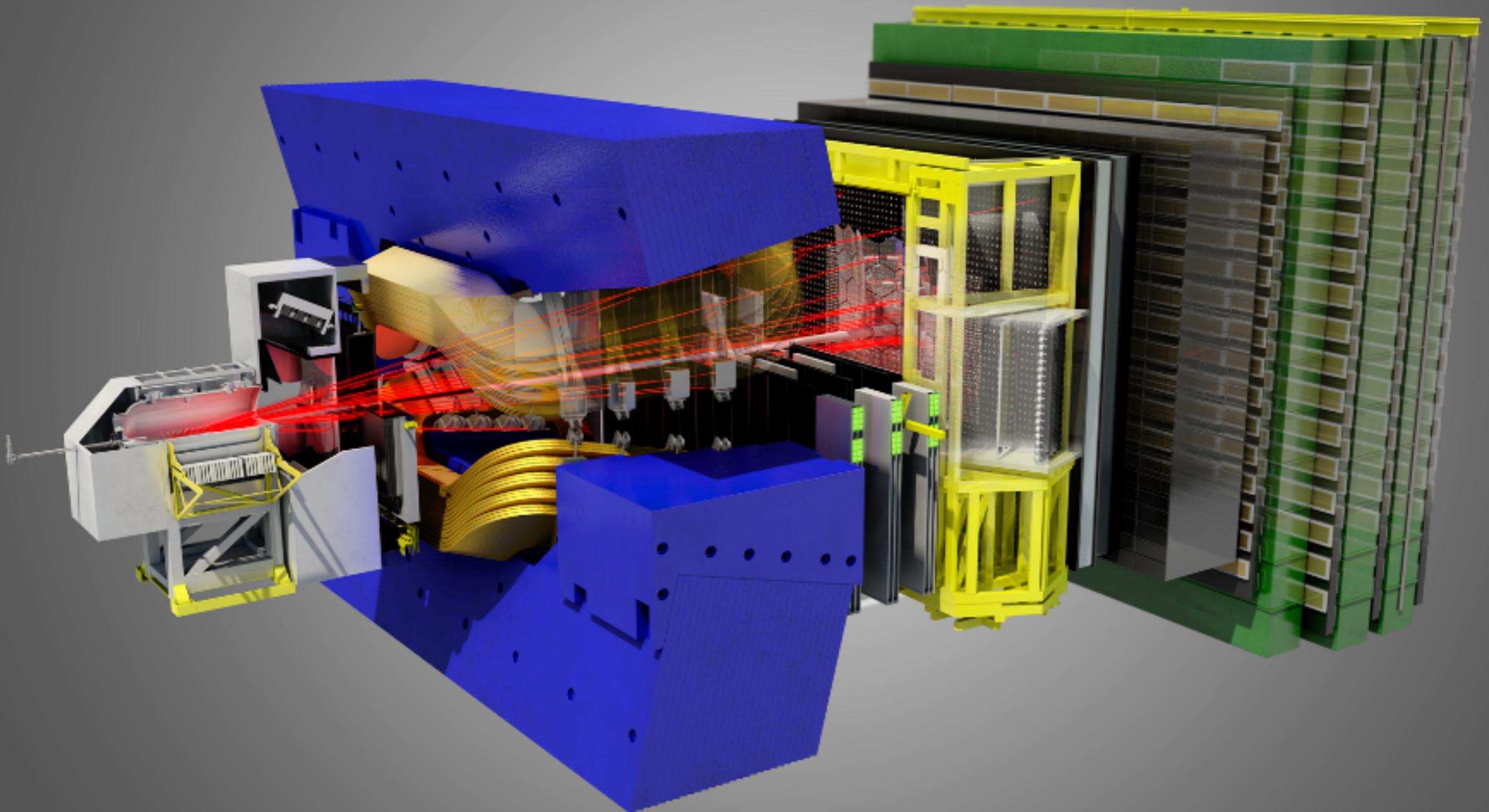
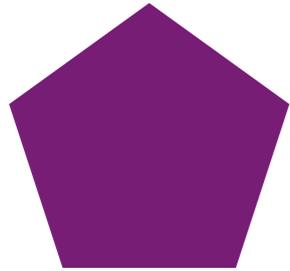


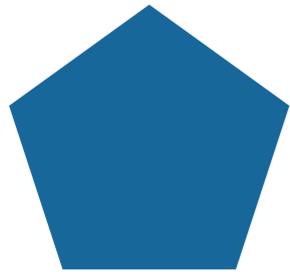
LHCb Masterclass

Guillaume Pietrzyk ~ 29 mars 2022

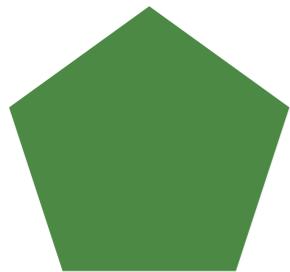




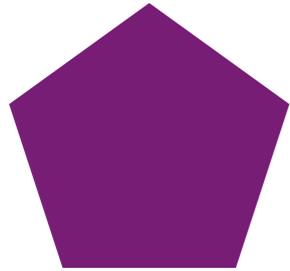
Introduction : Le méson D_0 et pourquoi il est intéressant



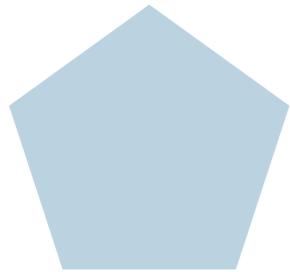
Mesurer les propriétés des particules avec LHCb



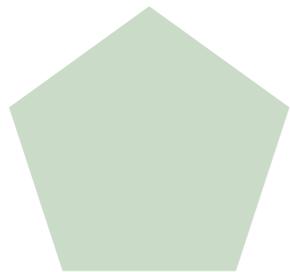
Votre mission !



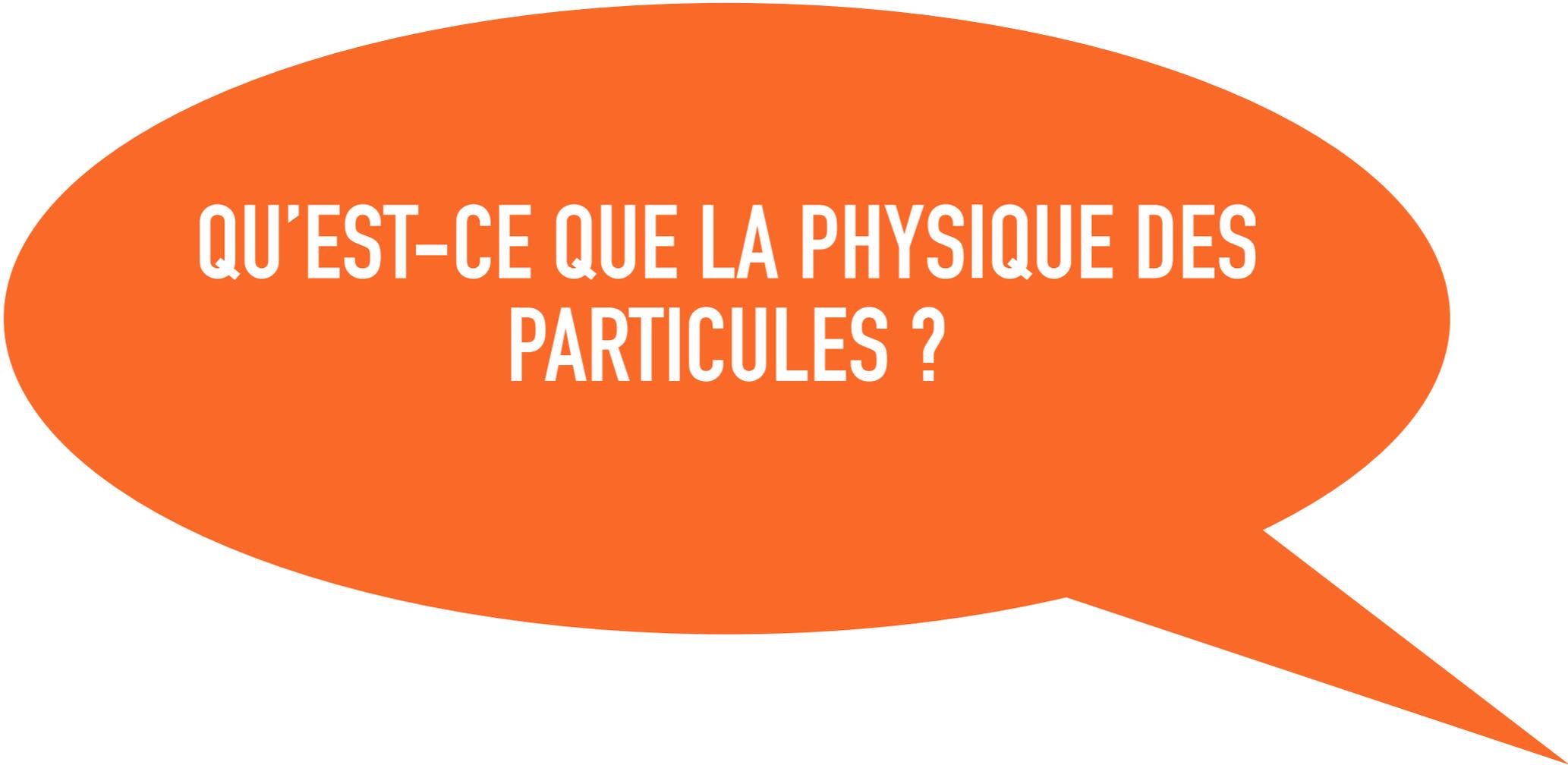
Introduction : Le méson D_0 et pourquoi il est intéressant



Mesurer les propriétés des particules avec LHCb

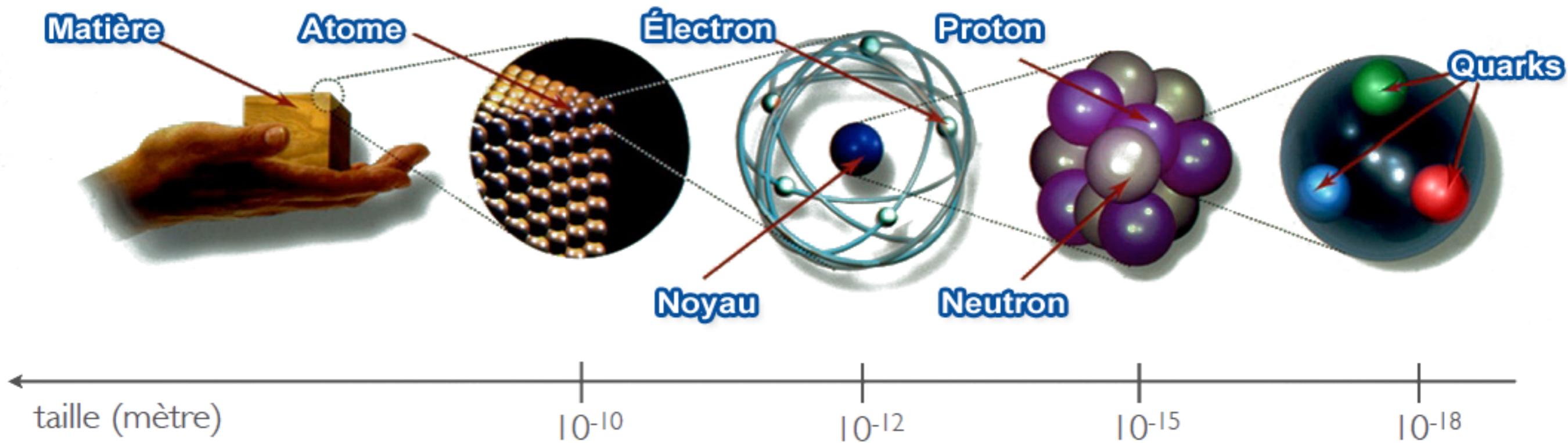


Votre mission !

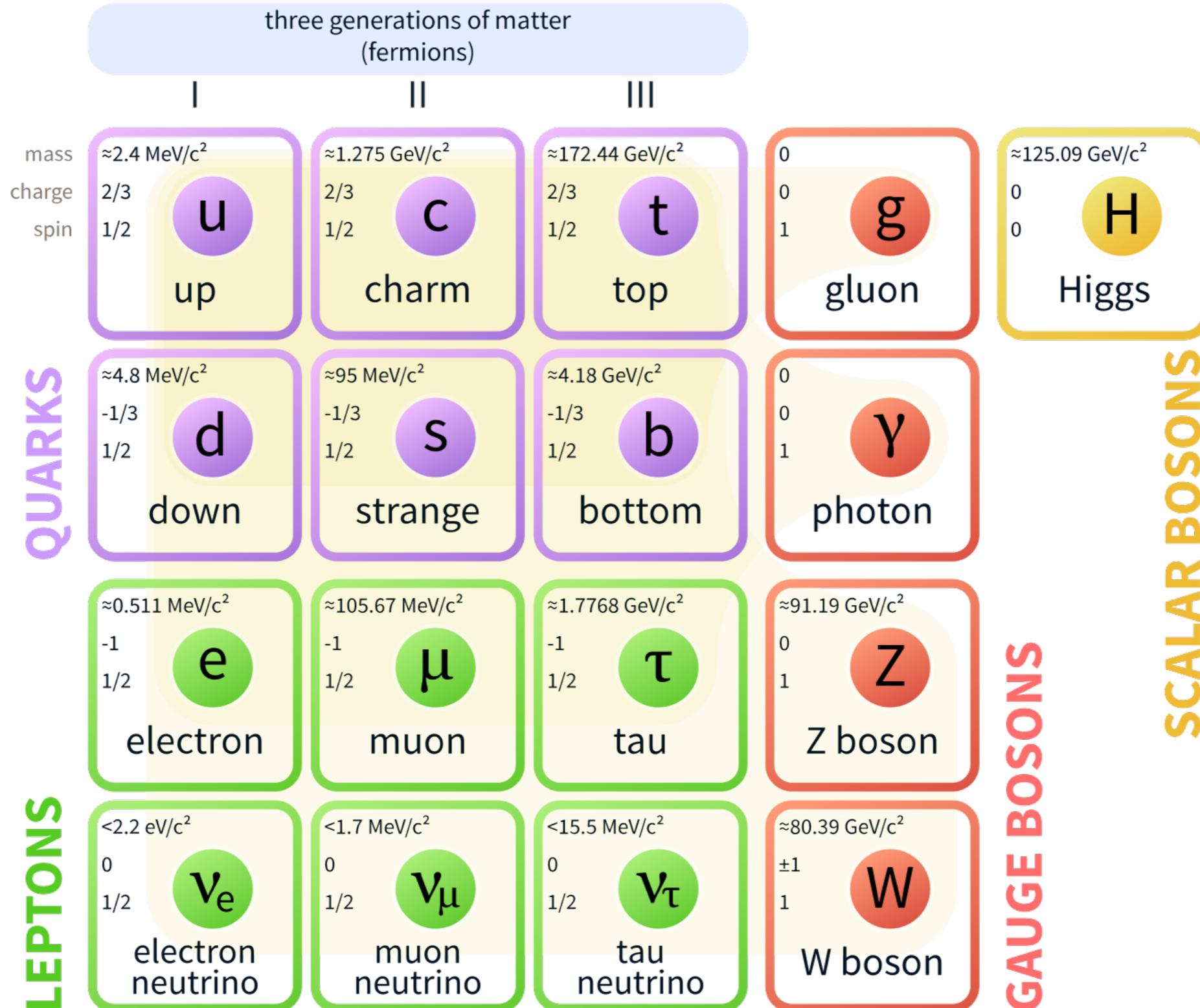
A large orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

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

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



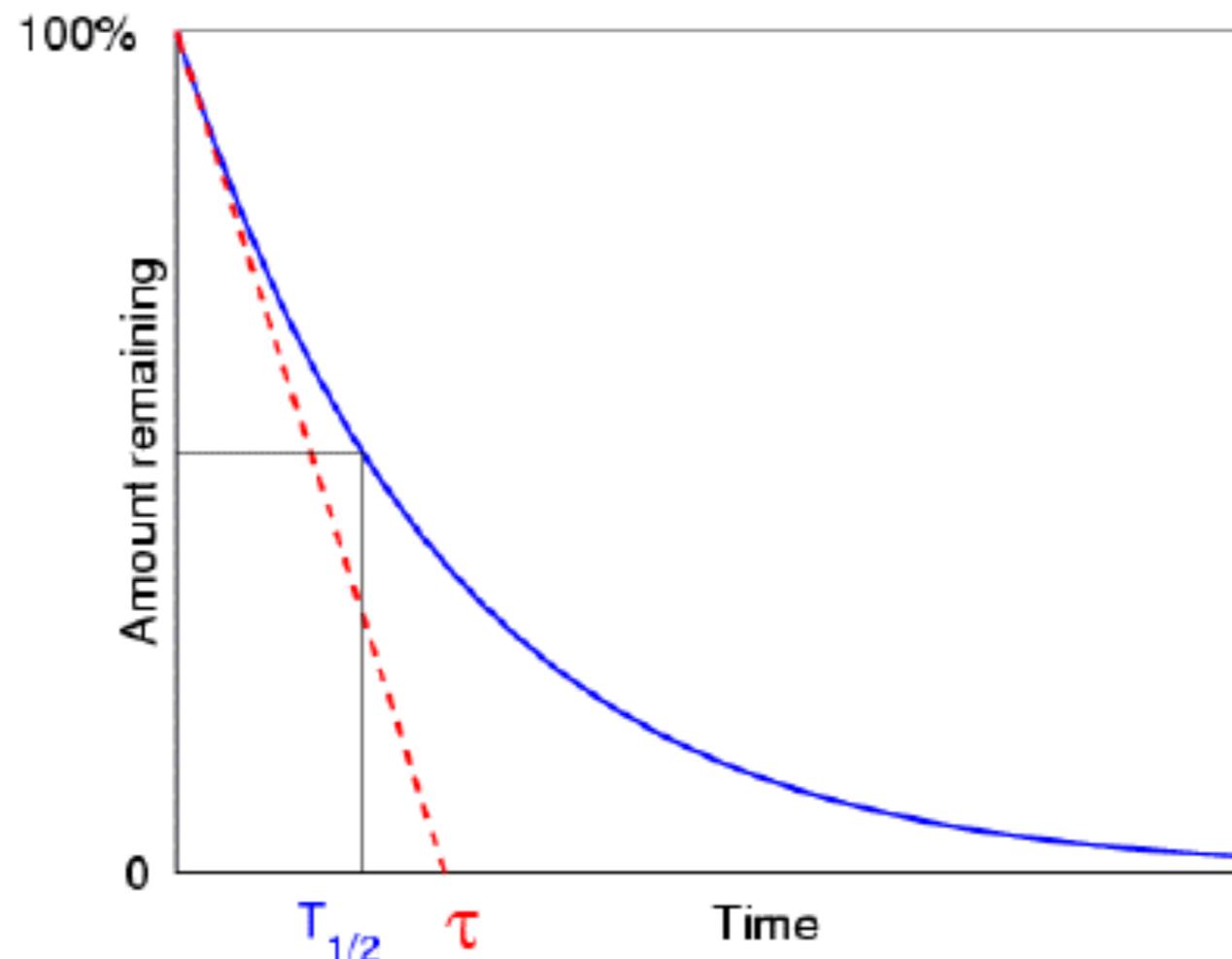
Standard Model of Elementary Particles



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 τ (comme pour les désintégrations nucléaires)



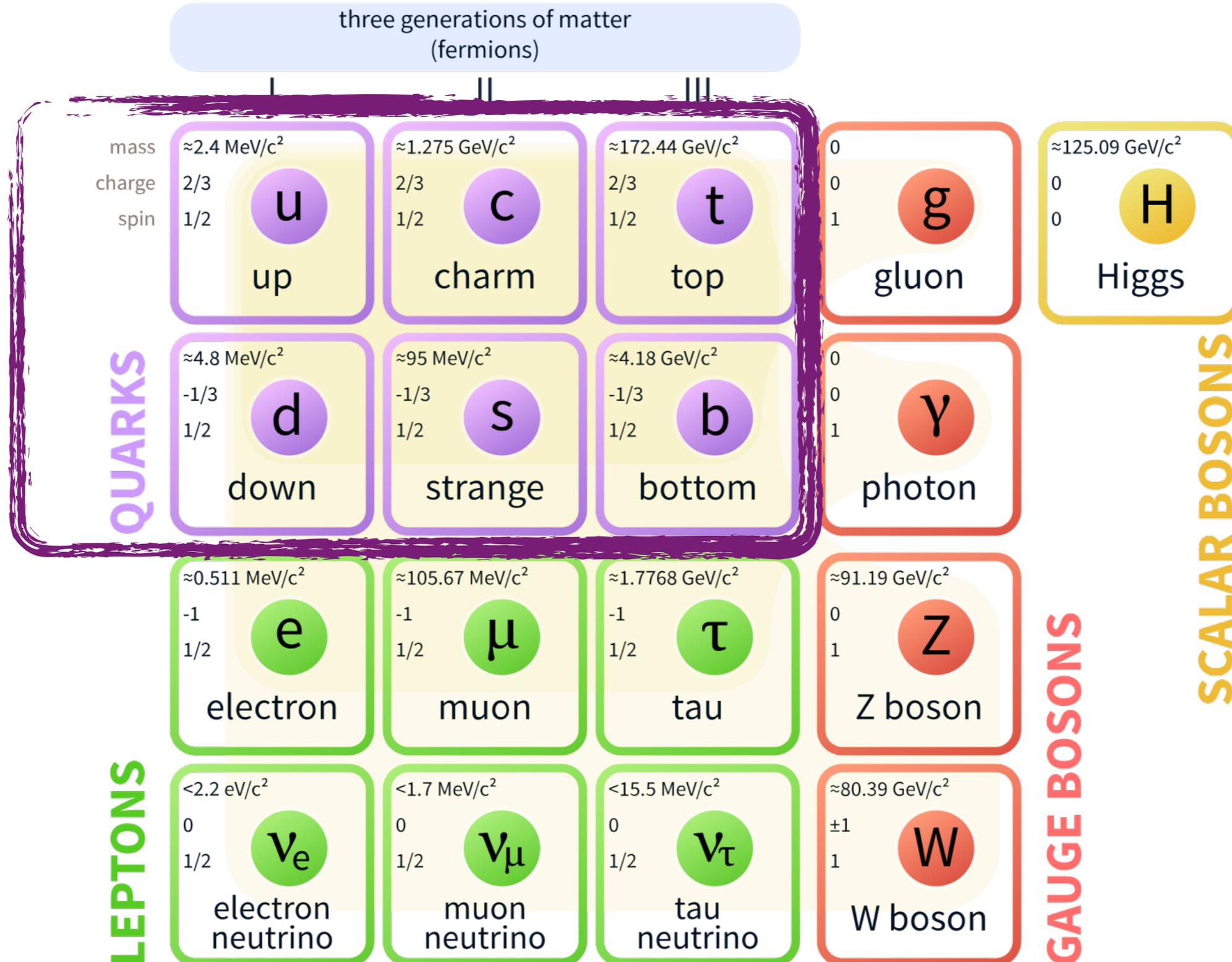
TEMPS DE VIE DE PLUSIEURS PARTICULES

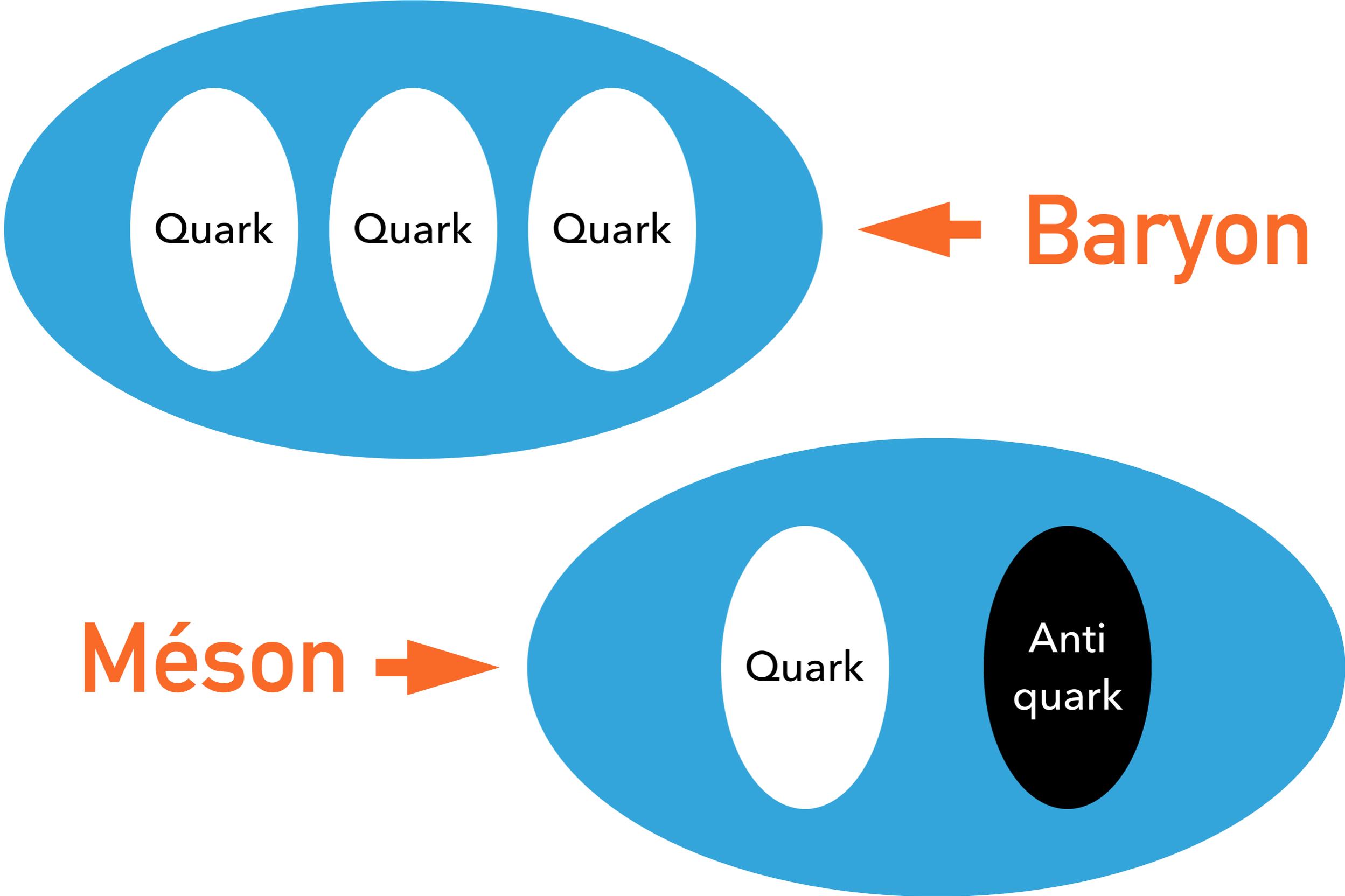
Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	e^- / e^+	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	μ^- / μ^+	105.7	2.2×10^{-6} seconds
	Tau lepton / Antitau	τ^- / τ^+	1777	2.9×10^{-13} seconds
Meson	Neutral Pion	π^0	135	8.4×10^{-17} seconds
	Charged Pion	π^+ / π^-	139.6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

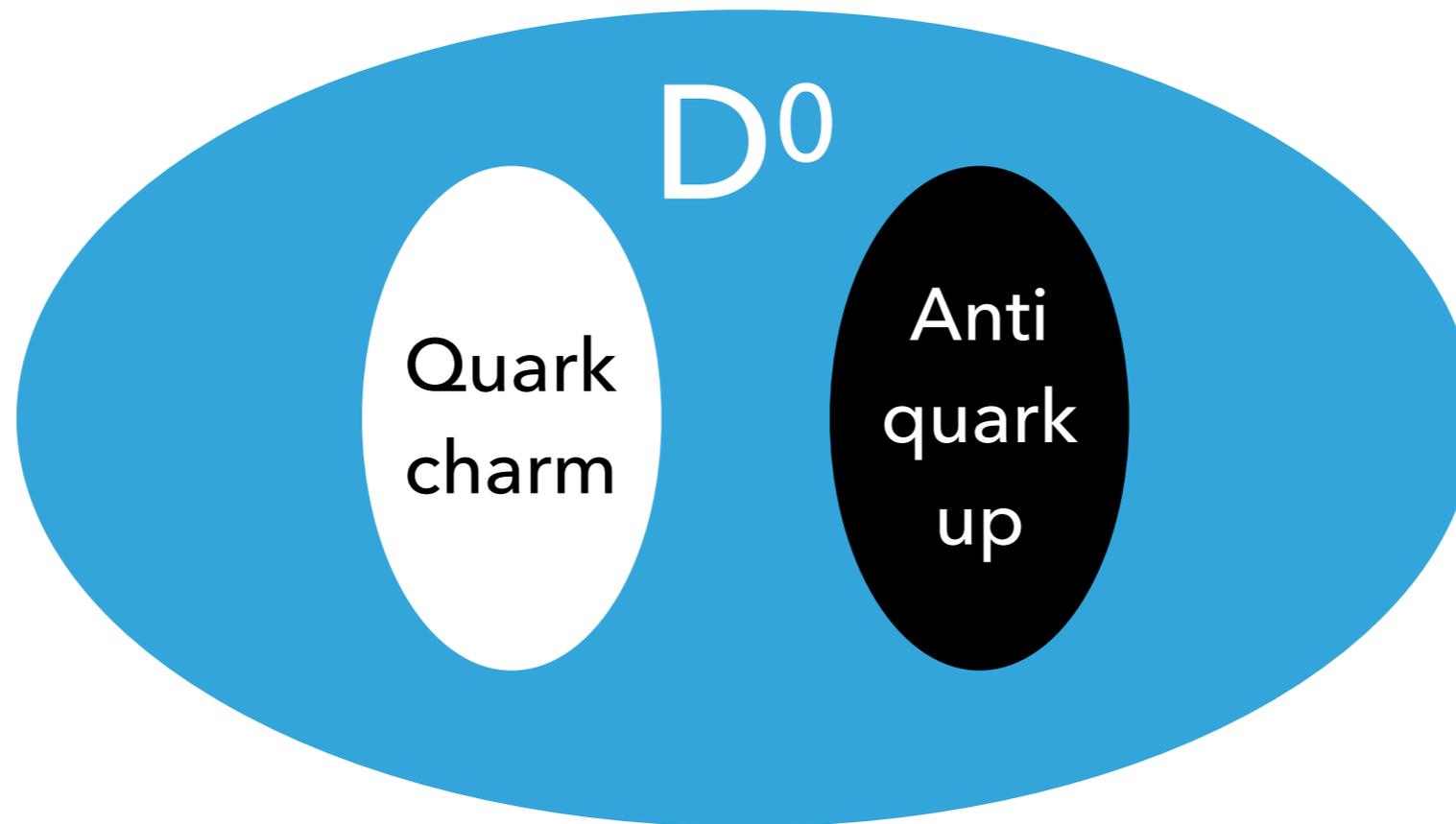
Type	Name	Symbol	Mass (MeV)	Mean lifetime
Lepton	Electron / Positron	e^- / e^+	0.511	$> 4.6 \times 10^{26}$ years
	Muon / Antimuon	μ^- / μ^+	105.7	2.2×10^{-6} seconds
	Tau lepton / Antitau	τ^- / τ^+	1777	2.9×10^{-13} seconds
Meson	Neutral Pion	π^0	135	8.4×10^{-17} seconds
	Charged Pion	π^+ / π^-	139.6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

Type	Name	Symbol	Mass (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

Standard Model of Elementary Particles

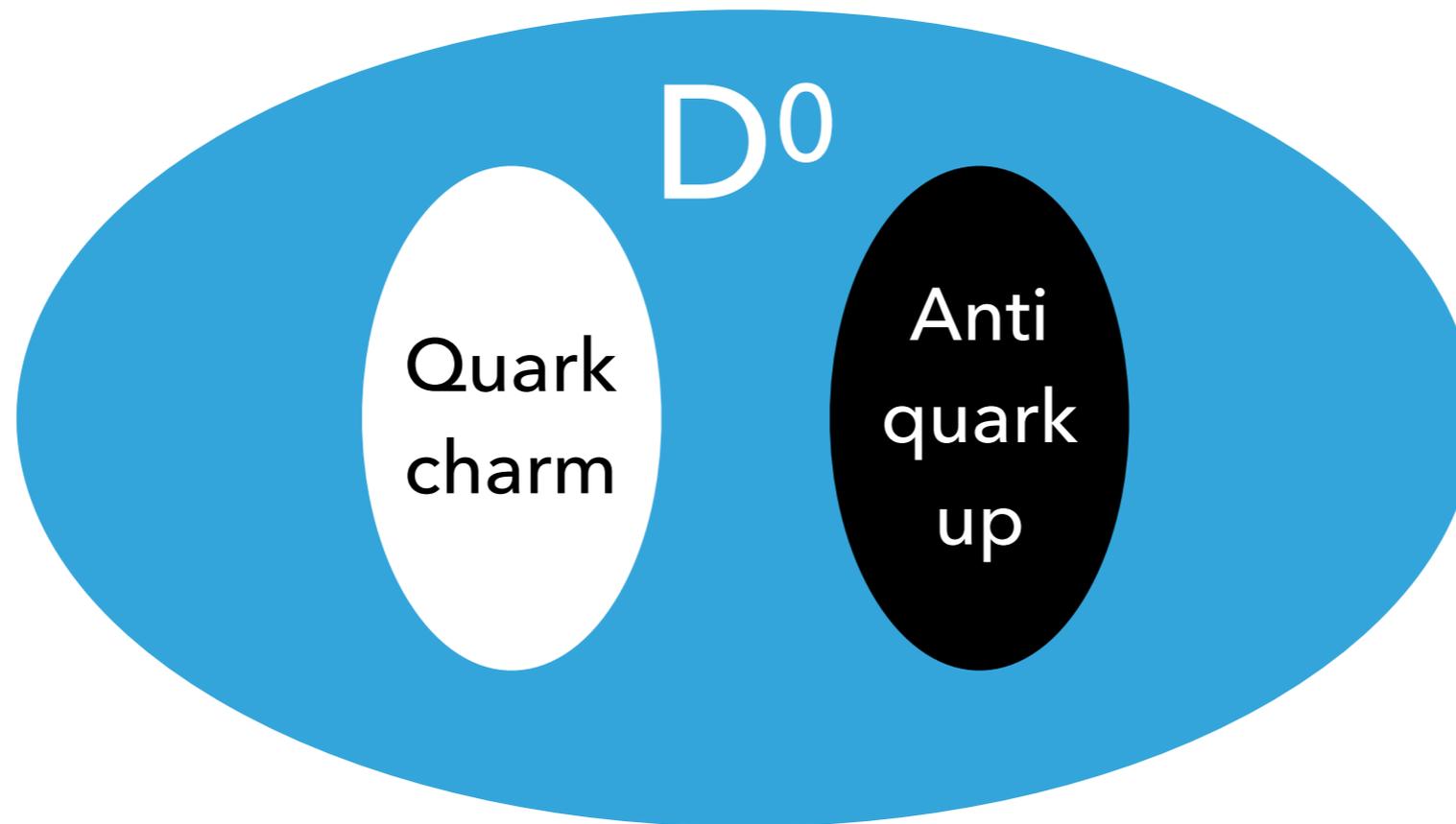


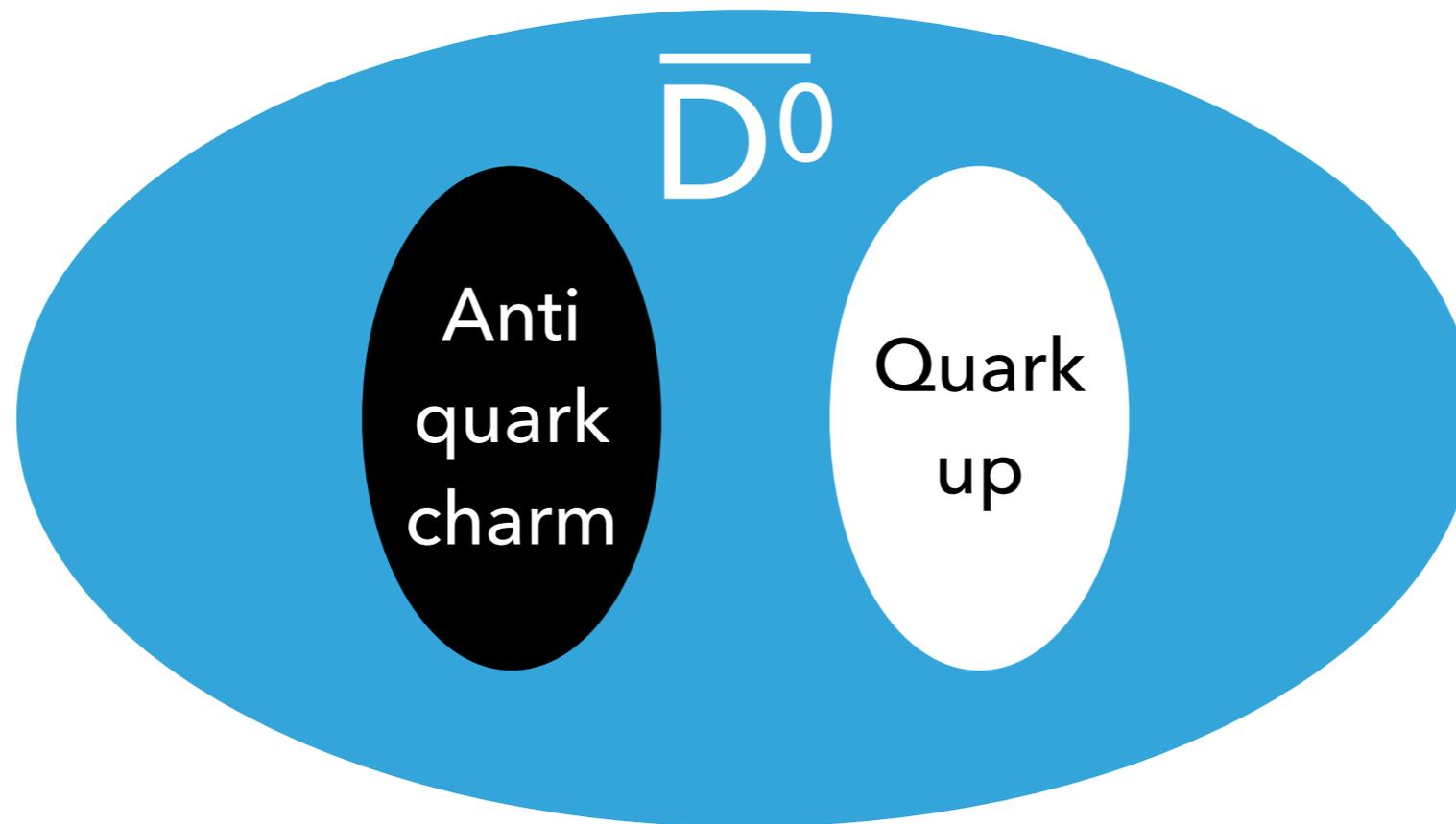


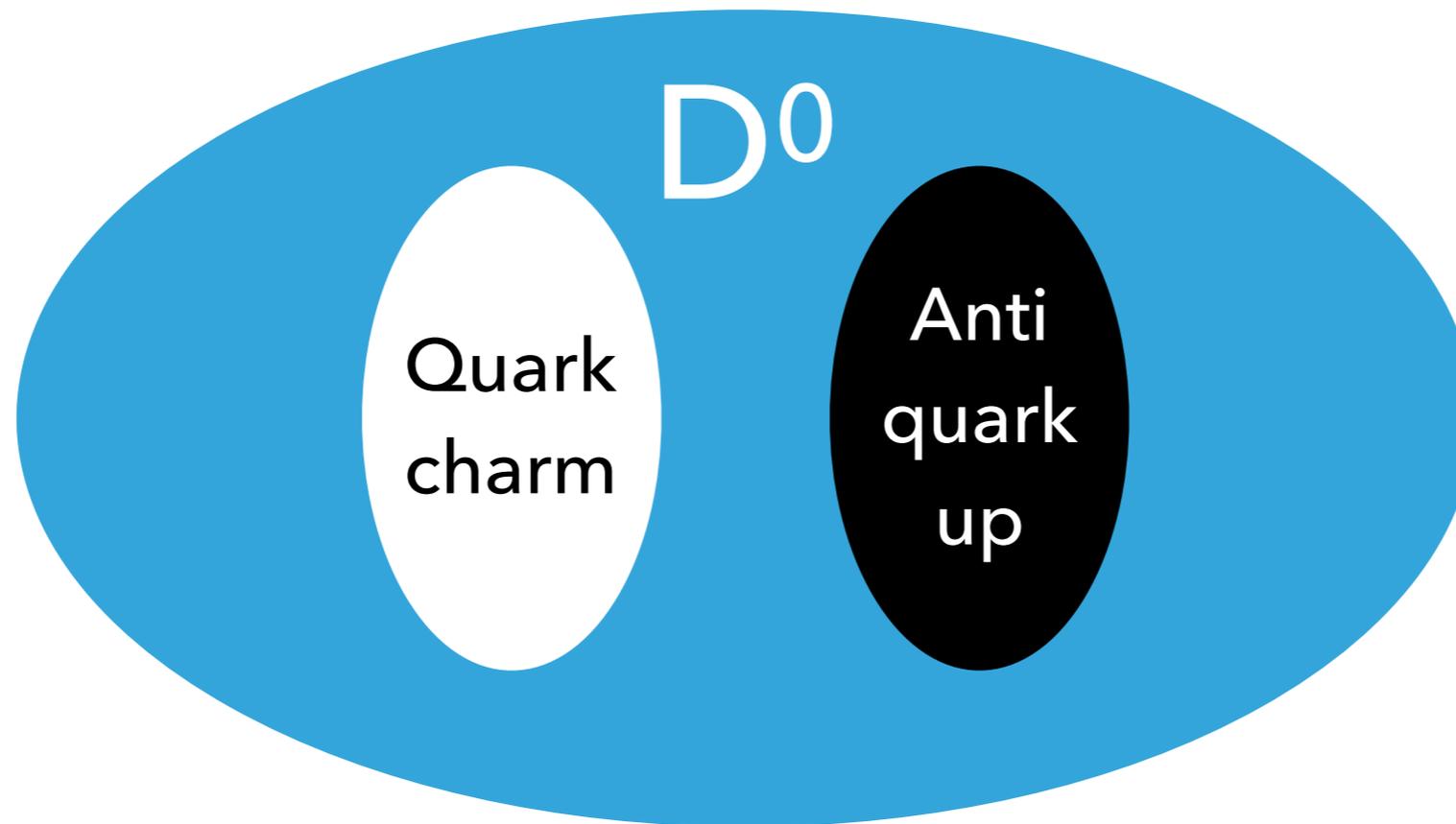


A large, orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

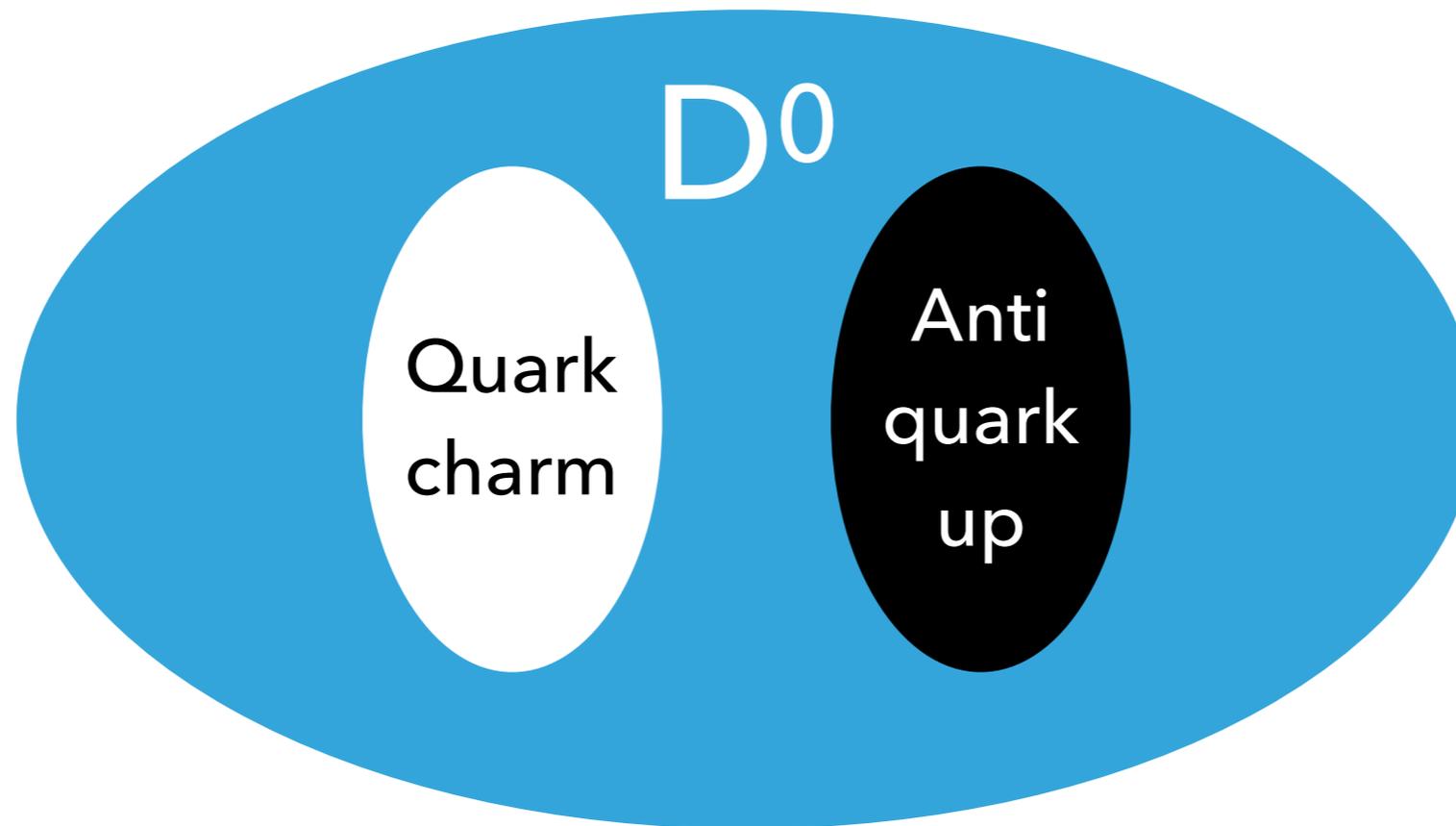
POURQUOI S'INTÉRESSE-T-ON AU D⁰ ?







IL OSCILLE !



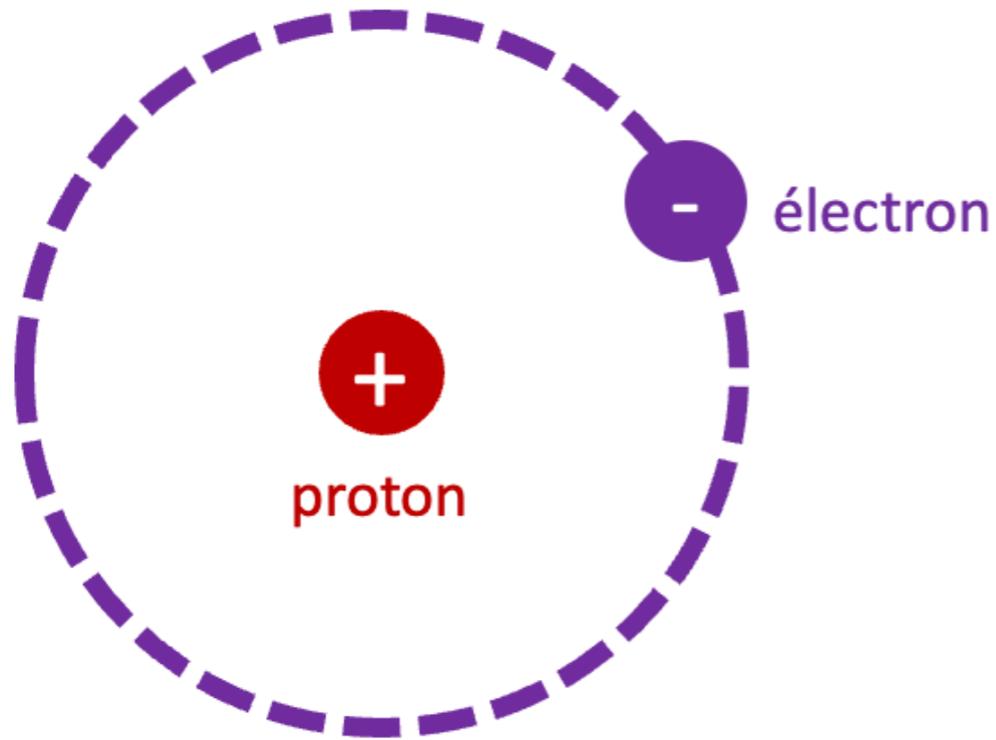
Le D⁰ est une particule neutre : il peut osciller entre matière et antimatière avant de se désintégrer !



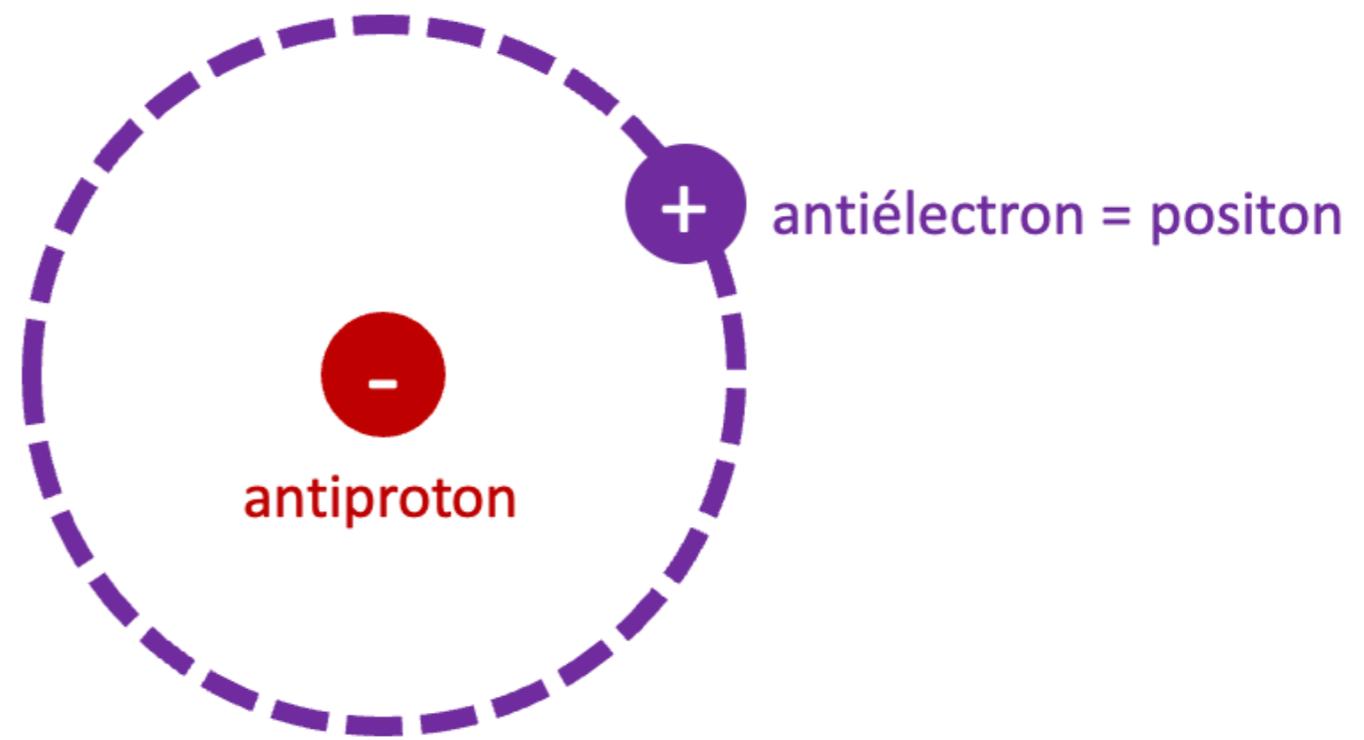
A large orange speech bubble with a white question inside, pointing towards the bottom right.

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

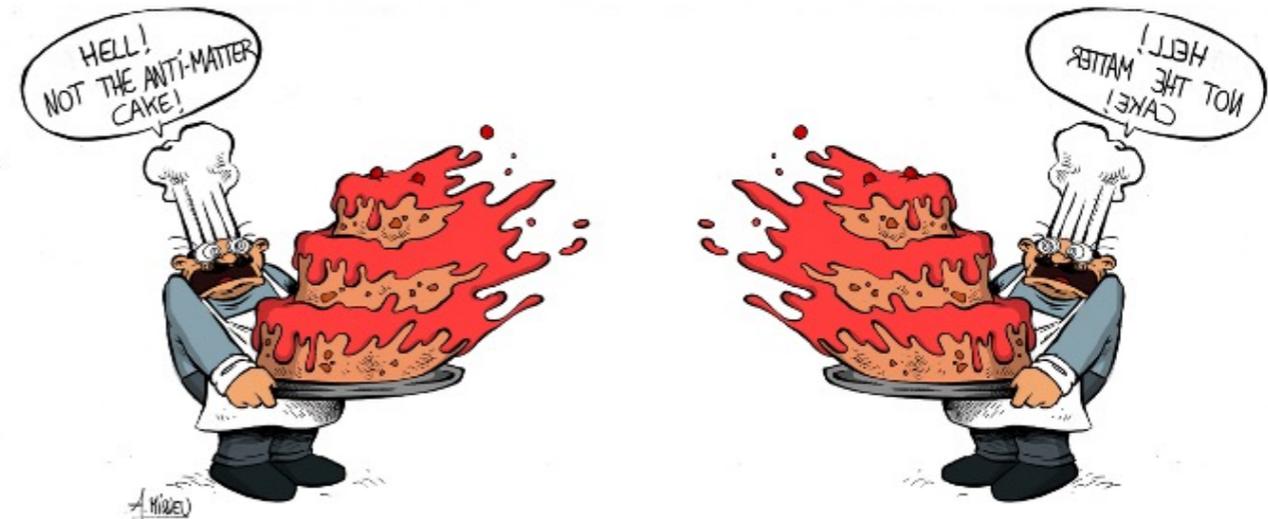
Atome d'hydrogène

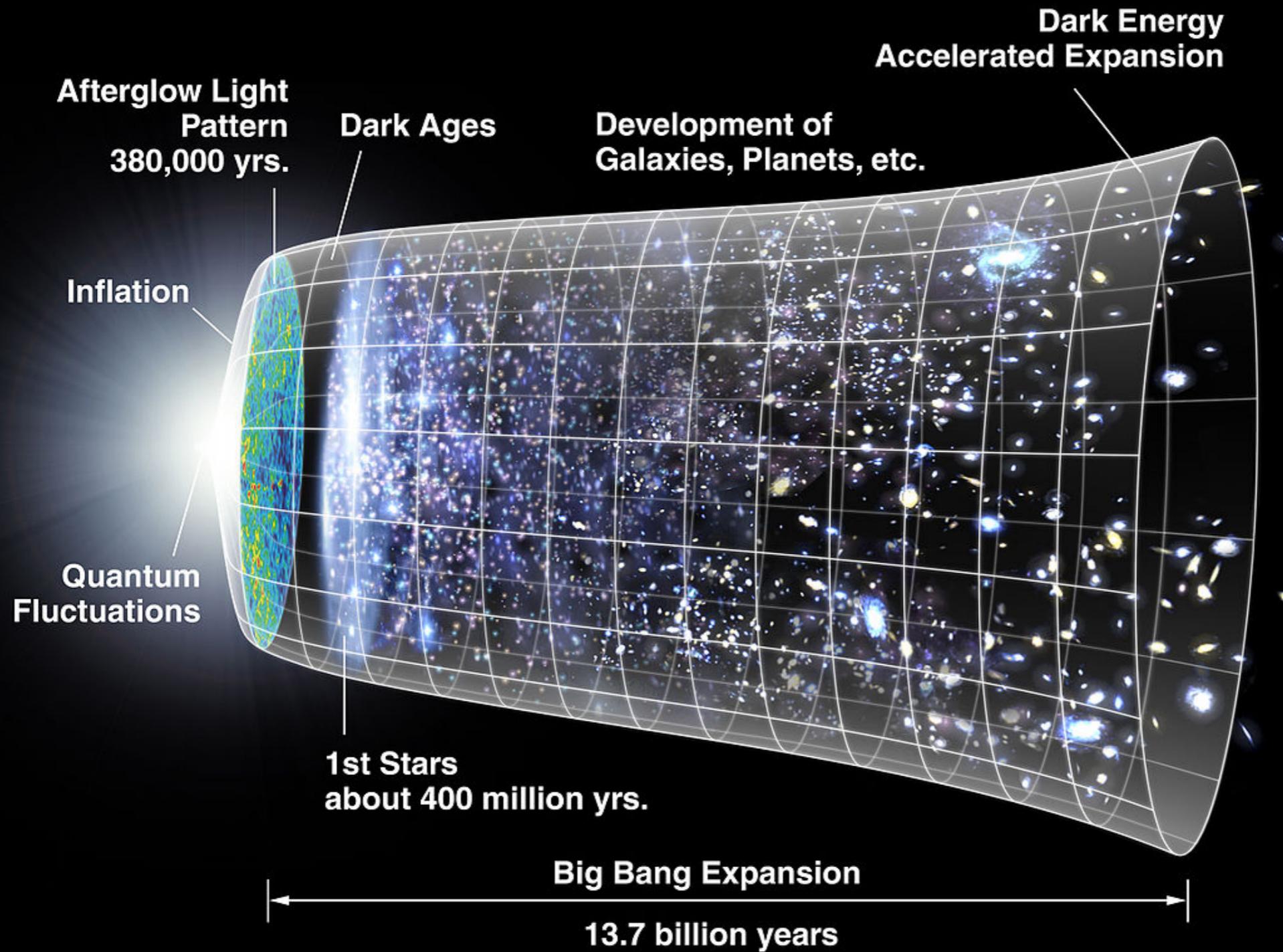


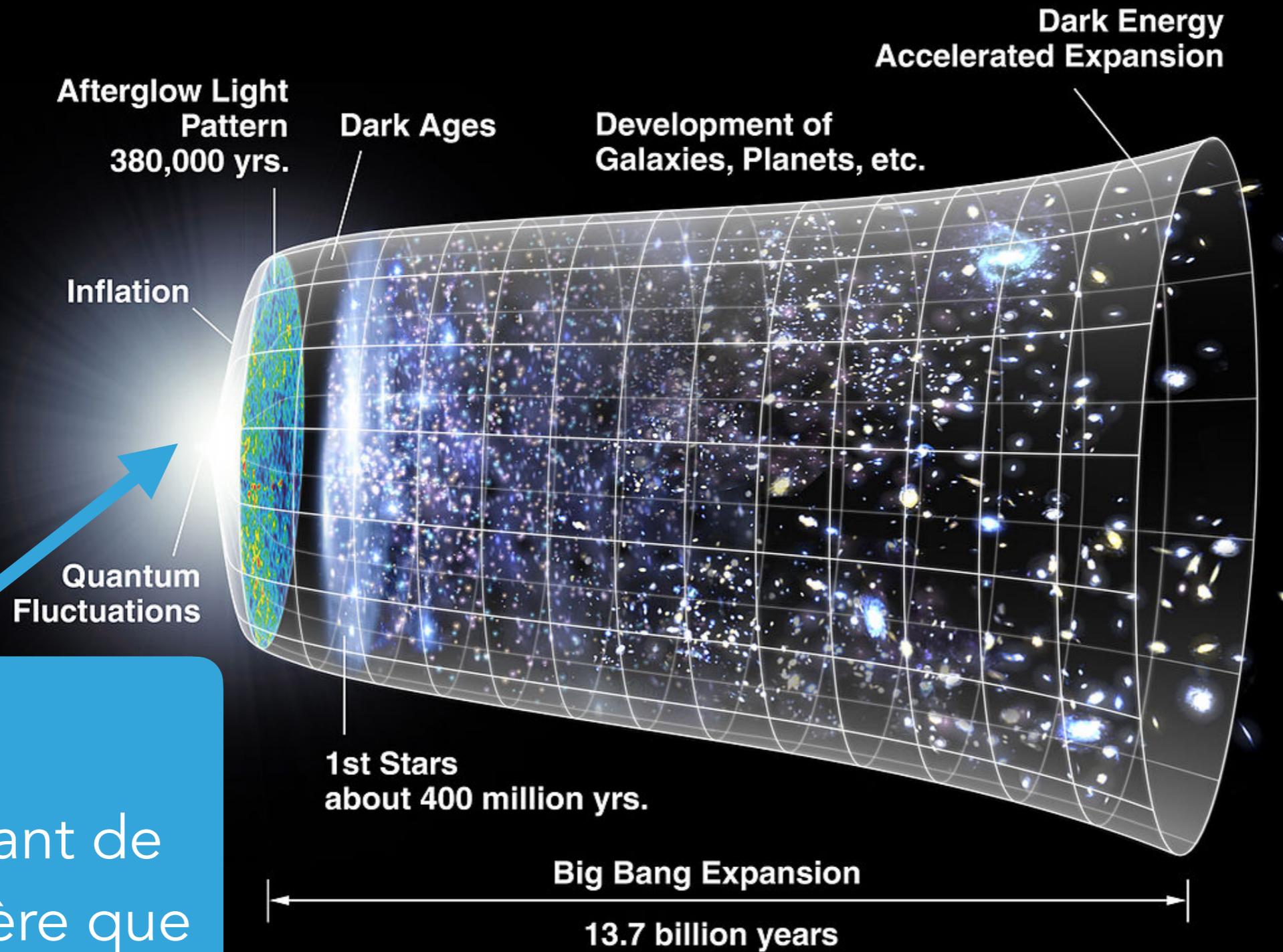
Atome d'antihydrogène



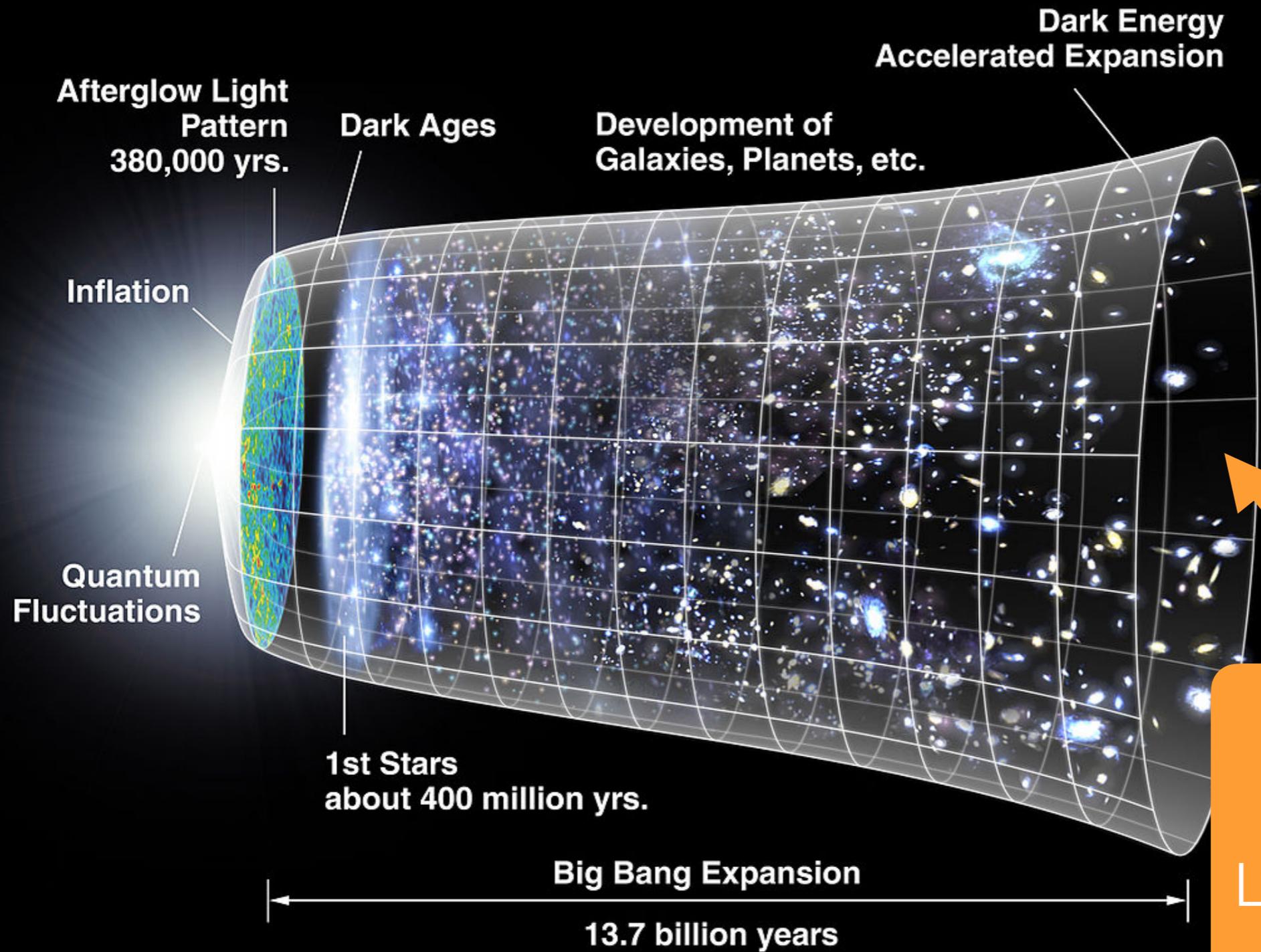
- ▶ Même masse, mais charges électriques opposées.
- ▶ Matière et antimatière semblent donc parfaitement symétriques.
- ▶ Quand matière et antimatière se rencontrent: BOOM!



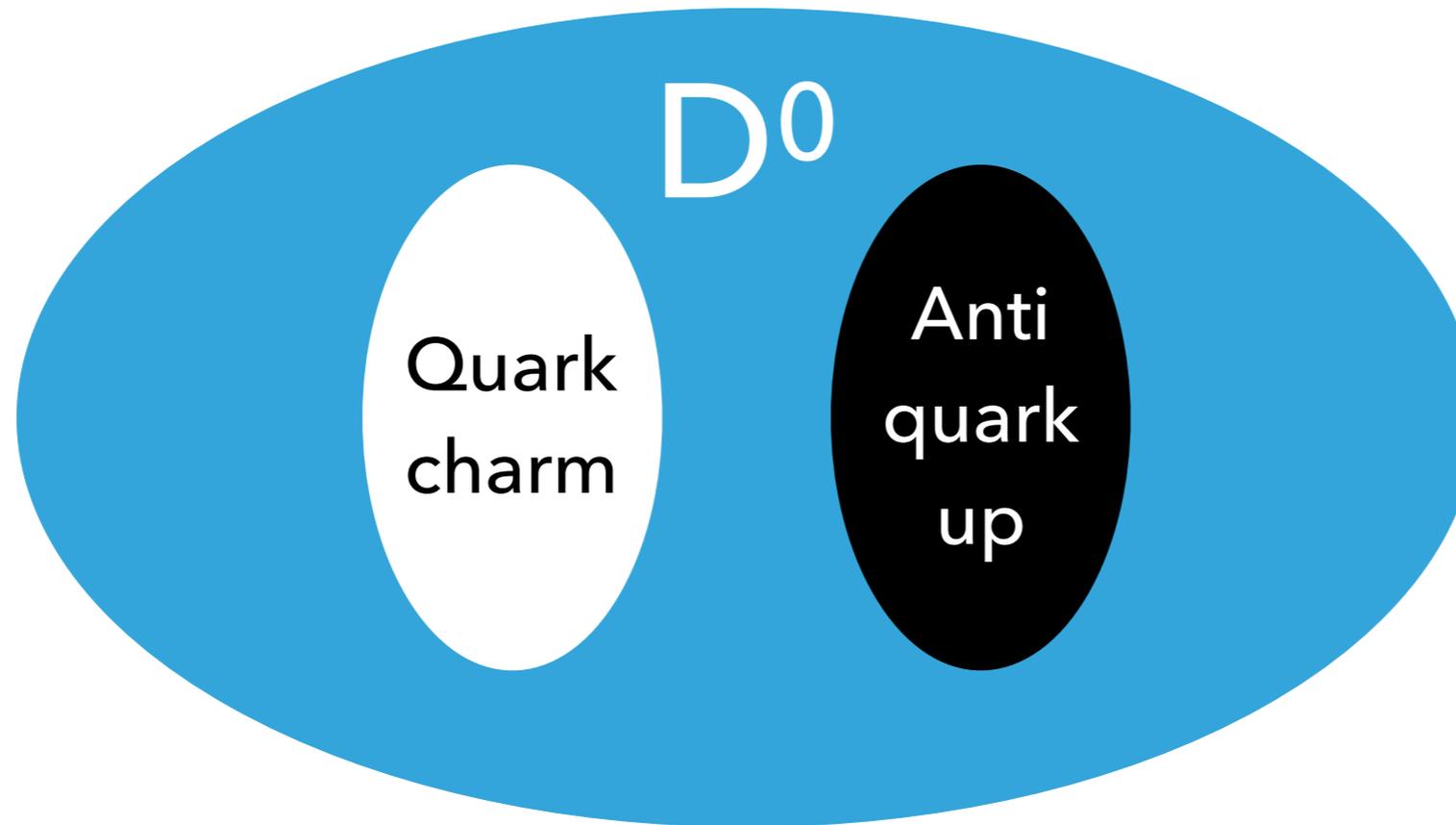




Autant de matière que d'antimatière

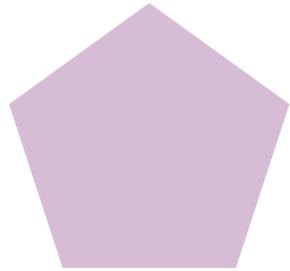


L'antimatière
a disparu !

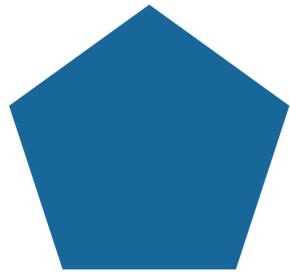


Le D⁰ peut nous donner des indices sur ce qui fait la différence entre la matière et l'antimatière !

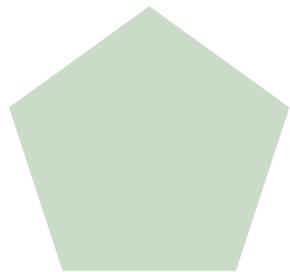
On appelle ce phénomène la **violation CP**, la brisure de symétrie entre matière et antimatière!



Introduction : Le méson D_0 et pourquoi il est intéressant



Mesurer les propriétés des particules avec LHCb

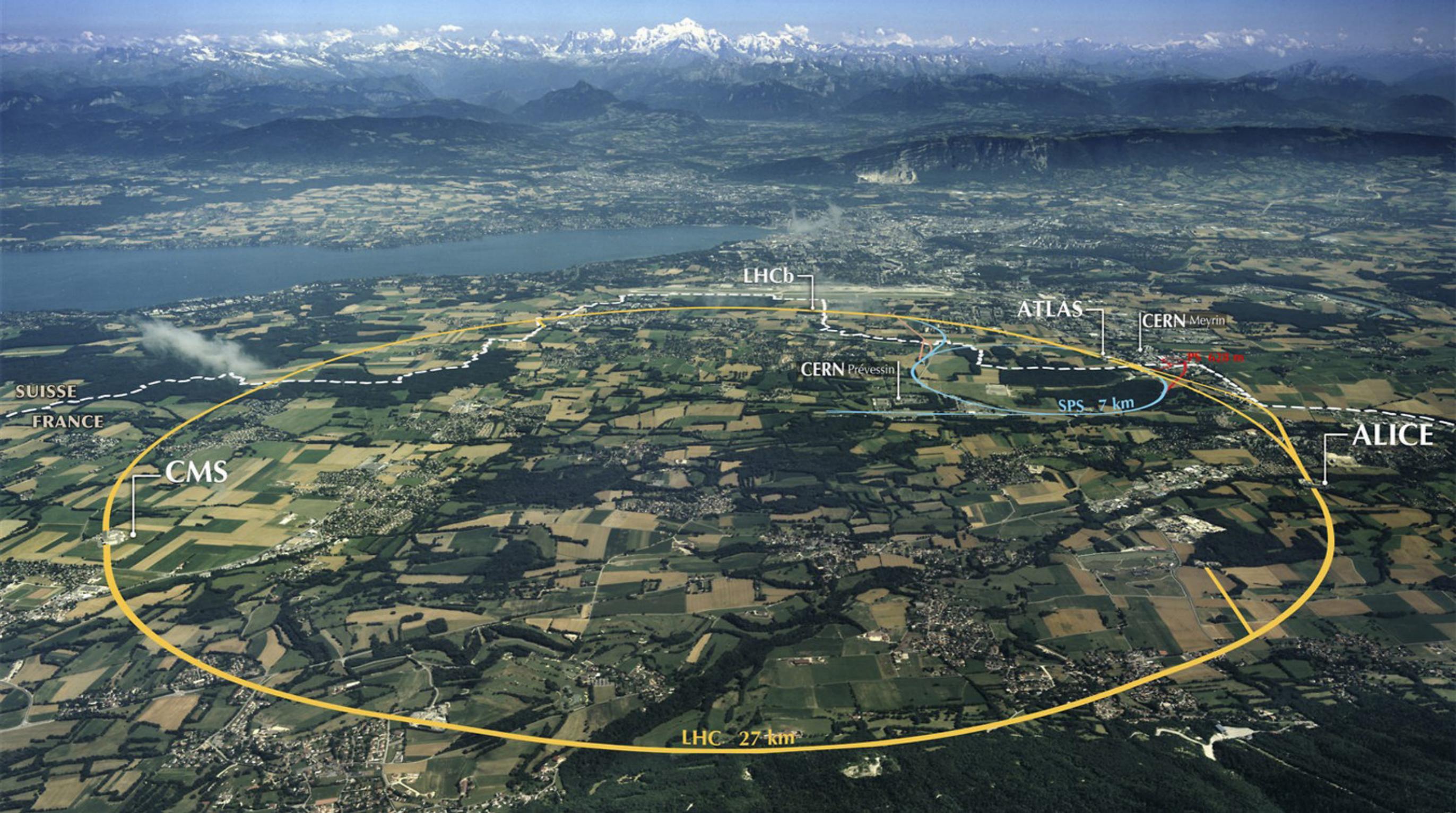


Votre mission !

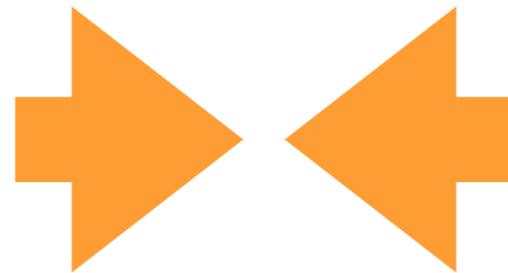
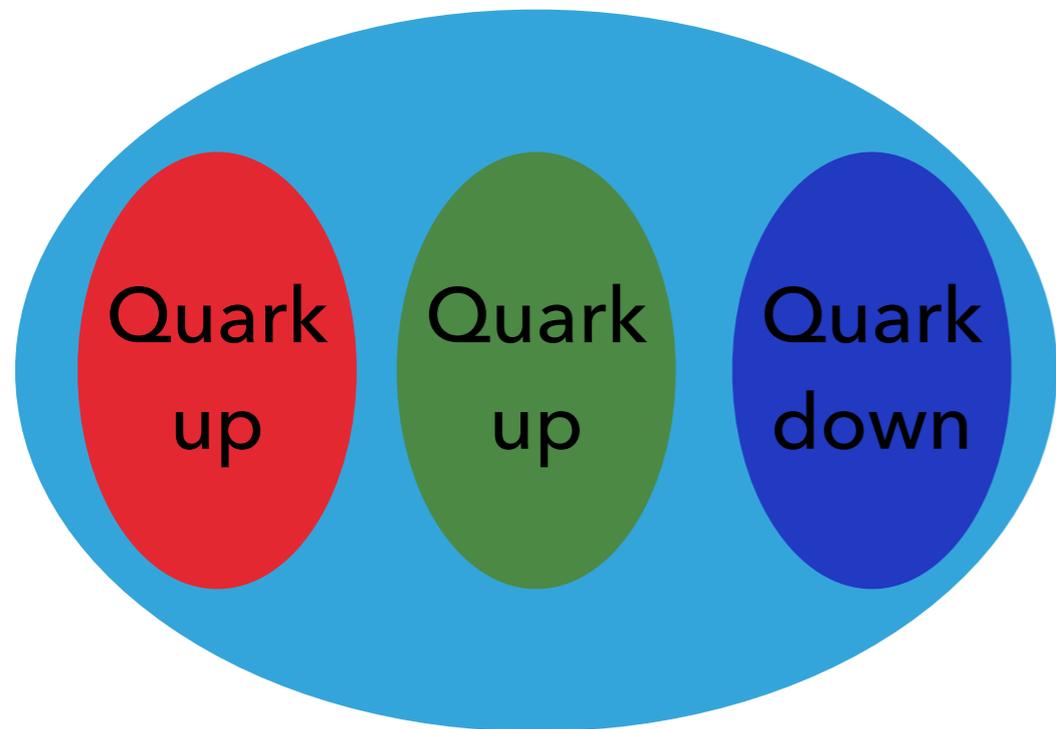
A large orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

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

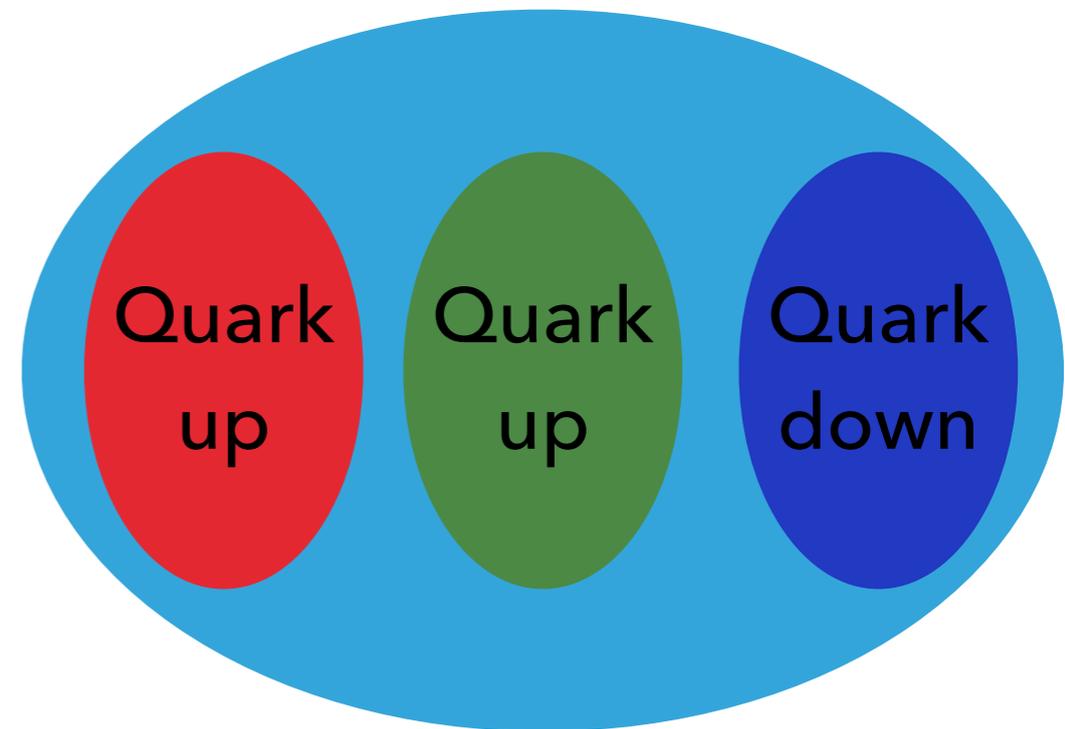
Le LHC : Large Hadron Collider



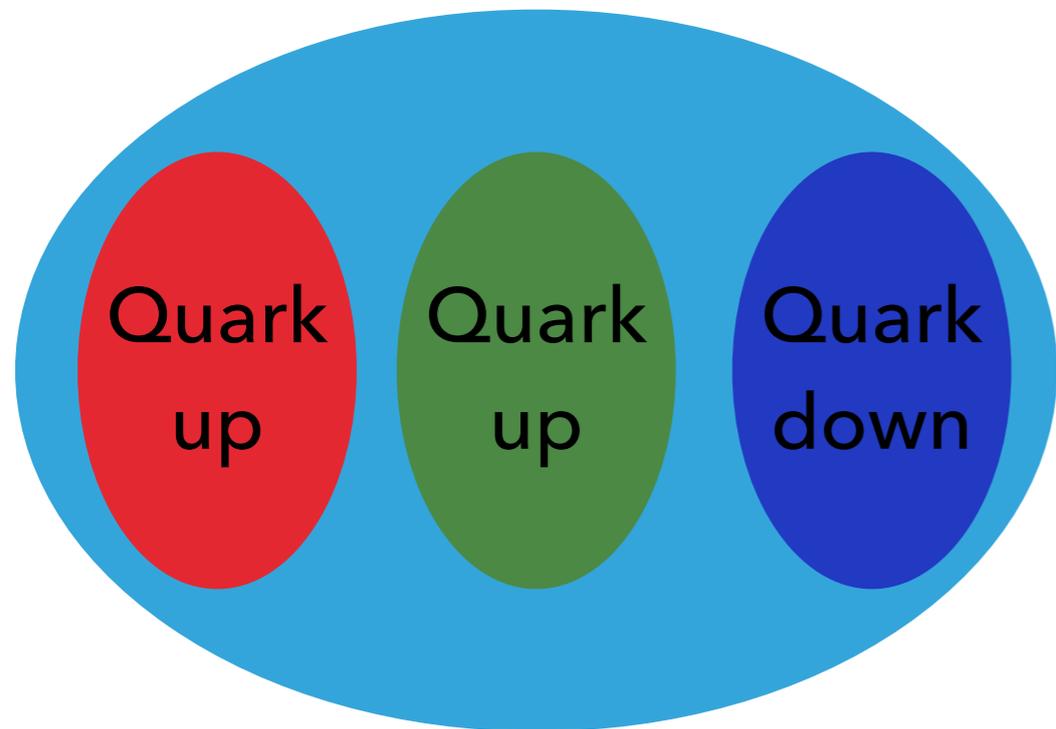
Proton



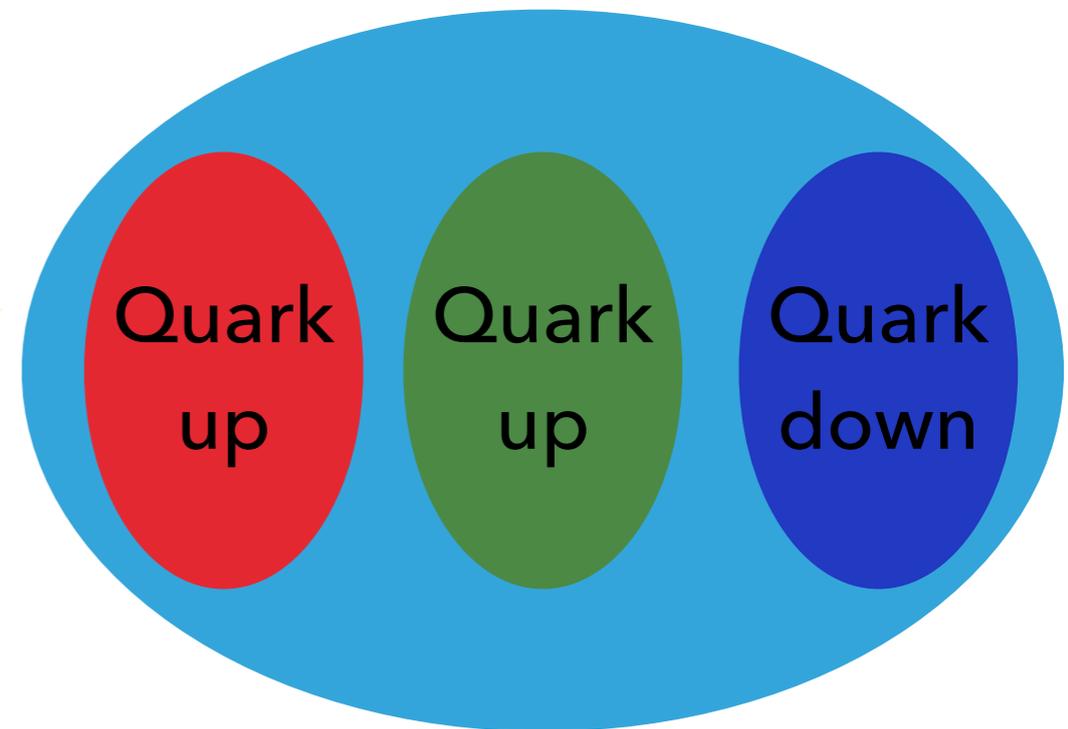
Proton

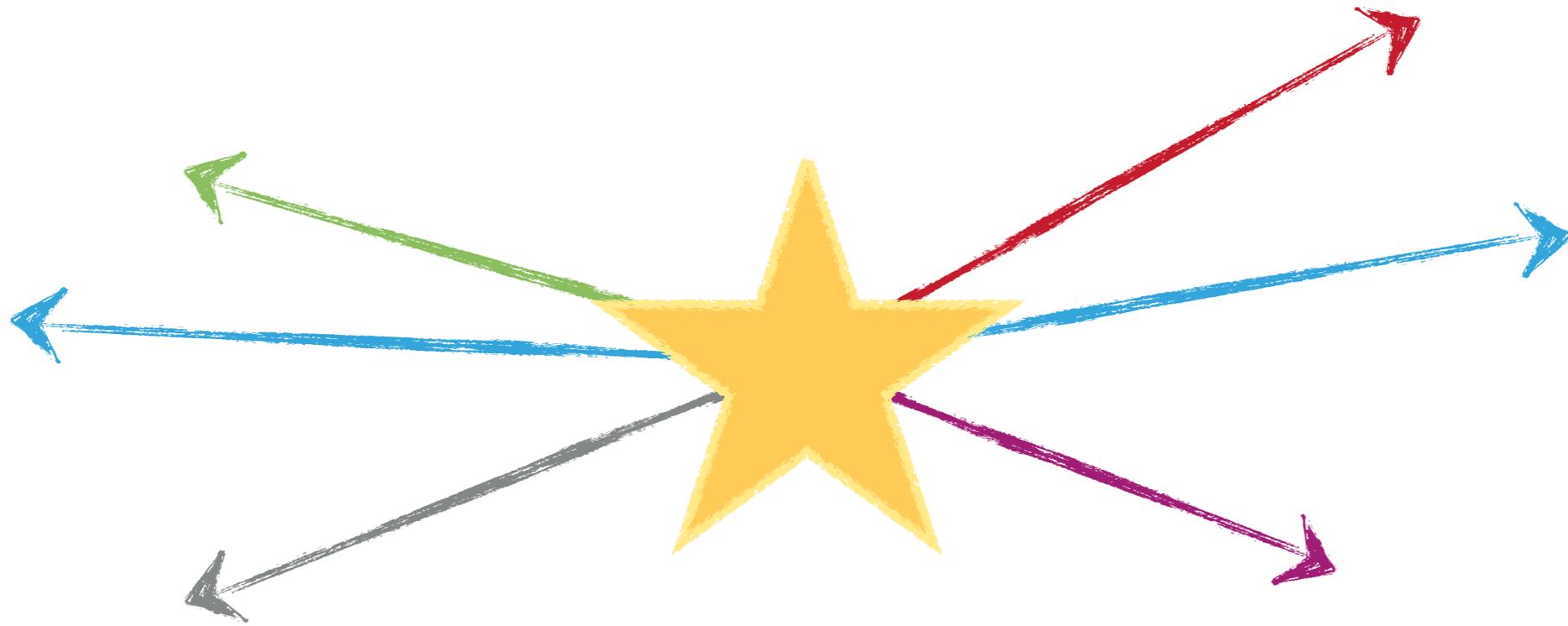


Proton

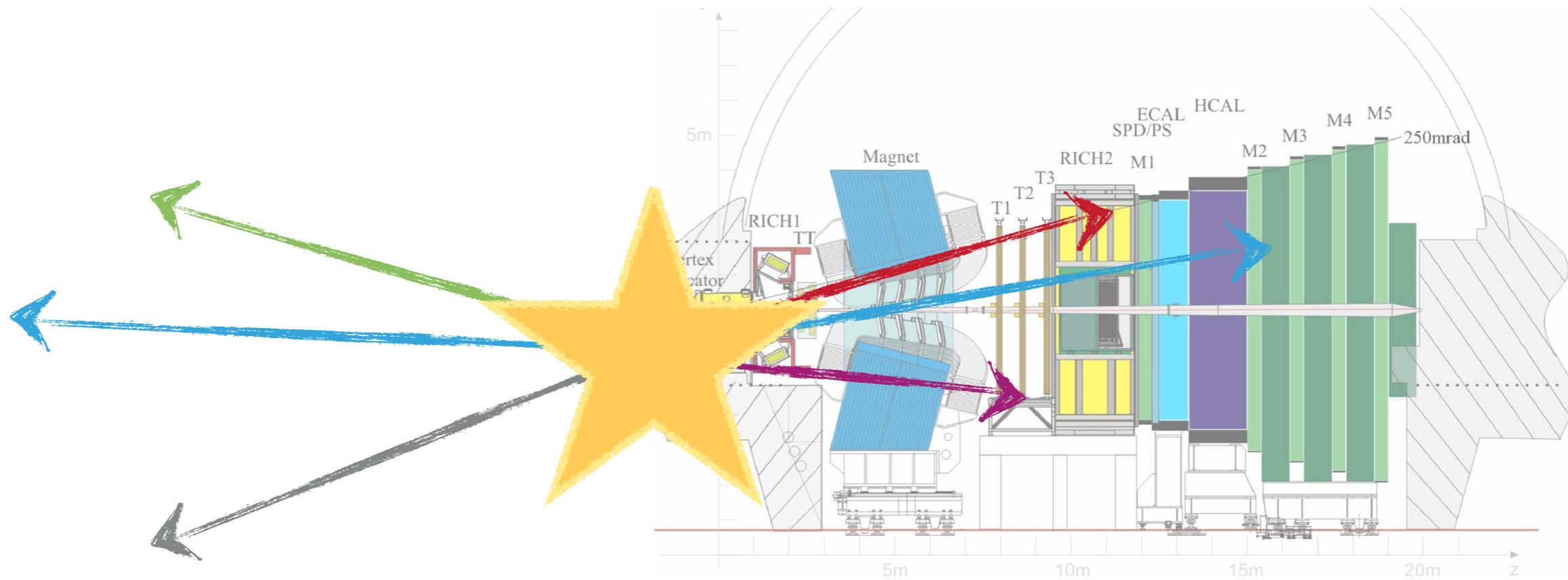


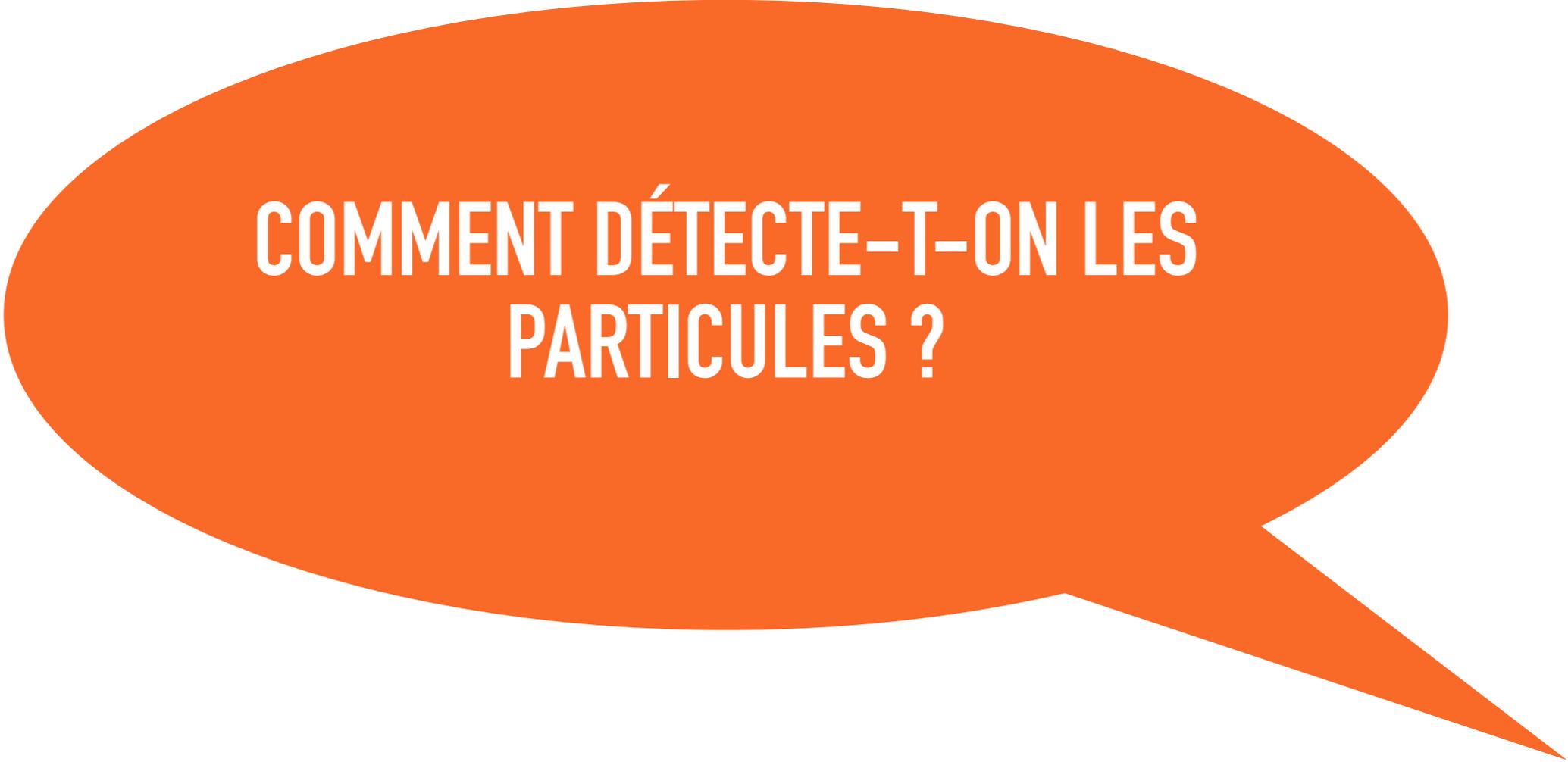
Proton





LES DÉTECTEURS SONT PLACÉS PRÈS DES POINTS DE COLLISION

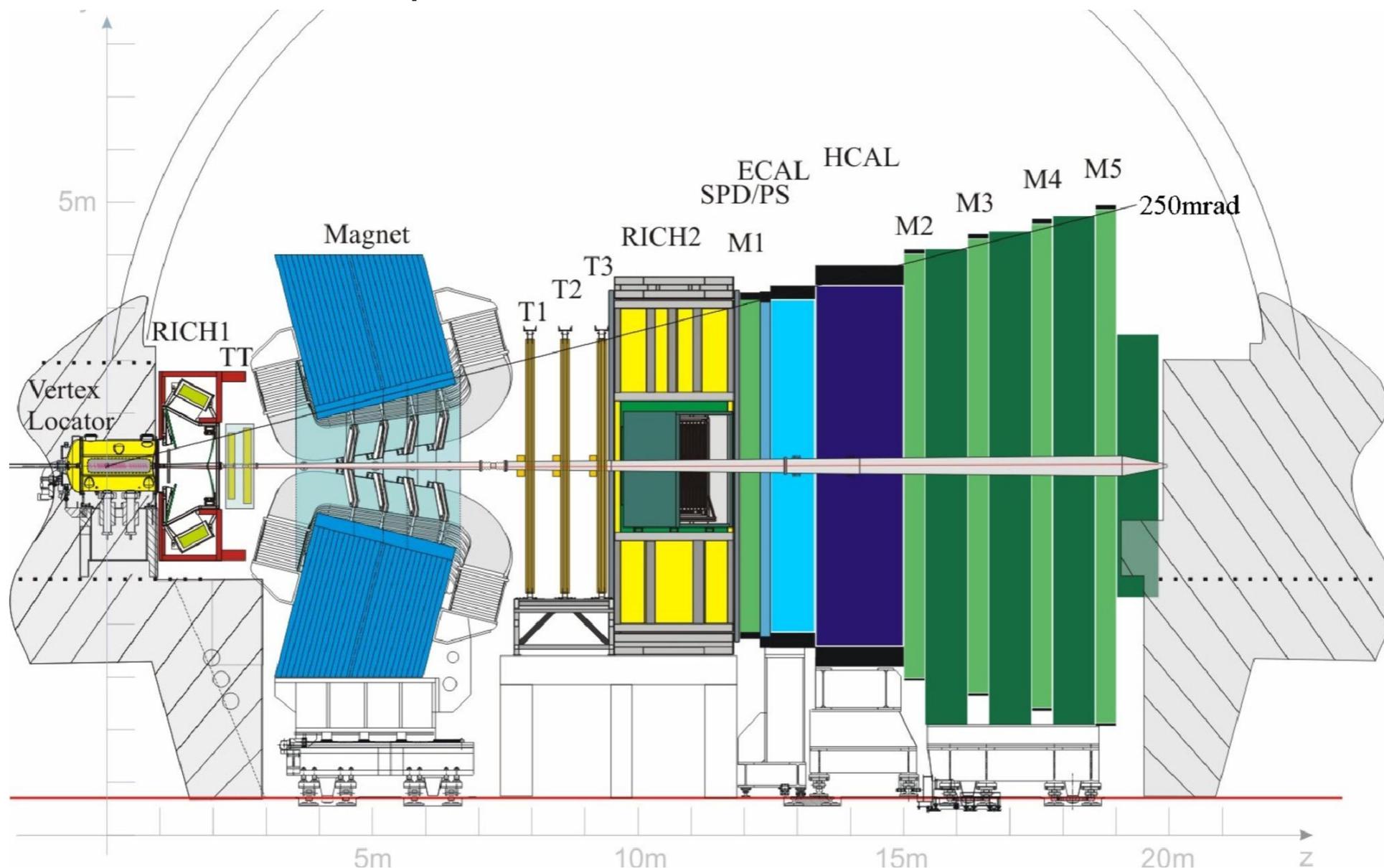


A large orange speech bubble with a white question inside, centered on a white background.

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

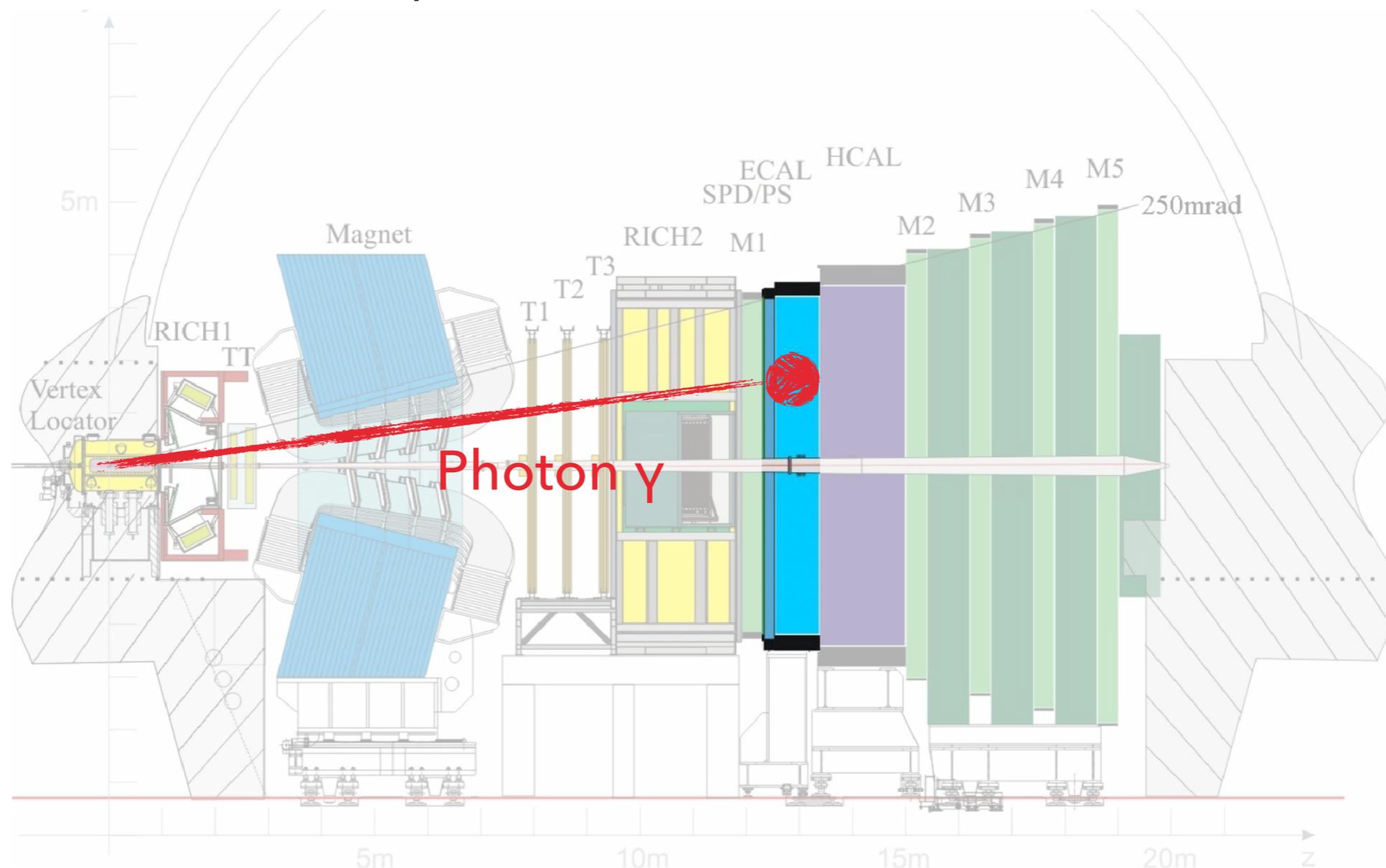
LHCb peut :

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



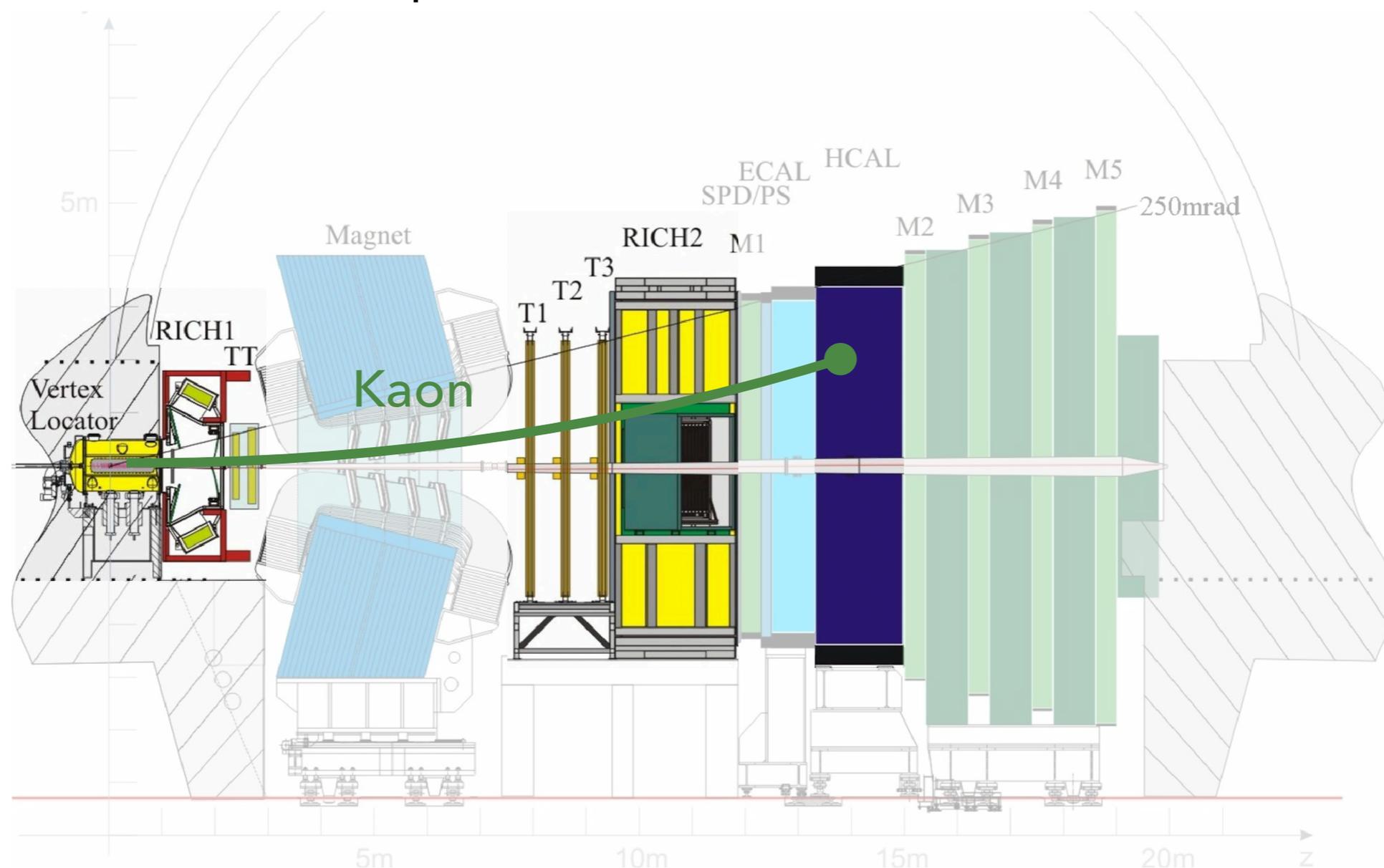
LHCb peut :

- 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 :

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

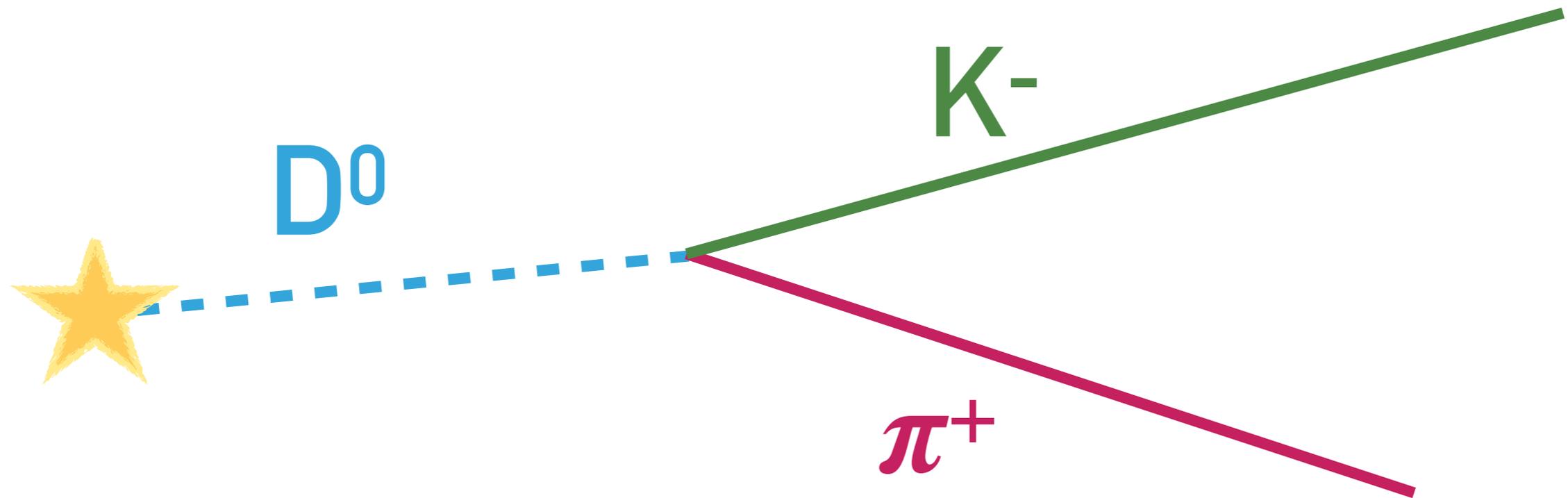
Masse

Energie

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

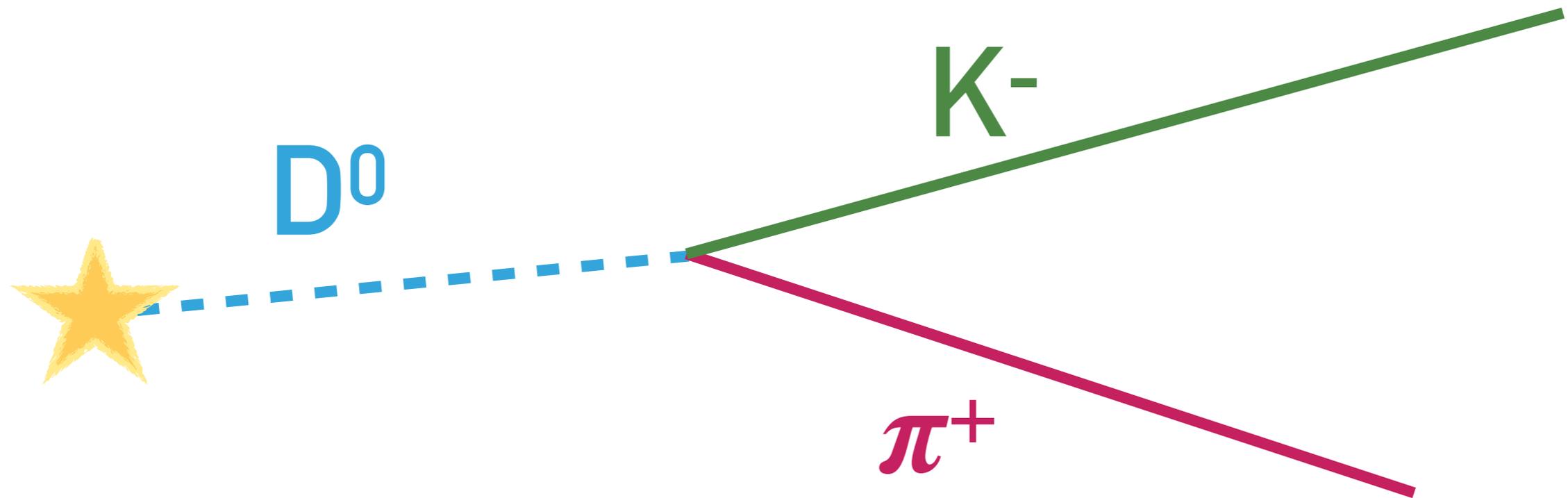
$$m^2 = E^2 - p^2$$

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 π^+

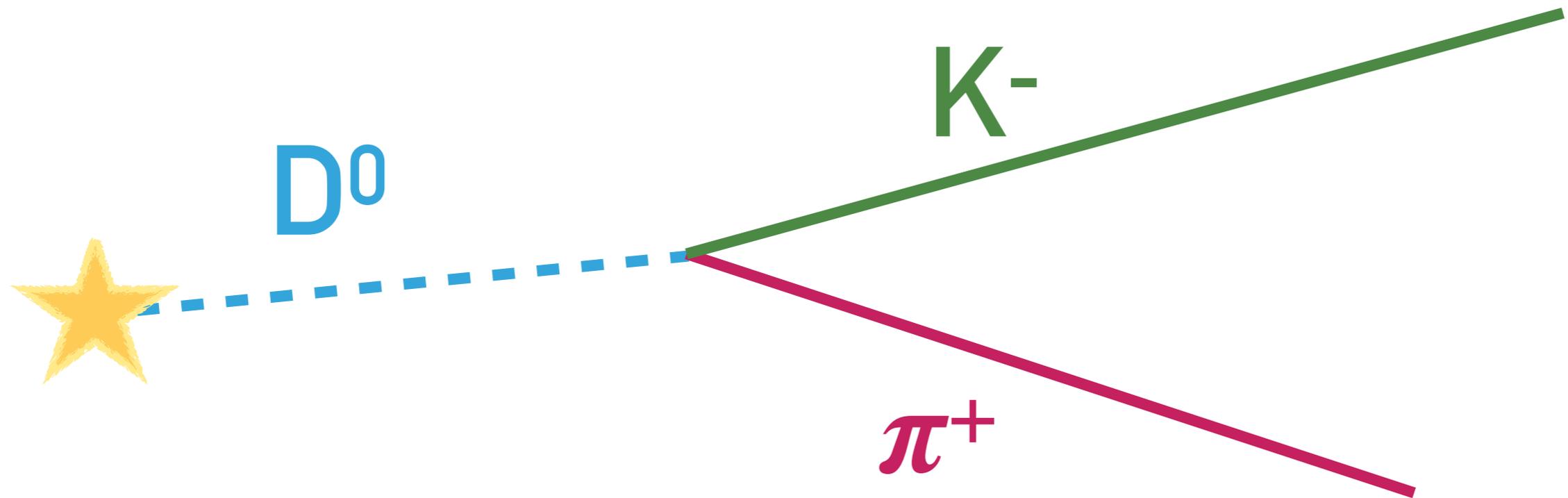
On utilise la distance parcourue par le D^0 et sa quantité de mouvement



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



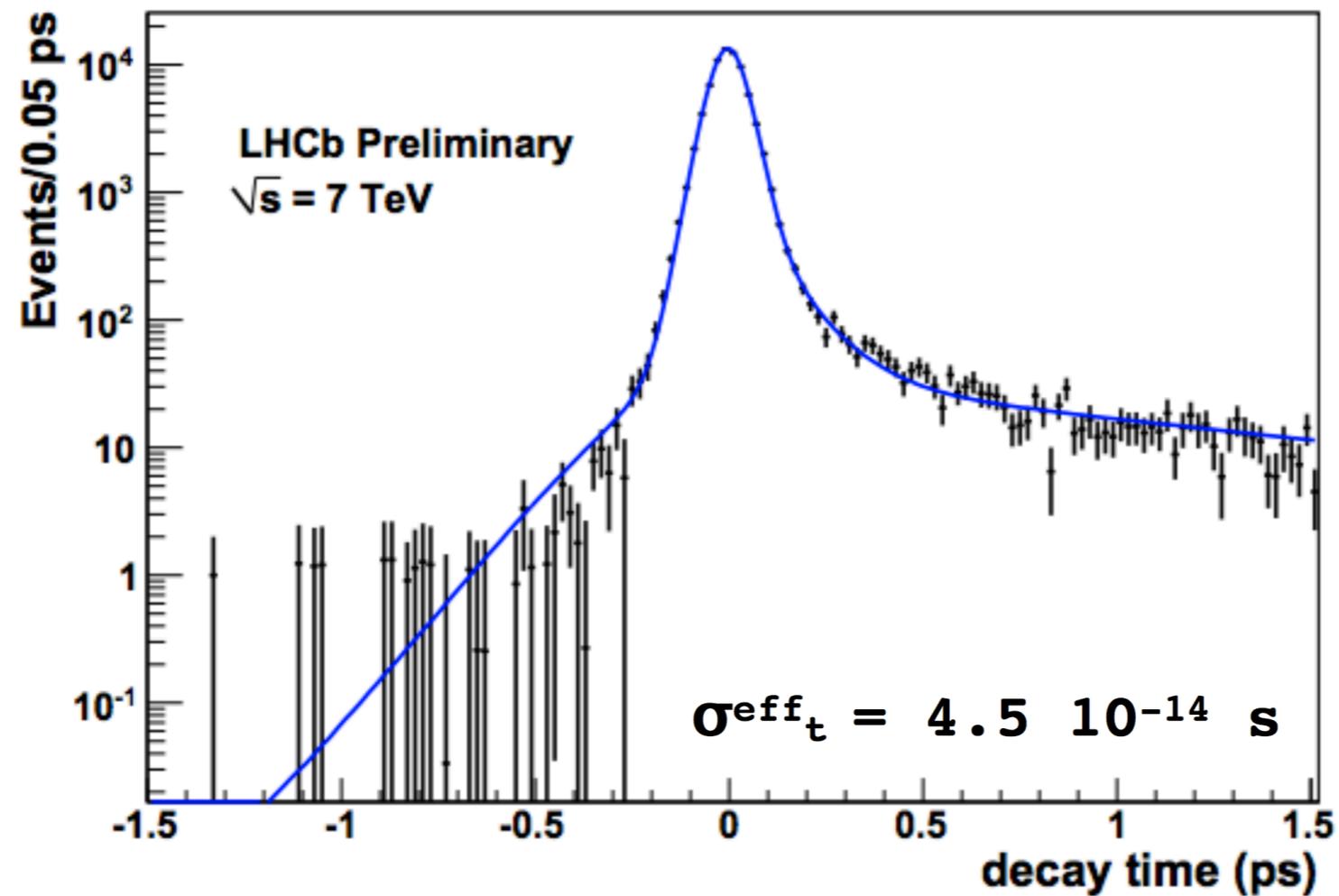
Exemple :

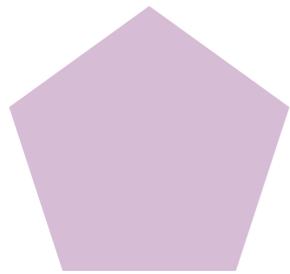
Avec les lois de Newton : **0.3 mm** !

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

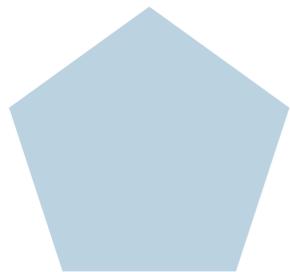
En réalité une telle particule parcourrait **~1cm** !

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

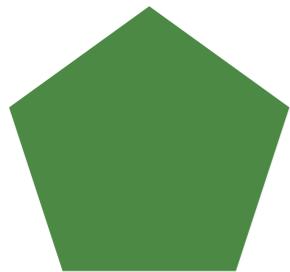




Introduction : Le méson D_0 et pourquoi il est intéressant



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 D⁰ ?

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

D'après le livret du Particle Data Group :

*D*⁰ 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>
410.1 ± 1.5	OUR AVERAGE		

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*⁰ 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>
410.1 ± 1.5	OUR AVERAGE		

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

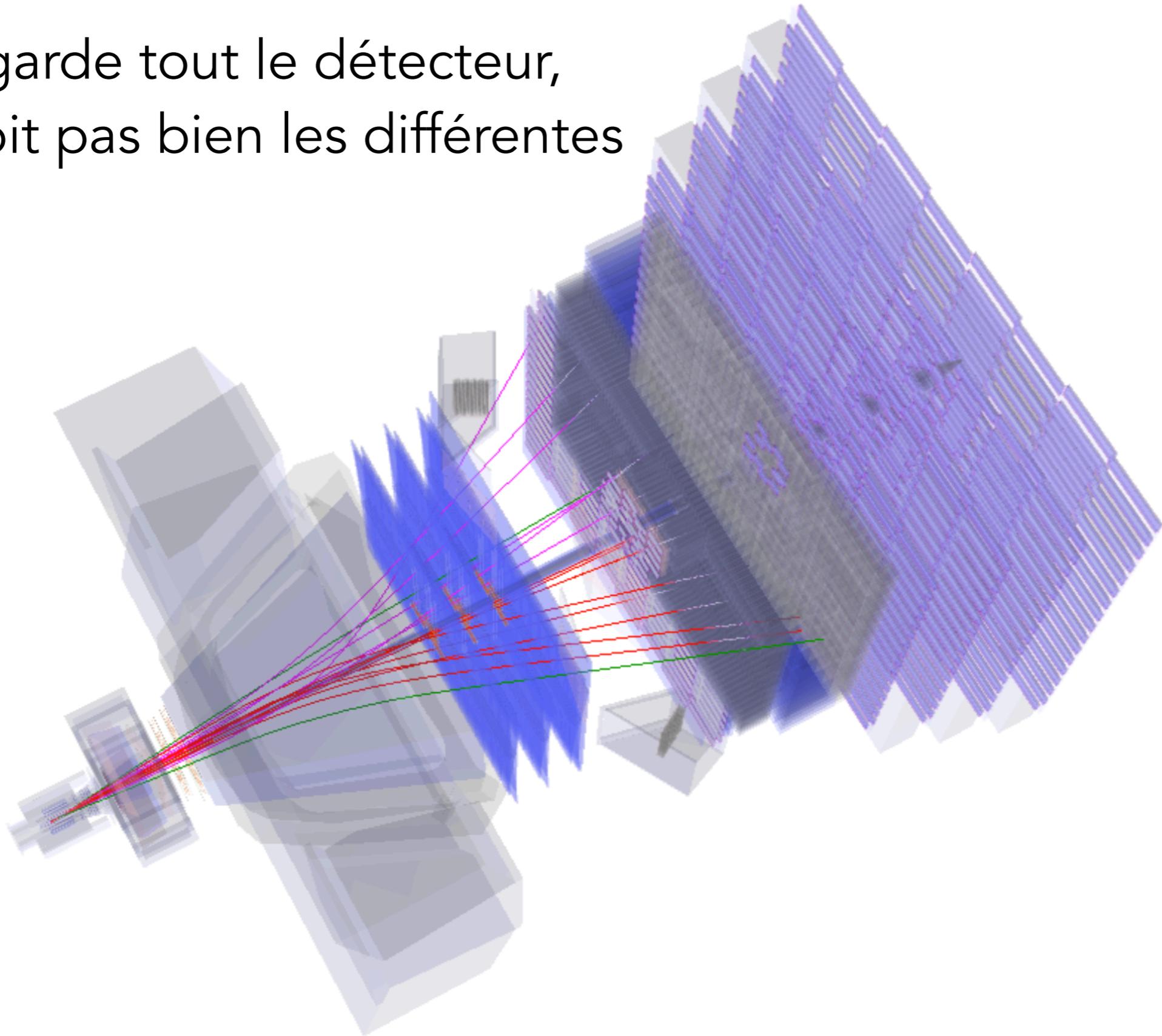
L'essentiel :

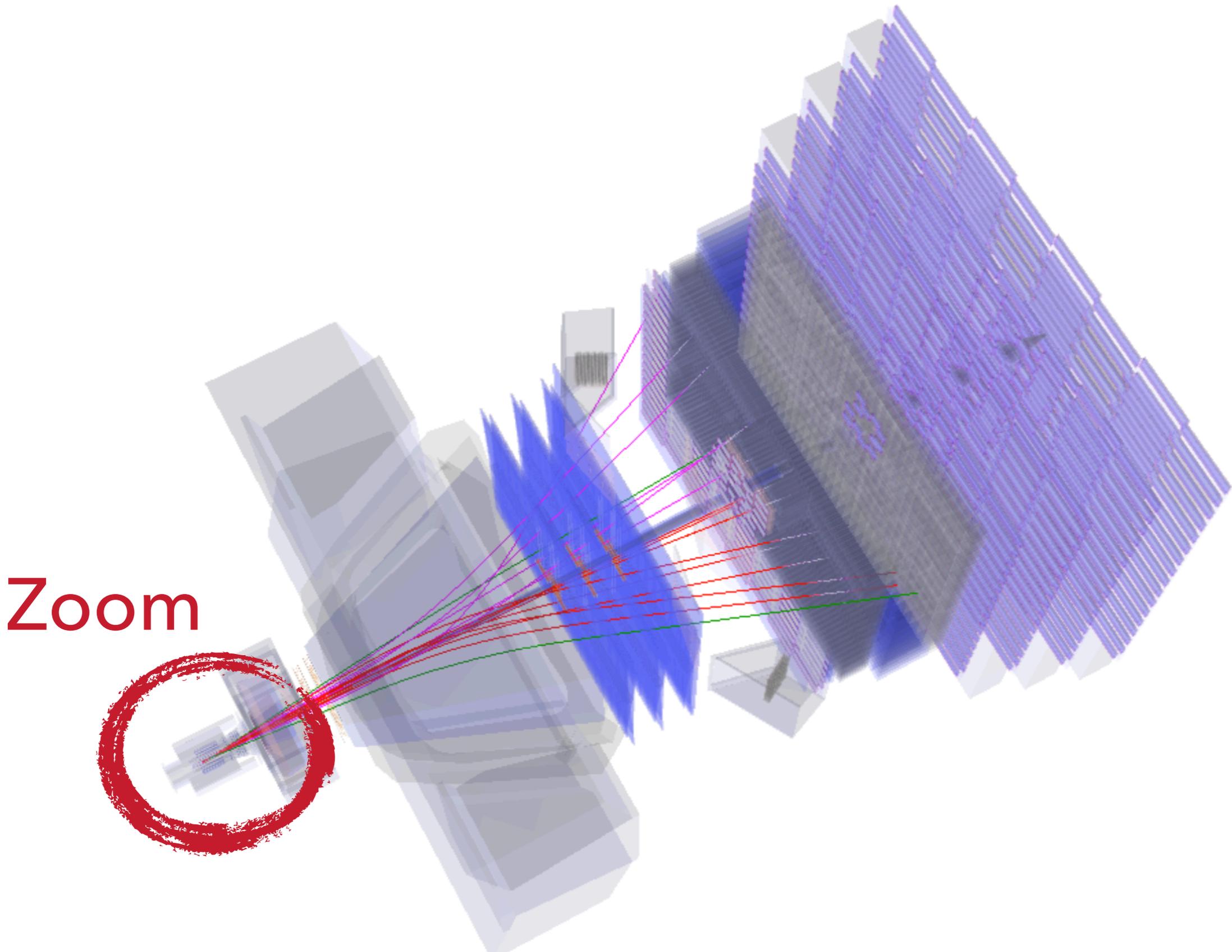
- Comprendre **comment fonctionne la mesure**
- Comprendre **les limites** de la mesure (erreurs systématiques)

1) TROUVER DES D^0

50

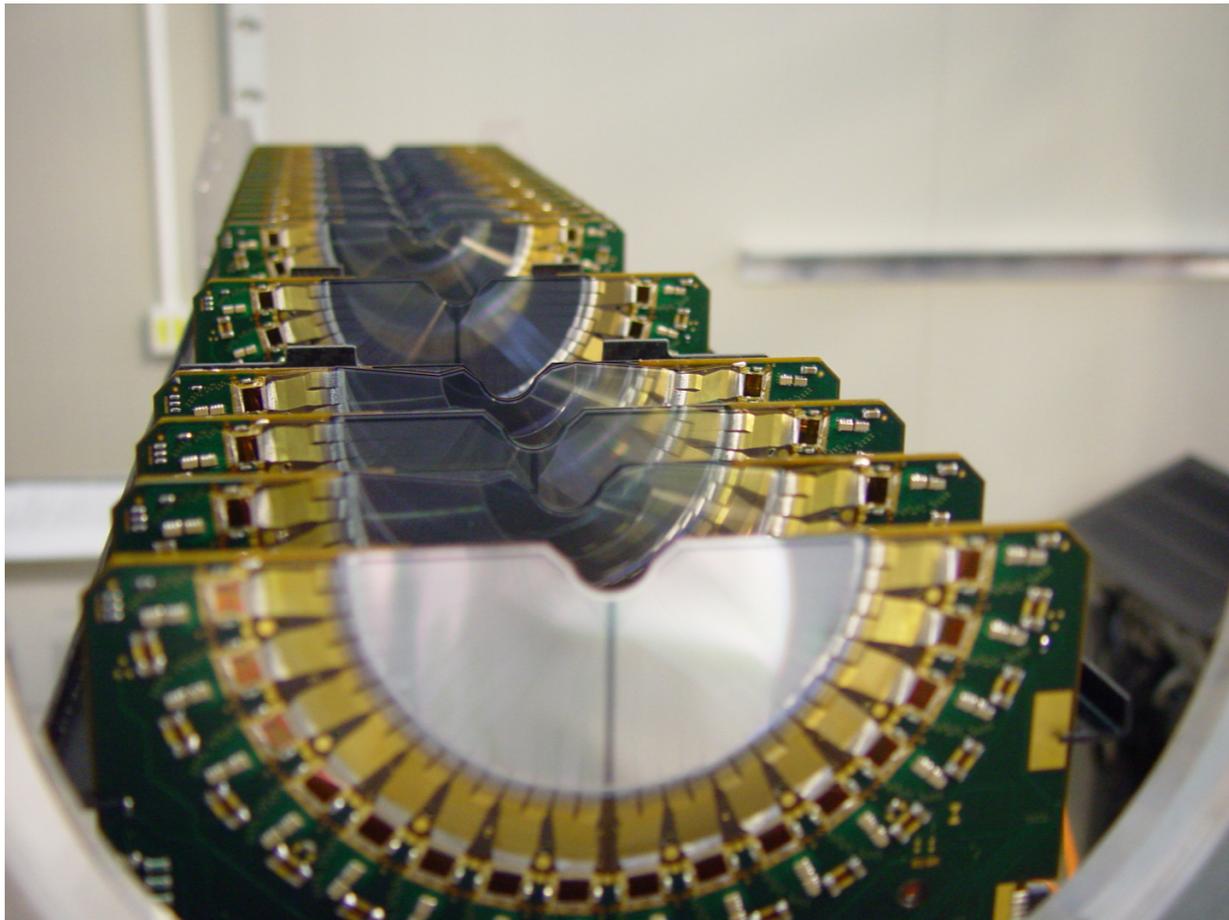
Si on regarde tout le détecteur,
on ne voit pas bien les différentes
traces





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.

L'interface de visualisation

The screenshot shows the 'Eve Main Window' interface, which is divided into several functional areas:

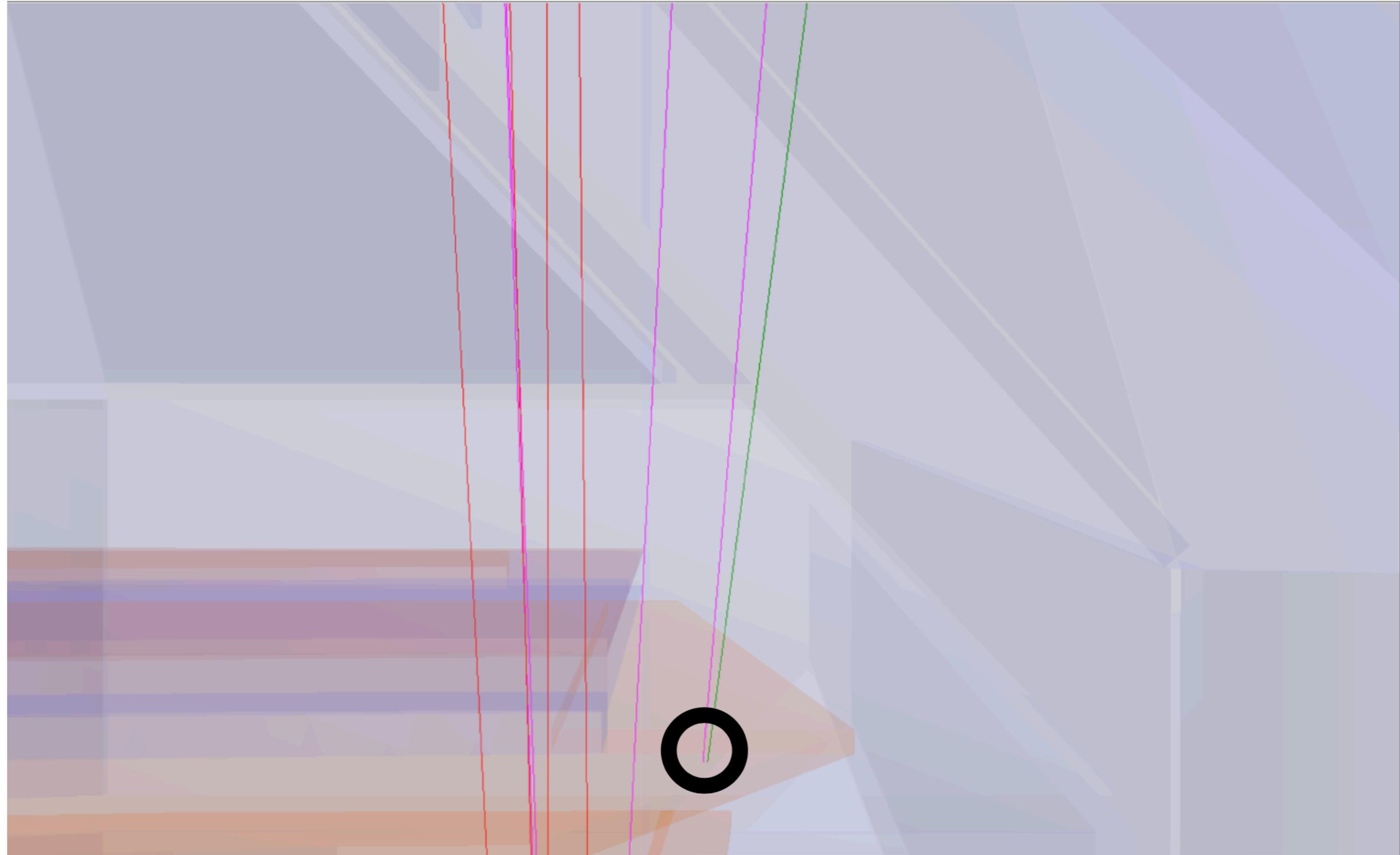
- Event Control:** Located at the top left, it includes a 'Start' section with a dropdown menu set to 'Combination 1' and a 'Validate' button. Below this are 'Help' and 'Exit' buttons.
- View:** A section with icons for zooming in and out, and checkboxes for 'Hide Geometry' (unchecked) and 'Transparency' (checked).
- Event manager:** Shows the current 'Event number' as 7, with navigation buttons for previous and next events.
- Particle Info:** A table of properties for a selected particle:

Name	pi+	
Mass	139.57	MeV/c ²
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 section for saving particles, showing 'My particle: K-' and 'My particle: pi+', with 'Calculate' and 'Delete' buttons. Below it, a 'Mass' field shows '1821.14'.
- Histogram:** Includes 'Add' and 'Draw' buttons, and a 'Save Histogram' button at the bottom.
- Legend:** Located at the bottom left, it maps colors to particle types: K- (green), K+ (blue), pi- (red), pi+ (magenta), and D0 (black).

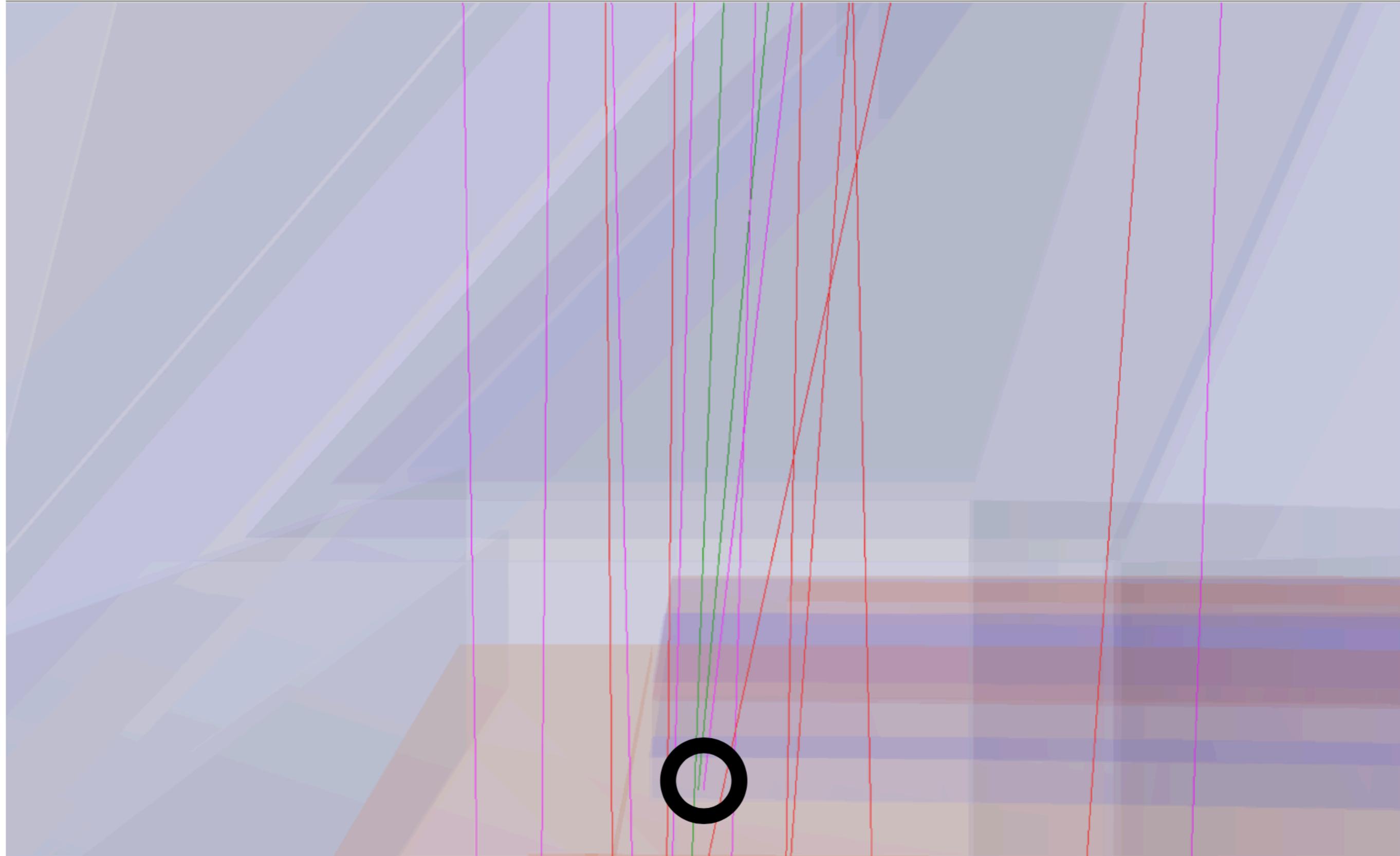
The central 'Viewer 1' area displays particle tracks. Annotations provide guidance on using the interface:

- 'Zoom gives you closer look at collision' points to a zoomed-in view of tracks.
- 'Click on the track to find out about particle properties' points to a track with a mouse cursor.
- 'Carefully choose particles you want to save, because out of them you get a new mass which might not be right!' and 'Add and Draw your results on histogram. Don't forget to save histogram when you finish!' point to the 'My Particles' and 'Histogram' sections.
- 'View' controls are annotated: 'Hint shows you the hidden D0 and its children' points to the 'Hint' icon, and 'Fullscreen shows the full view of LHCb detector and particle tra...' points to the 'Fullscreen' icon.
- 'Transparent view gives you a better look at particle tracks and the LHCb detector' points to the 'Transparency' checkbox.
- 'You can hide the geometry to see all the particle tracks.' points to the 'Hide Geometry' checkbox.

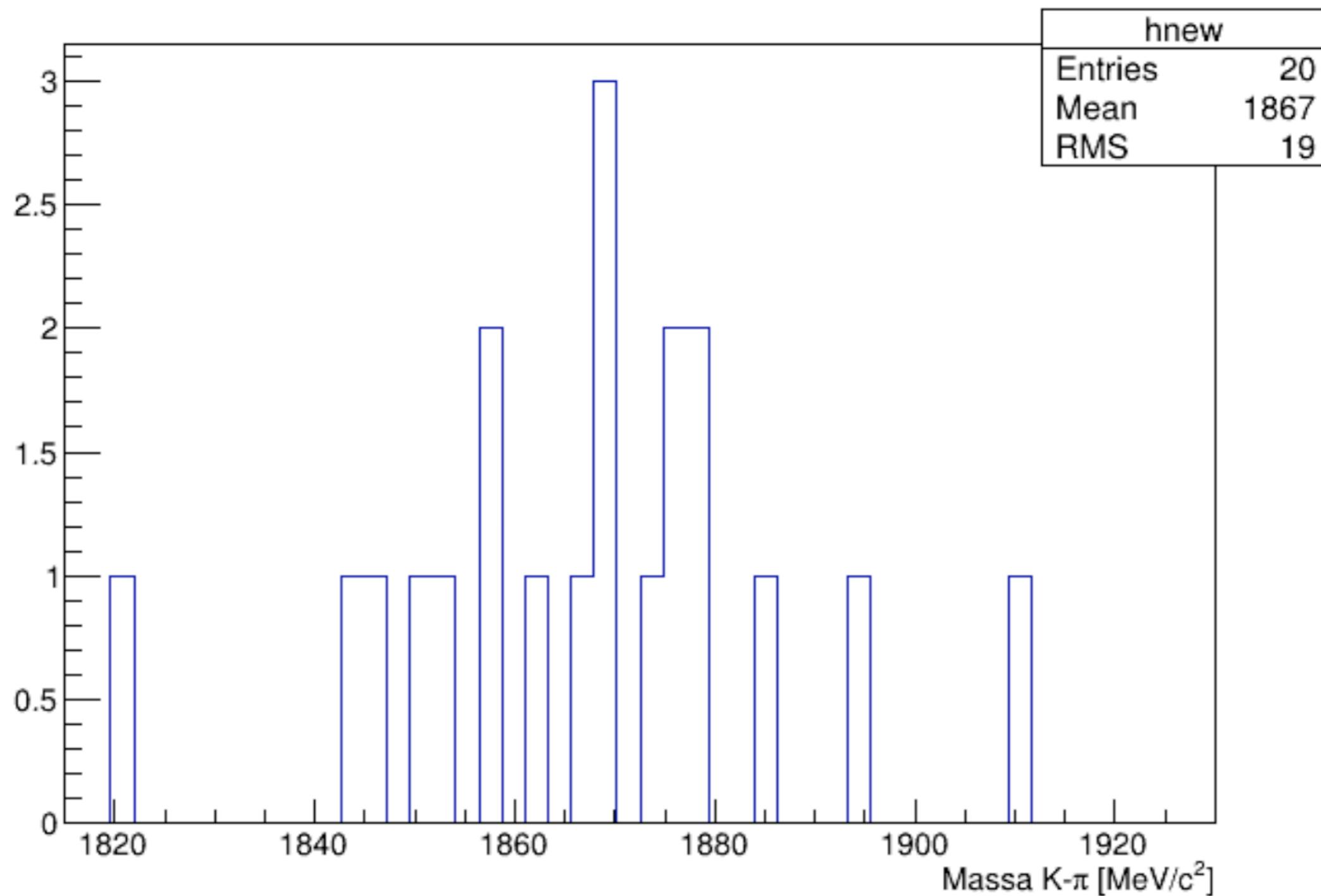
Zoom sur un évènement simple



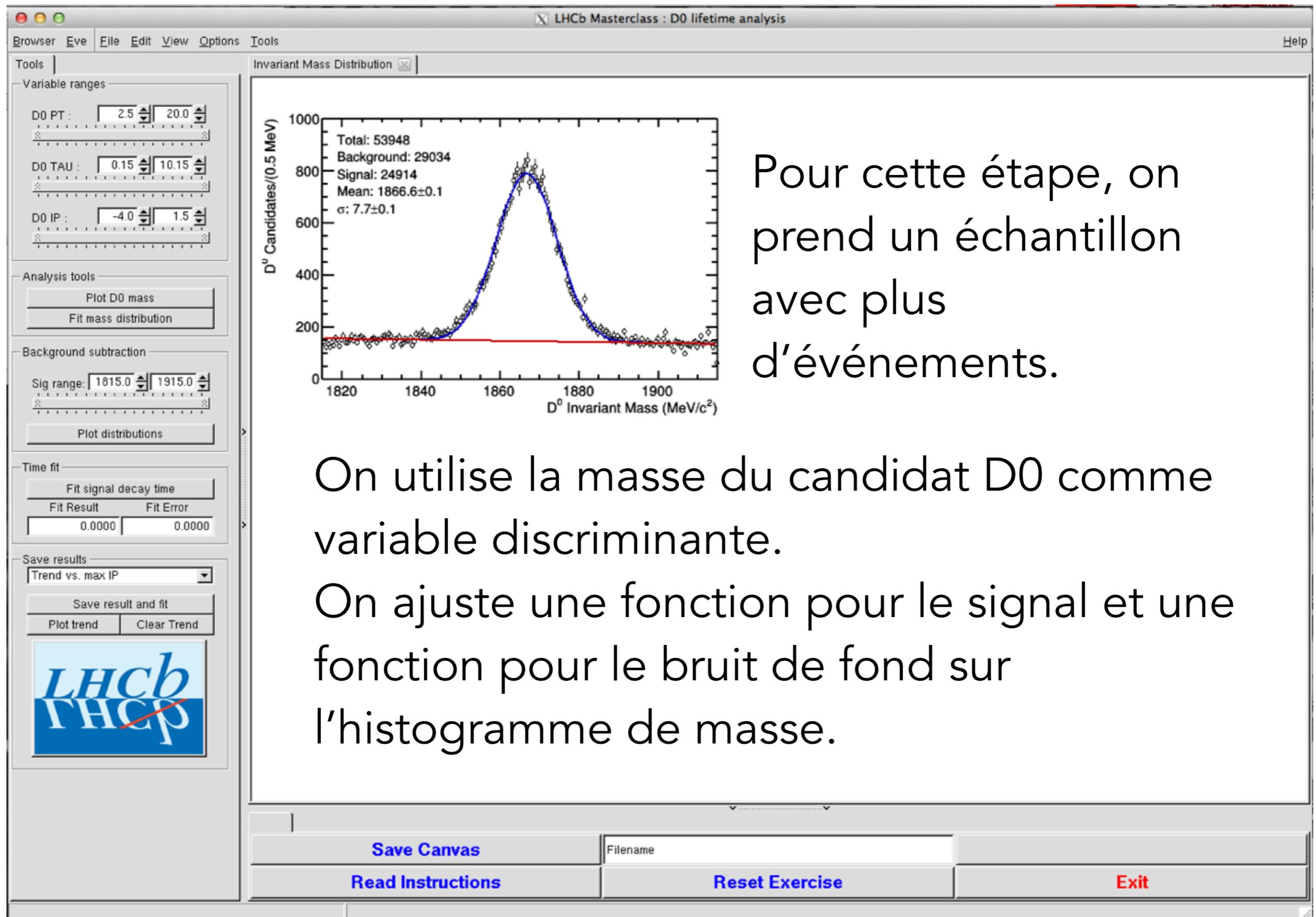
Zoom sur un évènement complexe



2) REMPLIR L'HISTOGRAMME DE MASSE



3) SÉPARER LE SIGNAL DU BRUIT DE FOND



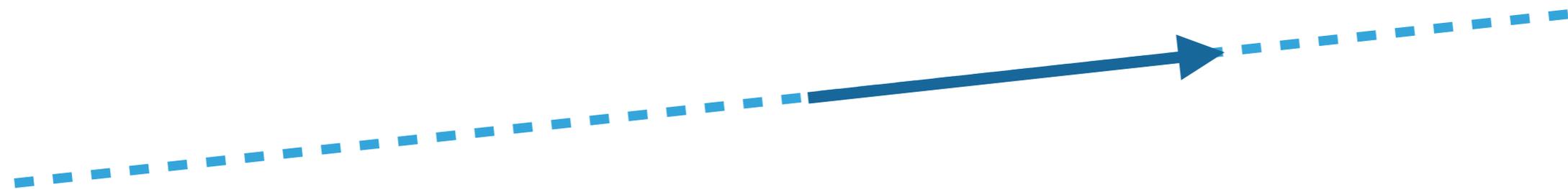
Pour cette étape, on prend un échantillon avec plus d'événements.

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

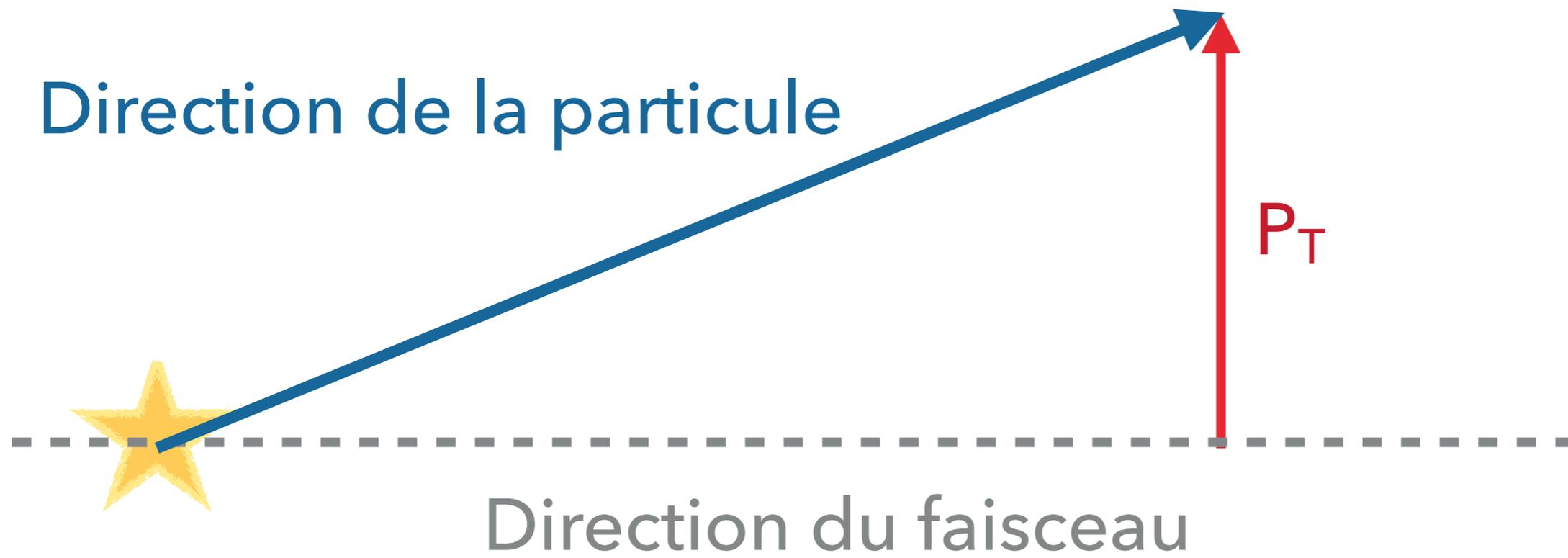
Direction de la particule



Paramètre d'impact



Impulsion transverse



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

LHCb Masterclass : D0 lifetime analysis

Tools | Invariant Mass Distribution

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 1885.0

Plot distributions

Time fit

Fit signal decay time

Fit Result	Fit Error
0.0000	0.0000

Save results

Trend vs. max IP

Save result and fit

Plot trend Clear Trend



D0 Invariant Mass (MeV/c²)

D⁰ Candidates/(0.5 MeV)

Total: 53948
Background: 29034
Signal: 24914
Mean: 1866.6±0.1
σ: 7.7±0.1

D⁰ P_T (GeV/c²)

D⁰ Candidate Fraction

D⁰ τ (ps)

D⁰ Candidate Fraction

log₁₀(D⁰ IP)

Background

Signal

Save Canvas

Read Instructions

Reset Exercise

Exit

Filename

5) TROUVER LE TEMPS DE VIE !

LHCb Masterclass : D0 lifetime analysis

Tools | Invariant Mass Distribution | Lifetime fit

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



D⁰ Candidate Fraction

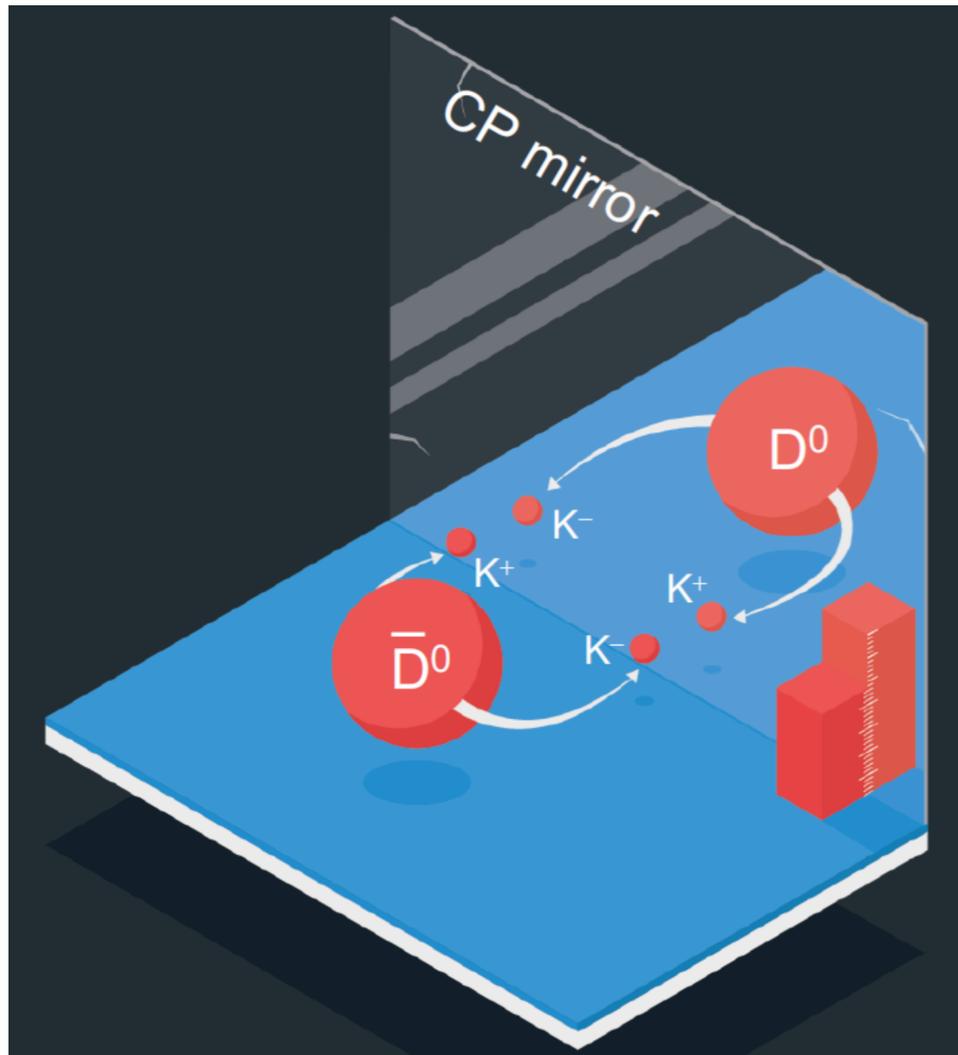
D⁰ lifetime 0.4720 ± 0.0043 (ps)

D⁰ τ (ps)

Save Canvas | Filename | 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 3 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 D⁰!



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. Kastellar Juan T. Kastellar Daniel Castellar Contreras Alejandro Villegas
Like · Reply · Message · 1d

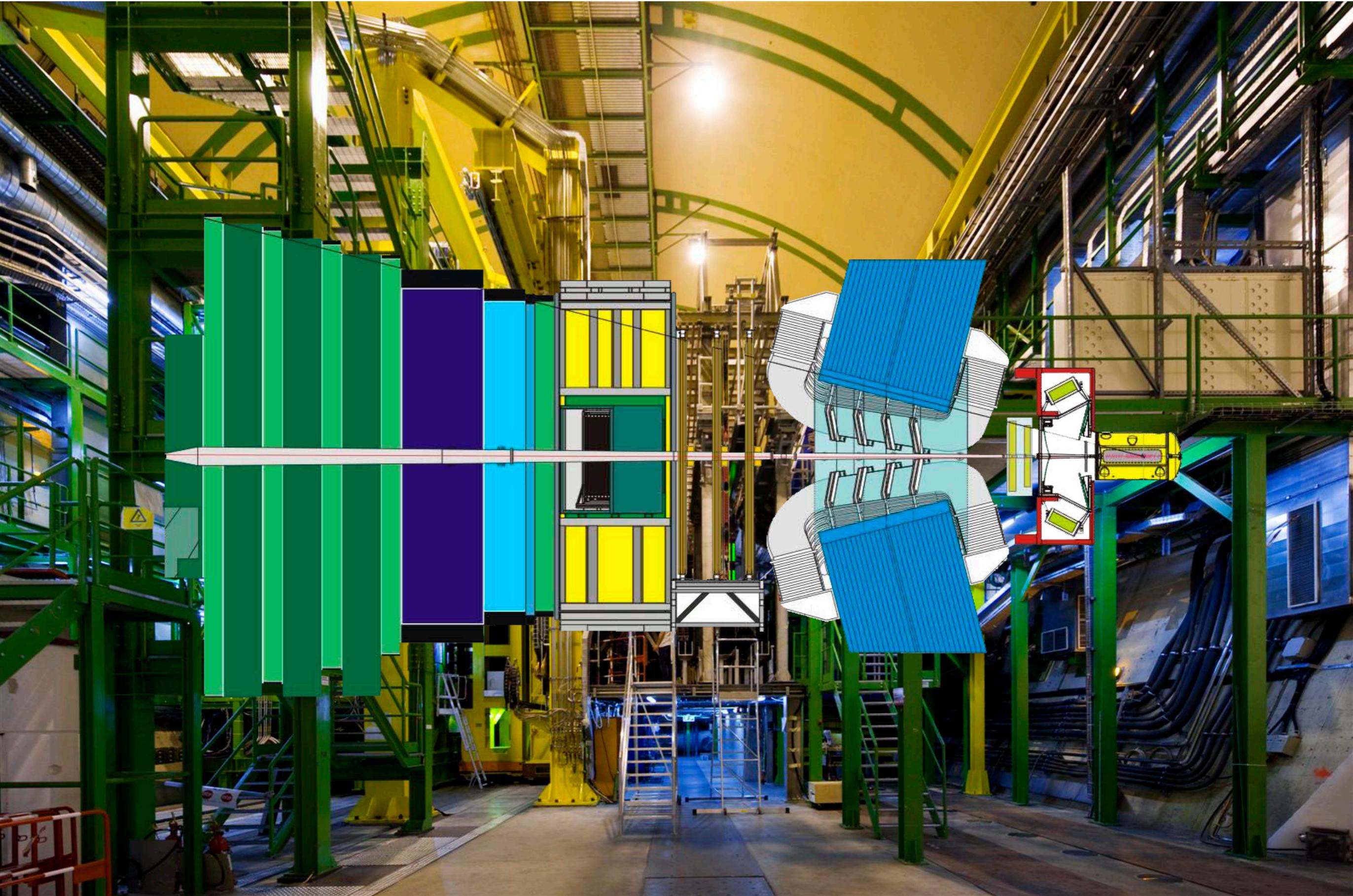
Write a comment...



À VOUS DE JOUER !







- ▶ Vous avez chacun un numero de poste (Exemple: 3)
- ▶ User: imc3
- ▶ Password: imc3\$
- ▶ Ouvrez le navigateur et cliquez sur le favori "LHCb Masterclass"
- ▶ Indiquez un prénom, nom, votre classe, 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 $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
- ▶ Cliquez sur "Download json" en bas à gauche de l'écran et renommez le fichier "calculated_masses_3.json", puis sauvegardez-le dans le dossier "/home/LHCb/"