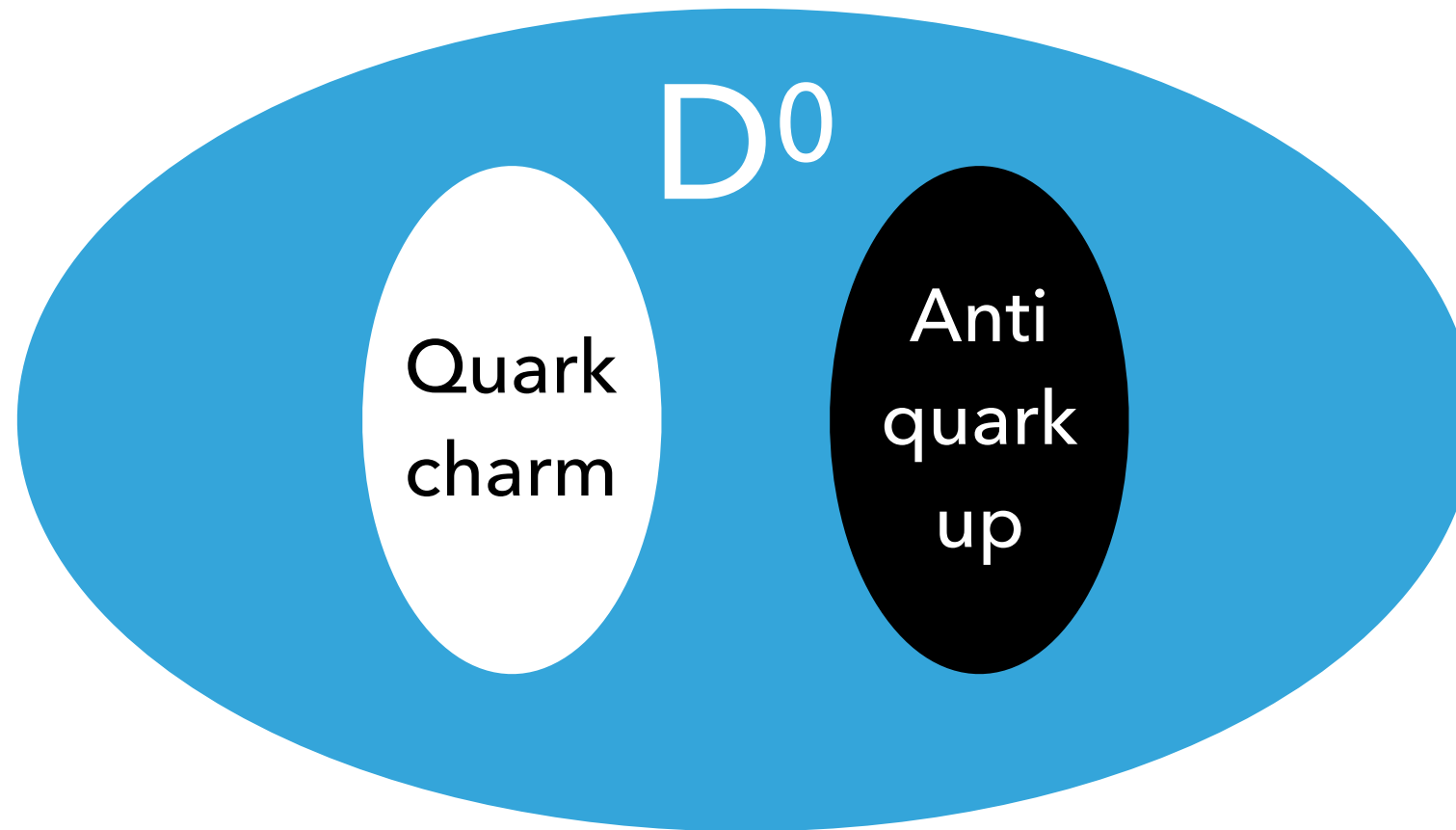


Autant de matière que d'antimatière



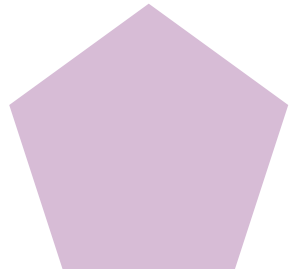


L'antimatière  
a disparu !

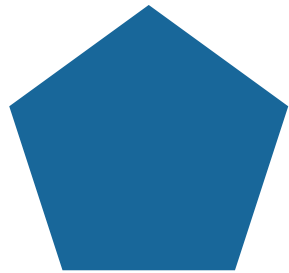


Le D<sup>0</sup> peut nous donner des indices sur ce qui fait la différence entre la matière et l'antimatière !

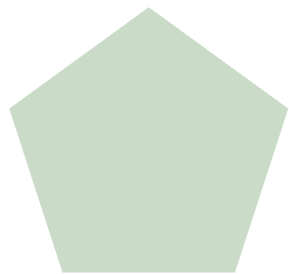
On appelle ce phénomène la **violation CP**, la brisure de symétrie entre matière et antimatière!



Introduction : Le méson  $D_0$  et pourquoi il est intéressant



Mesurer les propriétés des particules avec LHCb



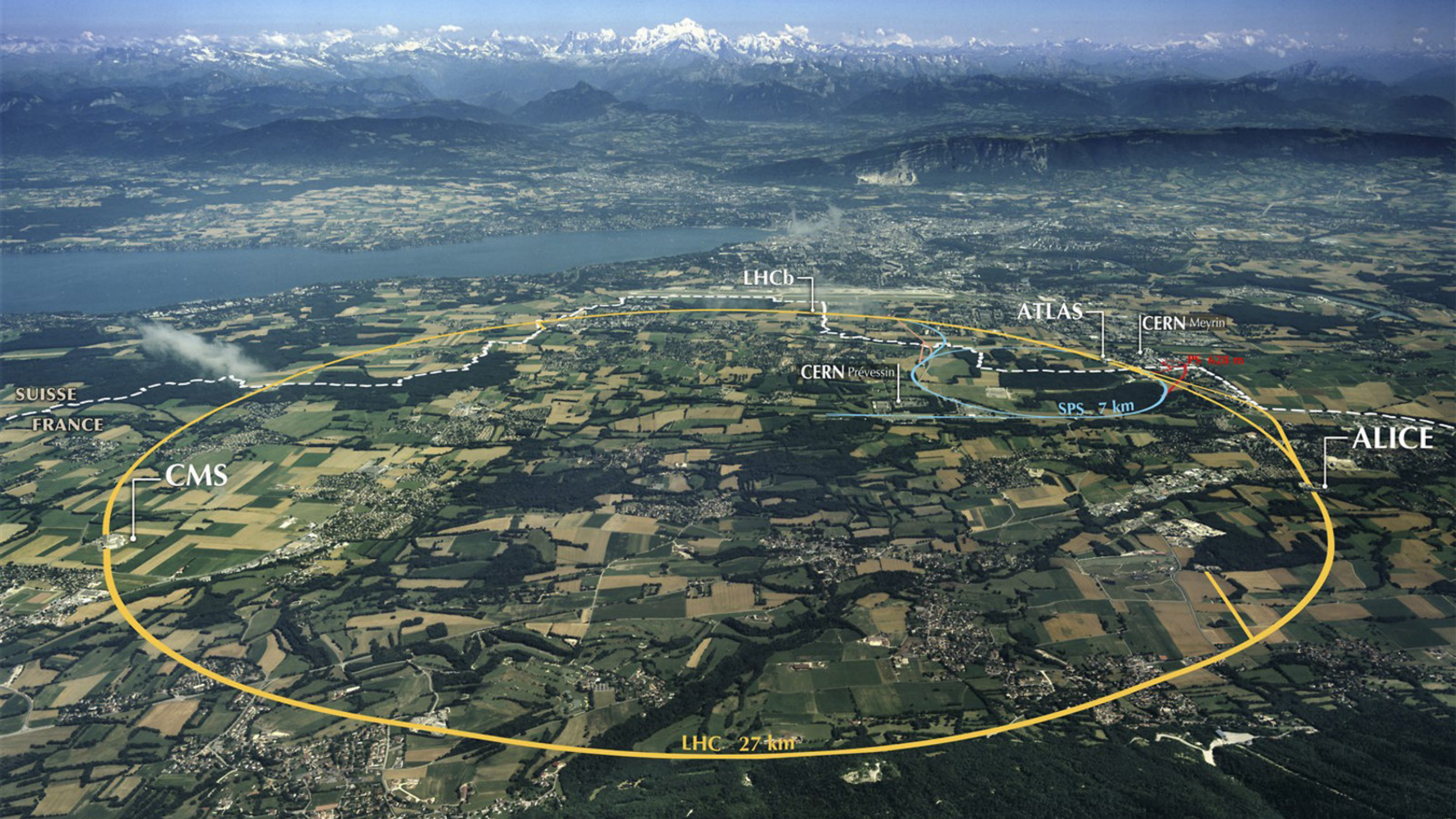
Votre mission !

A large orange speech bubble with a white question inside.

**COMMENT FAIT-ON POUR PRODUIRE  
TOUTES CES PARTICULES ?**

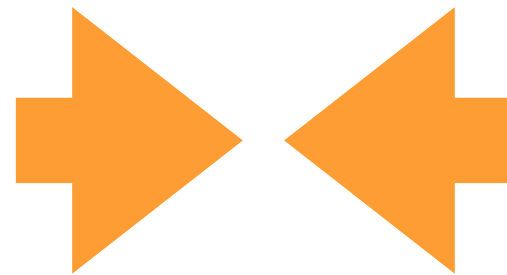
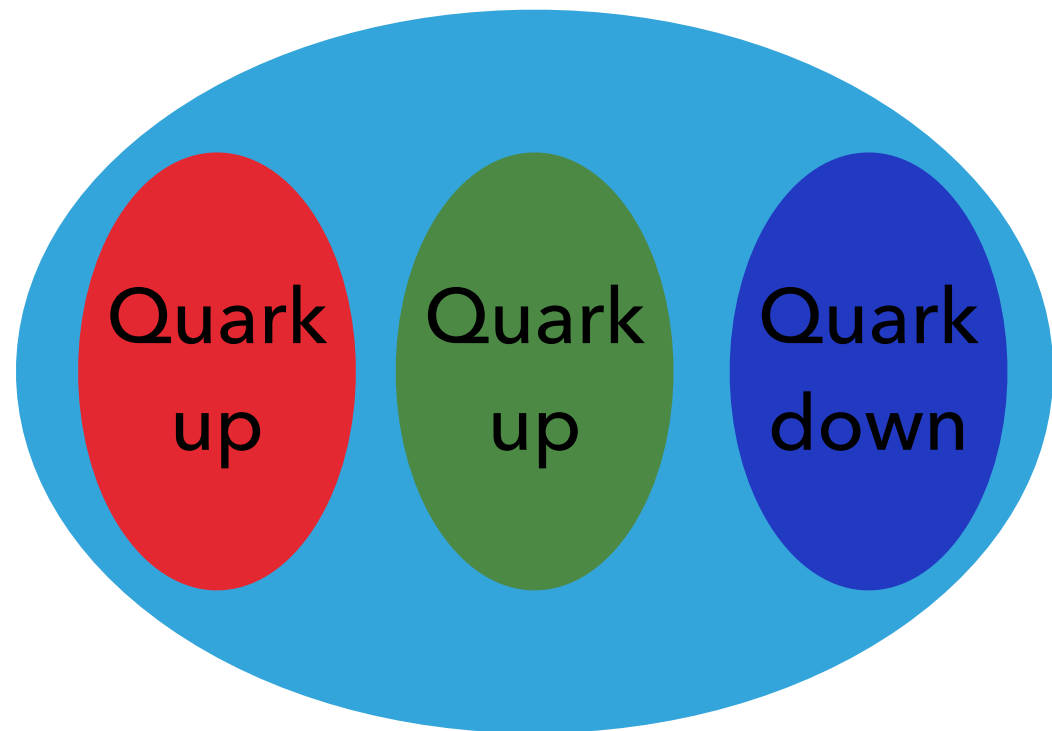


# Le LHC : Large Hadron Collider

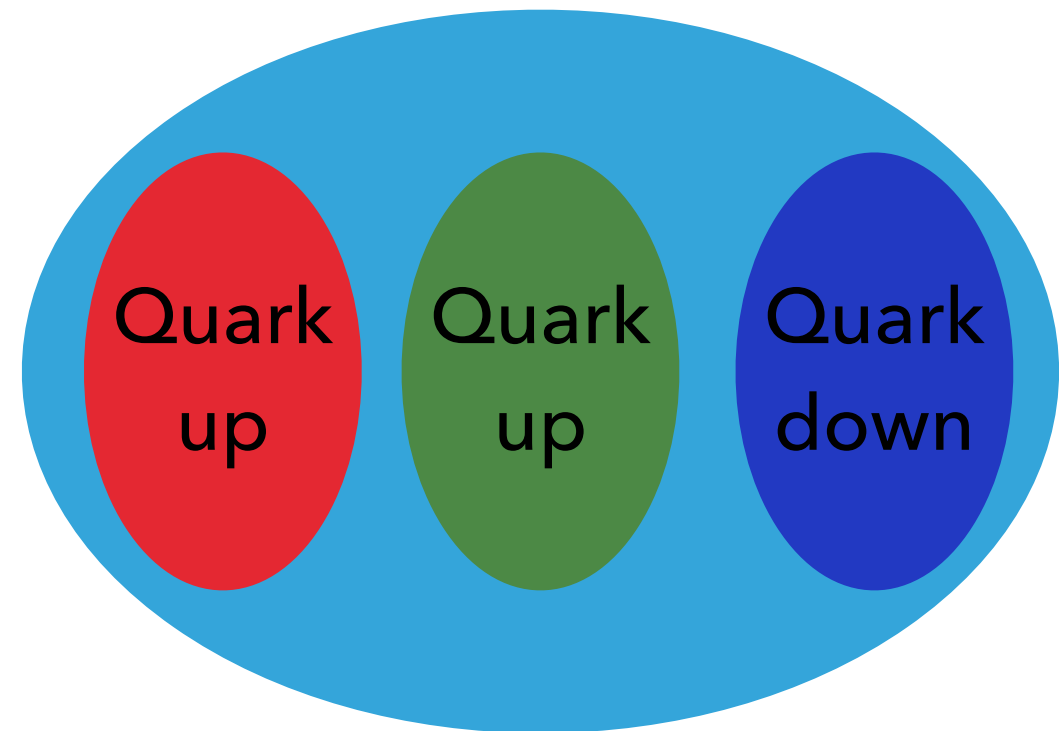




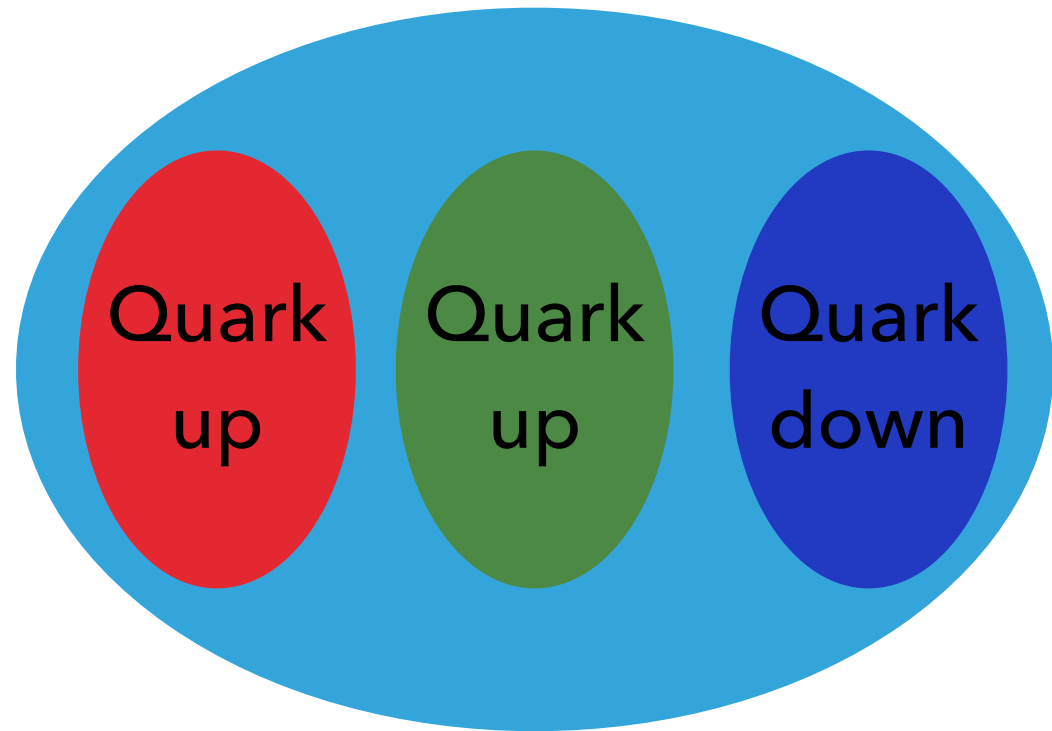
Proton



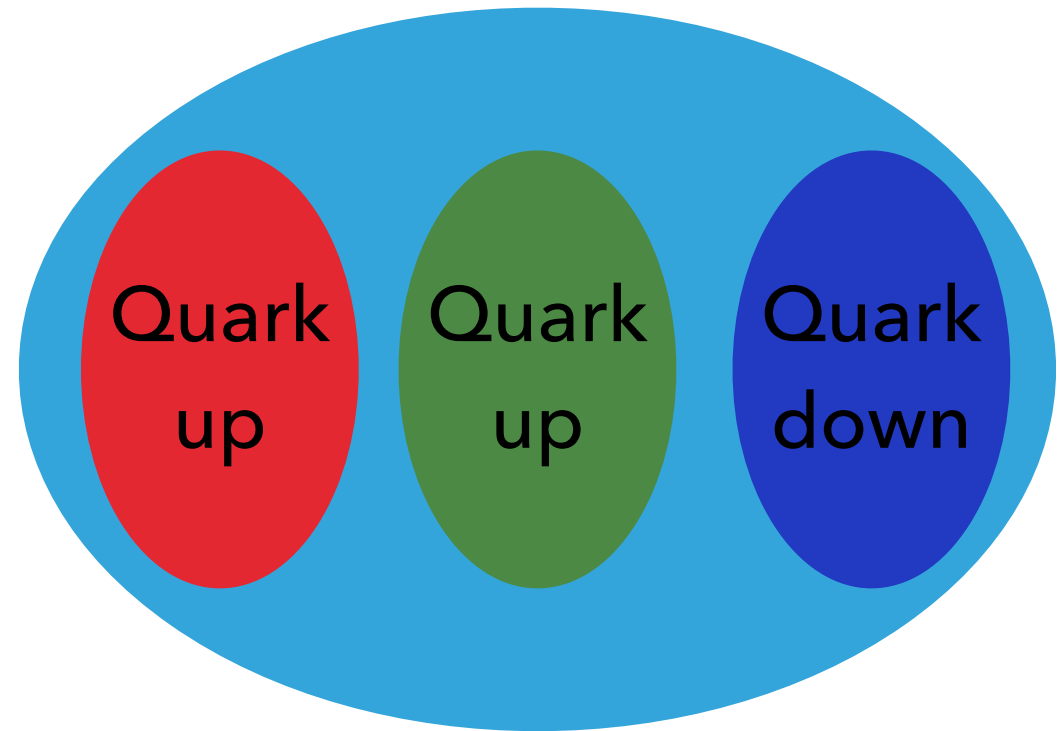
Proton

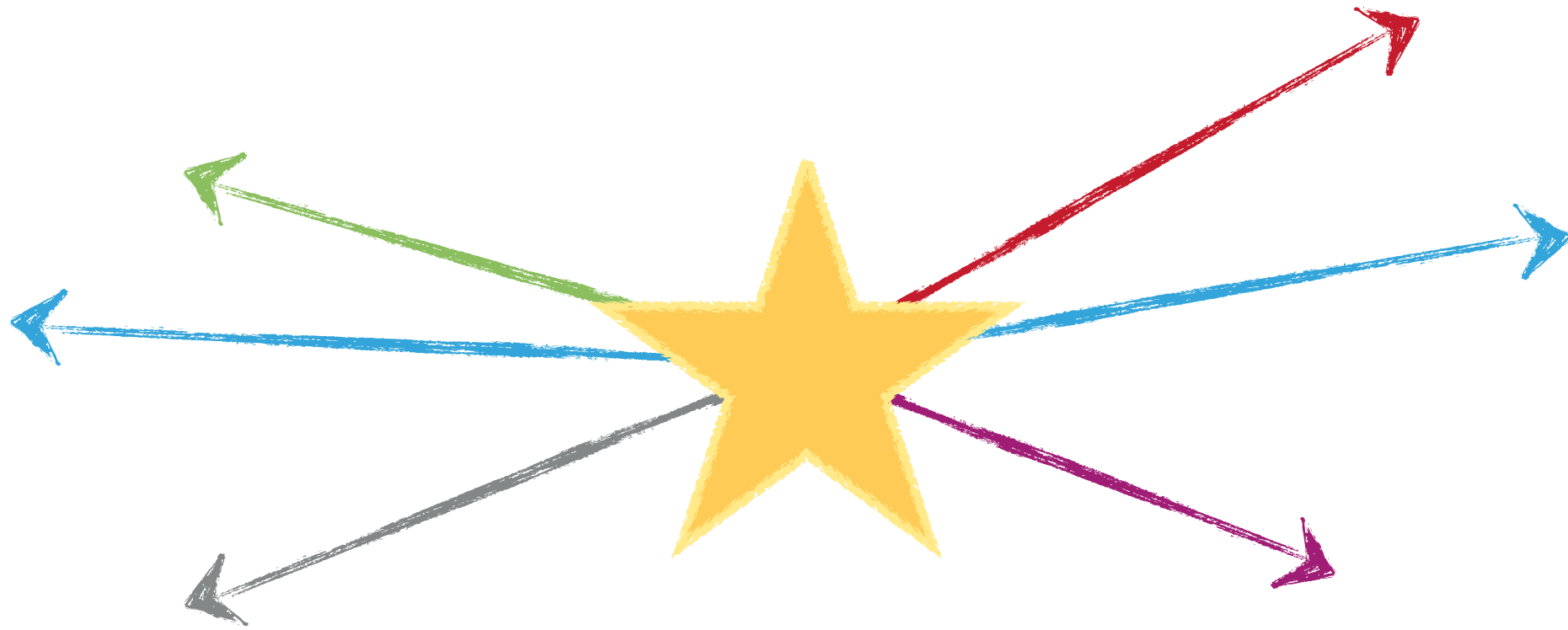


Proton

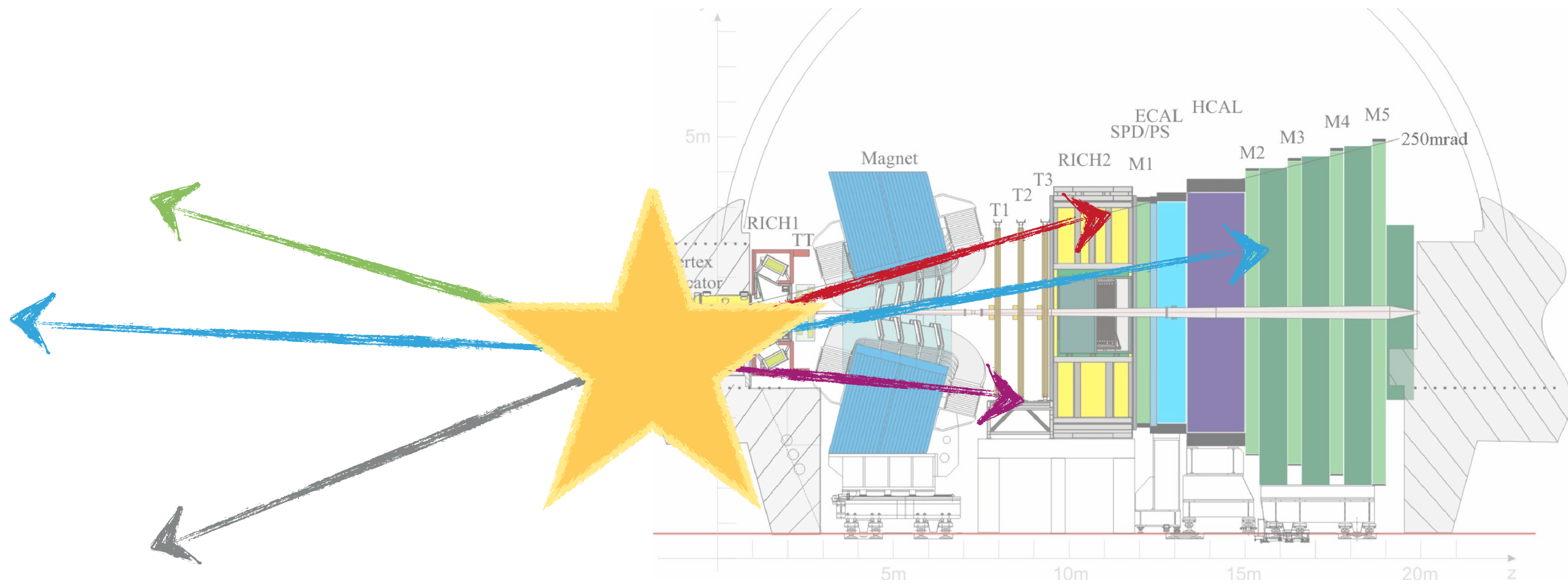


Proton





# LES DÉTECTEURS SONT PLACÉS PRÈS DES POINTS DE COLLISION

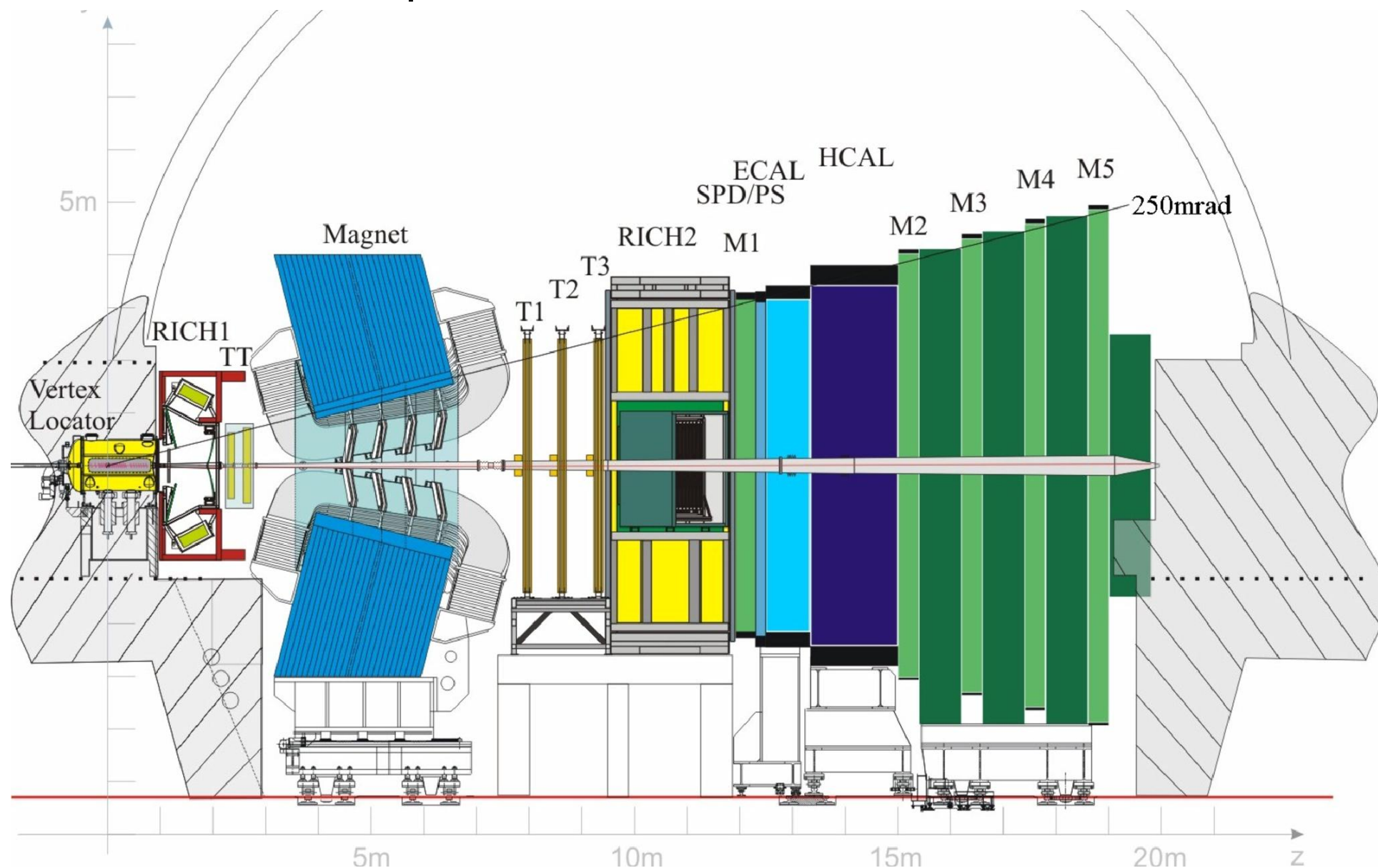




**COMMENT DÉTECTE-T-ON LES  
PARTICULES ?**

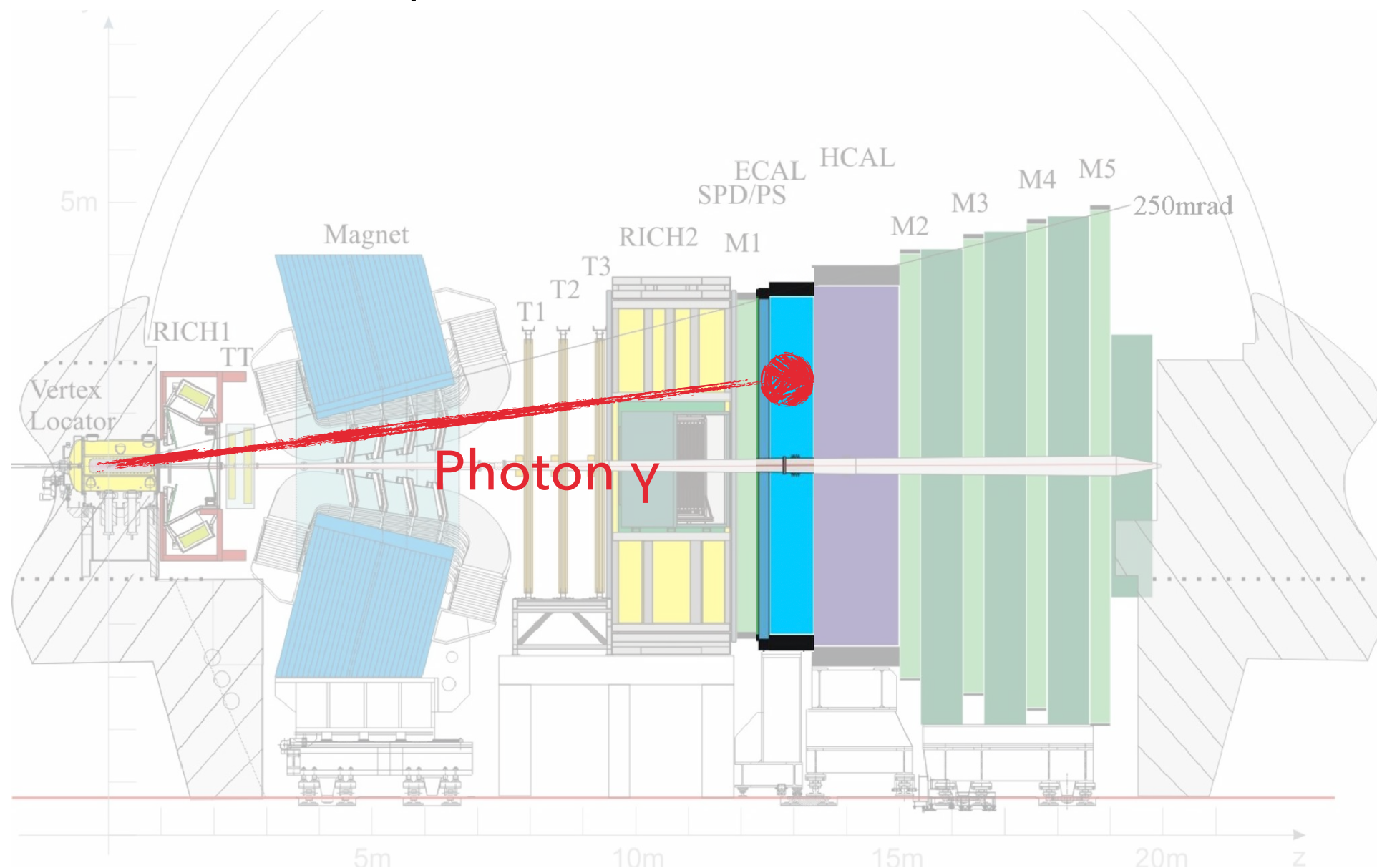
LHCb peut :

- mesurer **l'énergie** des photons, des électrons et des hadrons
- détecter **les trajectoires** des particules chargées
- **identifier** certaines particules



LHCb peut :

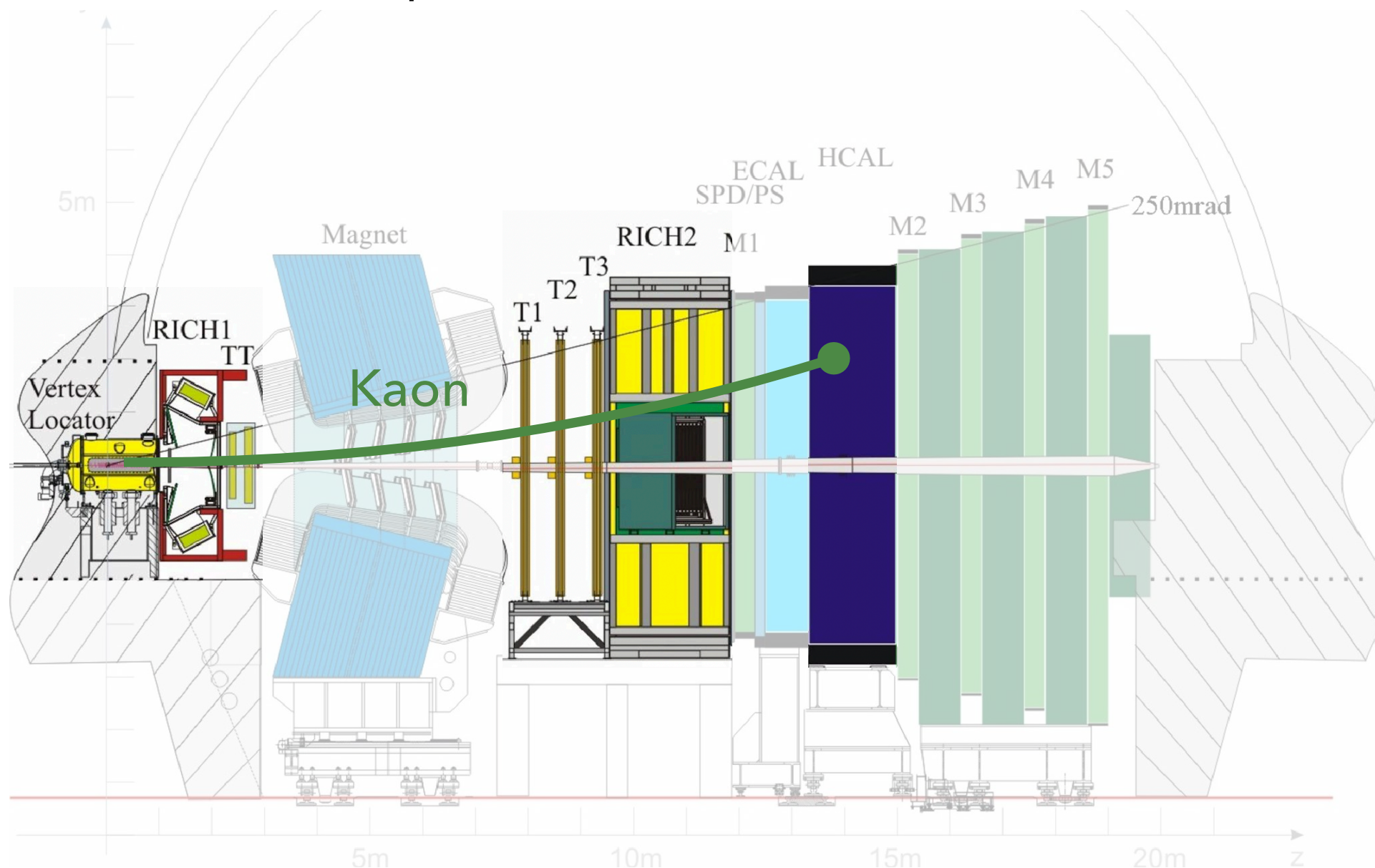
- mesurer **l'énergie** des photons, des électrons et des hadrons
- détecter **les trajectoires** des particules chargées
- **identifier** certaines particules






LHCb peut :

- mesurer **l'énergie** des photons, des électrons et des hadrons
- détecter **les trajectoires** des particules chargées
- **identifier** certaines particules





A large orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

**COMMENT MESURE-T-ON LES  
CARACTÉRISTIQUES DU MÉSON  $D^0$  ?**

Einstein vient à la rescousse :

$$m^2 = E^2 - p^2$$

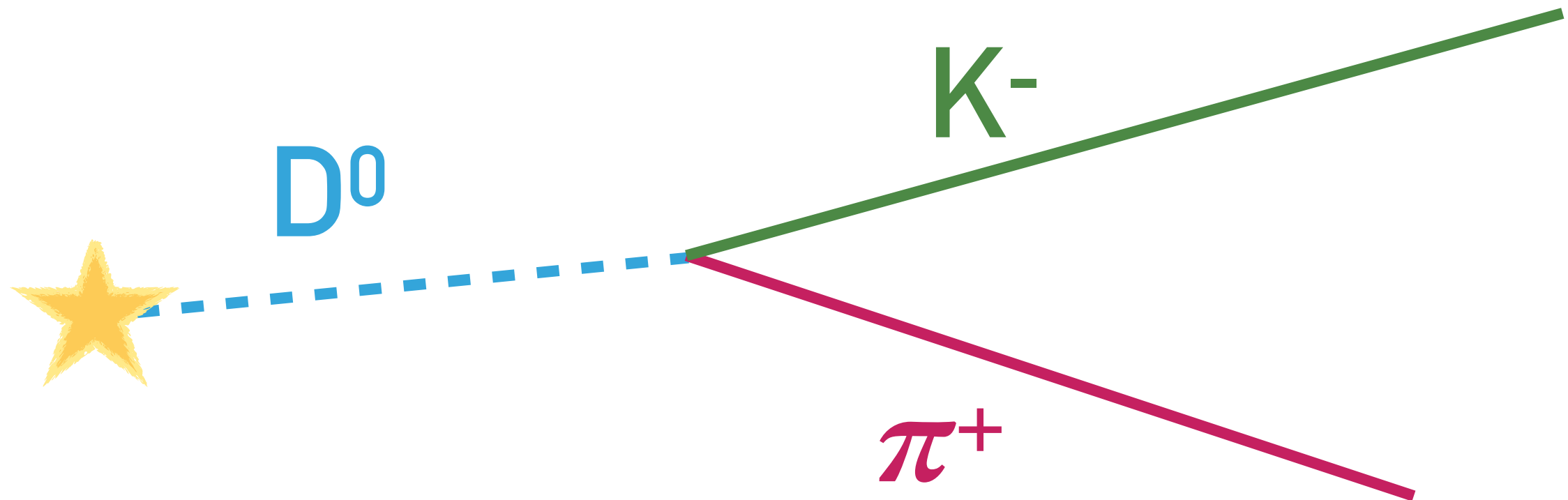
Masse

Energie

Quantité de mouvement  
(liée à la vitesse de la particule)

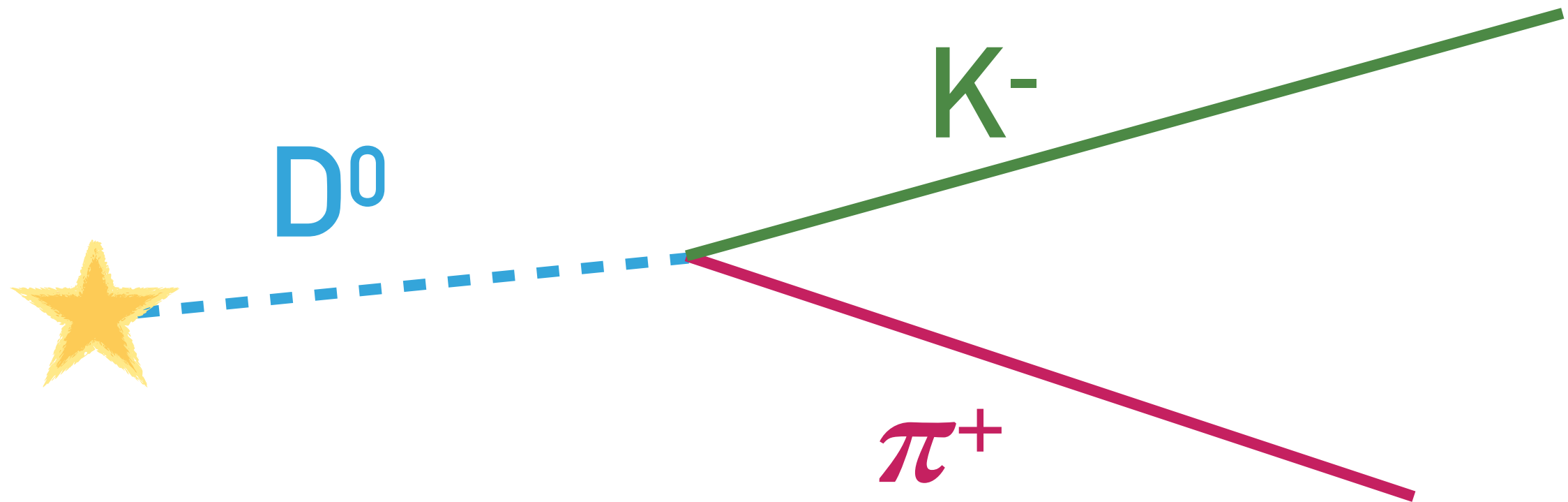
$$m^2 = E^2 - p^2$$

Pour connaître  $E$  et  $p$ , on utilise le fait que ces deux quantités sont **conservées** quand le  $D^0$  se désintègre.



Ainsi, pour mesurer la masse du  $D^0$ , il suffit de mesurer les énergies et quantités de mouvement des particules  $K^-$  et  $\pi^+$

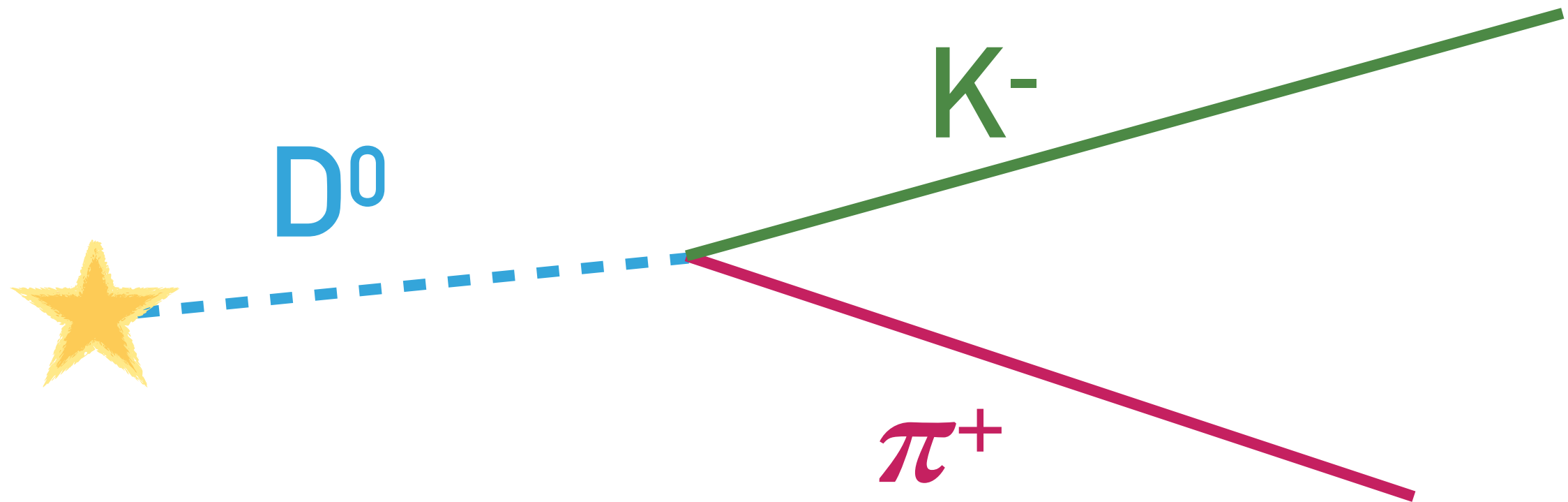
On utilise la distance parcourue par le  $D^0$  et sa quantité de mouvement



Exemple :

Pour une particule qui vit pendant  $10^{-12}$  s  
et qui va à la vitesse de la lumière ( $3 \cdot 10^8$  m/s),  
alors avec les lois de Newton, elle parcourt **0.3 mm** !

On utilise la distance parcourue par le  $D^0$  et sa quantité de mouvement



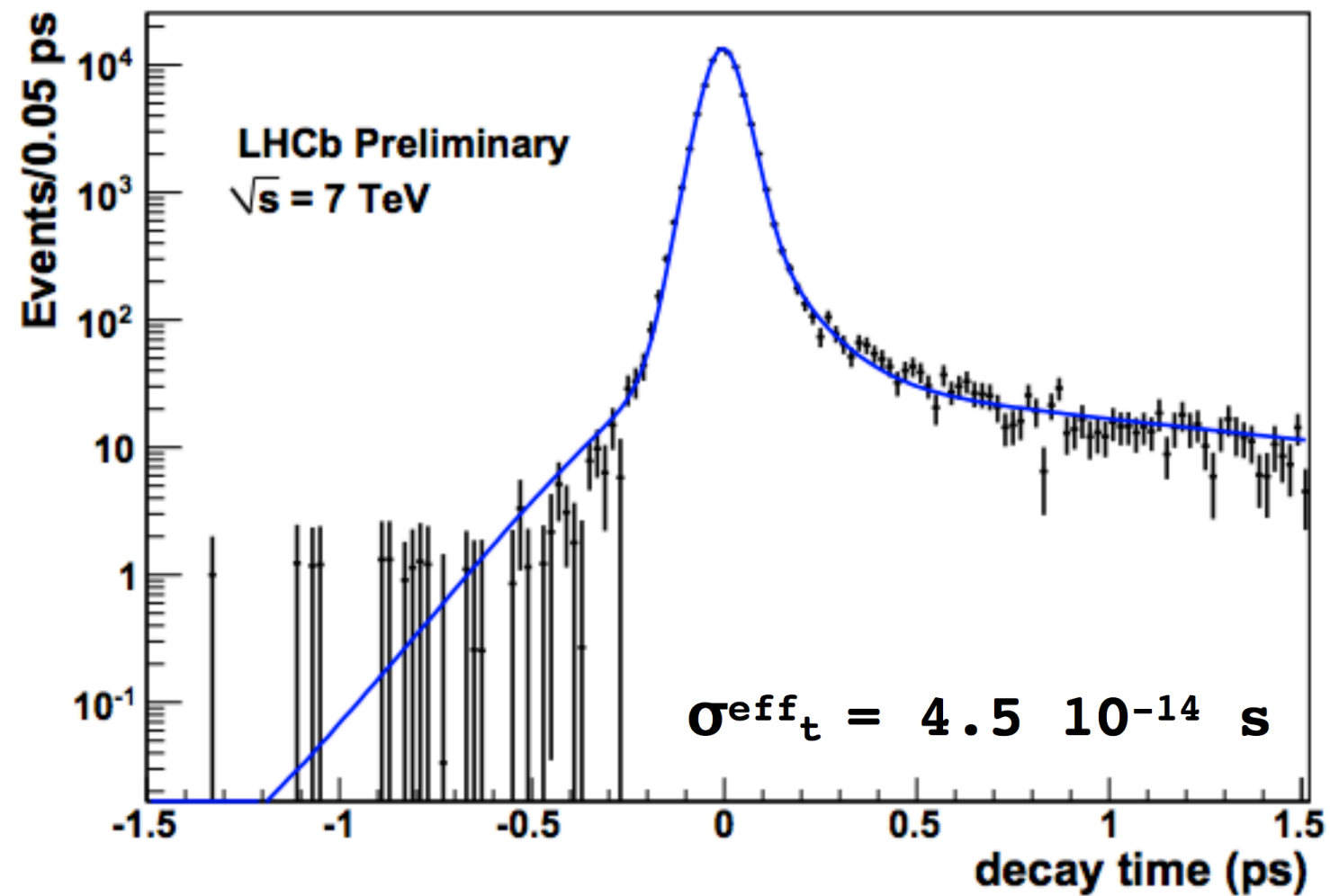
Exemple :

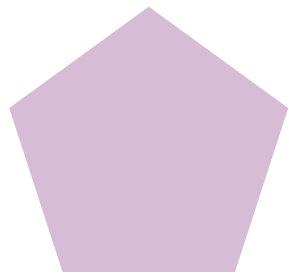
Avec les lois de Newton : **0.3 mm** !

Mais il faut prendre en compte **la relativité** :

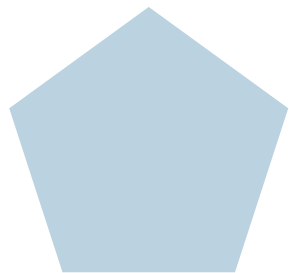
En réalité une telle particule parcourrait **~1cm** !

Avec LHCb, on peut aller jusqu'à  **$10^{-14}$  s** !

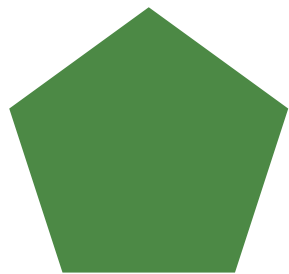




Introduction : Le méson  $D_0$  et pourquoi il est intéressant



Mesurer les propriétés des particules avec LHCb



Votre mission !





**Mesurer le temps de vie  
du méson  $D^0$  avec LHCb**

QUE CONNAÎT-ON DÉJÀ À PROPOS DU MÉSON D<sup>0</sup> ?

La mesure du temps de vie a été faite dans de multiples expériences

D'après le livret du Particle Data Group :

## *D*<sup>0</sup> MEAN LIFE

Measurements with an error  $> 10 \times 10^{-15}$  s have been omitted from the average.

<i>VALUE</i> ( $10^{-15}$ s)	<i>EVTS</i>	<i>DOCUMENT ID</i>	<i>TECN</i>
<b>410.1 ± 1.5</b>	<b>OUR AVERAGE</b>		

**PDG**  
particle data  
group

**PRÉCISION :**  
**0.35%**

La mesure du temps de vie a été faite dans de multiples expériences

D'après le livret du Particle Data Group :



### *D*<sup>0</sup> MEAN LIFE

Measurements with an error  $> 10 \times 10^{-15}$  s have been omitted from the average.

<i>VALUE</i> ( $10^{-15}$ s)	<i>EVTS</i>	<i>DOCUMENT ID</i>	<i>TECN</i>
<b>410.1 ± 1.5</b>	<b>OUR AVERAGE</b>		

**PRÉCISION :**  
**0.35%**

**COMMENT FAIT-ON POUR  
ATTEINDRE DE TELLES PRÉCISIONS ?**

Il n'y a pas de règle absolue.

Dans le cas de N événements de signal sans bruit de fond :

$$\text{Précision} \sim 100/\sqrt{N} \%$$

Nombre d'événements et précision atteignable :

100 événements : 10.0% de précision

1 000 000 événements : 0.10% de précision

Il n'y a pas de règle absolue.

Dans le cas de N événements de signal sans bruit de fond :

$$\text{Précision} \sim 100/\sqrt{N} \%$$

Nombre d'événements et précision atteignable :

100 événements : 10.0% de précision

1 000 000 événements : 0.10% de précision

100 000 000 événements : 0.01% de précision ← LHCb

# Mesurer le temps de vie du méson $D^0$ avec LHCb

On travaillera avec un échantillon de données réduit

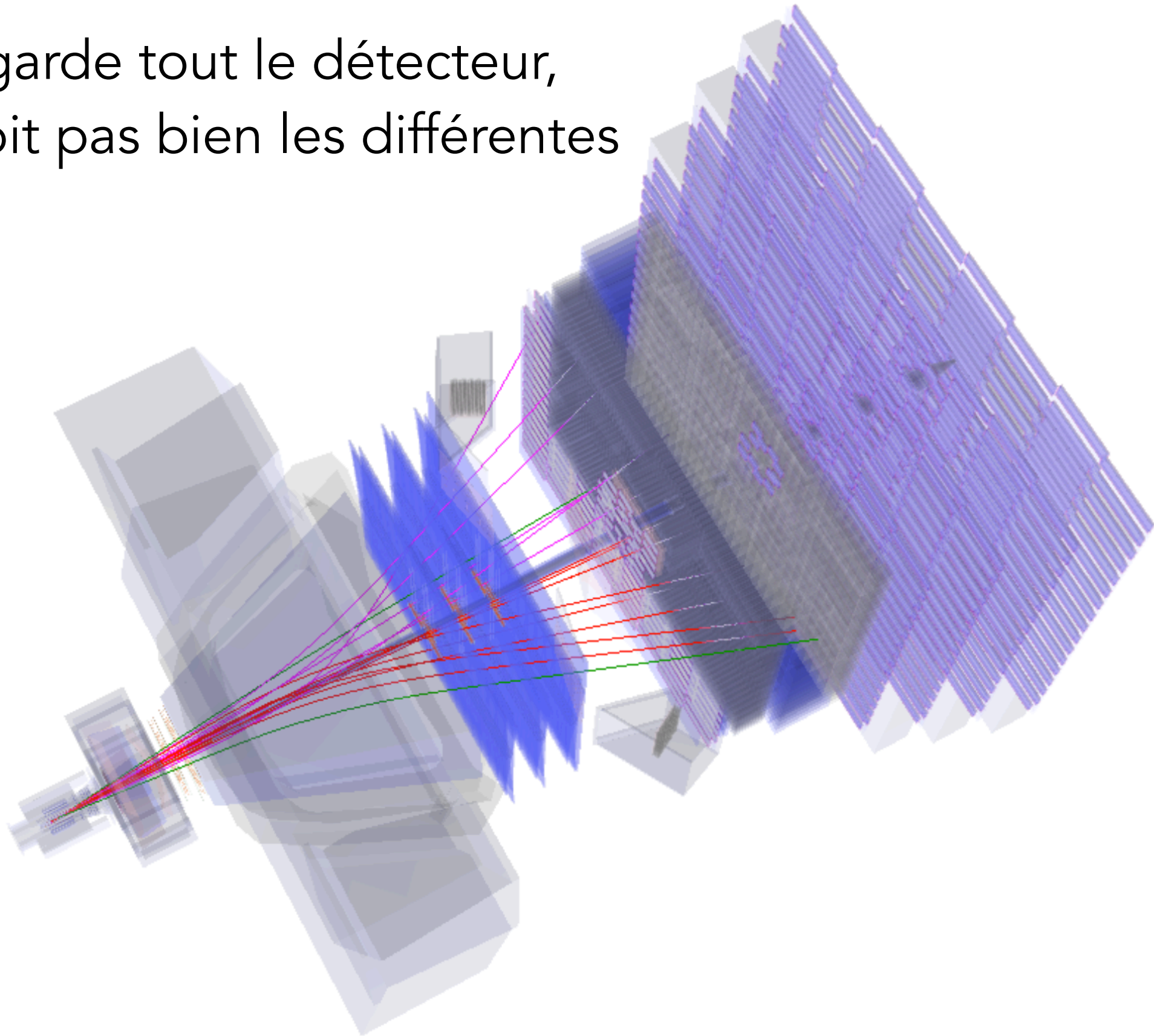
L'essentiel :

- Comprendre **comment fonctionne la mesure**
- Comprendre **les limites** de la mesure (erreurs systématiques)

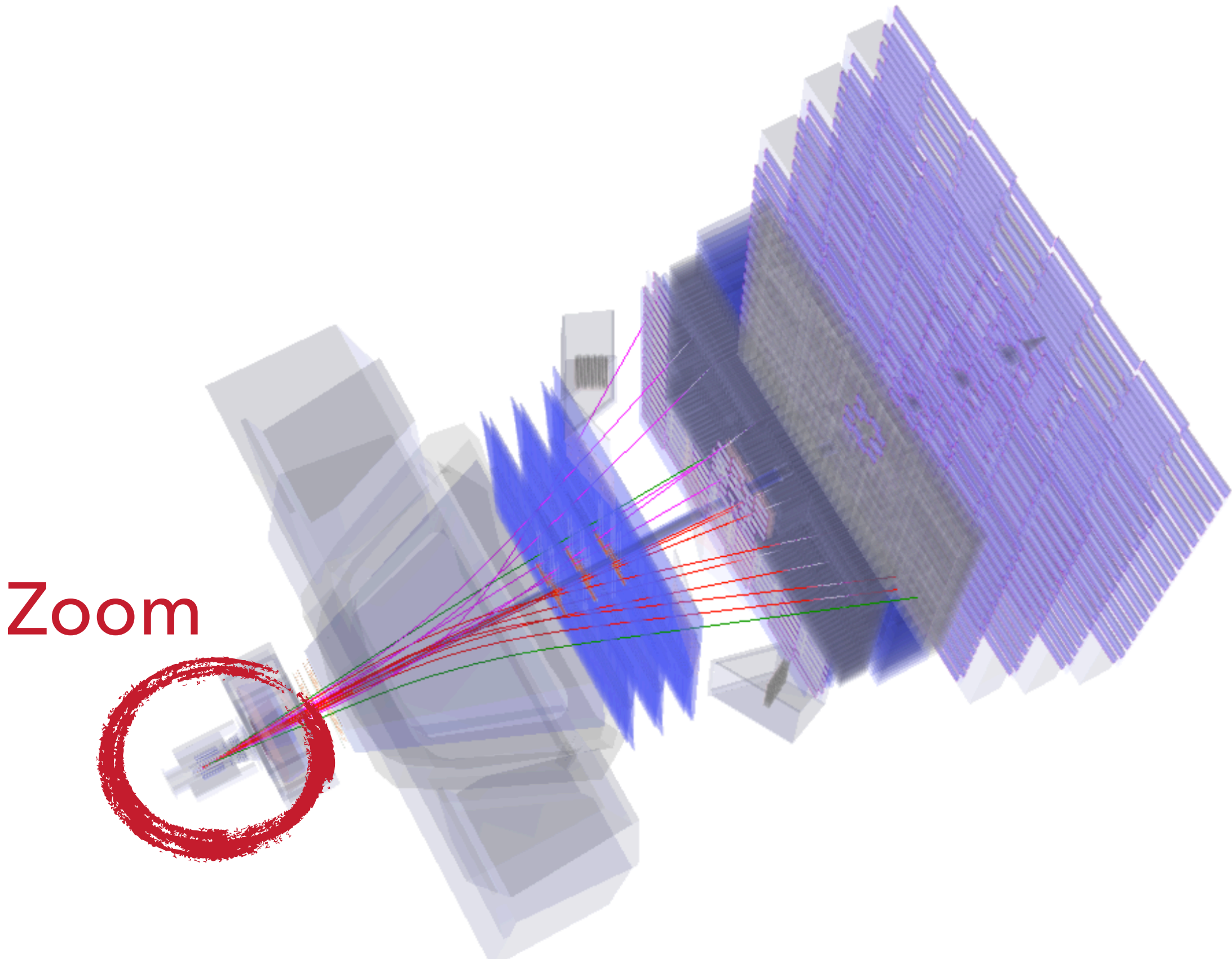
## 1) TROUVER DES $D^0$

50

Si on regarde tout le détecteur,  
on ne voit pas bien les différentes  
traces

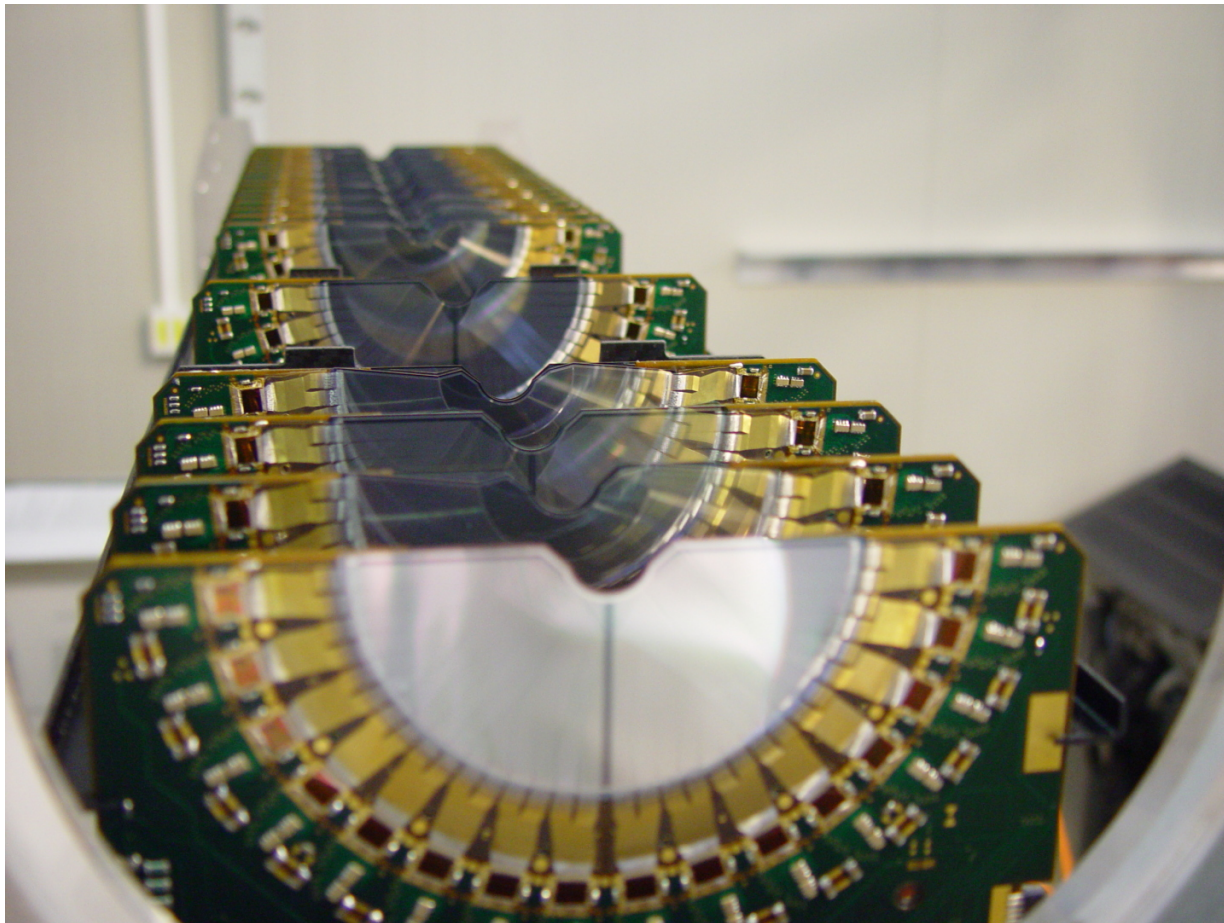






Zoom

En zoomant, on s'intéresse aux informations d'un détecteur très important à LHCb! Le VErteX LOcator (appelé VELO, rien à voir avec une bicyclette).



Le but du VELO est de trouver les positions où une particule se désintègre pour former d'autres particules. On appelle ces positions des VERTEX.



# 1) TROUVER DES D<sup>0</sup>

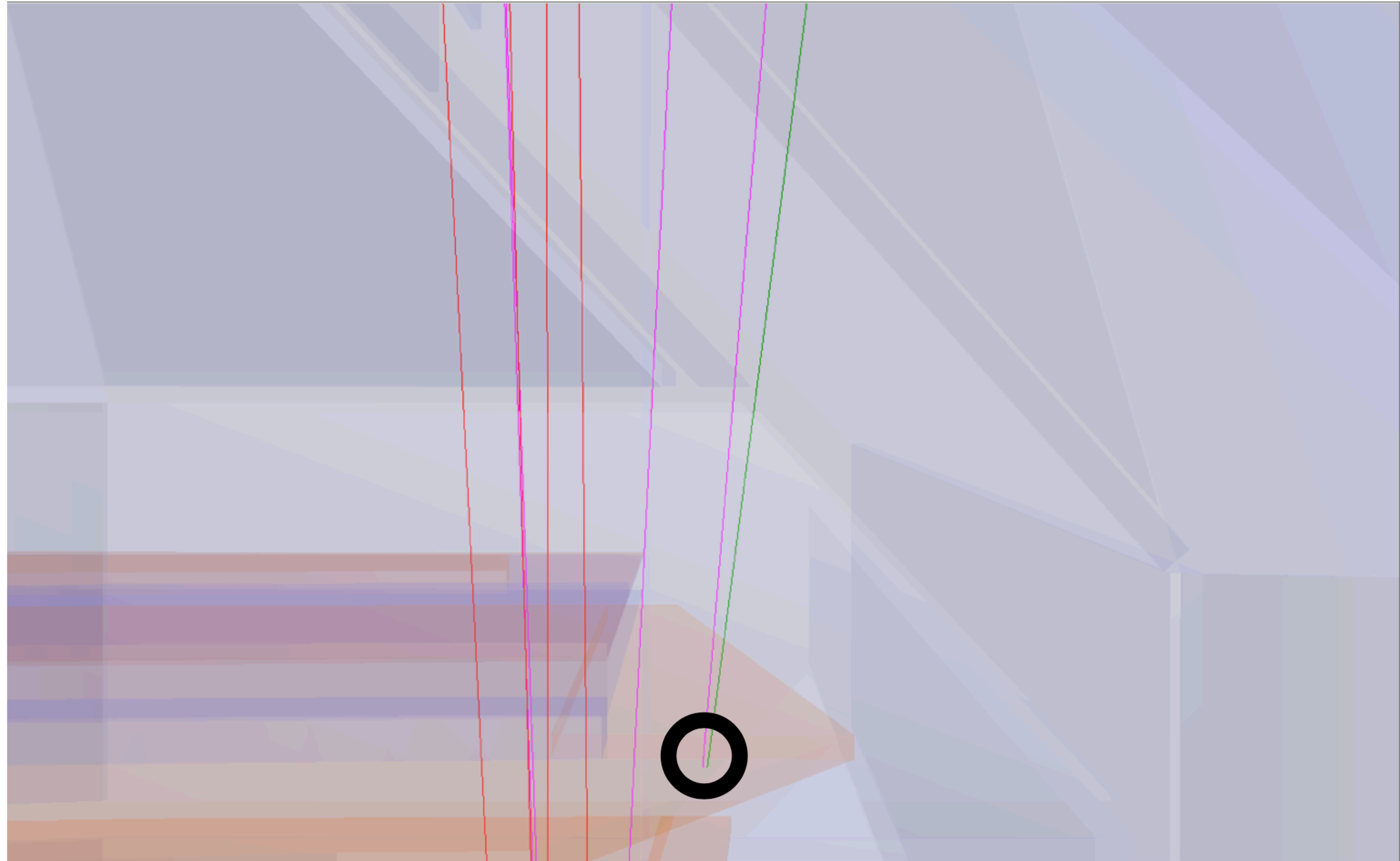
## L'interface de visualisation

The screenshot shows the 'Eve Main Window' interface, which is used for visualizing particle tracks and detector geometry. The interface is divided into several sections:

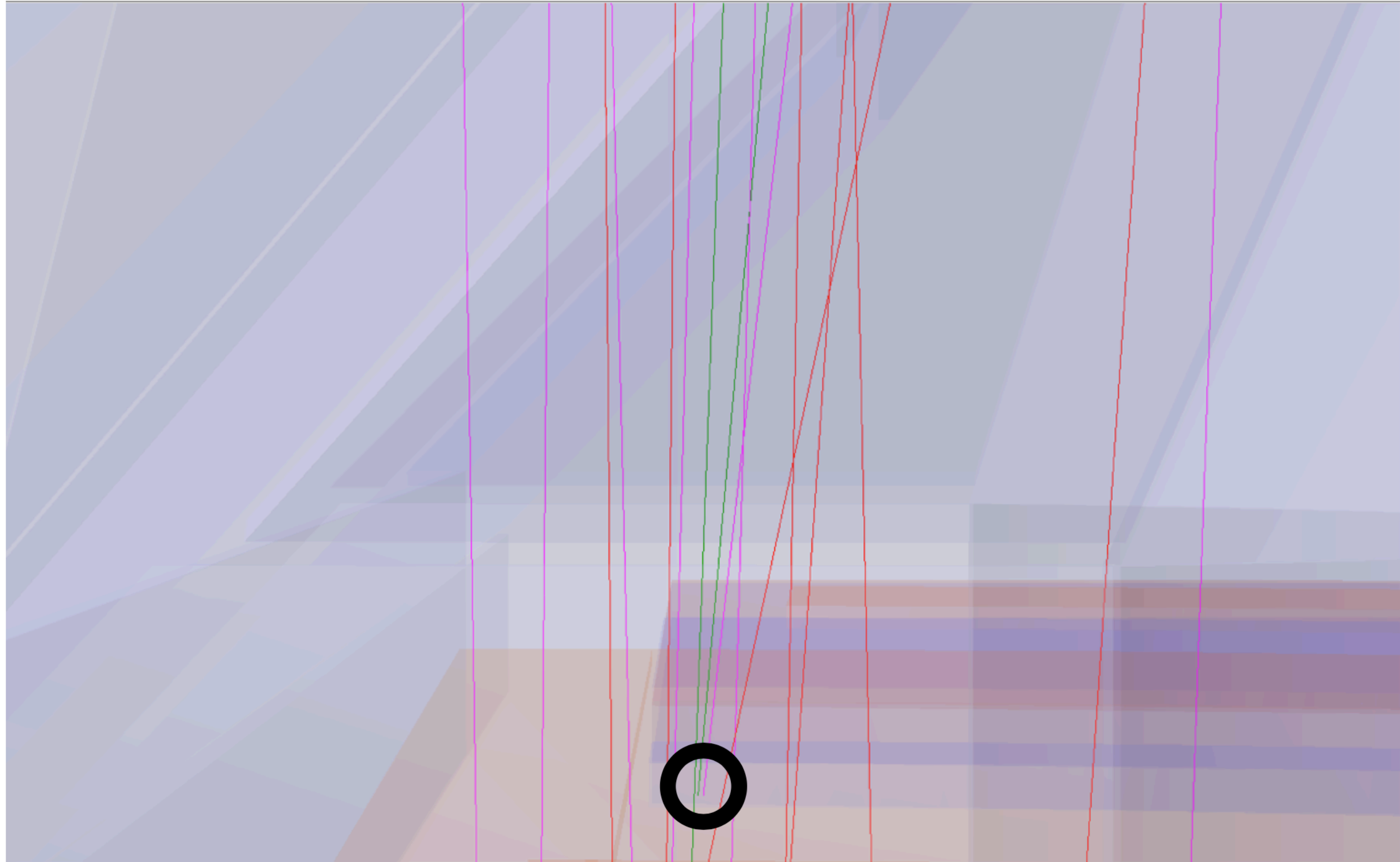
- Event Control:** Located at the top left, it includes a 'Start' section with a dropdown menu set to 'Combination 1' and a 'Validate' button. Below it are 'Help' and 'Exit' buttons. The 'View' section contains icons for zooming in, zooming out, and a 'Hint' icon. There are also checkboxes for 'Hide Geometry' (unchecked) and 'Transparency' (checked). The 'Event manager' section shows 'Event number: 7' and navigation buttons. The 'Particle Info' section has input fields for Name, Mass, E, q, chi2, px, py, and pz, with units like MeV/c<sup>2</sup>, MeV, and MeV/c. A 'Save Particle' button is at the bottom. The 'My Particles' section has a list box containing 'My particle: K-' and 'My particle: pi+', with 'Calculate' and 'Delete' buttons. The 'Histogram' section has 'Add' and 'Draw' buttons, and a 'Save Histogram' button. The 'Legend' section at the bottom left shows color-coded lines for K- (green), K+ (blue), pi- (red), pi+ (magenta), and D0 (black).
- Viewer 1:** The main central area where particle tracks are visualized. It contains a 'Help' window with several instructional panels:
  - Zoom gives you closer look at collision:** Shows a zoomed-in view of particle tracks.
  - Click on the track to find out about particle properties:** Shows a track with a mouse cursor pointing to it, with a callout to the 'Particle Info' panel.
  - Carefully choose particles you want to save, because out of them you get a new mass which might not be right!** Points to the 'My Particles' panel.
  - Add and Draw your results on histogram. Don't forget to save histogram when you finish!** Points to the 'Histogram' panel.
- View Panel:** Located on the right side, it contains icons for zooming in, zooming out, and a 'Hint' icon. It also has checkboxes for 'Hide Geometry' (checked) and 'Transparency' (unchecked).
- Event manager:** Shows 'Event number: 3' and navigation buttons.
- Particle Info:** A table of particle properties:

Name	pi+	
Mass	139.57	MeV/c <sup>2</sup>
E	9498.92	MeV
q	1.00	
chi2	0.59	
px	-125.11	MeV/c
py	649.90	MeV/c
pz	9458.96	MeV/c
- My Particles:** A list box containing 'My particle: K-' and 'My particle: pi+'. Below it are 'Calculate' and 'Delete' buttons. The 'Mass' field shows '1821.14'.
- Histogram:** A panel with 'Add' and 'Draw' buttons, and a 'Save Histogram' button.
- Fullscreen:** A panel showing a full view of the LHCb detector and particle tracks, with the annotation 'Fullscreen shows the full view of LHCb detector and particle tra'.
- Transparent view:** A panel showing a transparent view of the LHCb detector and particle tracks, with the annotation 'Transparent view gives you a better look at particle tracks and the LHCb detector'.
- Hint:** A panel showing a hidden D0 and its children, with the annotation 'Hint shows you the hidden D0 and its children'.
- Hide Geometry:** A panel showing all particle tracks with the geometry hidden, with the annotation 'You can hide the geometry to see all the particle tracks.'

# Zoom sur un évènement simple

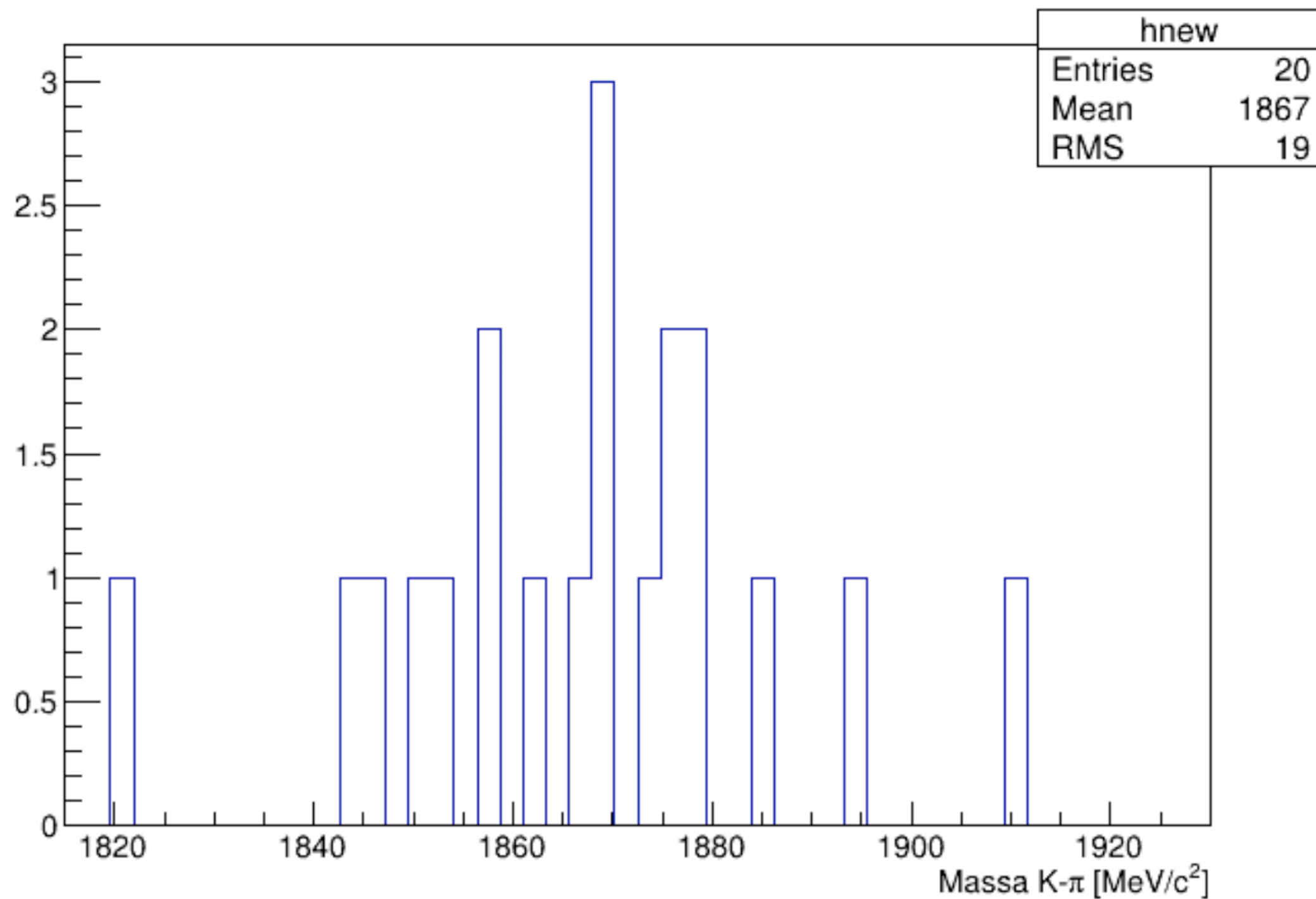


# Zoom sur un évènement complexe

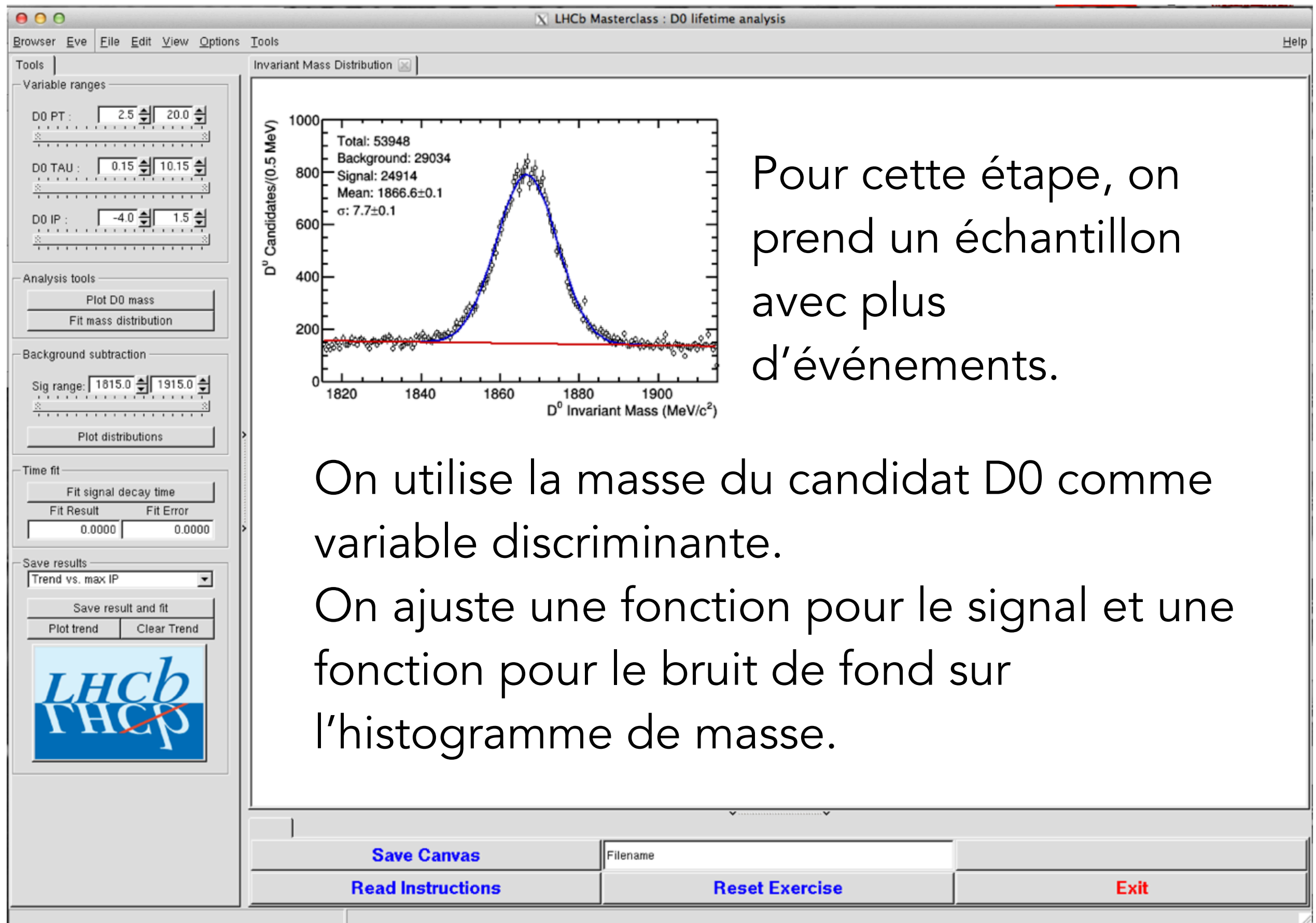




## 2) REMPLIR L'HISTOGRAMME DE MASSE



### 3) SÉPARER LE SIGNAL DU BRUIT DE FOND



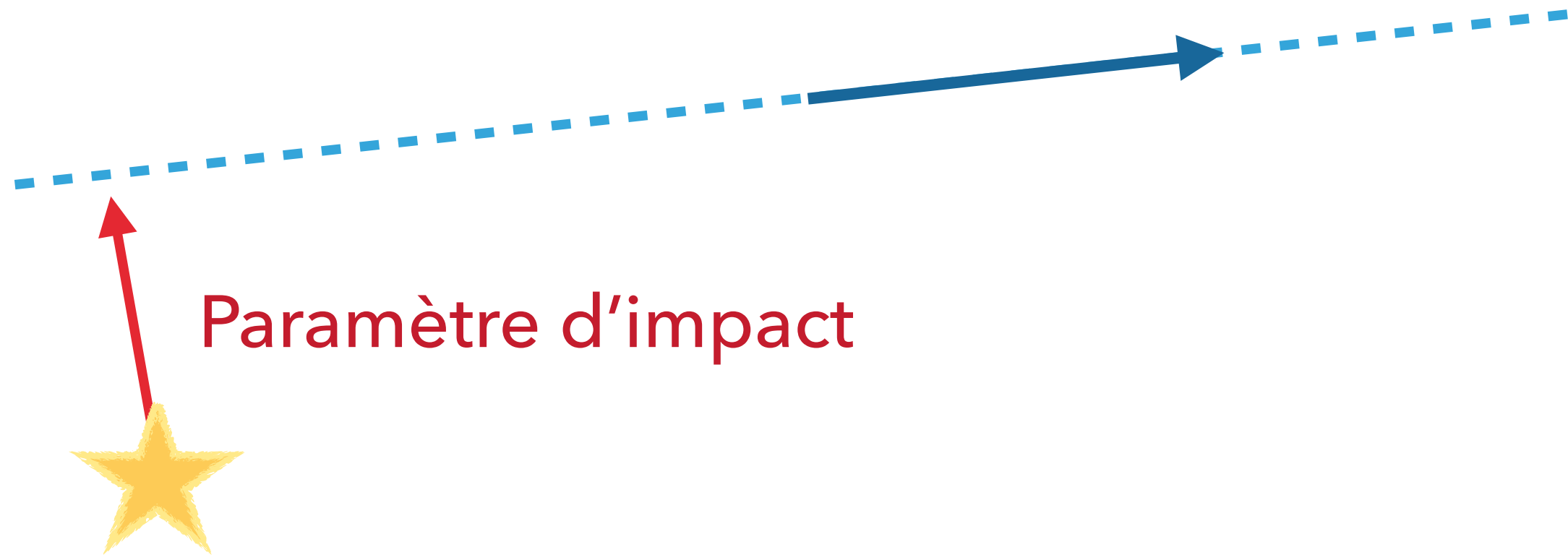
Pour cette étape, on prend un échantillon avec plus d'événements.

On utilise la masse du candidat D0 comme variable discriminante.

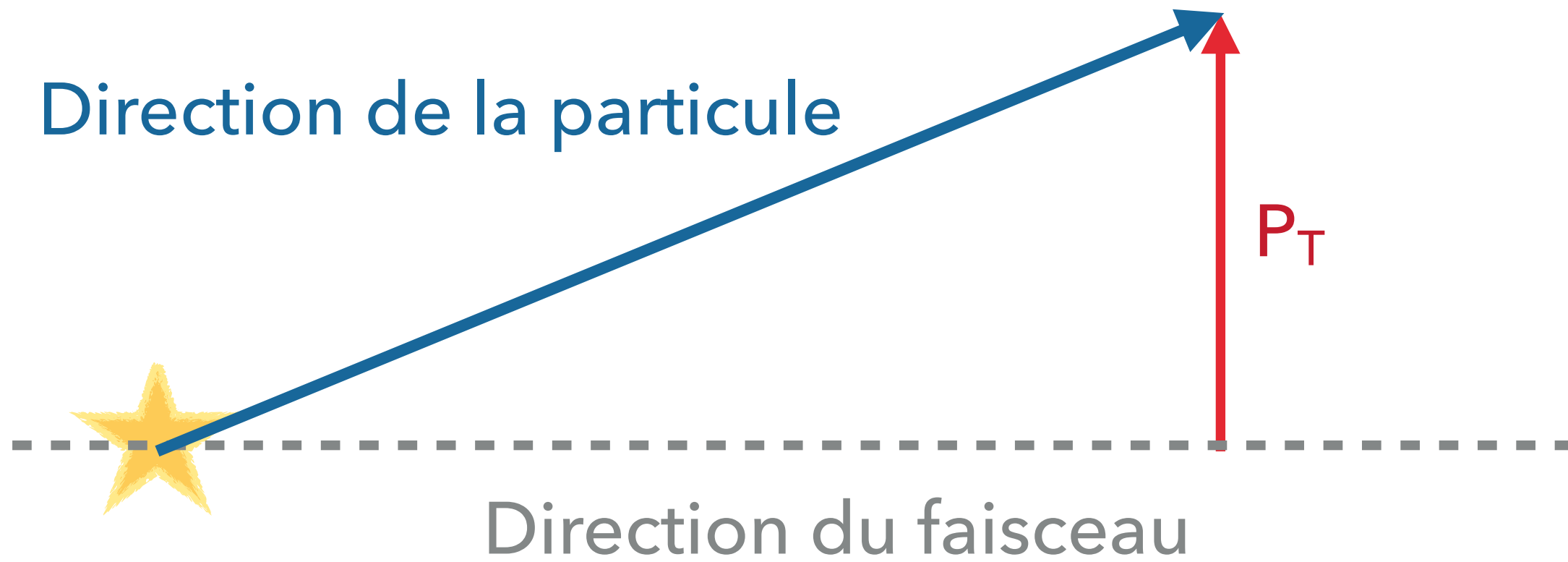
On ajuste une fonction pour le signal et une fonction pour le bruit de fond sur l'histogramme de masse.

Paramètre d'impact

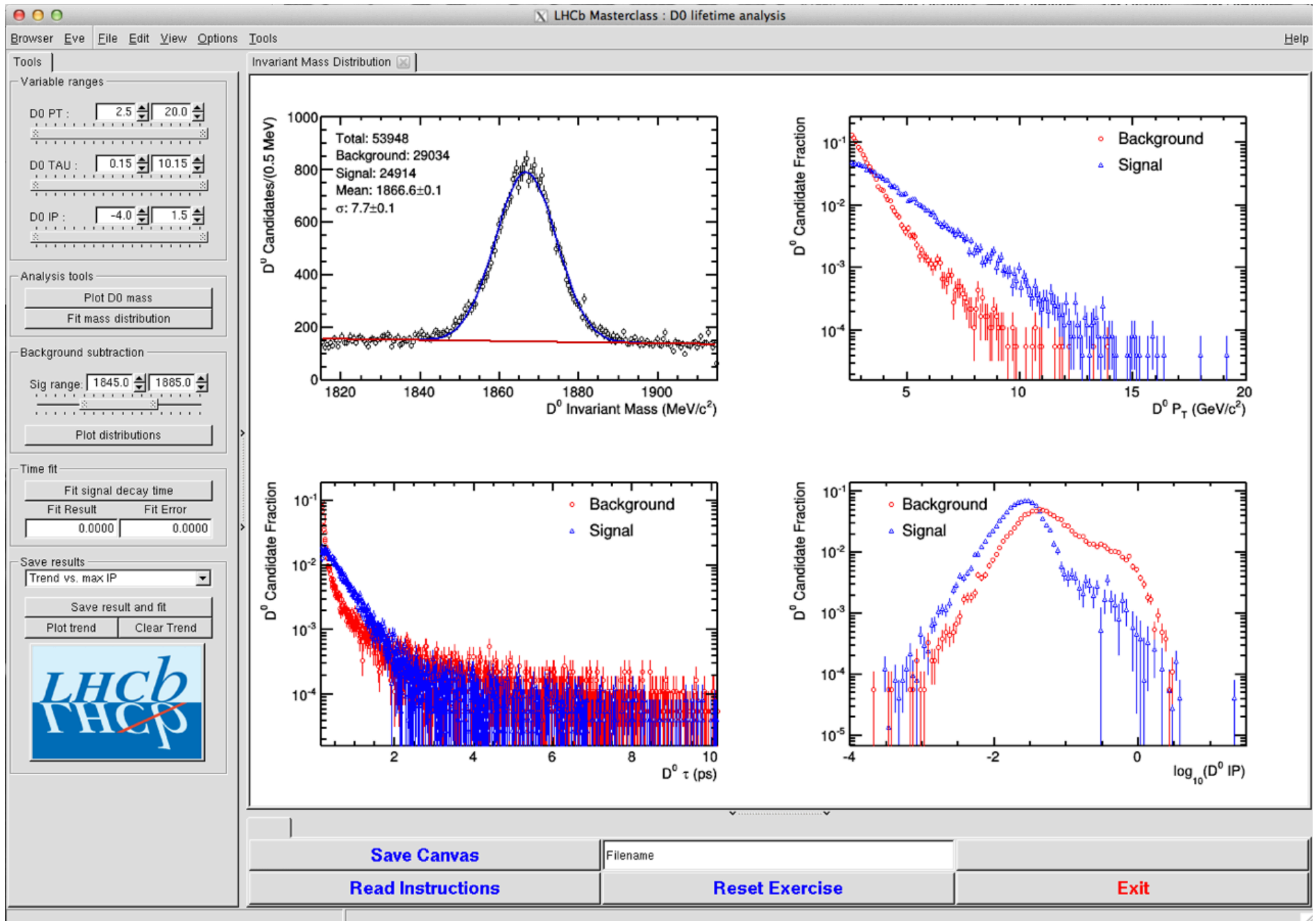
Direction de la particule



# Impulsion transverse



# 4) DESSINER LES HISTOGRAMMES POUR LE SIGNAL ET LE BRUIT DE FOND





# 5) TROUVER LE TEMPS DE VIE !

LHCb Masterclass : D0 lifetime analysis

Browser Eve File Edit View Options Tools Help

Tools

Variable ranges

D0 PT : 2.5 20.0

D0 TAU : 0.15 10.15

D0 IP : -4.0 1.5

Analysis tools

Plot D0 mass

Fit mass distribution

Background subtraction

Sig range: 1845.0 1865.0

Plot distributions

Time fit

Fit signal decay time


Fit Result	Fit Error
0.4720	0.0043

Save results

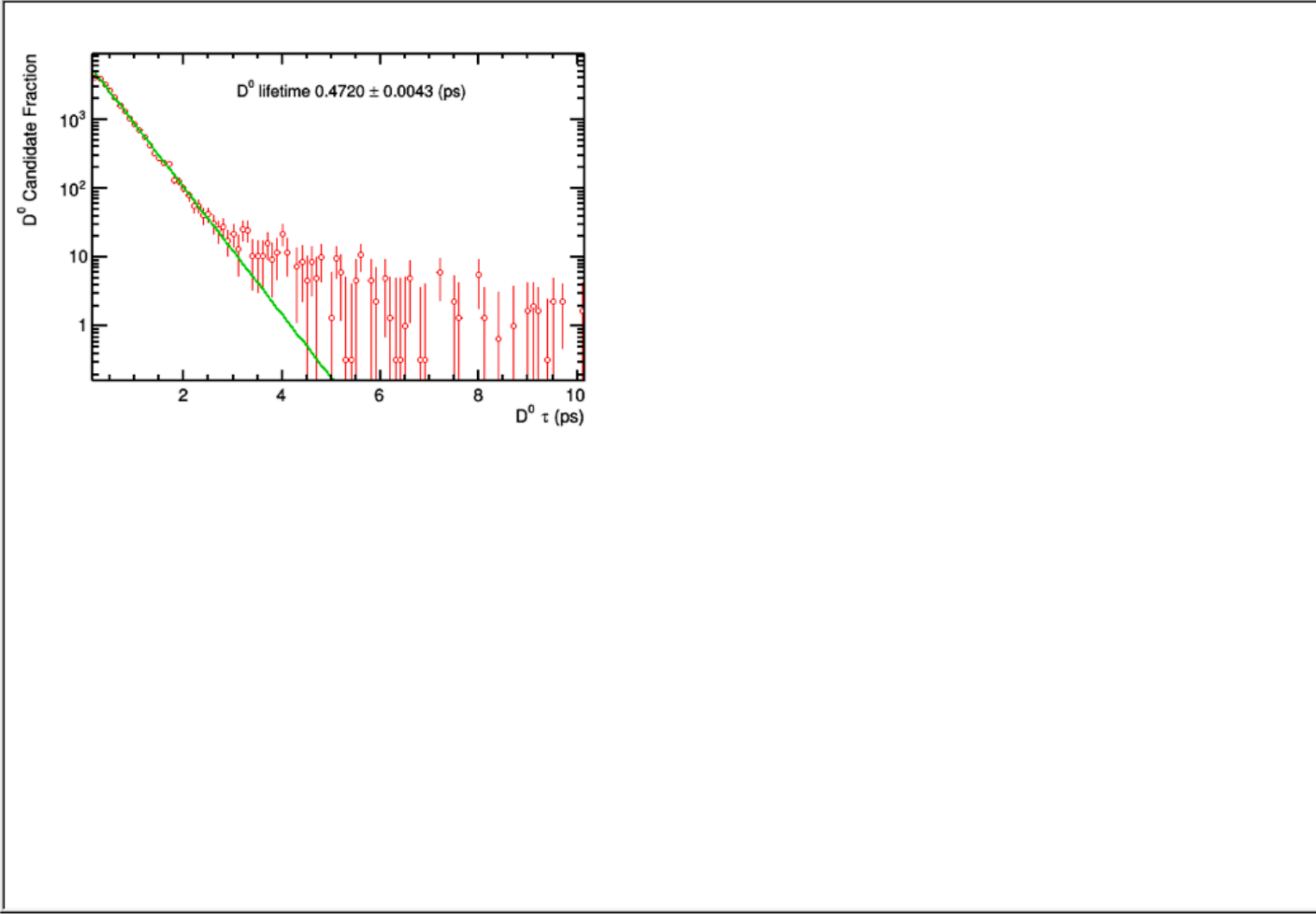
Trend vs. max IP

Save result and fit

Plot trend Clear Trend



Invariant Mass Distribution Lifetime fit



D<sup>0</sup> Candidate Fraction

D<sup>0</sup> lifetime  $0.4720 \pm 0.0043$  (ps)

D<sup>0</sup>  $\tau$  (ps)

Save Canvas

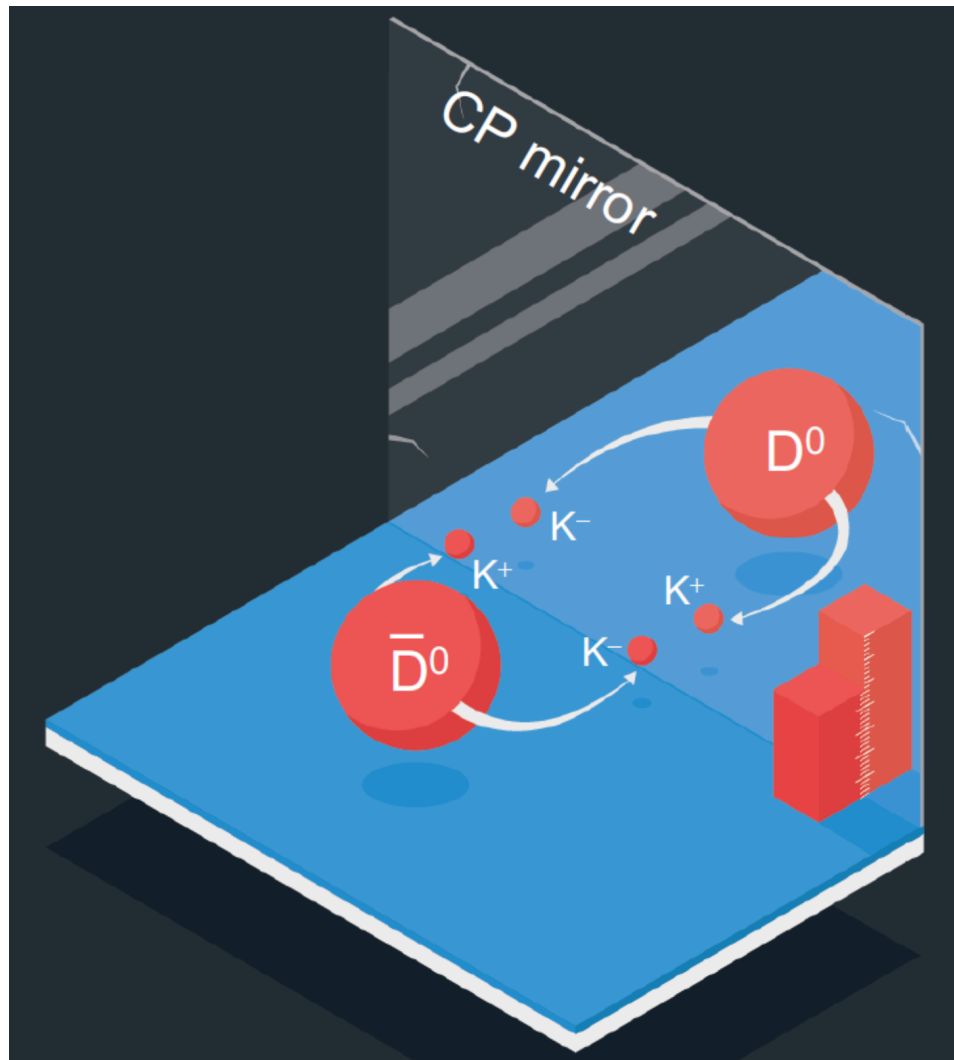
Read Instructions

Reset Exercise

Exit

Ce que vous allez faire est en rapport direct avec le programme de recherche de nombreux physiciens de la collaboration LHCb!

En effet, il y a 5 ans la collaboration LHCb a annoncé la découverte de la violation CP (asymétrie entre matière et antimatière) dans le secteur des particules charmées! Ces physiciens ont étudié une quantité phénoménale de mésons D<sup>0</sup>!



**LHCb Experiment at CERN**  
Published by Guillaume Pietrzyk [?]  
Page Liked · March 21 ·

The LHCb Collaboration is delighted to announce the discovery of CP violation in charm particle decays! This constitutes a milestone in the history of particle physics.

Read our news: <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/Welcome.html#CPVcharm>

CERN Press Release: <https://home.cern/news/press-release/physics/lhcb-sees-new-flavour-matter-antimatter-asymmetry>

Tag Photo Add Location Edit

339 8 Comments 253 Shares

Like Comment Share

Most Relevant

**Giacomo Trinca Cintioli Federico**  
Like · Reply · Message · 12h

**Julián Bernardo Juan Manuel**  
Like · Reply · Message · 2d

**Miguel Gómez Luis Alfredo Lara Ramos**  
Juan T. KastellarJuan T. Kastellar Daniel Castellar Contreras Alejandro Villegas  
Like · Reply · Message · 1d

Write a comment...



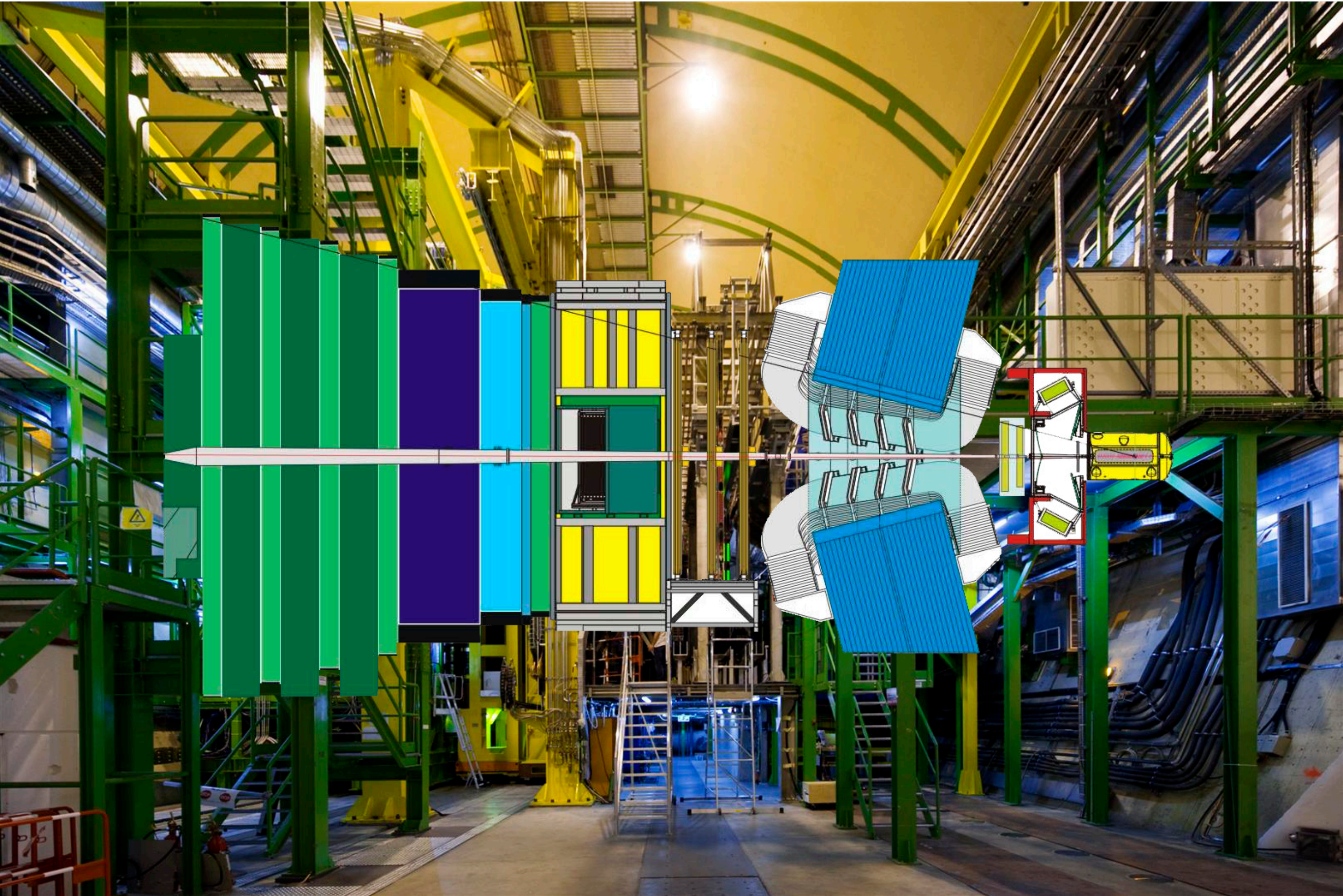
**À VOUS DE JOUER !**













- ▶ Vous avez chacun un numero de poste (**Exemple: 3**)
- ▶ Cliquez sur "not-listed?"
- ▶ User: imc3
- ▶ Password: imc3\$
- ▶ Ouvrez le navigateur et allez sur le site: <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>
- ▶ Indiquez un prénom, nom, votre classe (grade), et le numéro de la combinaison doit correspondre au numéro de votre poste
- ▶ Cliquez sur Save et puis sur "Event display"
- ▶ Collectez une dizaine de  $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
- ▶ Une fois que c'est fait, revenez sur <https://lhcb-d0.web.cern.ch/> et sélectionnez "D0 lifetime"



