

**Tout ce qu'il faut
savoir pour l'exercice
LHCb Masterclass**

Morgan MARTIN, CPPM

Introduction

Le LHC donne accès aux plus grandes énergies atteignables (de nos jours et sur Terre) et permet de sonder la matière afin de comprendre de quoi été constitué l'Univers à sa naissance.

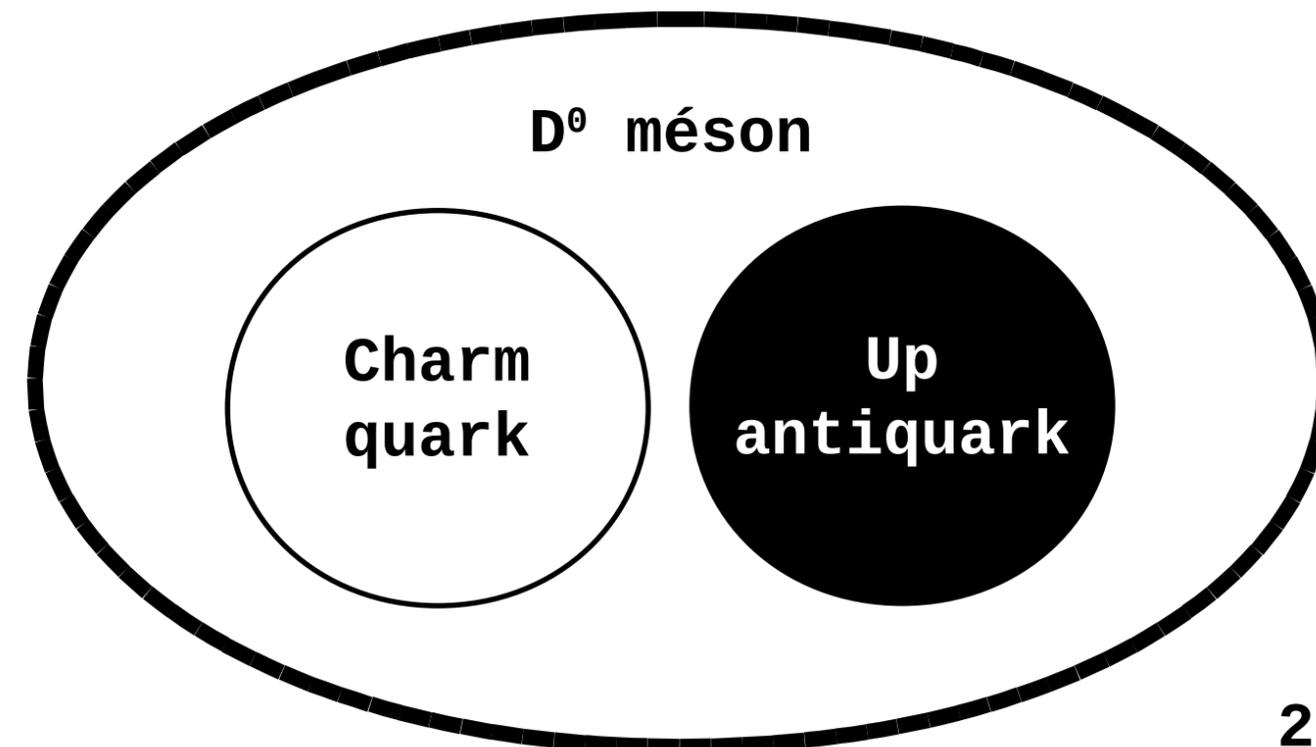
Il produit une énorme quantité de particules dont une majorité ne proviennent pas de désintégration intéressantes.

Travail du physicien des particules :

- Trouver des évènements intéressants (signal) parmi une multitude d'évènements (bruit de fond),
- Analyser ces évènements pour accéder à leurs propriétés.

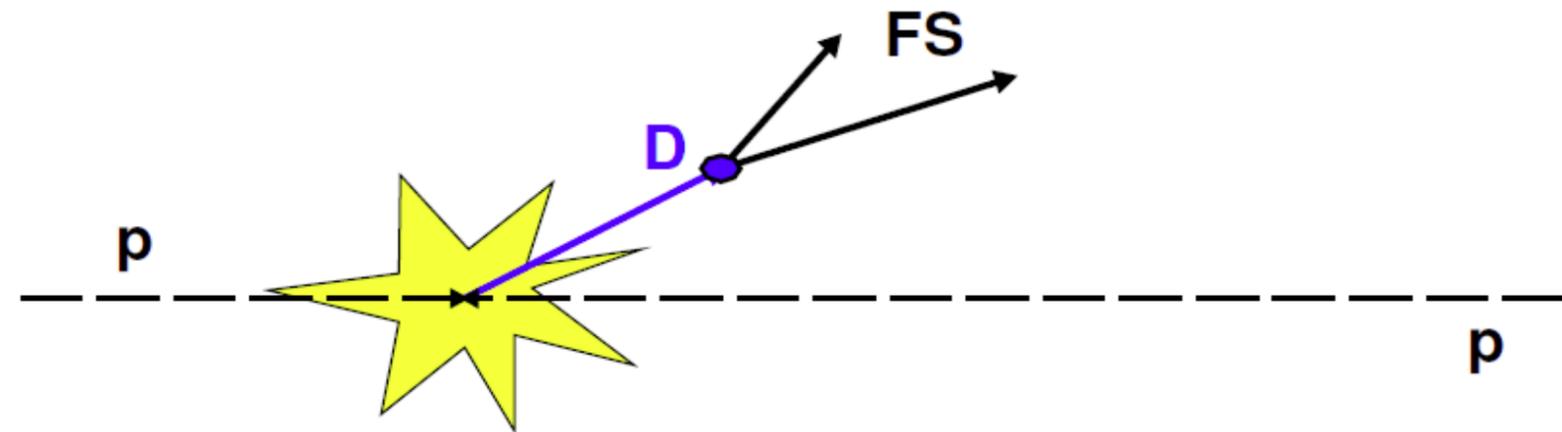
Aujourd'hui vous allez reproduire le travail d'un physicien des particules en étudiant des collisions de protons enregistrées en 2011 par LHCb!!!

BUT ? Trouver et étudier des D^0 !!!



Introduction

Qu'est-ce qu'un D^0 ?
Pourquoi un D^0 ?

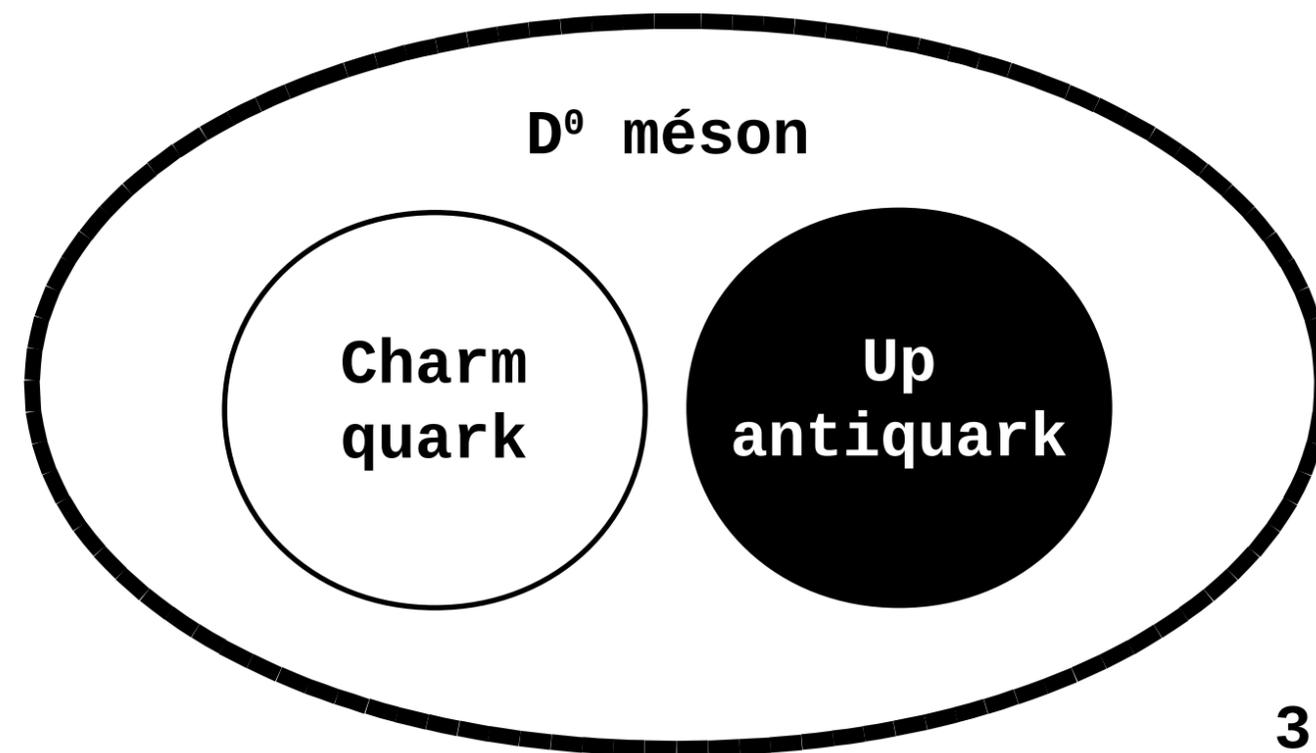


Edifice composé d'un quark charme (c)
et d'un antiquark up (u) de temps de vie long.

Peut se désintégrer en deux particules de masses plus petites :
 $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$

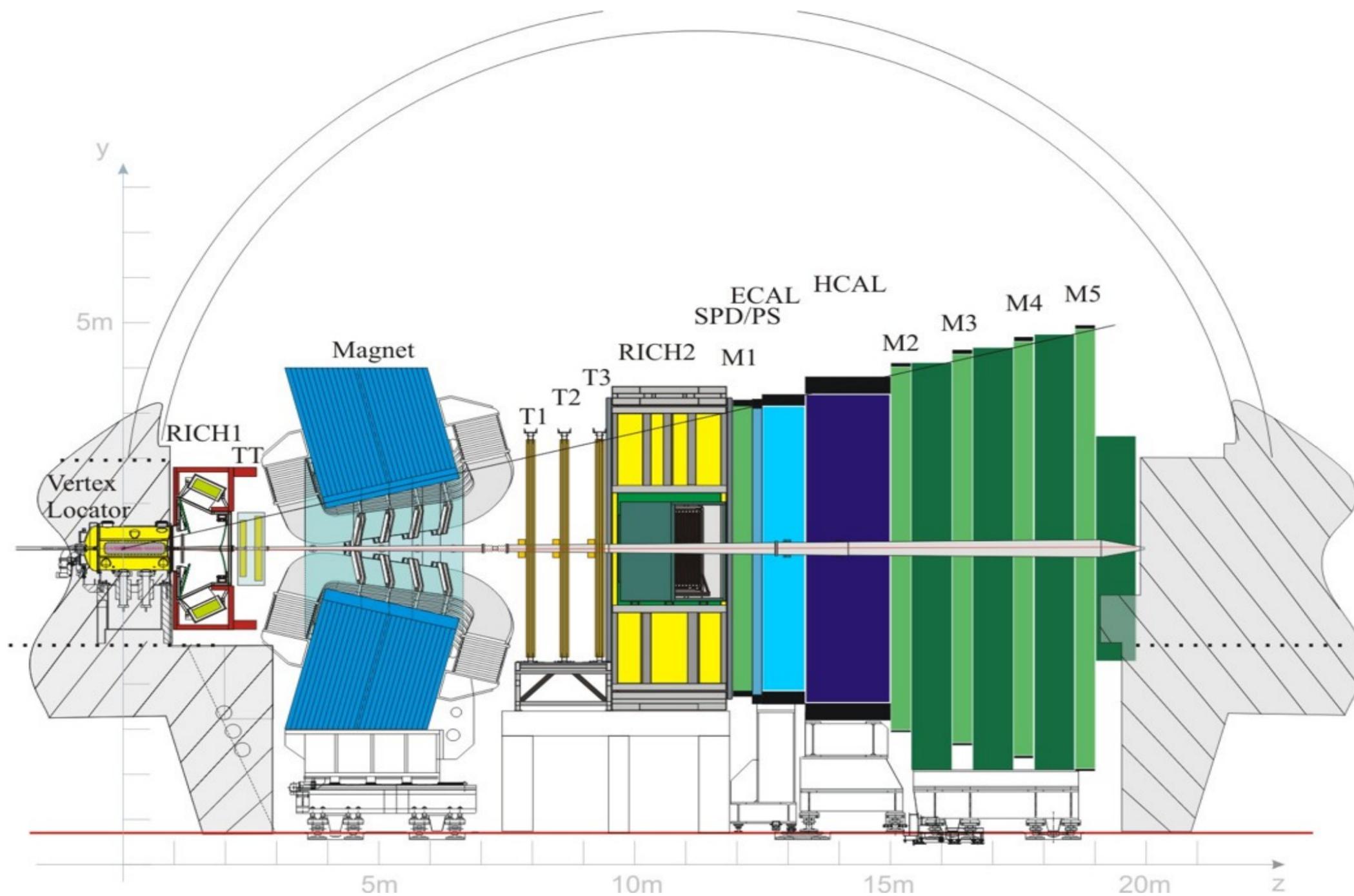
Où K^- kaon constitué des quark s et u
et π^+ pion constitué des quark u et d

Visible par les trajectographes de LHCb !



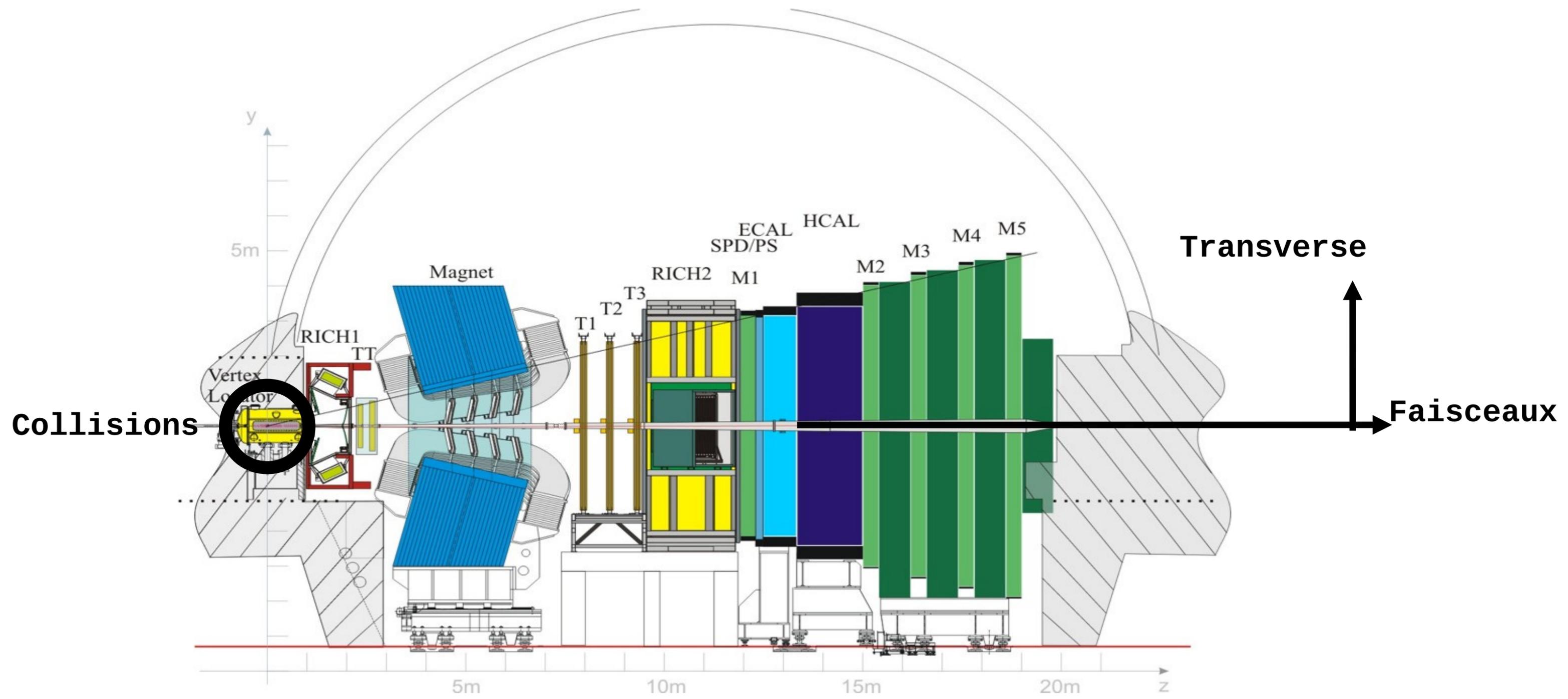
LHCb @ LHC

Comment trouver un D^0 ?



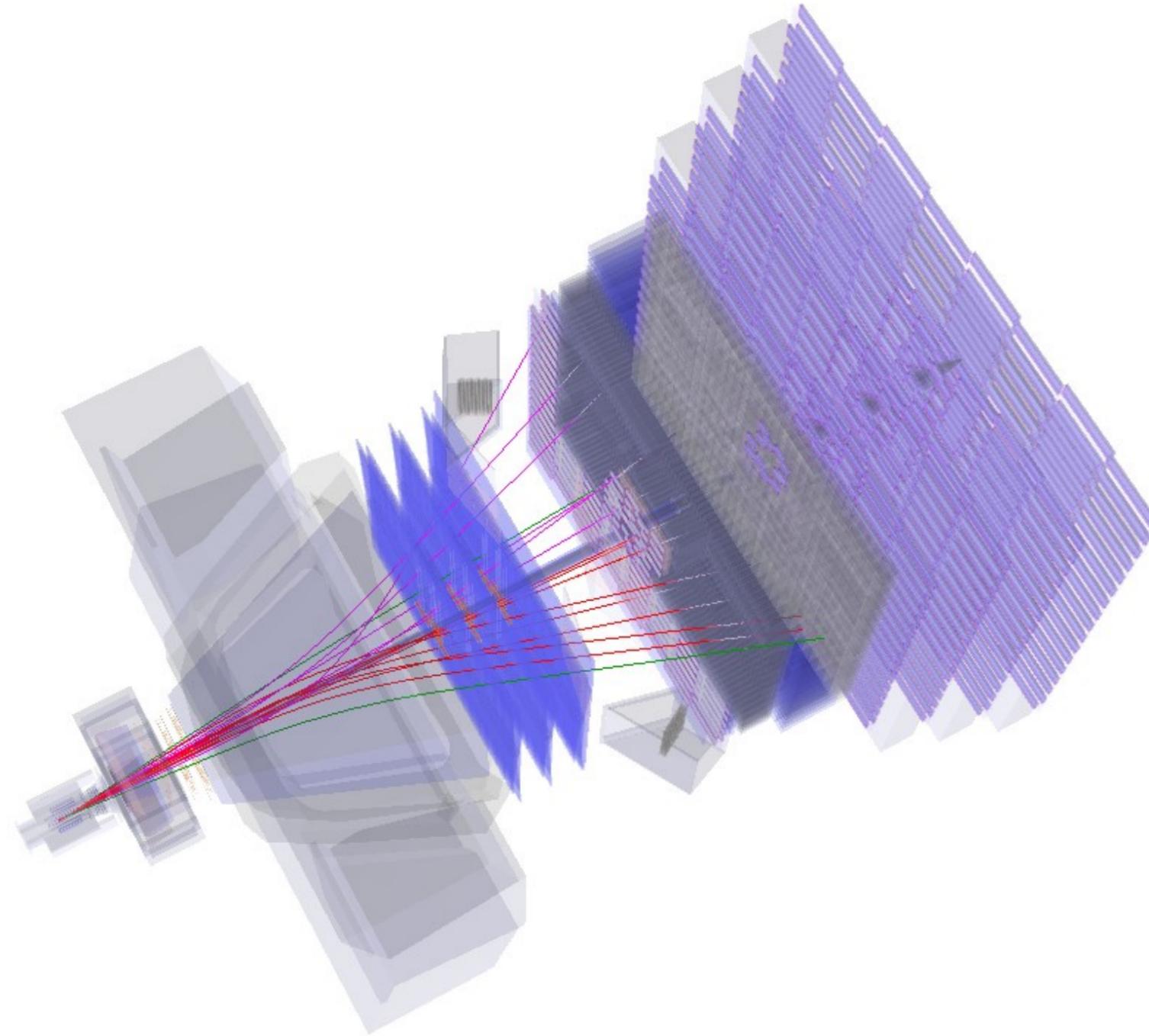
LHCb @ LHC

Comment trouver un D^0 ?



p_T = Impulsion ($m \cdot v$) Transverse

Display



LHCb est un détecteur vers l'avant où l'on peut observer des vertex déplacés par rapport au point de collision.

Le framework d'analyse

The screenshot shows the 'Eve Main Window' interface. On the left is the 'Event Control' panel with sections for Start (Combination 1, Validate, Help, Exit), View (Zoom, Pan, Hide Geometry, Transparency), Event manager (Event number: 7, Previous, Next), Particle Info (Name, Mass, E, q, chi2, px, py, pz), My Particles (Calculate, Delete, Mass), Histogram (Add, Draw, Save Histogram), and Legend (K-, K+, pi-, pi+, D0). The main area is titled 'Help' and contains several instructional panels:

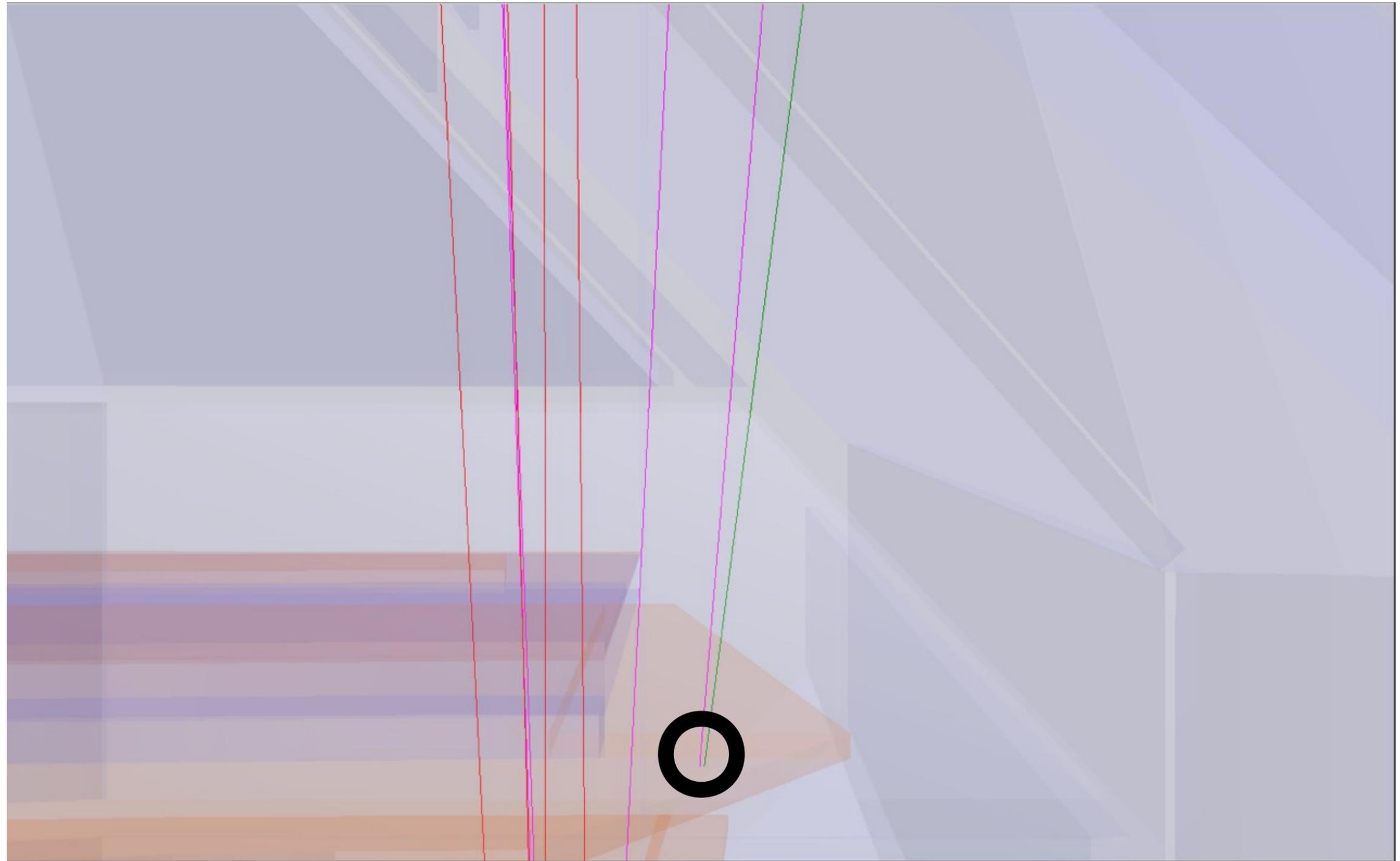
- Zoom gives you closer look at collision:** Shows a zoomed-in view of particle tracks.
- Click on the track to find out about particle properties:** Shows a track with a mouse cursor pointing to it.
- Carefully choose particles you want to save, because out of them you get a new mass which might not be right!**
- Add and Draw your results on histogram. Don't forget to save histogram when you finish!**

Annotations on the right side of the interface:

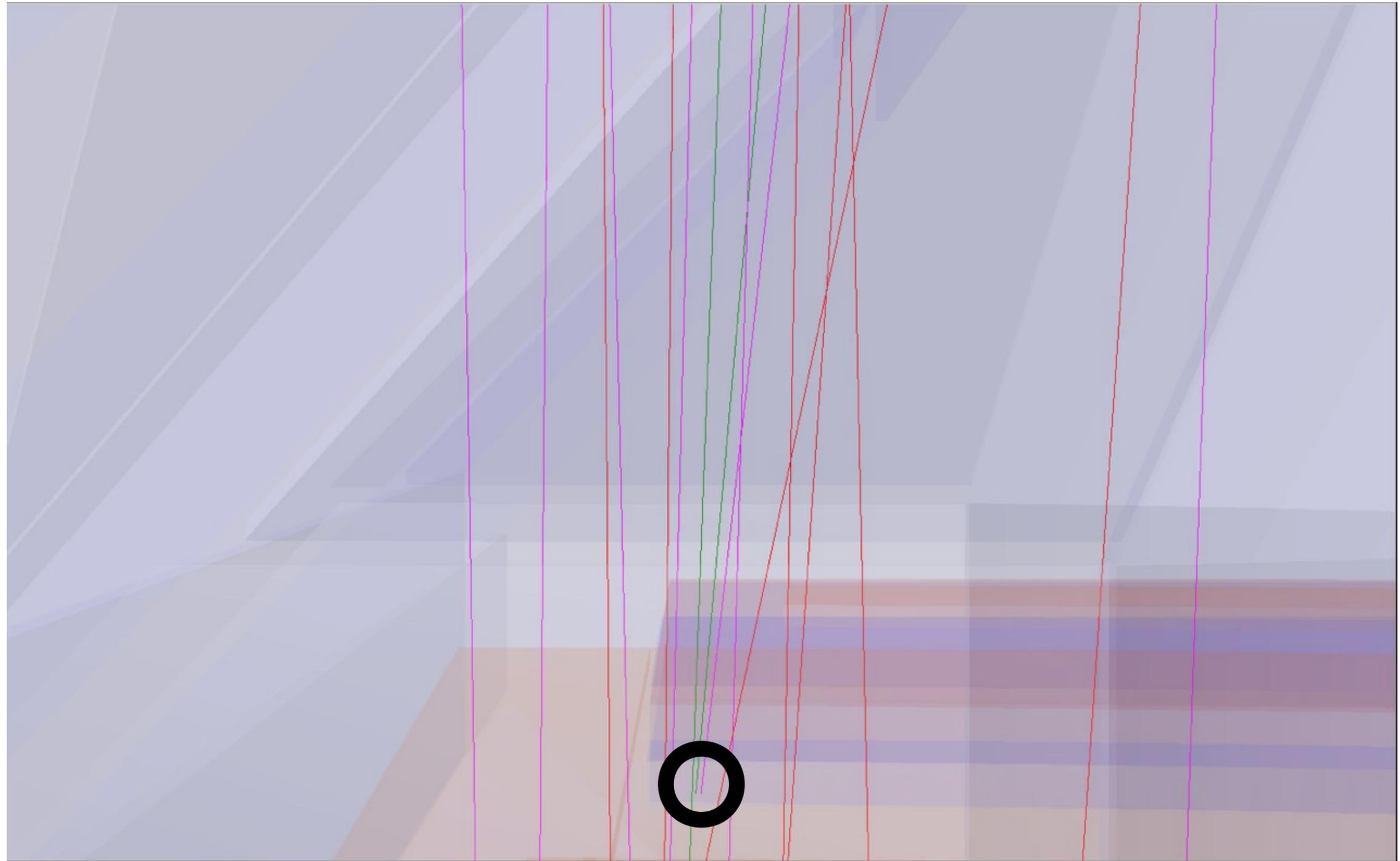
- View:** Includes icons for Zoom, Pan, and Hint, and checkboxes for Hide Geometry and Transparency.
- Event manager:** Shows Event number: 3 and navigation buttons.
- Particle Info:** A table of properties for a selected particle (pi+):

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:** Shows 'My particle: K-', 'My particle: pi+', 'Calculate', 'Delete', and 'Mass: 1821.14'.
- Histogram:** Shows 'Add', 'Draw', and 'Save Histogram' buttons.
- Fullscreen:** Shows the full view of the LHCb detector and particle tracks.
- Hint:** Shows a hidden D0 and its children.
- Transparent view:** Shows a better look at particle tracks and the LHCb detector.
- Hide Geometry:** Shows the detector geometry hidden to reveal all particle tracks.

Un événement facile



Un événement moins facile



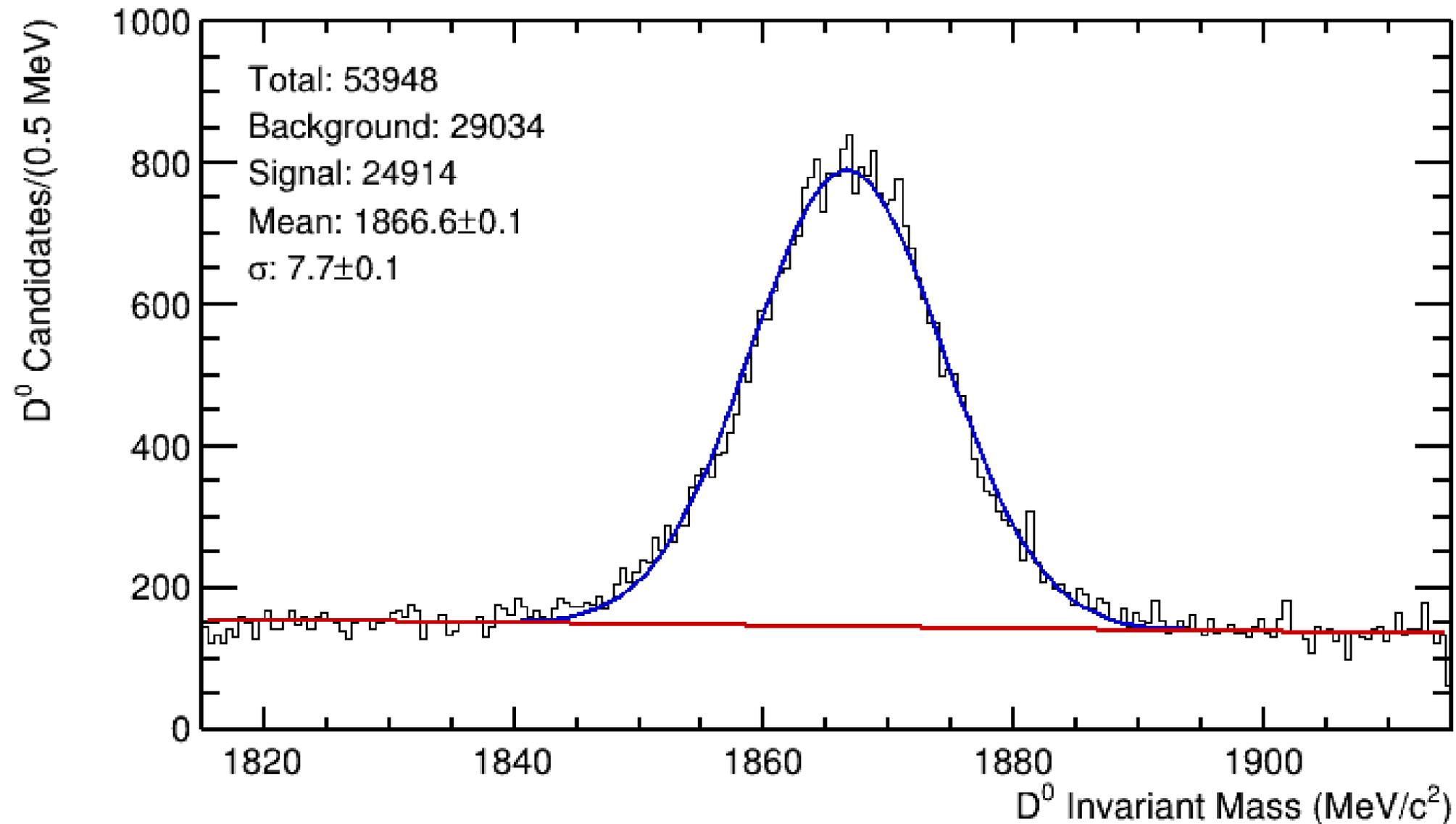
Histogramme

- Que représente-t-il ?
- Que voyez vous ?
- Combien d'événements avez-vous reconstruits ?
- Combien d'événements correspondent à des désintégrations de D^0 ?

Histogramme

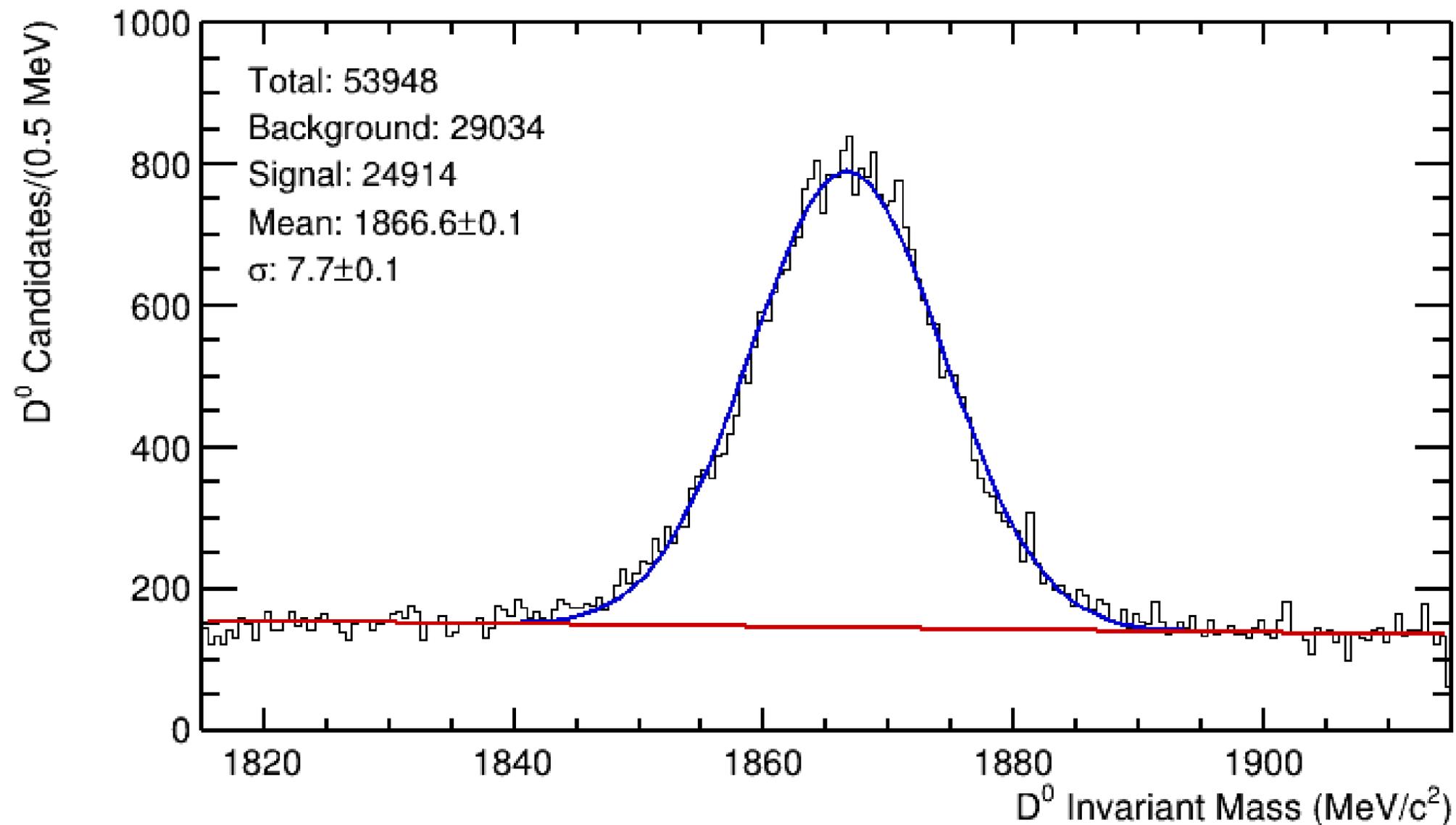
- **Que représente-t-il ?**
Histogramme des masses des vertex déplacés calculés à l'aide de la relativité restreinte
- **Que voyez vous ?**
L'effet de la résolution du détecteur sur la masse et la présence de signal et de bruit de fond
- **Combien d'événements avez-vous reconstruits ?**
Au moins 30 !!
- **Combien d'événements correspondent à des désintégrations de D^0 ?**
Avec un ajustement sur le signal et le bruit de fond on obtient une estimation du nombre d'événements provenant d'une désintégration de D^0

Ajustement d'un histogramme



Une fois fini de regarder et sélectionner les bons événements, on vous donne un échantillon plus grand de données.

Ajustement d'un histogramme

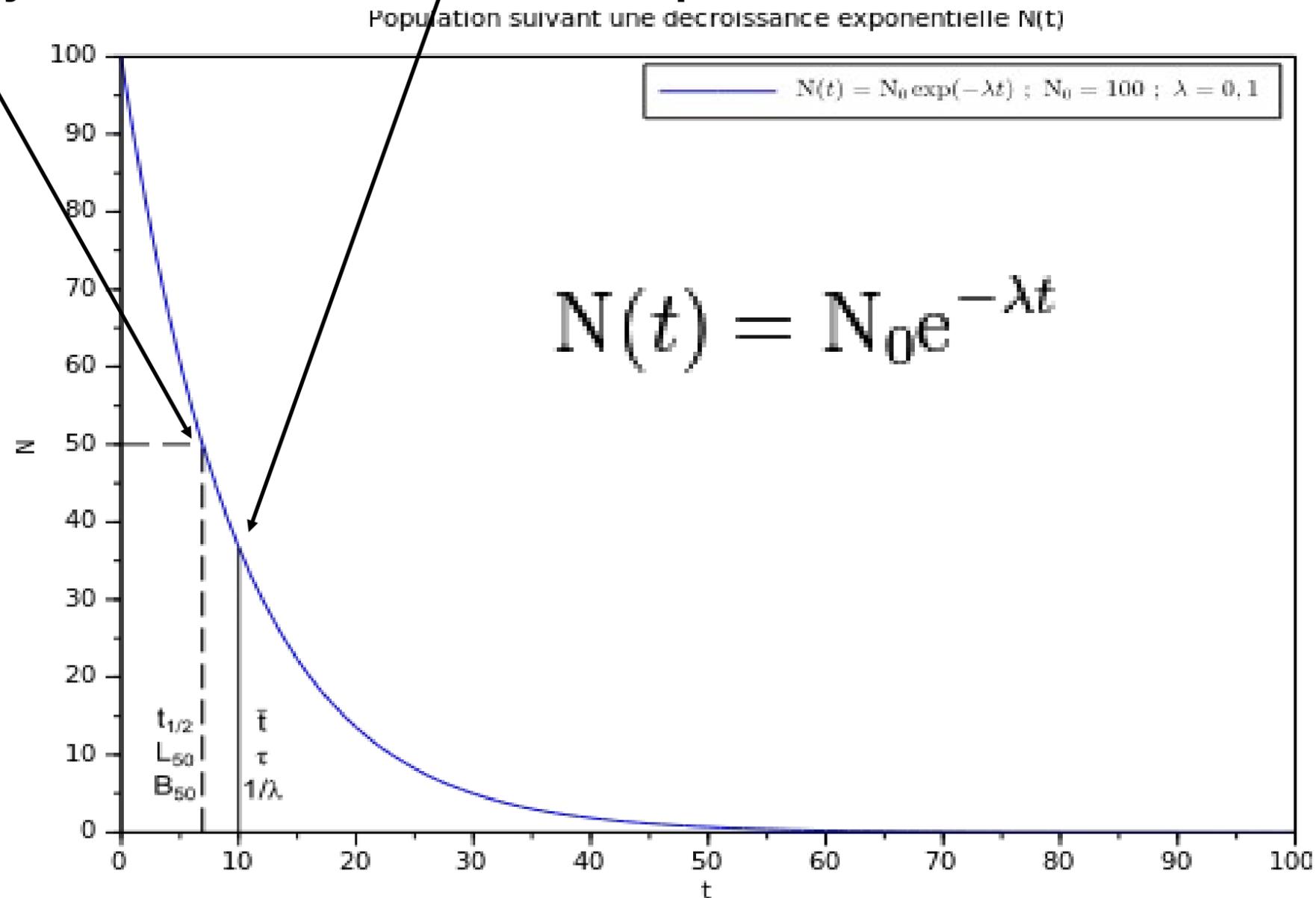


Analyser les candidat $D^0 \Rightarrow$ mesurer leurs temps de vie !

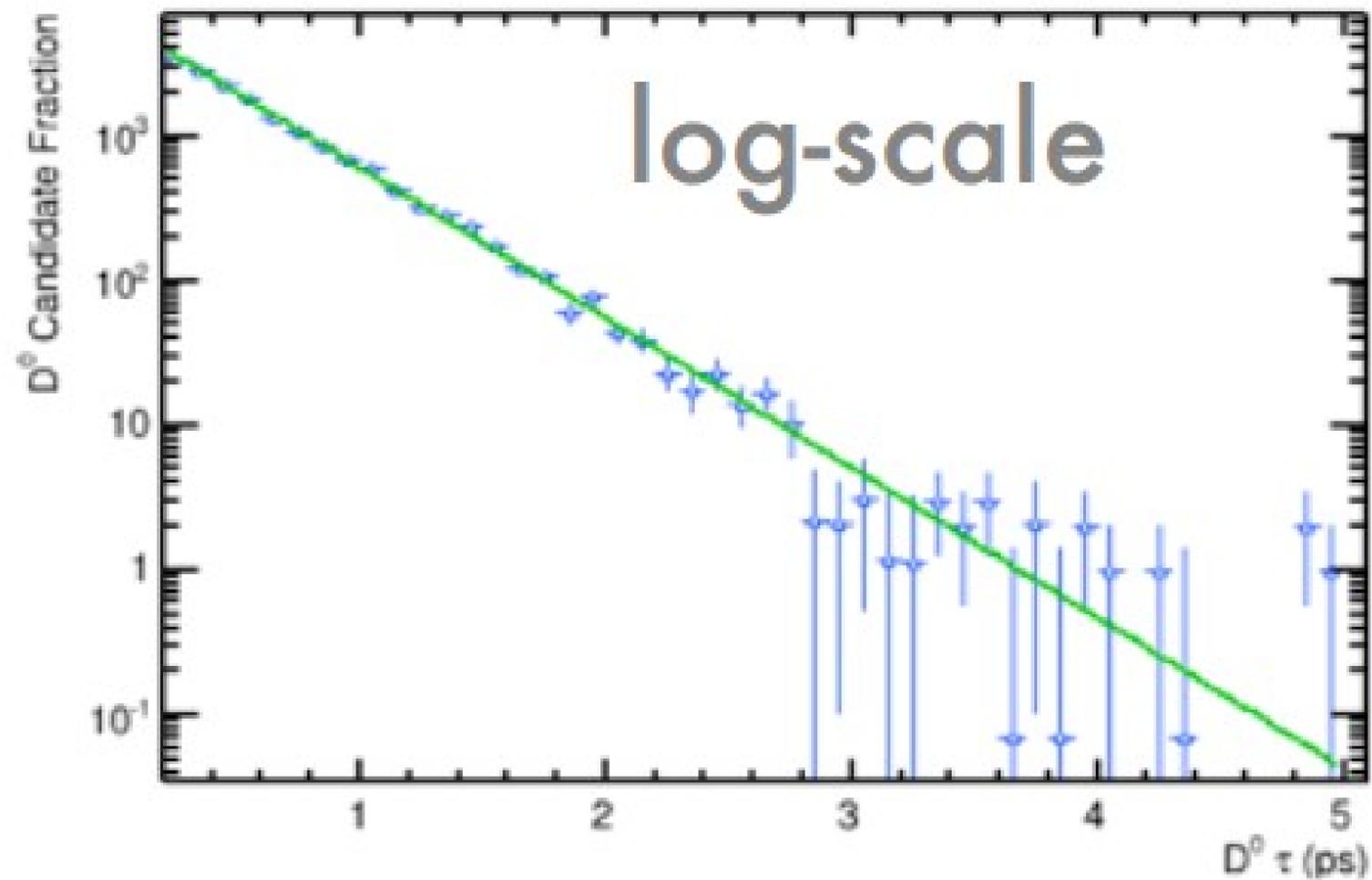
$$m(D^0) = (1864.84 \pm 0.07) \text{ MeV}$$

C'est quoi le temps de vie d'une particule?

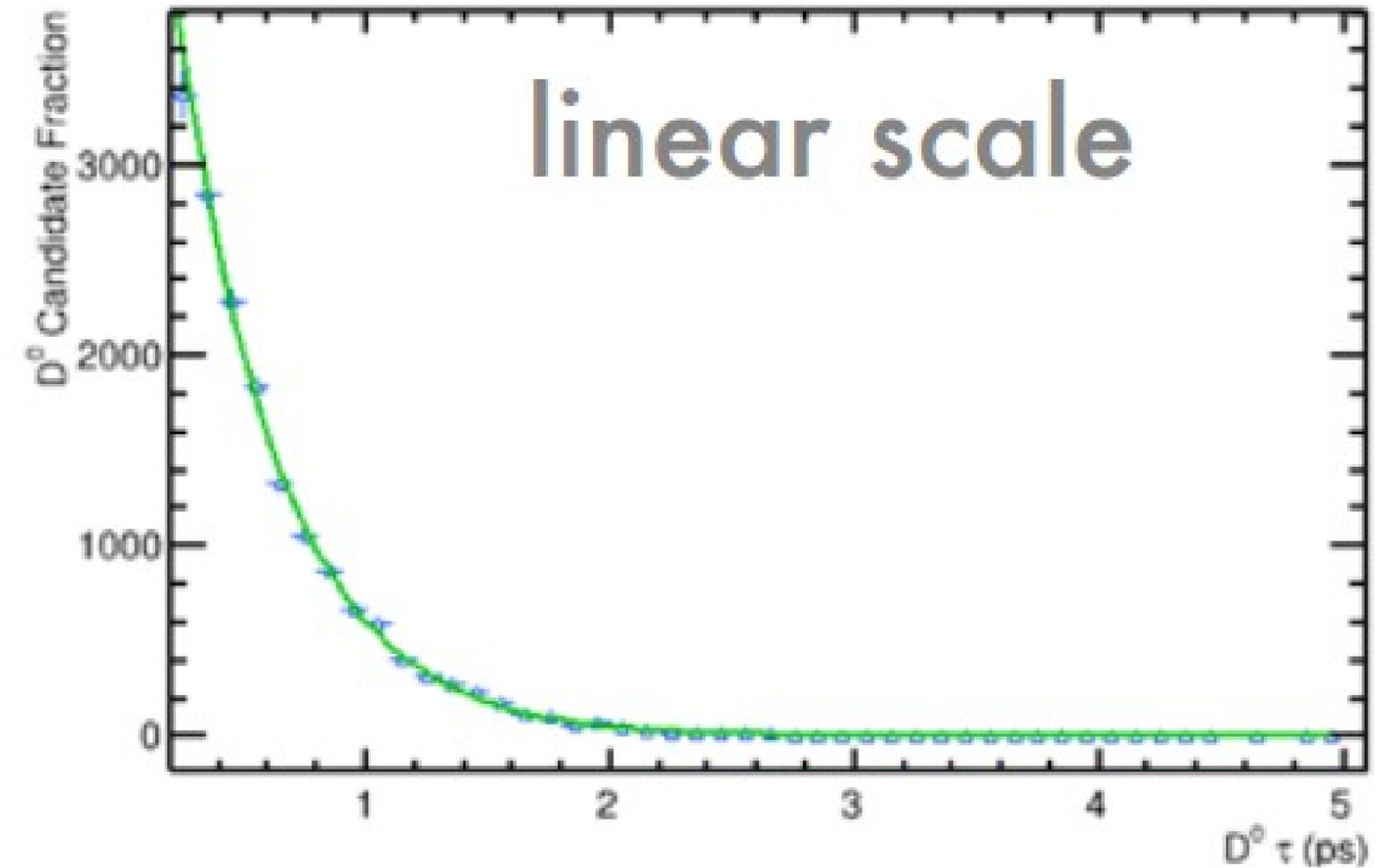
Demi-vie (médiane) et durée de vie moyenne (espérance = temps de vie) d'une population ayant une décroissance exponentielle.



C'est quoi le temps de vie d'une particule?

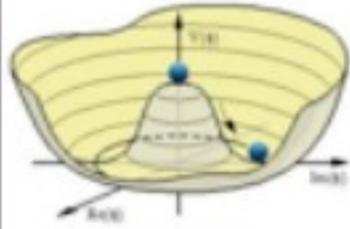


Echelle logarithmique

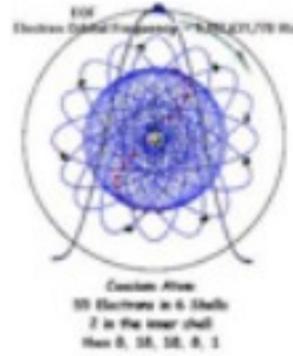


Echelle lineaire

L'univers en seconds...



Average lifetime
of a Higgs
boson
 $1.6 \cdot 10^{-22} \text{ s}$



$T=1/f$ of an
atomic clock
 10^{-10} s



Heart beats
once every 1 s

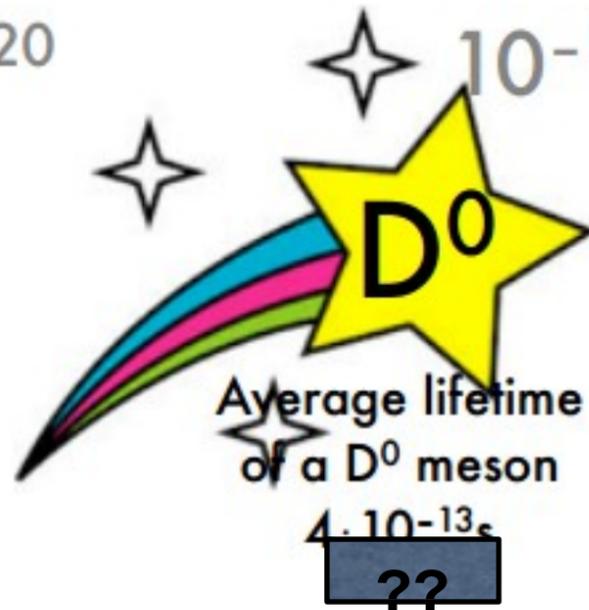


typical life-span
of a person
 $2.4 \cdot 10^9 \text{ s}$



extinction of
dinosaurs
 $2 \cdot 10^{15} \text{ s ago}$

10^{-20}



Average lifetime
of a D^0 meson
 $4 \cdot 10^{-13} \text{ s}$
??

10^{-10}



$T=1/f$ of a
piano string
 $4 \cdot 10^{-3} \text{ s}$

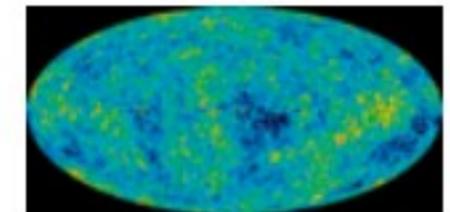
This talk: ca
 10^3 s

10^{10}



Last
Neanderthal
ca 10^{12} s ago

10^{20}



birth of the universe
 $4 \cdot 10^{17} \text{ s ago}$

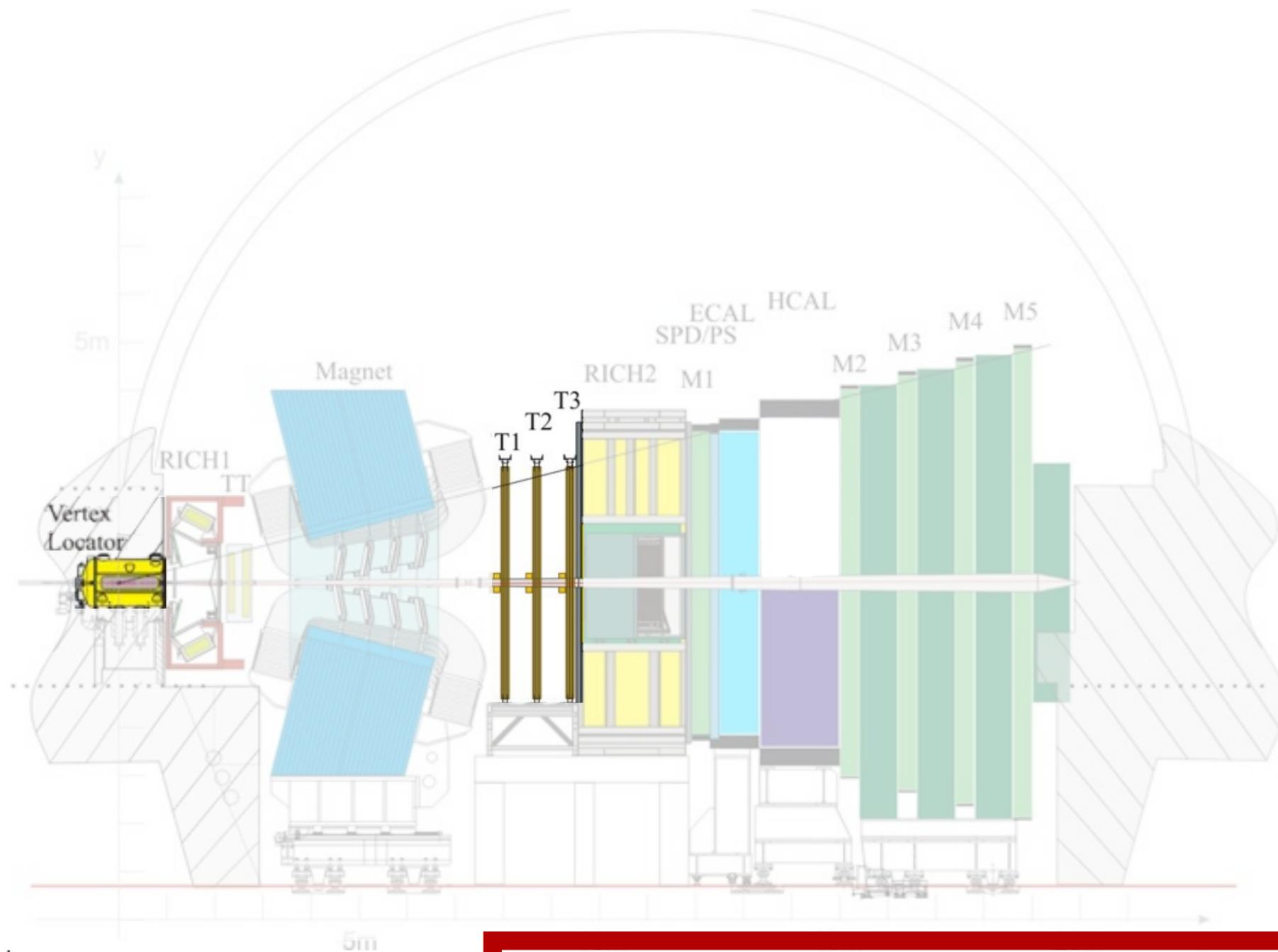
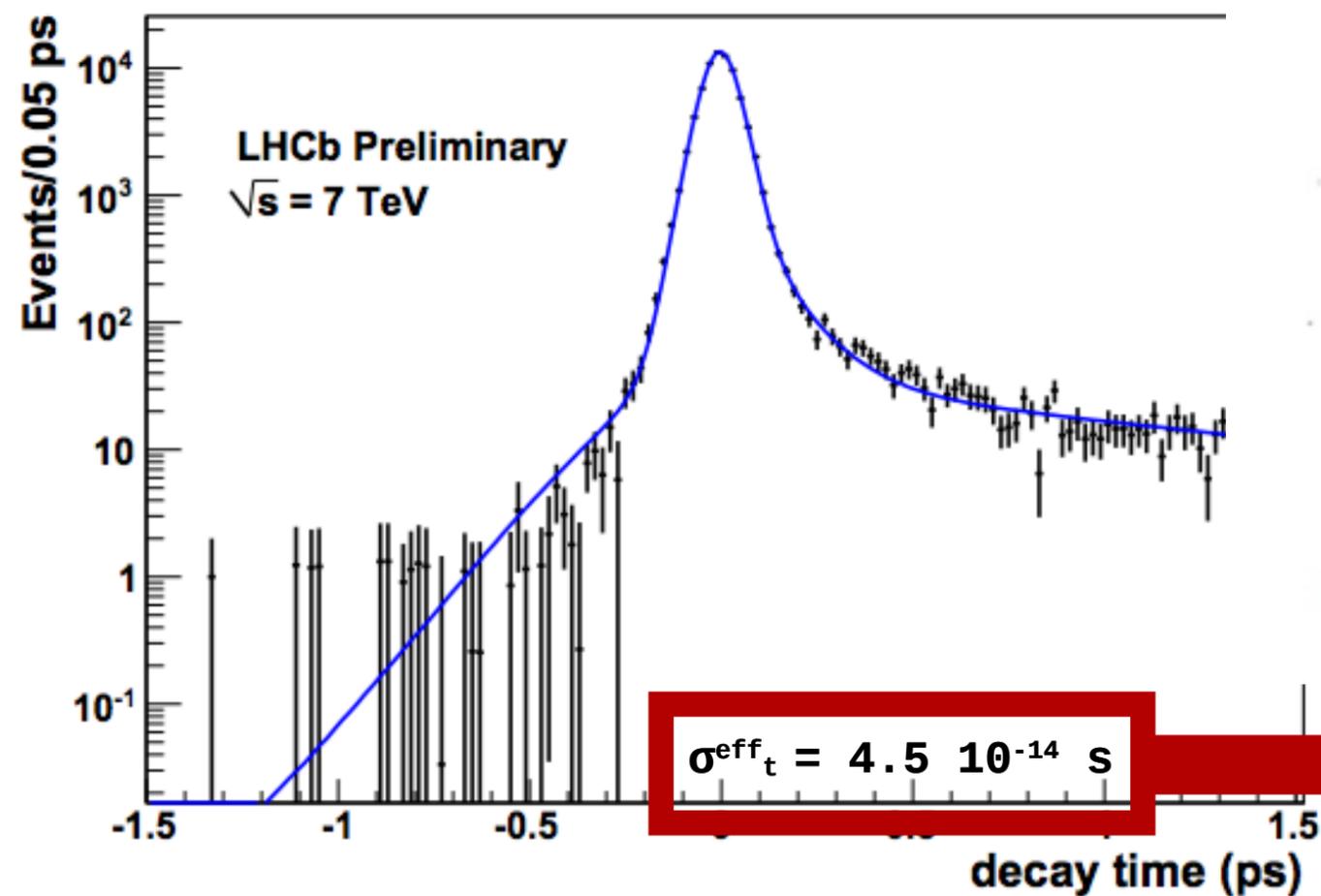


Des exemples de temps de vie

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

Une gamme très grande de temps de vie : vous allez mesurer un temps de vie très court...

LHCb : performance



On peut mesurer temps de vie si courts jusqu'à quelque $\sim 10^{-14}$ seconds...

Comment mesurons-nous un temps de vie court?

Par exemple considérons une particule qui vit 10^{-12} seconds

En moyenne elle va parcourir combien de trajet si elle voyage a la vitesse de la lumière?

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

Elle parcourra $3 \cdot 10^{-4}$ mètres, donc 0.3 mm

Ce n'est pas beaucoup. Heureusement le calcul est incorrect ! On a oublié la relativité restreinte, qui nous dit que la particule vit d'avantage a cause de la dilatation du temps

$$t' = t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Normalement une particule au LHC avec un temps de vie de 10^{-12} seconds parcourra 10 mm... Ce qui est énorme pour nous et donc assez pour pouvoir la mesurer !

Y a pas que du signal ...

On produit beaucoup de D^0 , mais

a) on peut pas reconstruire toutes leurs désintégrations

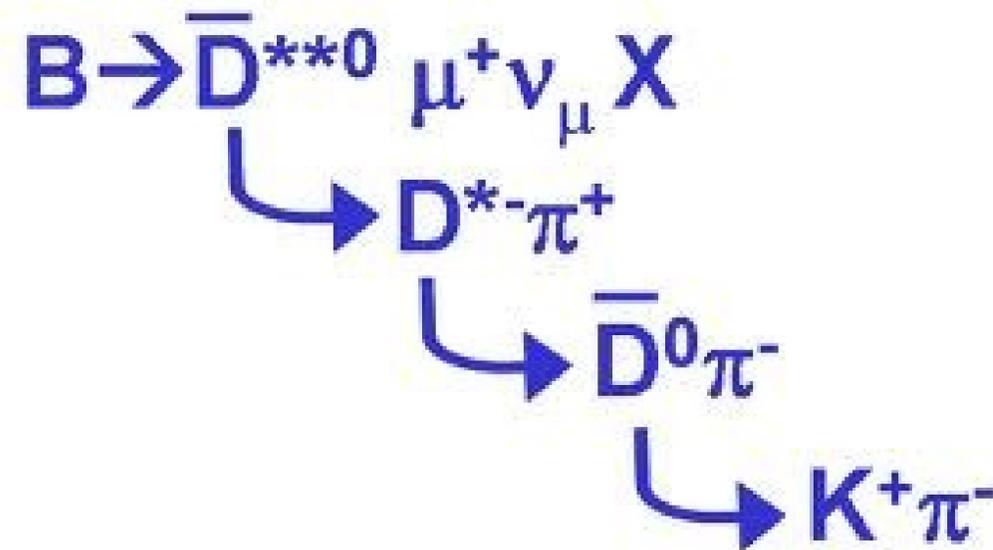
-Pour cette mesure vous ne reconstruisez que les D^0 qui se **désintègrent dans un pion et un kaon**

b) on a beaucoup d'autres particules qui sont produites et qui n'ont rien à voir avec le signal que vous voulez.

-Une combinaison incorrecte de deux particules est appelé **bruit de fond combinatoire**

c) Certaines particules plus lourdes que les D^0 peuvent aussi se désintégrer en D^0 (et d'autre particules) donnant lieu à du **bruit de fond physique**

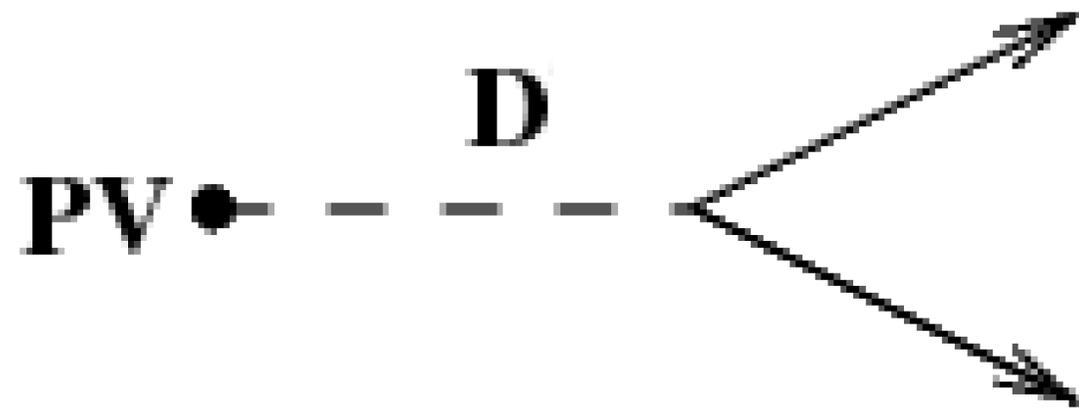
-le problème arrive lorsqu'elles ont un temps de vie aussi long que le D^0



Y a pas que du signal ...

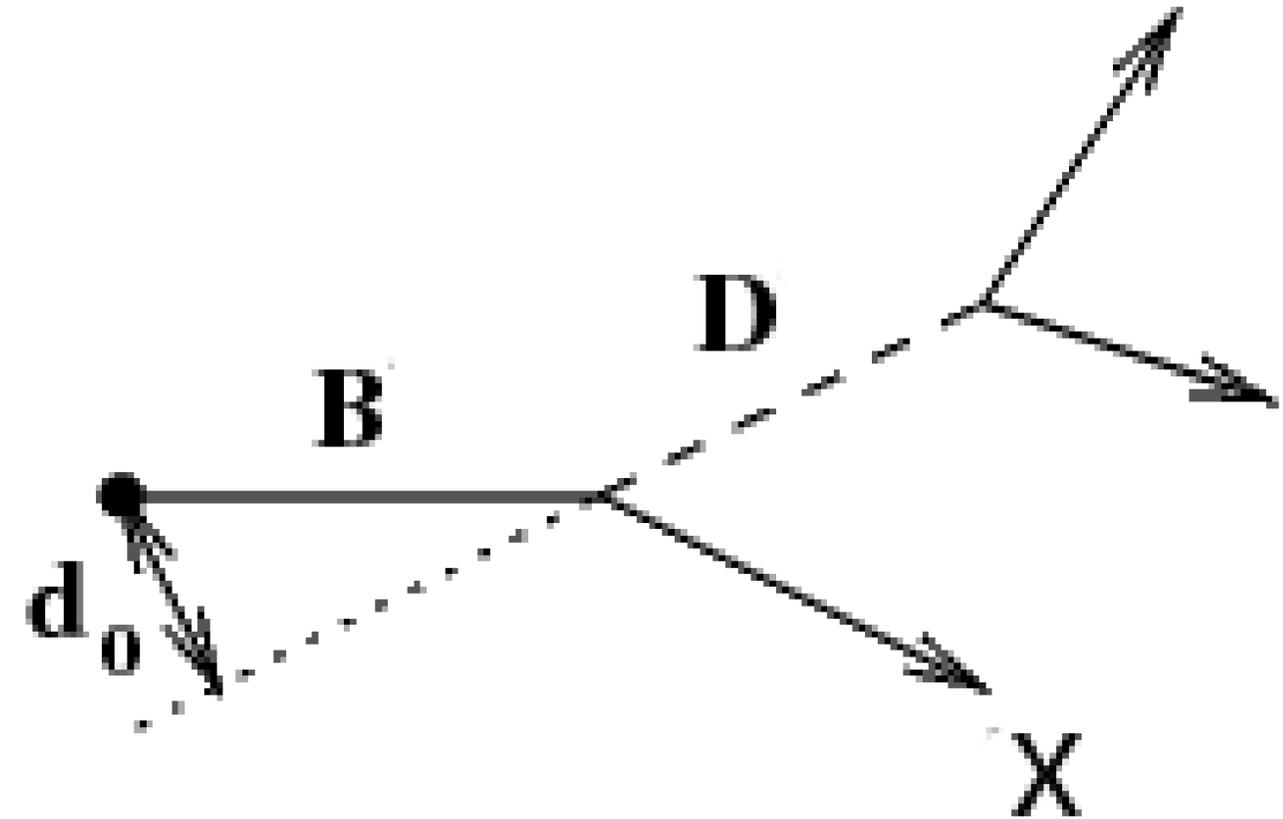
Direct Production

D points back to PV



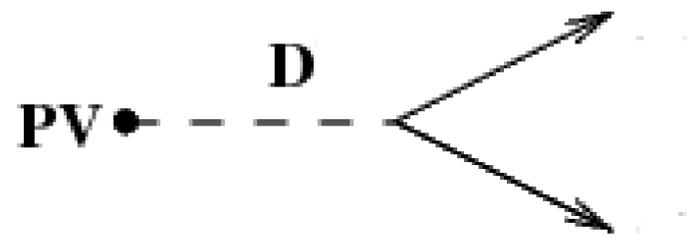
Secondary Production

D has finite impact parameter

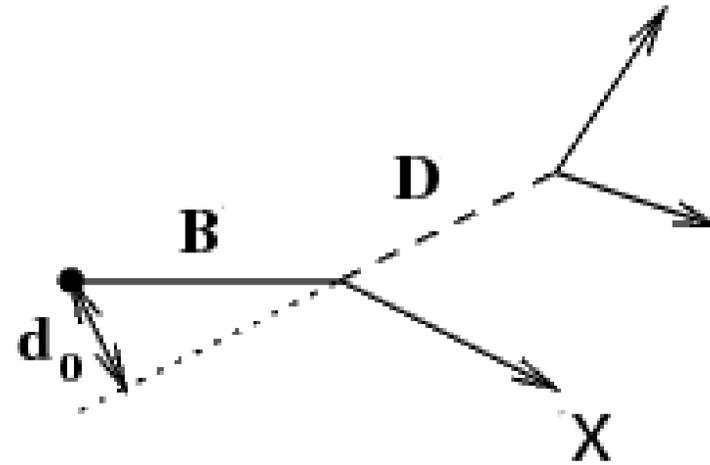


Y a pas que du signal ...

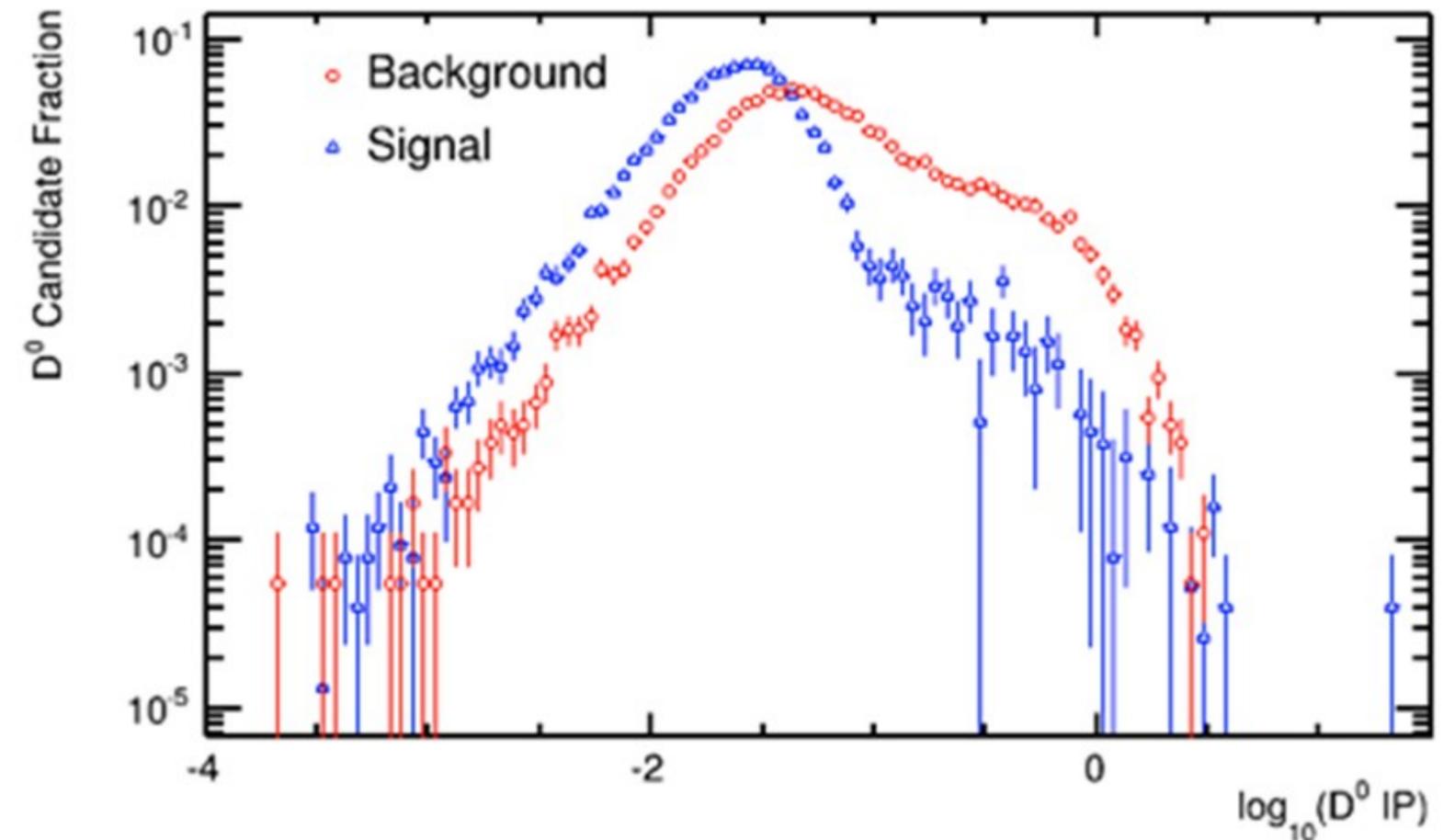
Direct Production
D points back to PV



Secondary Production
D has finite impact parameter



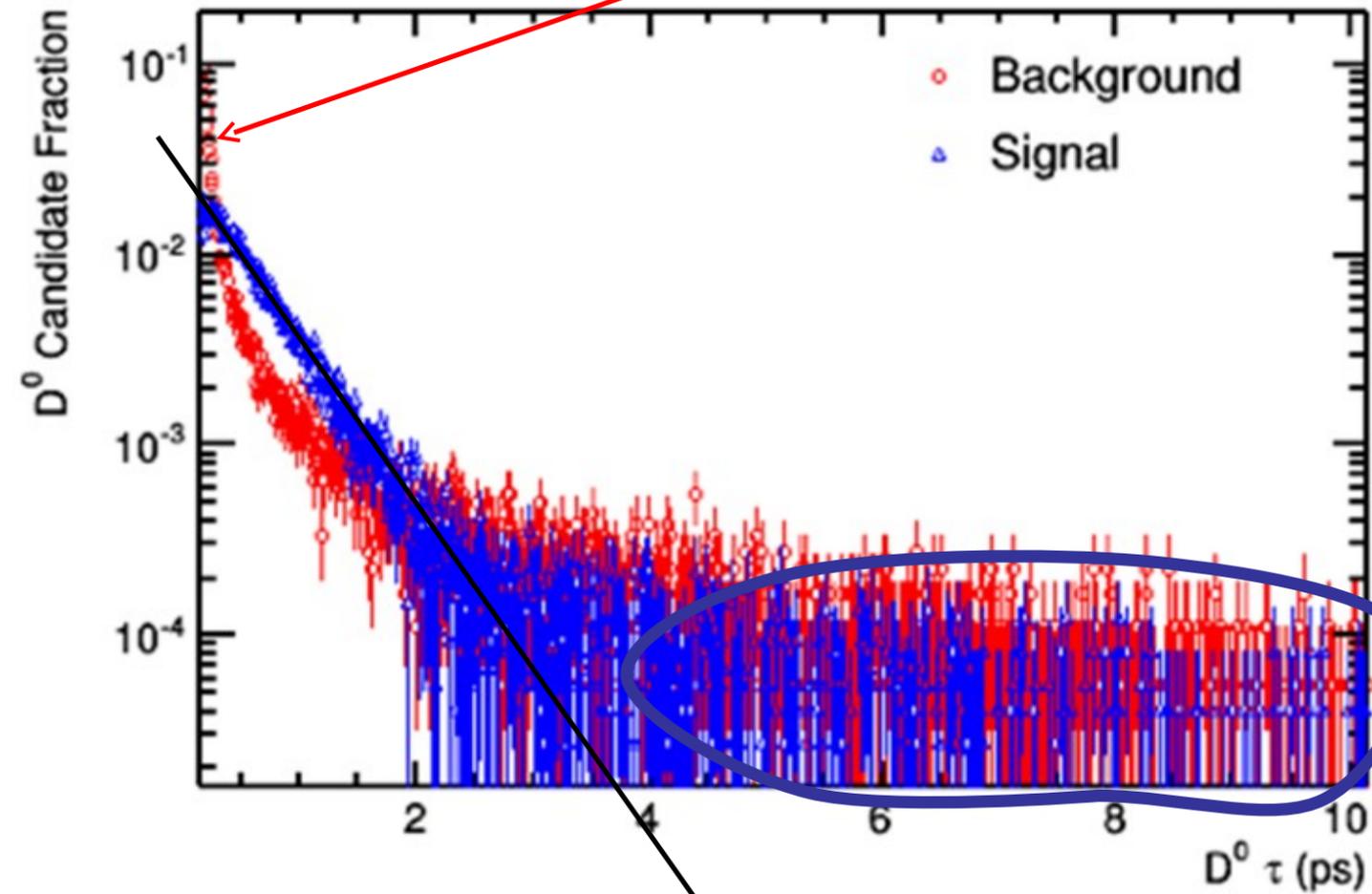
Bruit de fond physique



Interpreter les distributions

Temps de vie... ou presque

Bruit de fond combinatoire

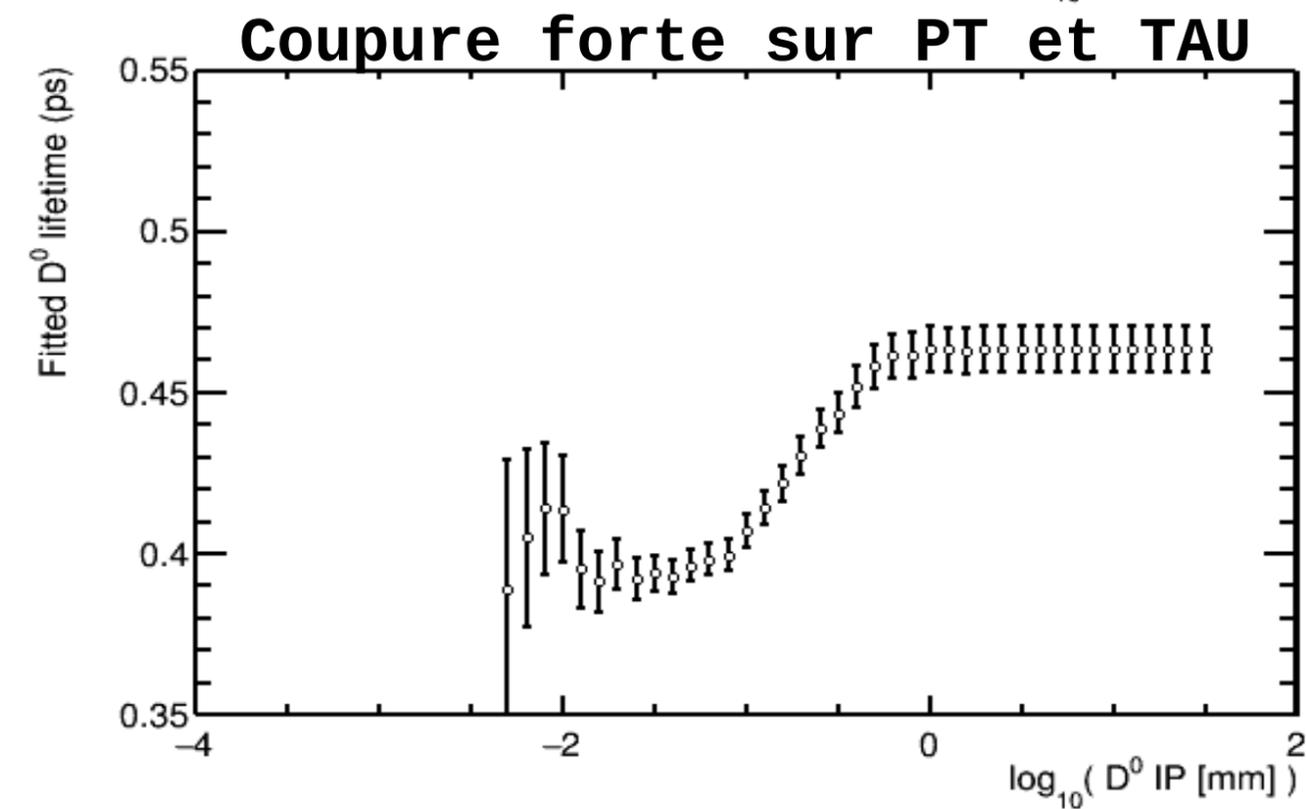
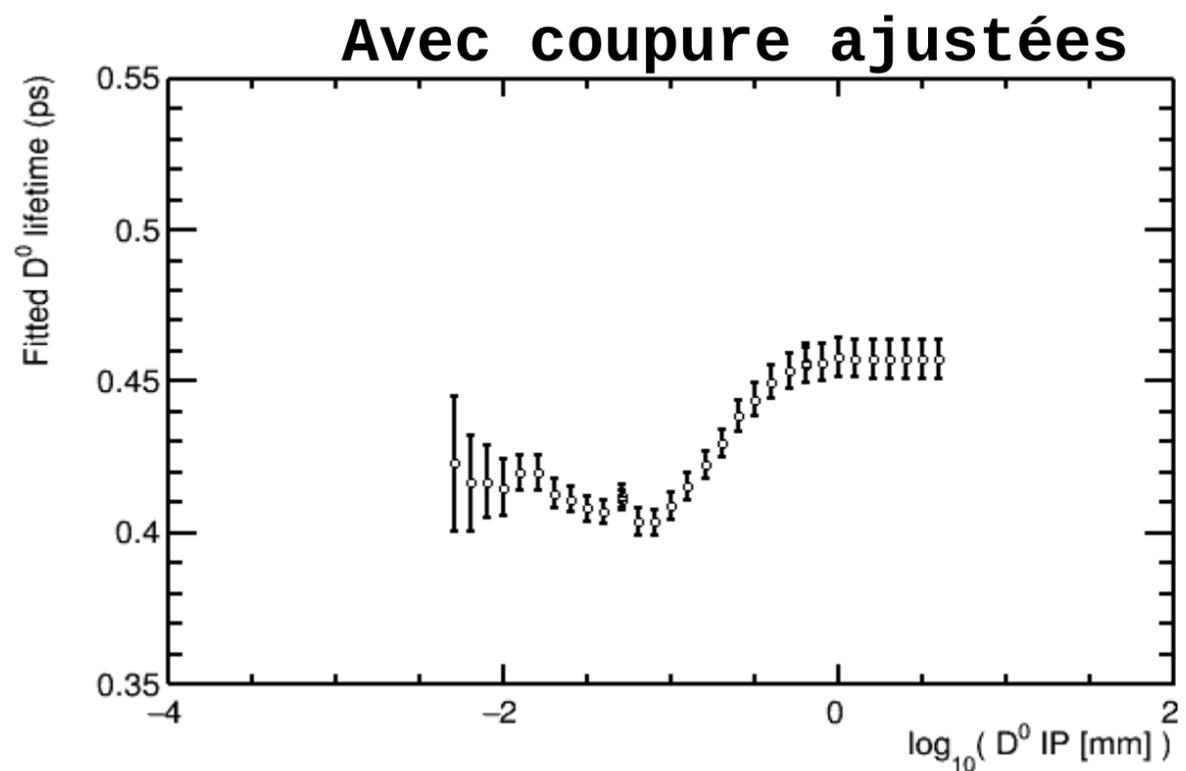
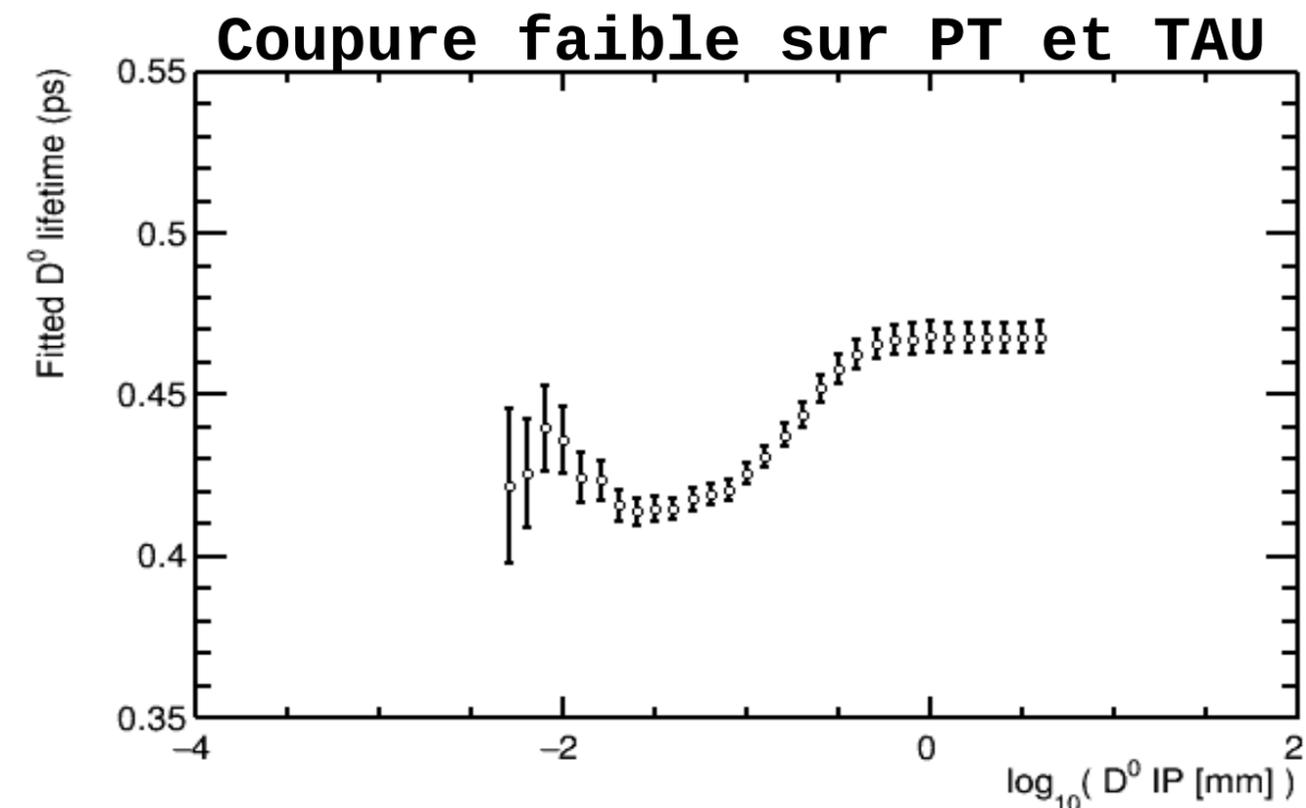
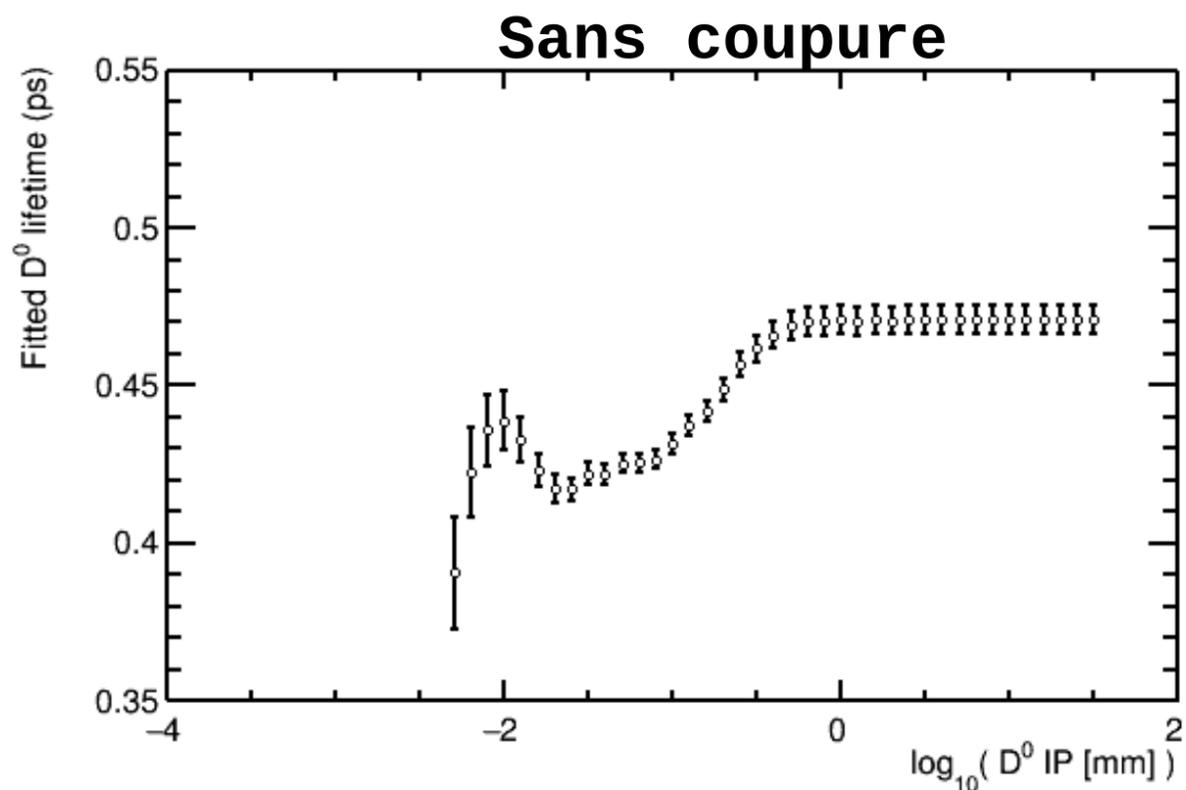


Qui a commande ca??

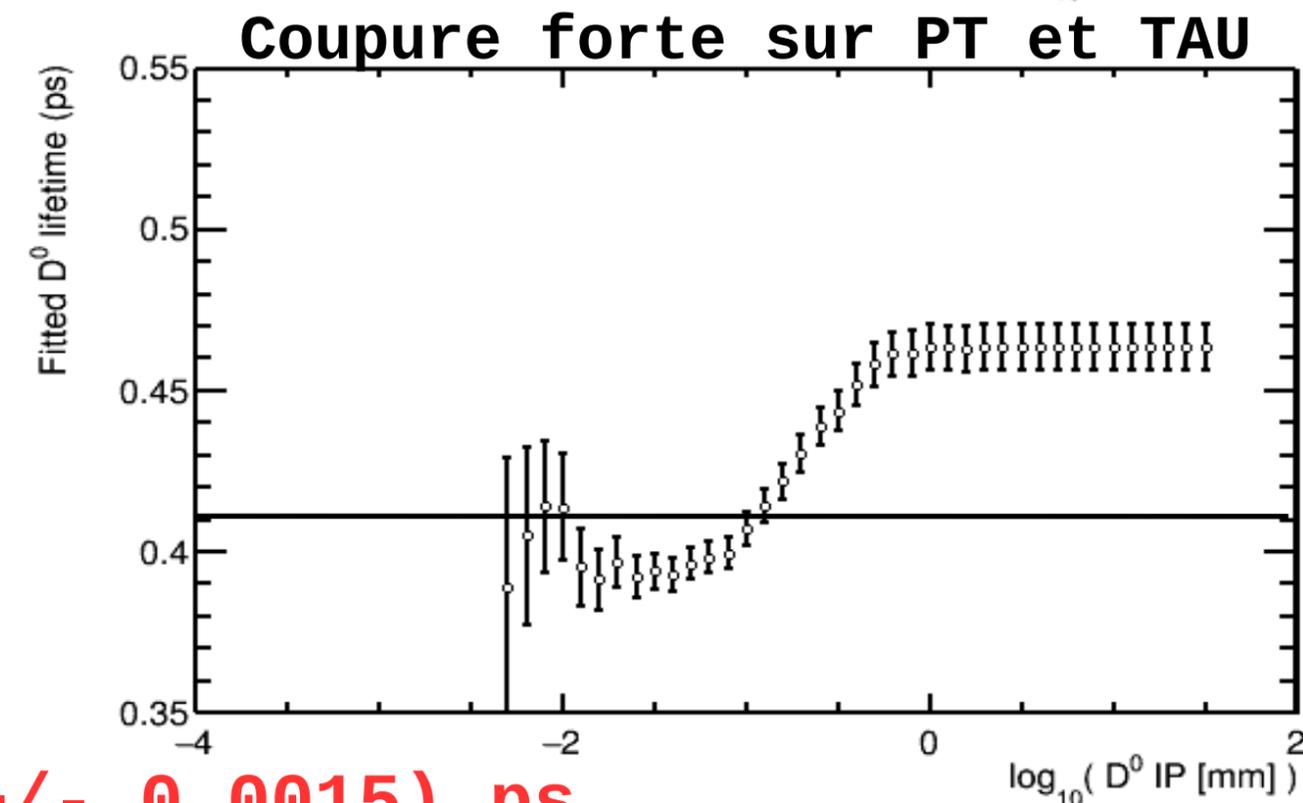
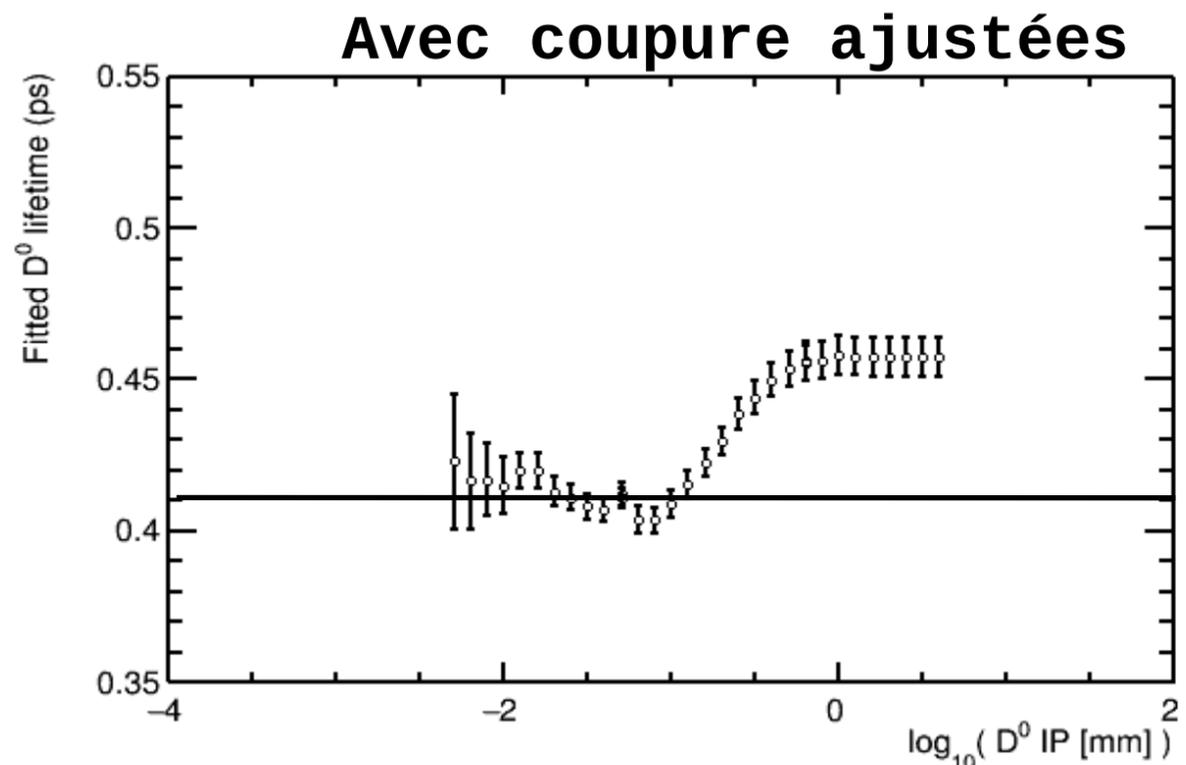
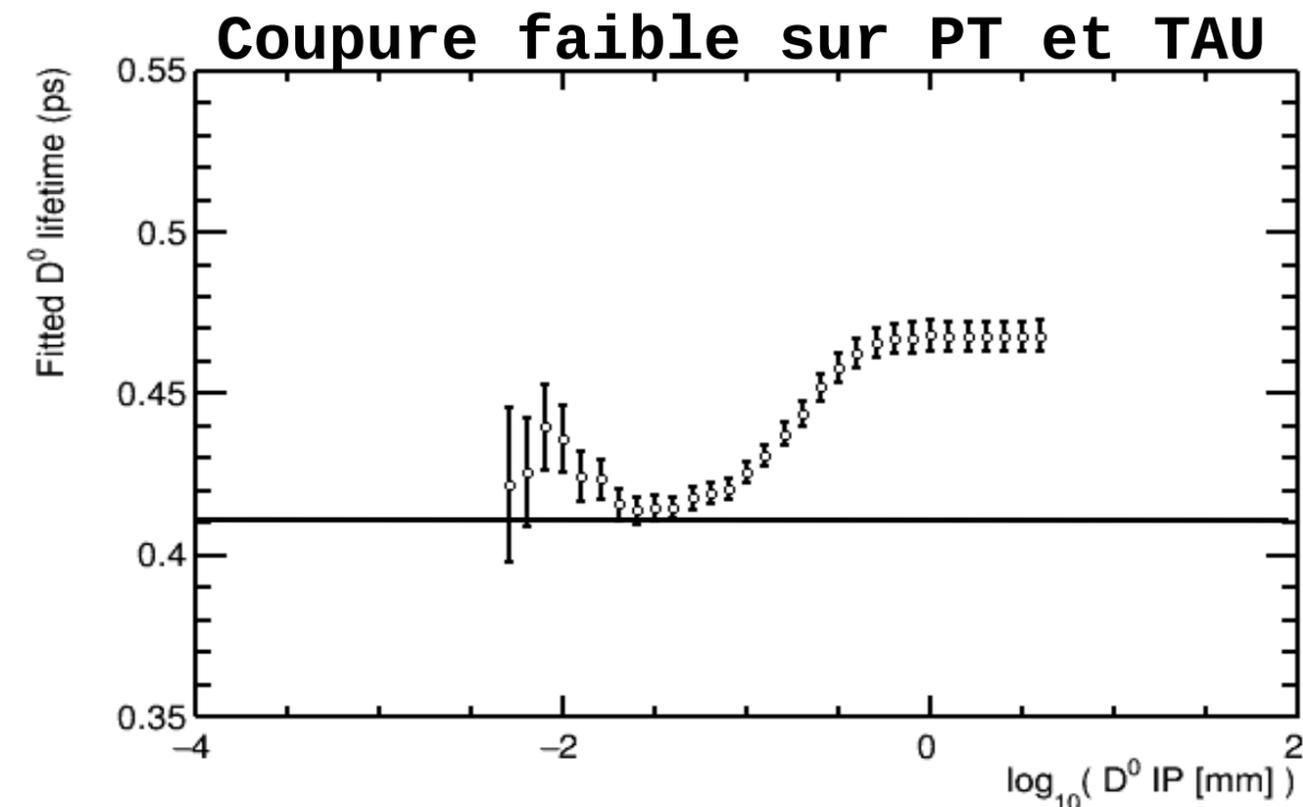
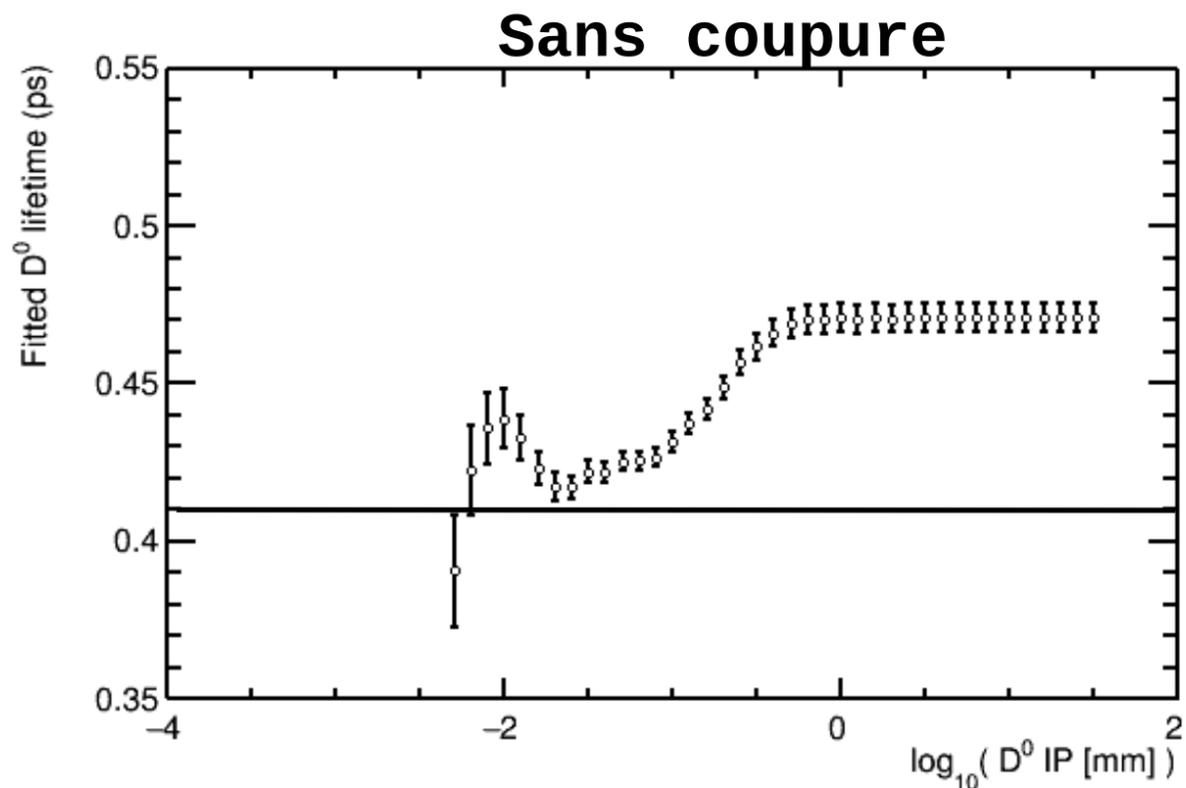
Ligne droite (signal?)

2 heures/age de l'univers = $\tau(D^0)/1$ seconde.

Ajuster les coupures



Ajuster les coupures



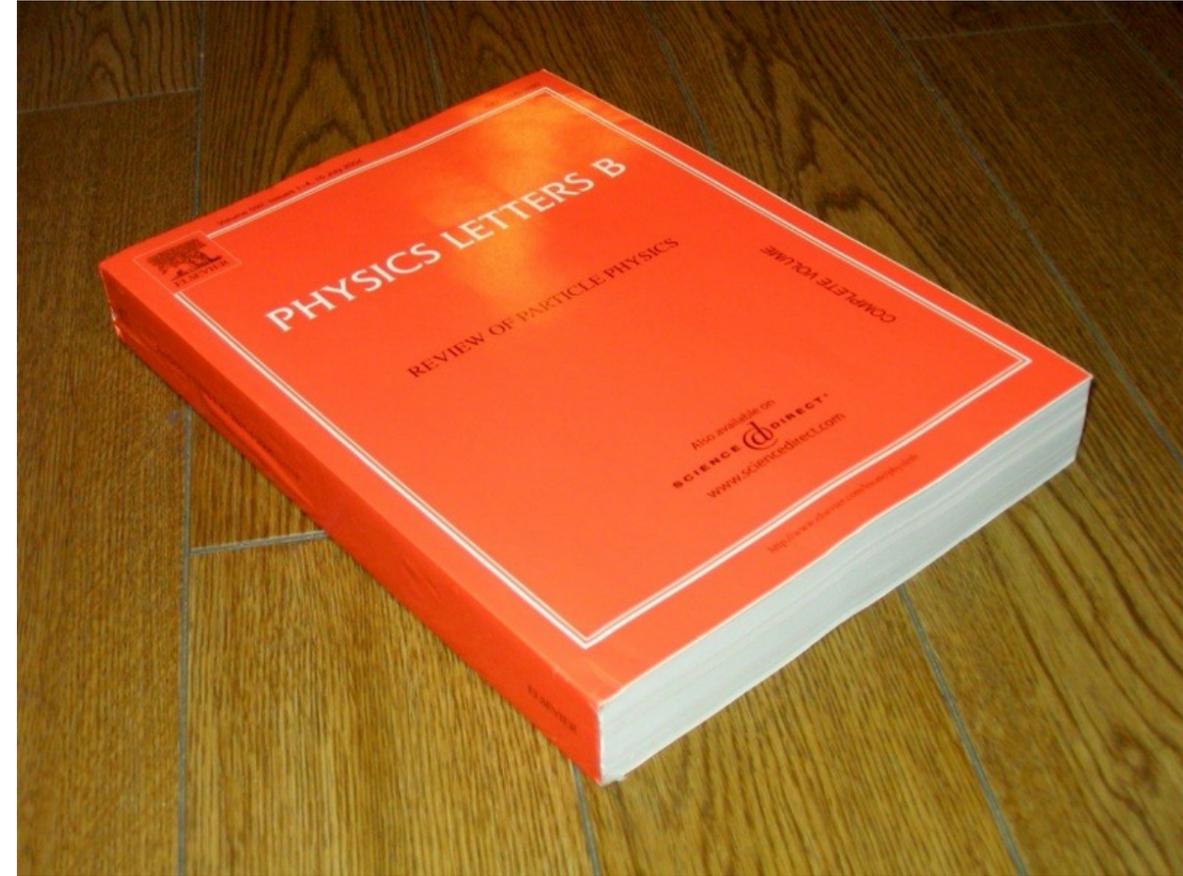
$\tau(D^0) = (0.4101 \pm 0.0015) \text{ ps}$

The End !

Combien types de particules existent?



Les frères ont leur bible...



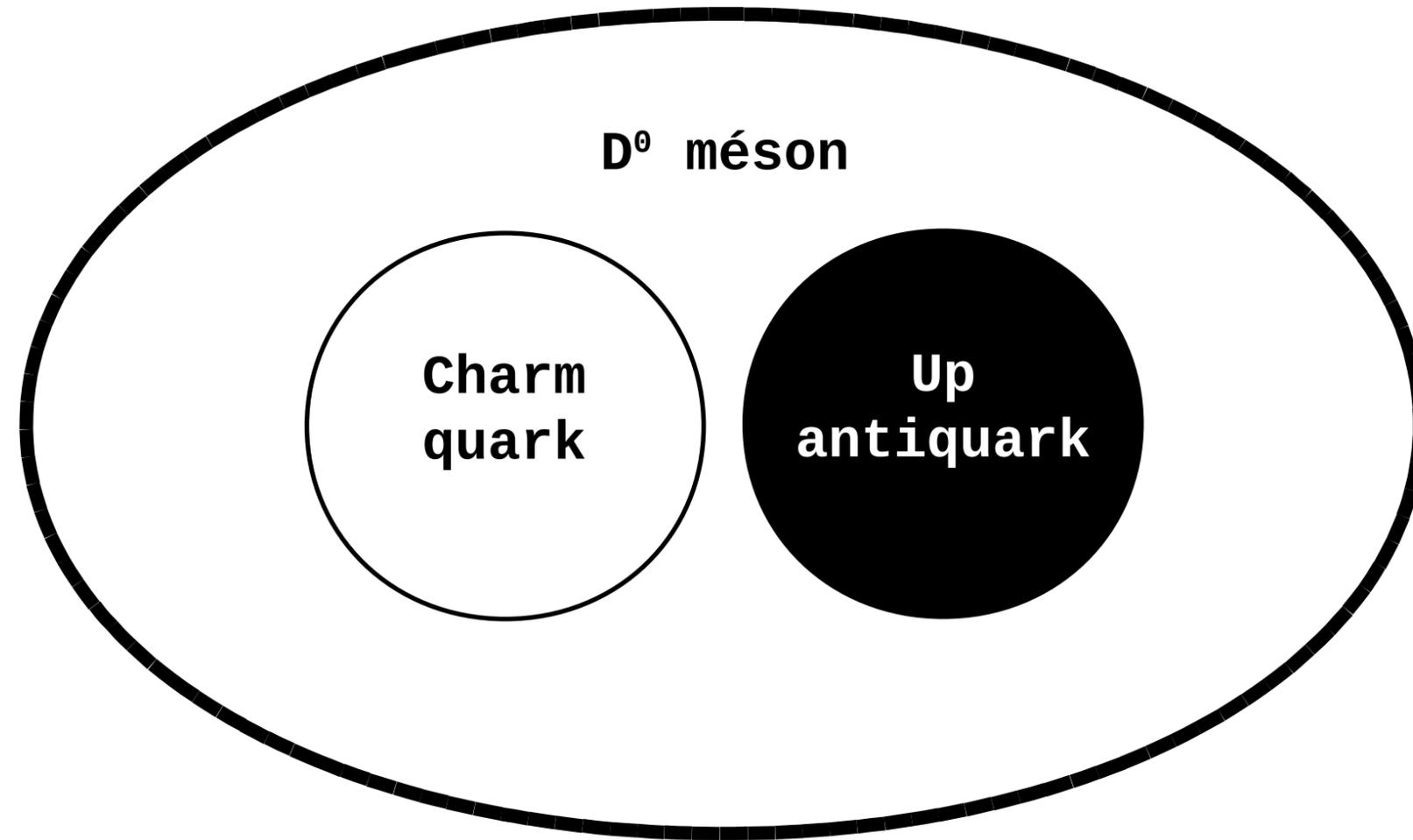
Nous le Particle Listing !

Production du charme @ LHC

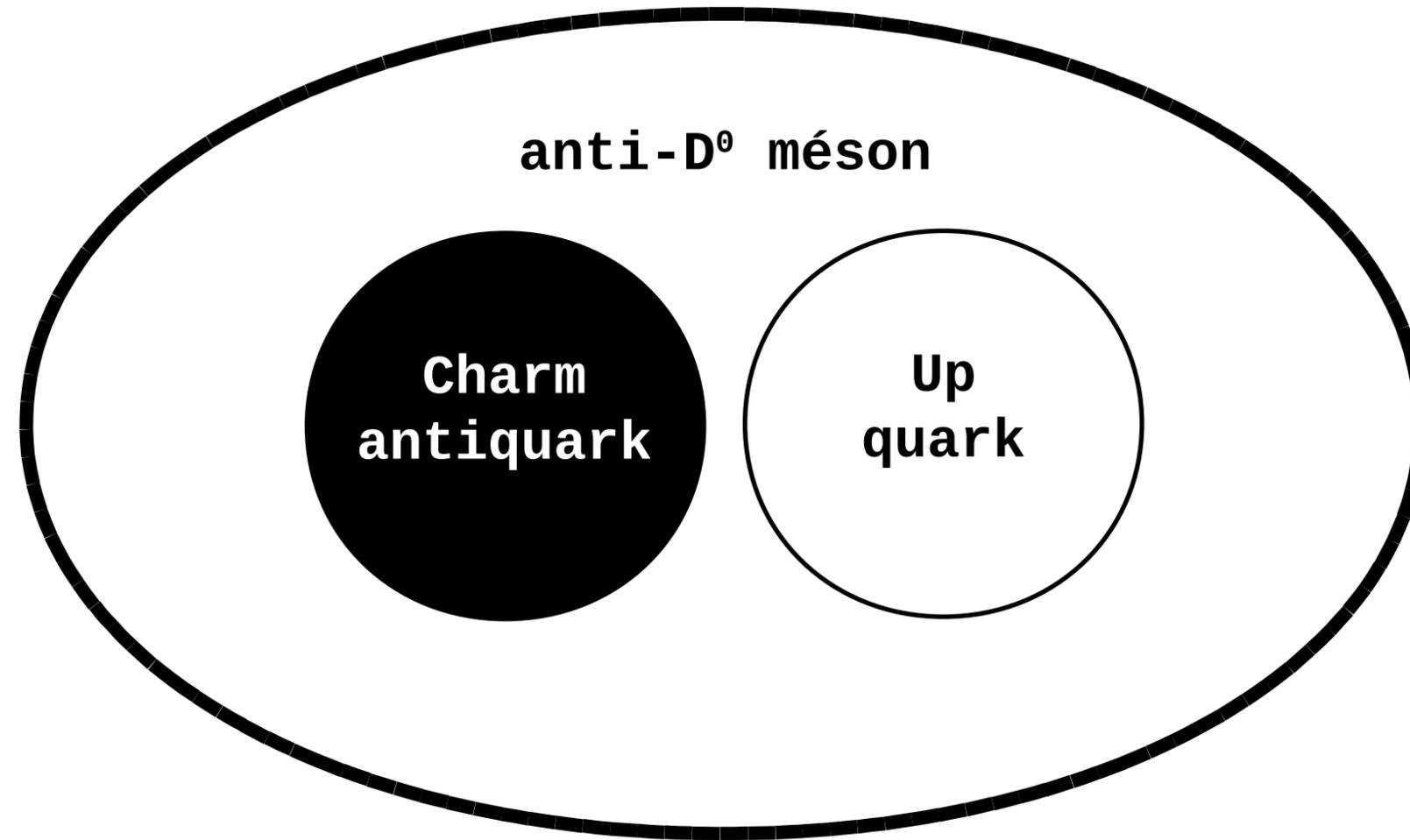


**10% des interactions au LHC produisent un hadron charme :
LHCb a déjà collectionné plus d'1 billion de
désintégrations de particules charmées !**

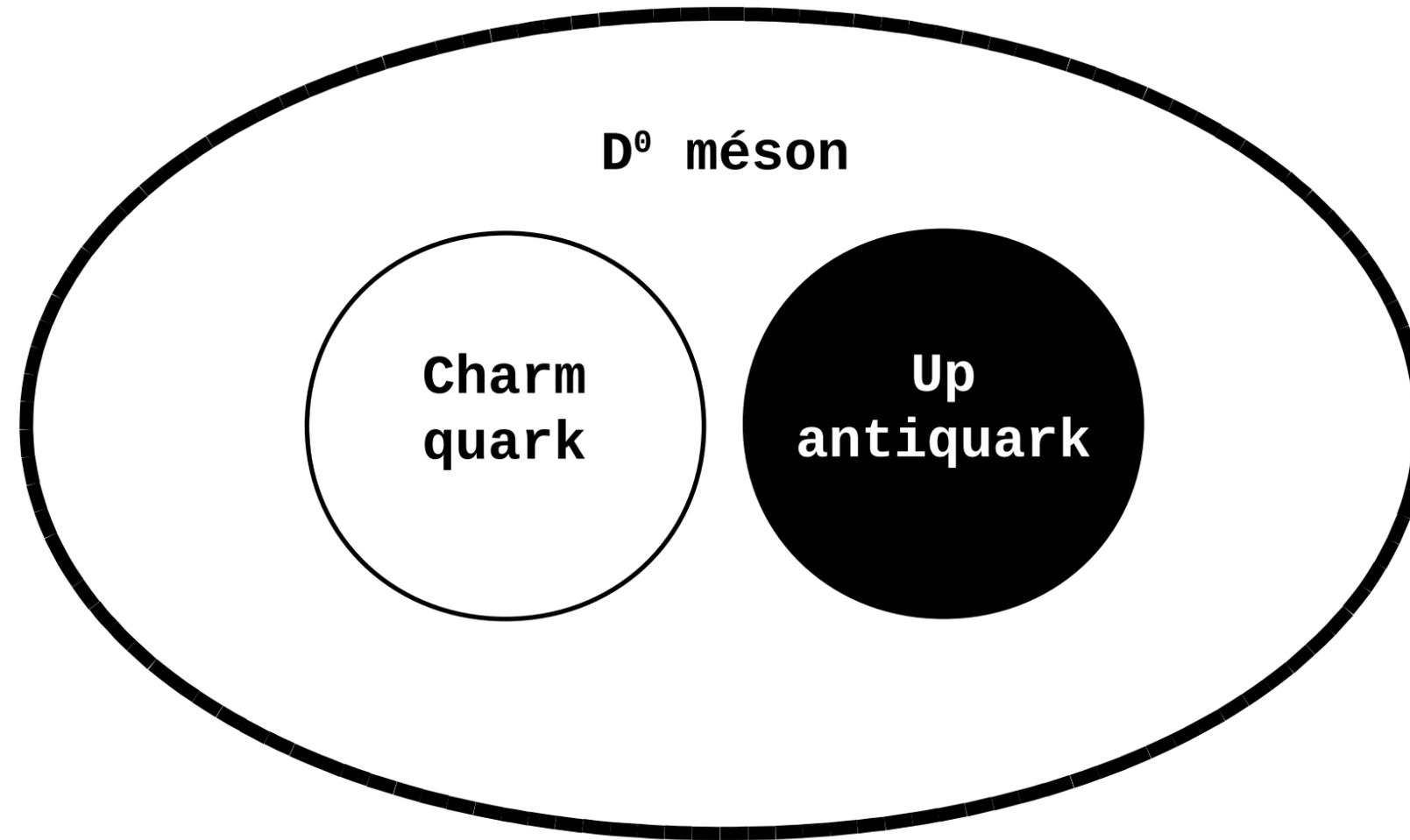
Pourquoi le D^0 est si spécial ?



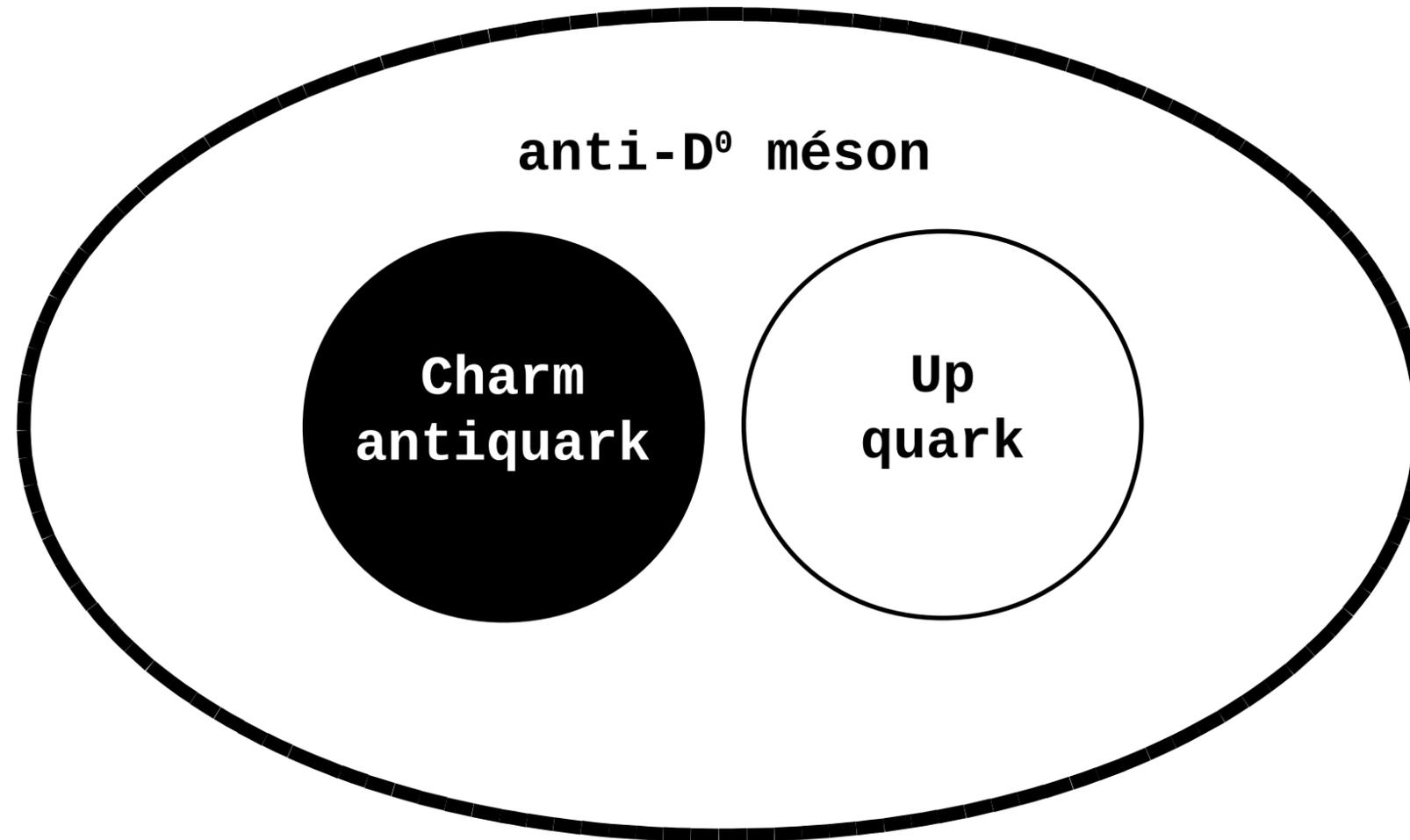
Pourquoi le D^0 est si spécial ?



Pourquoi le D^0 est si spécial ?

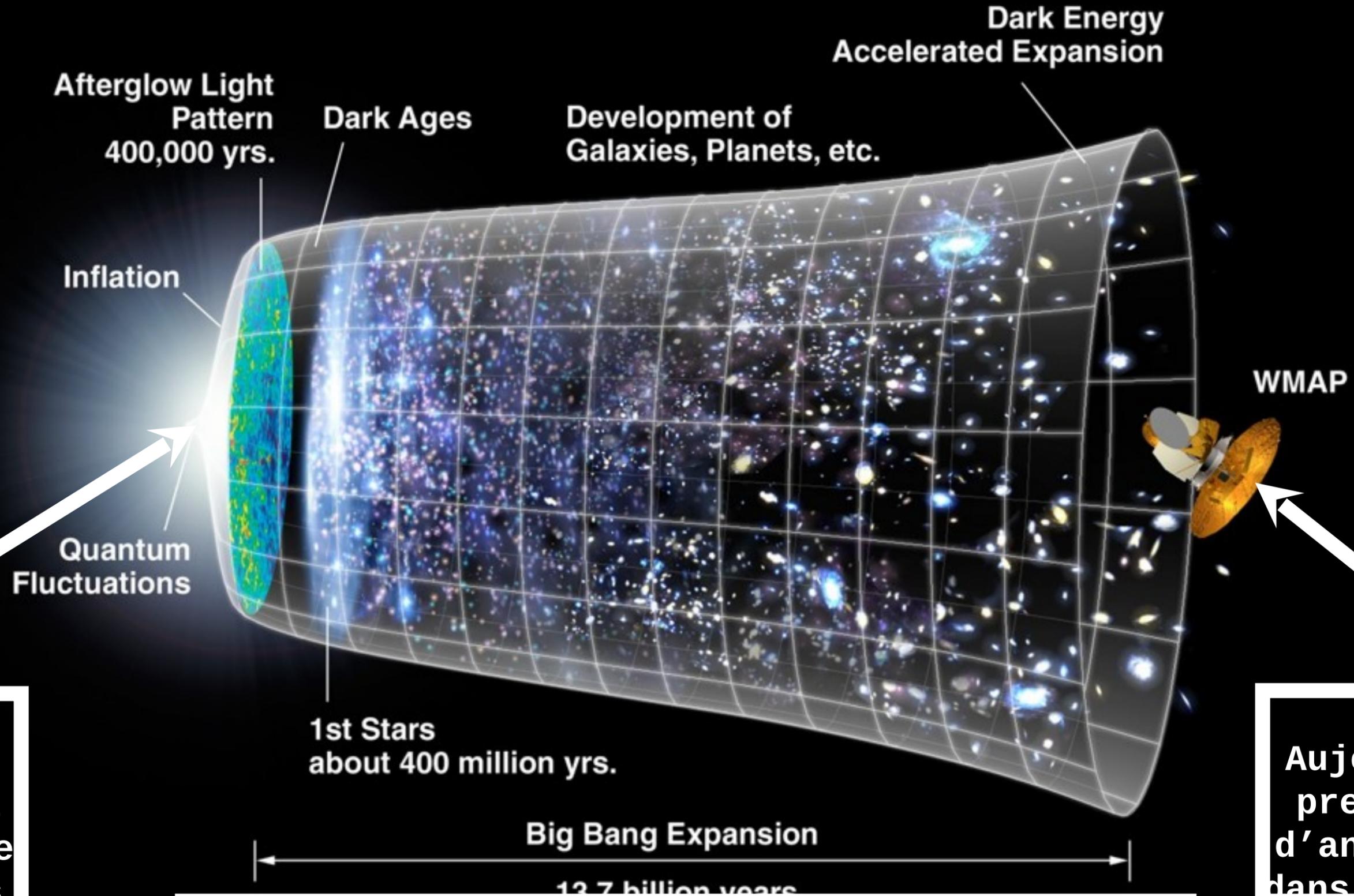


Il oscille !



Le D⁰ est une particules neutre : elle peut osciller (se transformer) entre matière et antimatière avant de se désintégrer.

Pourquoi on s'intéresse a l'antimatière ?

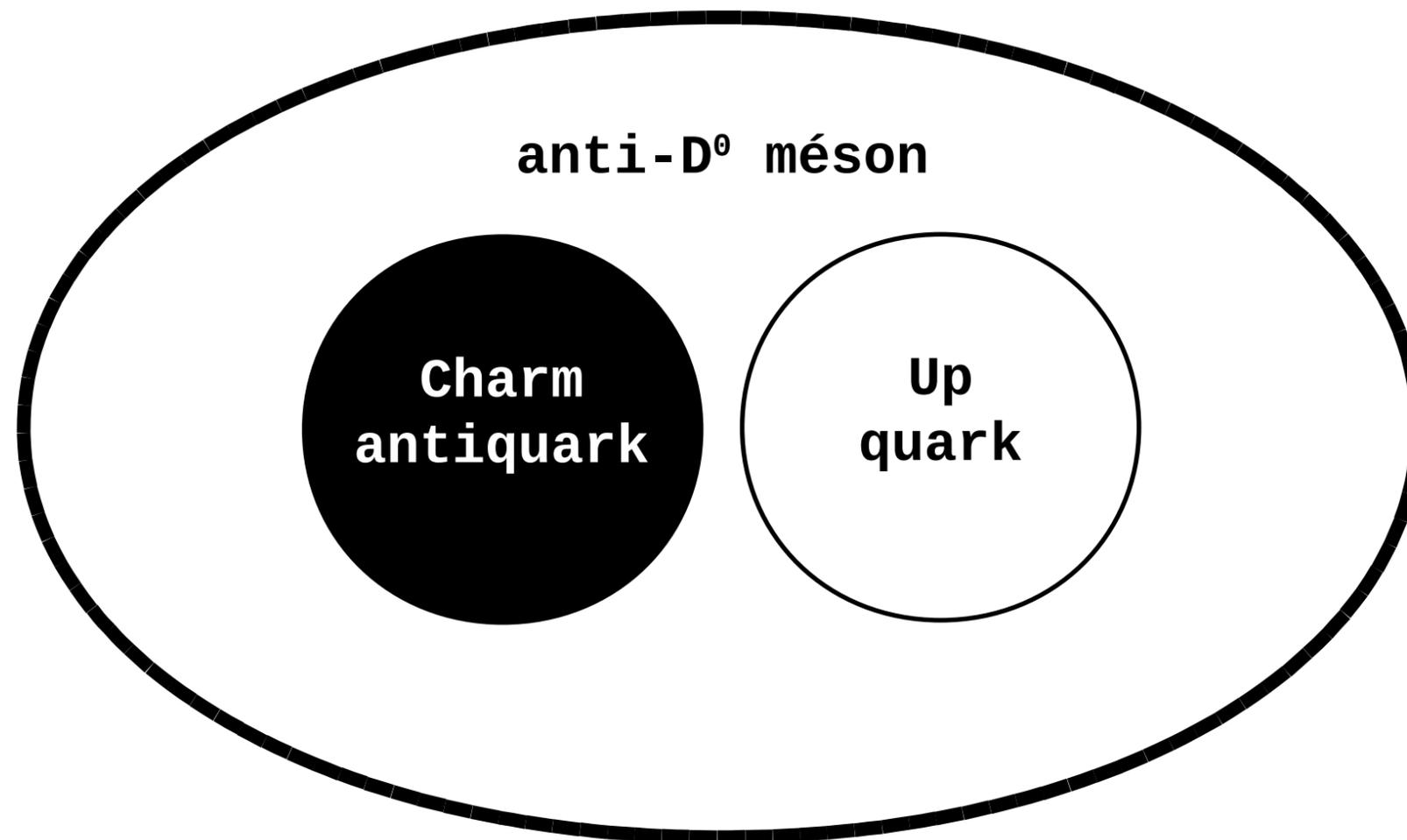


Autant matière et antimatière créés dans le big bang

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

Où est-elle finie, l'antimatière?

Il oscille !



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

Ces particules peuvent nous donner des indications sur les petites différences entre matière et antimatière !

Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	$2.4 \text{ MeV}/c^2$	$1.27 \text{ GeV}/c^2$	$171.2 \text{ GeV}/c^2$	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$	$104 \text{ MeV}/c^2$	$4.2 \text{ GeV}/c^2$	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	$<2.2 \text{ eV}/c^2$	$<0.17 \text{ MeV}/c^2$	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 Z boson
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm W boson
				Gauge Bosons

Les mésons neutres peuvent osciller entre matière et antimatière pendant leur vie

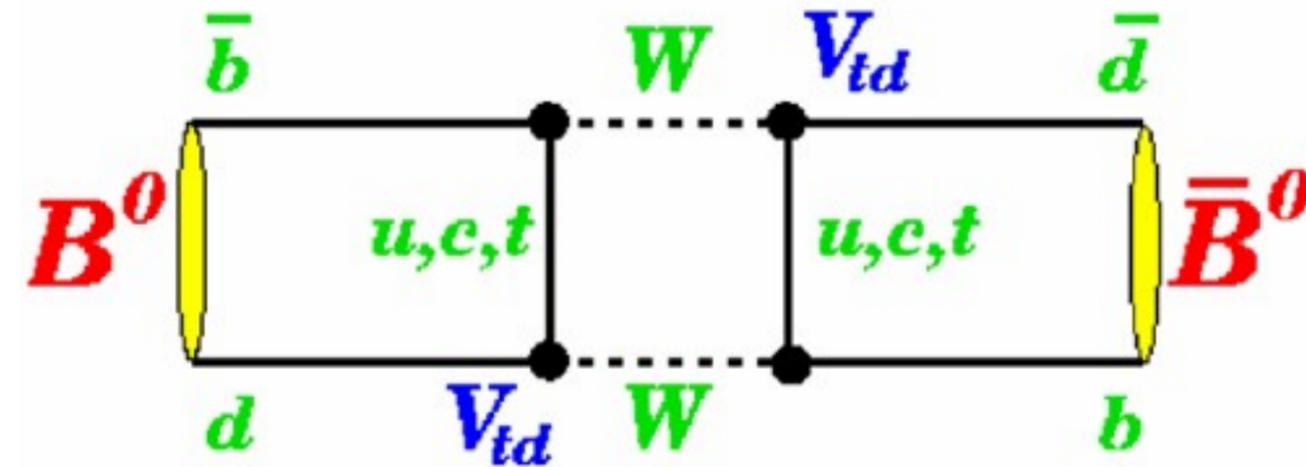
Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	$2.4 \text{ MeV}/c^2$	$1.27 \text{ GeV}/c^2$	$171.2 \text{ GeV}/c^2$	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Quarks	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$
	0 ν_e electron neutrino	0 ν_μ muon neutrino	0 ν_τ tau neutrino	0 Z^0 Z boson
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$
Leptons	-1 $\frac{1}{2}$ e electron	-1 $\frac{1}{2}$ μ muon	-1 $\frac{1}{2}$ τ tau	± 1 W^\pm W boson
				Gauge Bosons

Les mésons neutres peuvent osciller entre matière et antimatière pendant leur vie

Un autre exemple est le méson B_d : la mesure des oscillations du B_d



Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	$2.4 \text{ MeV}/c^2$	$1.27 \text{ GeV}/c^2$	$171.2 \text{ GeV}/c^2$	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 Z boson
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm W boson

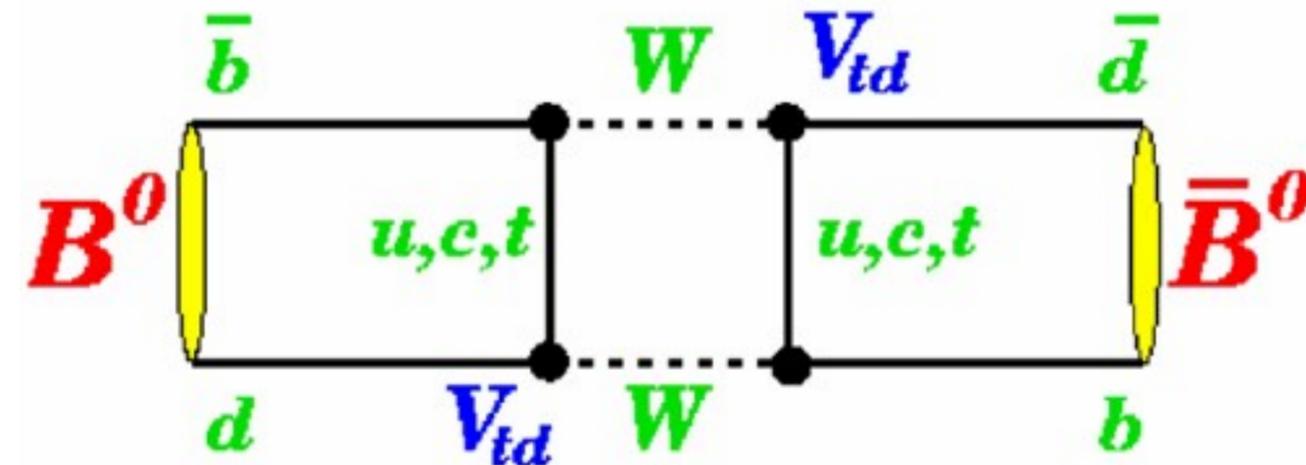
Quarks (left side of the table)

Leptons (left side of the table)

Gauge Bosons (right side of the table)

Les mésons neutres peuvent osciller entre matière et antimatière pendant leur vie

Un autre exemple est le méson B_d : la mesure des oscillations du B_d a été une indication de l'existence du quark top (et donne une estimation de sa masse)



Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

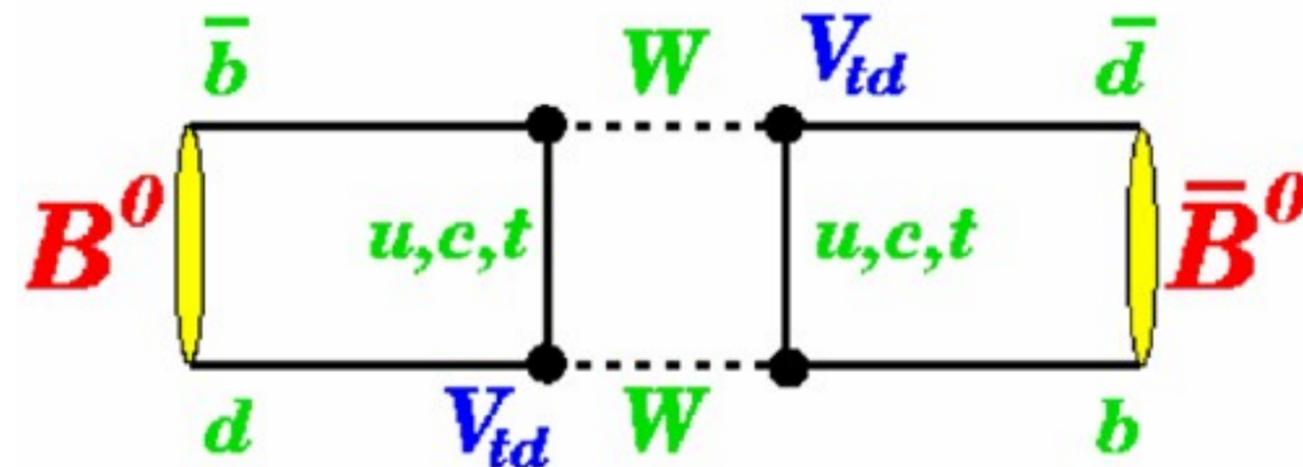
Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
Leptons	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	±1
	1/2	1/2	1/2	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

Gauge Bosons

Les mésons neutres peuvent osciller entre matière et antimatière pendant leur vie

Un autre exemple est le méson B_d : la mesure des oscillations du B_d a été une indication de l'existence du quark top (et donne une estimation de sa masse)



Les oscillations sont intéressantes parce qu'elles sont sensibles à la présence de particules qui apparaissent virtuellement dans le diagramme à boîte, qui peuvent être beaucoup plus lourdes des particules produite directement et que on peut "voir"

Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	$2.4 \text{ MeV}/c^2$	$1.27 \text{ GeV}/c^2$	$171.2 \text{ GeV}/c^2$	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$	$104 \text{ MeV}/c^2$	$4.2 \text{ GeV}/c^2$	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 Z boson
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm W boson
				Gauge Bosons

Les mésons neutres peuvent osciller entre matière et antimatière pendant leur vie

Il existent plusieurs mésons de type "down" qui oscillent : (ds) K^0 , (db) B_d , (sb) B_s

Mais que un de type "up" : le méson (cu) D^0 , parce que le quark top est trop lourd (et il se désintègre trop rapidement) pour former mésons ou baryons

Donc le D^0 est un laboratoire unique pour étudier la symétrie matière-antimatière

Un histogramme (de masse)

