

LHCb for dummies

Tout ce qu'il faut savoir
pour l'exercice LHCb
Masterclass (ou presque...)

Giampiero Mancinelli, CPPM

Introduction

Intérêt de la mesure

Les quantités intéressantes (observables)

Les données

Les exercices

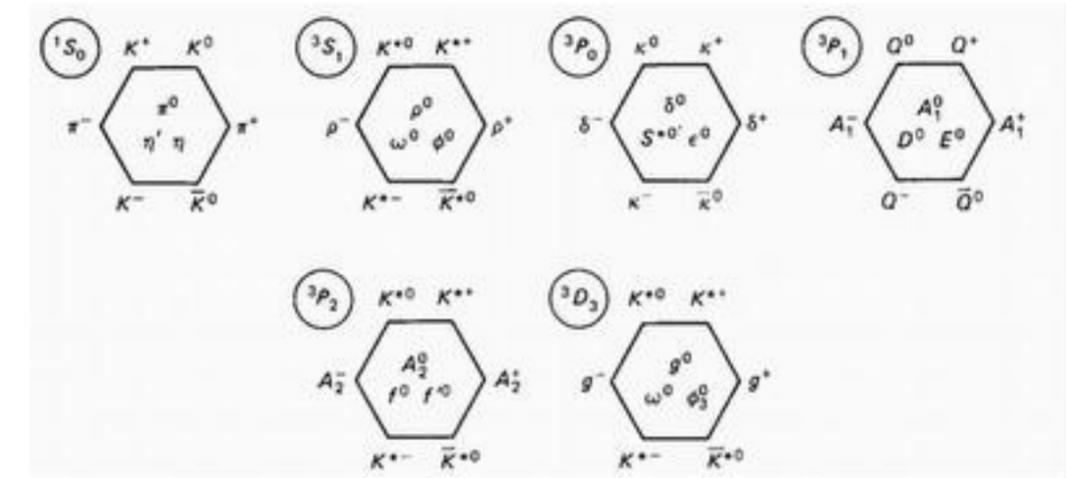
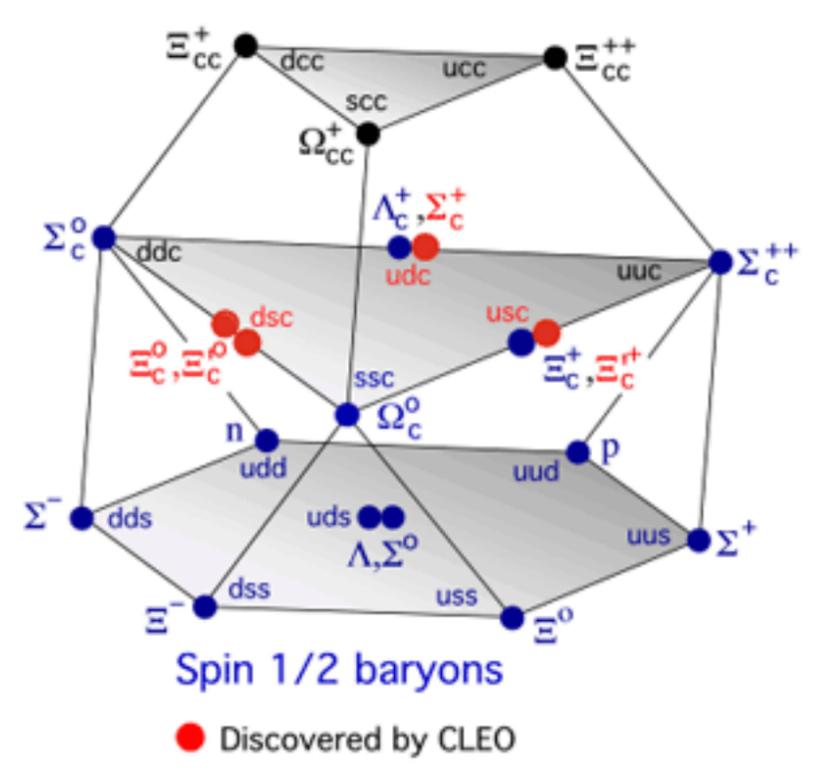
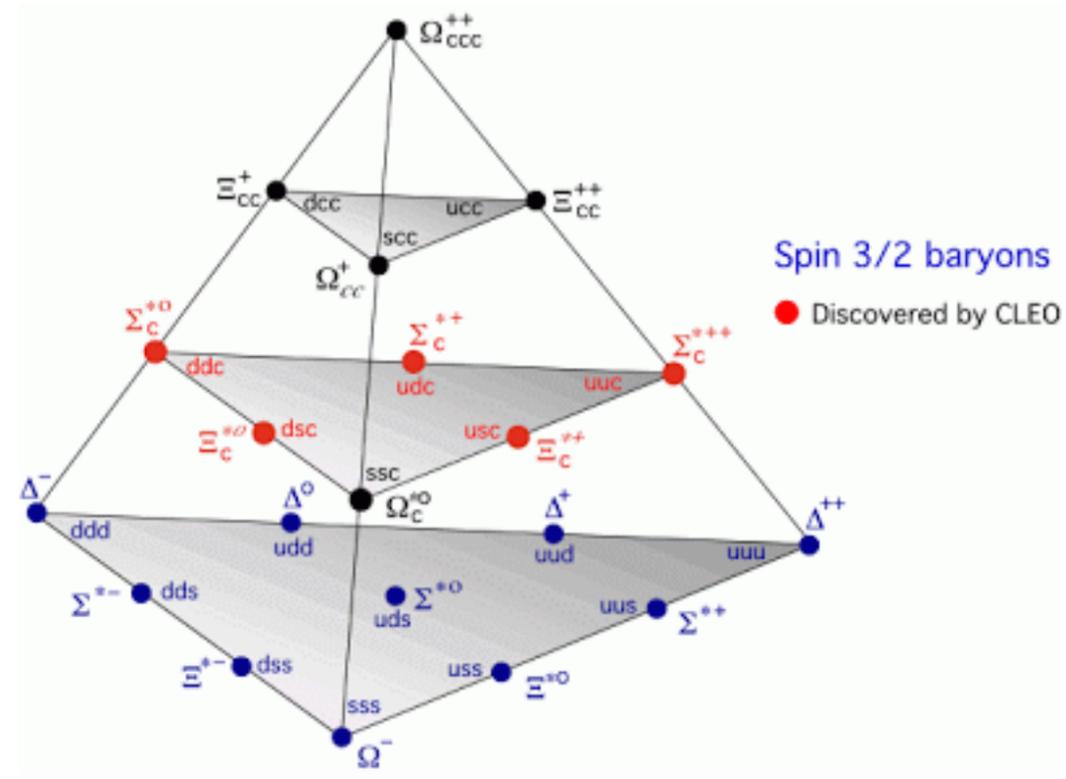
On fait quoi cet aprem?

Comme vous avez vu ce matin, des particules sont stables et des autres meurent

Selon les lois de la physique des particules élémentaires

Le but de l'exercice est de mesurer le temps de vie d'une particule

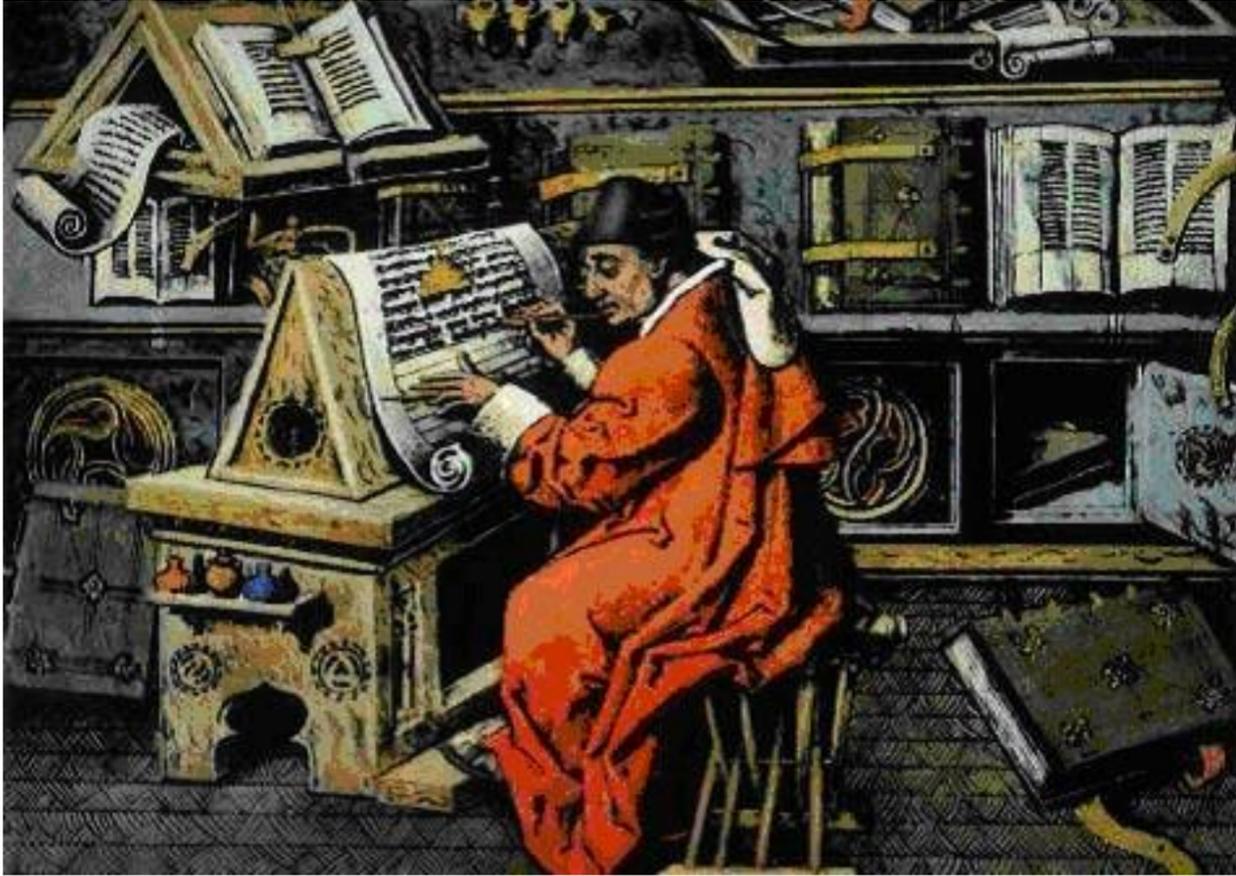
Comment elles s'unissent



Petit nombre de particules élémentaires

Quarks se mettent ensemble pour former un très grand nombre de particules !

Notre bible...

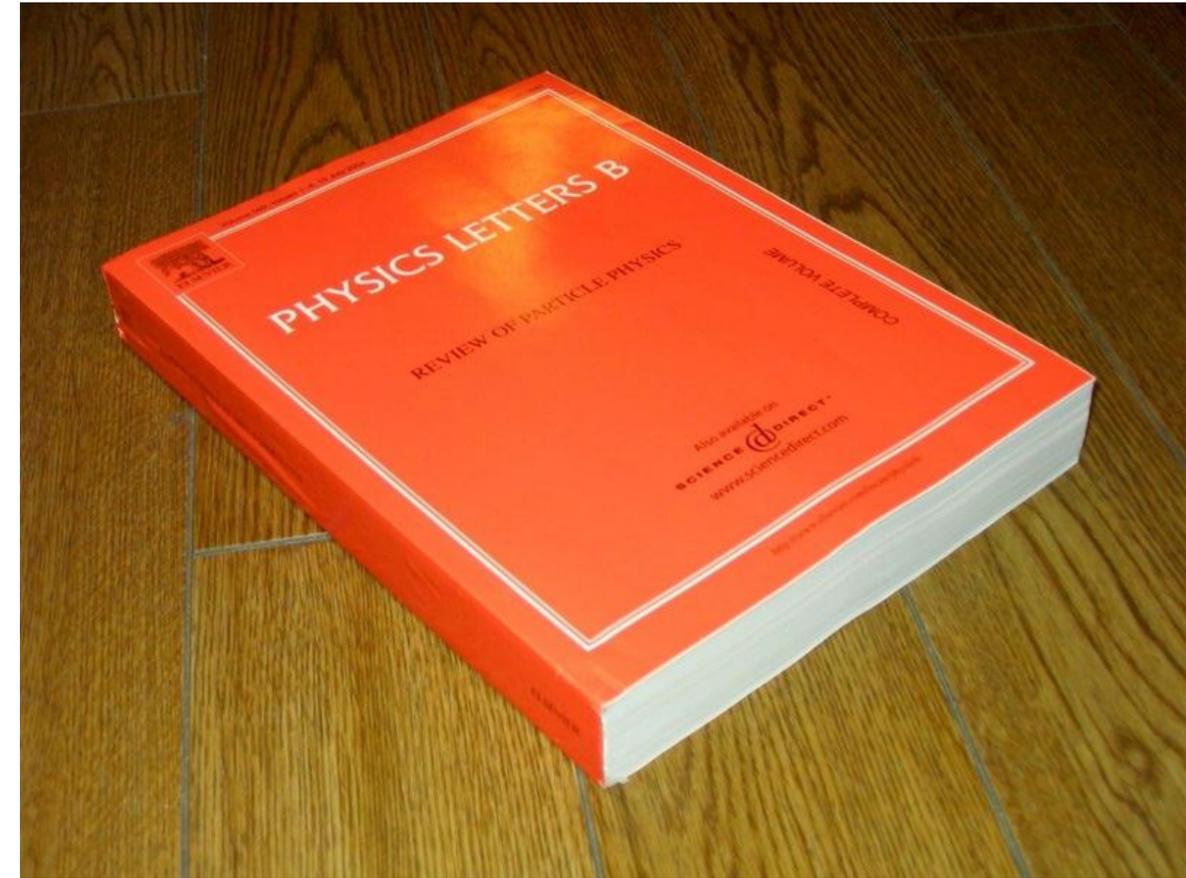


Les frères ont leur bible...

Combien types de particules existent?

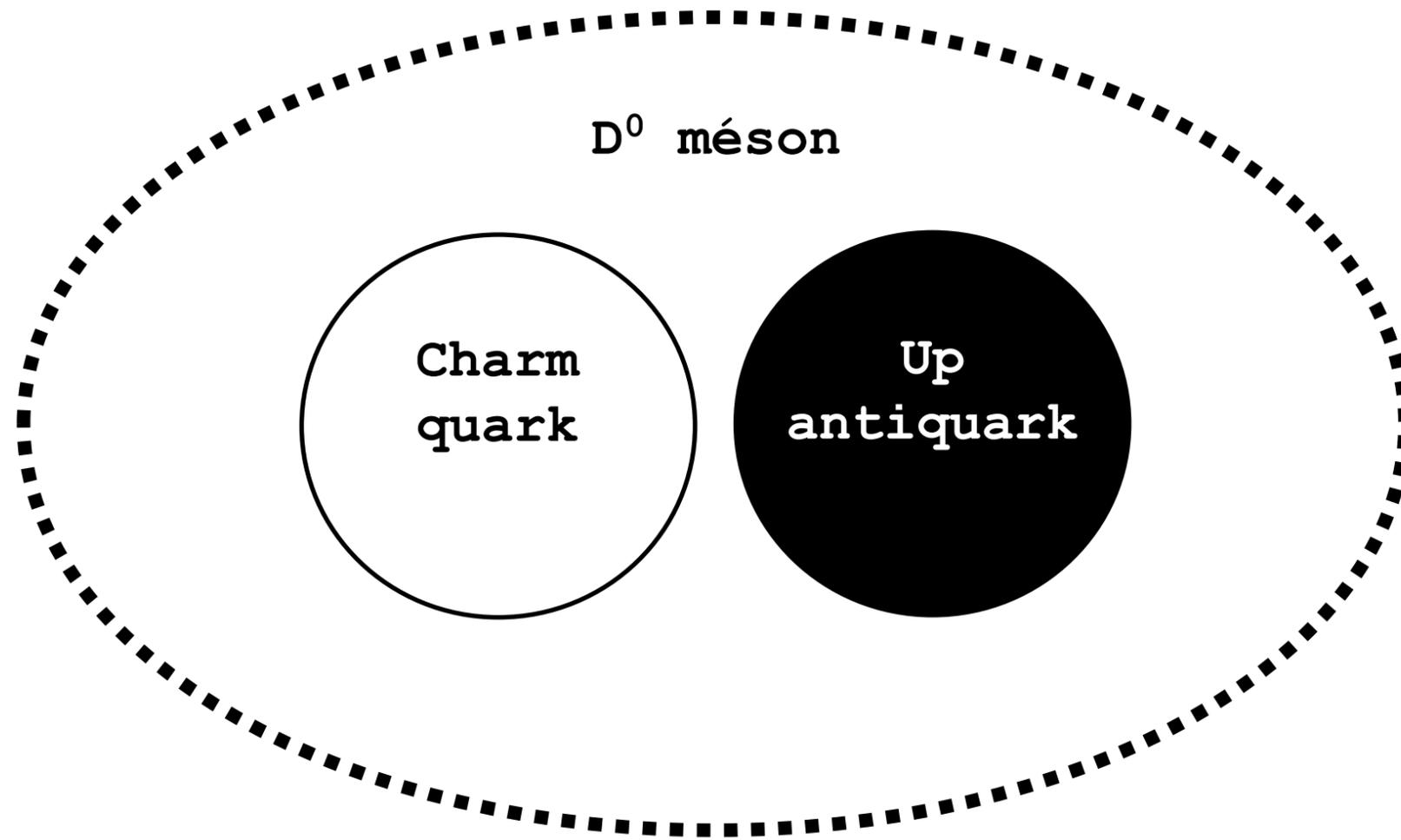


Les frères ont leur bible...



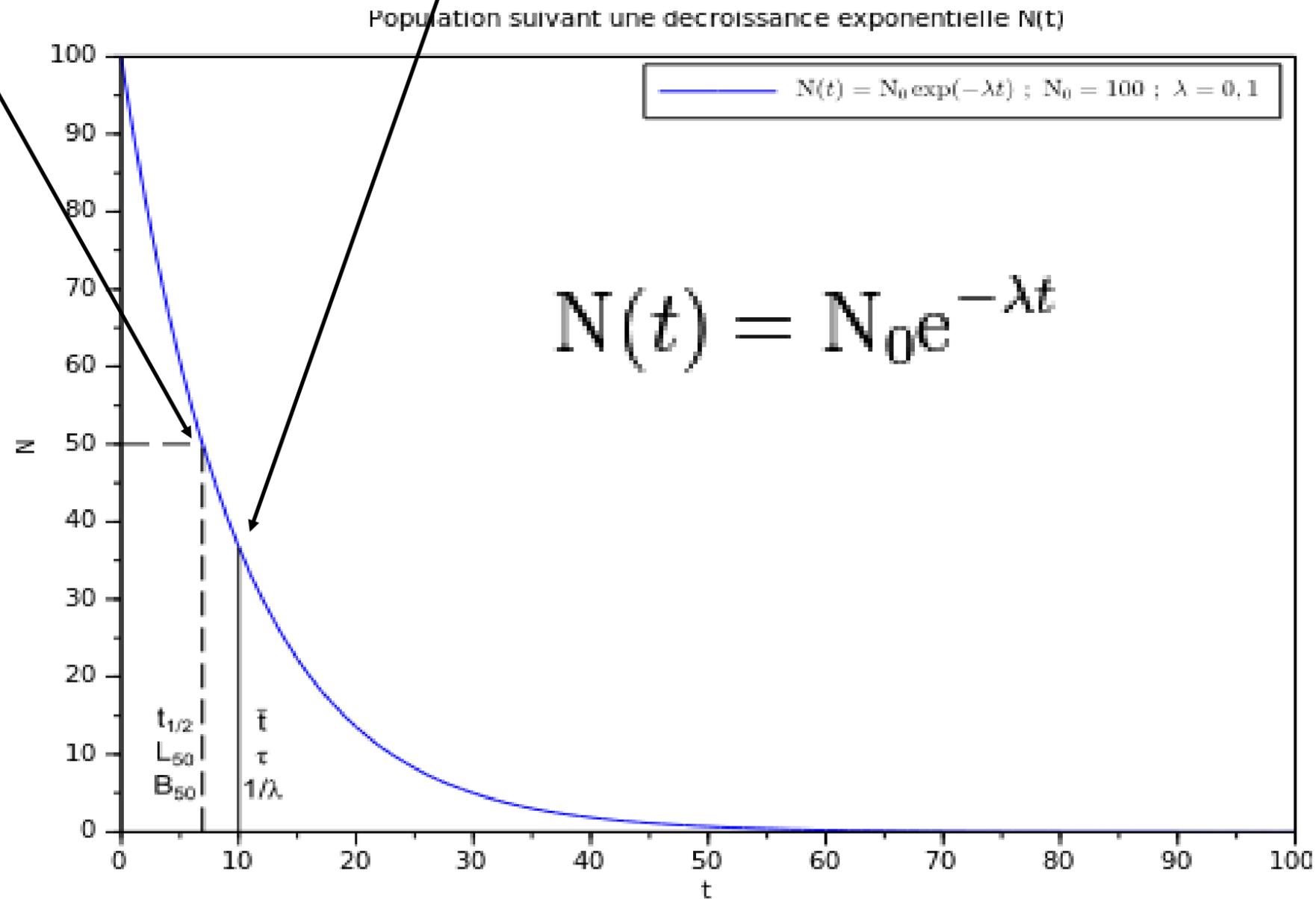
Nous le Particle Listing !

Les Mésons D

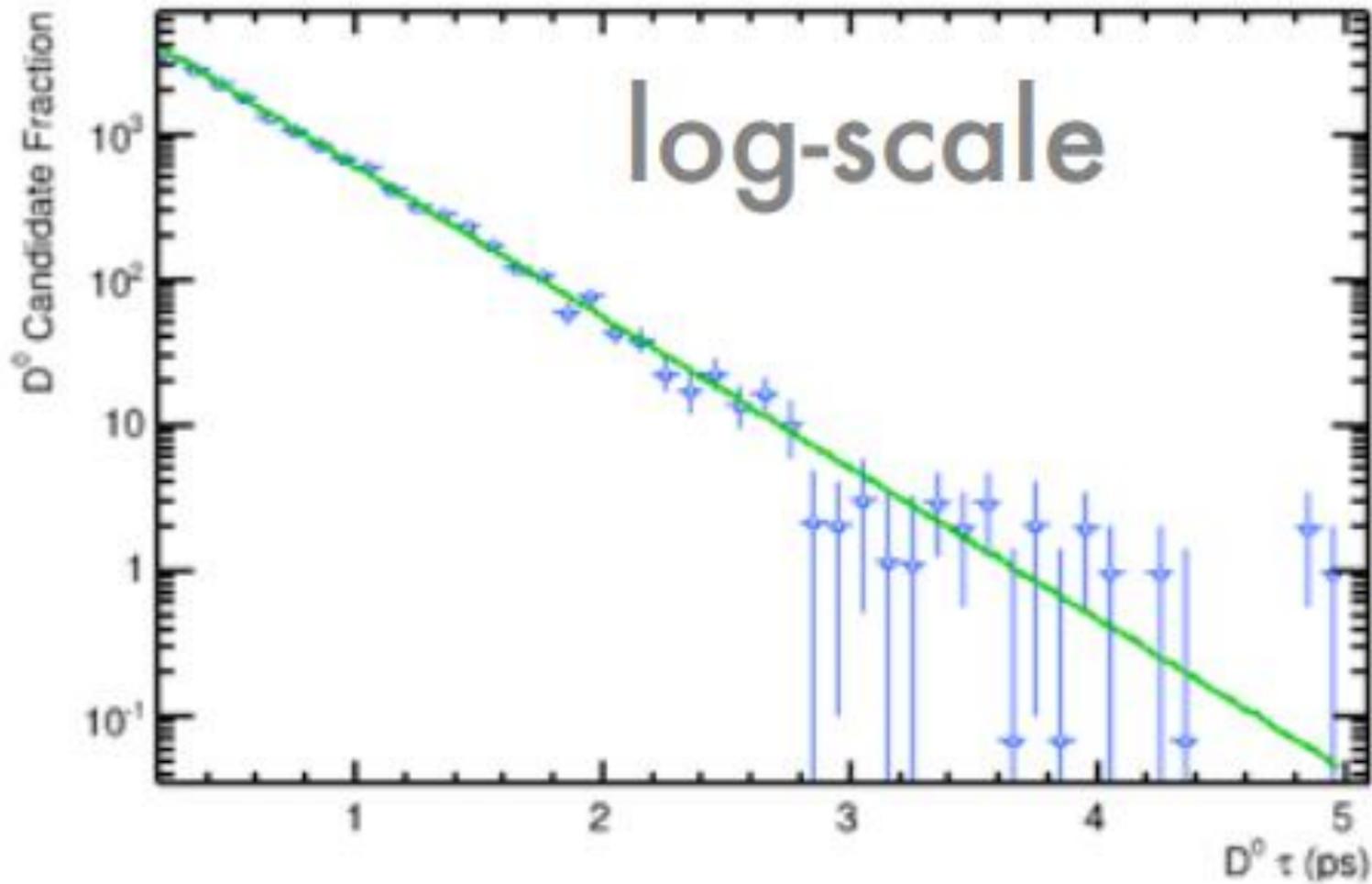


C'est quoi le temps de vie d'une particule?

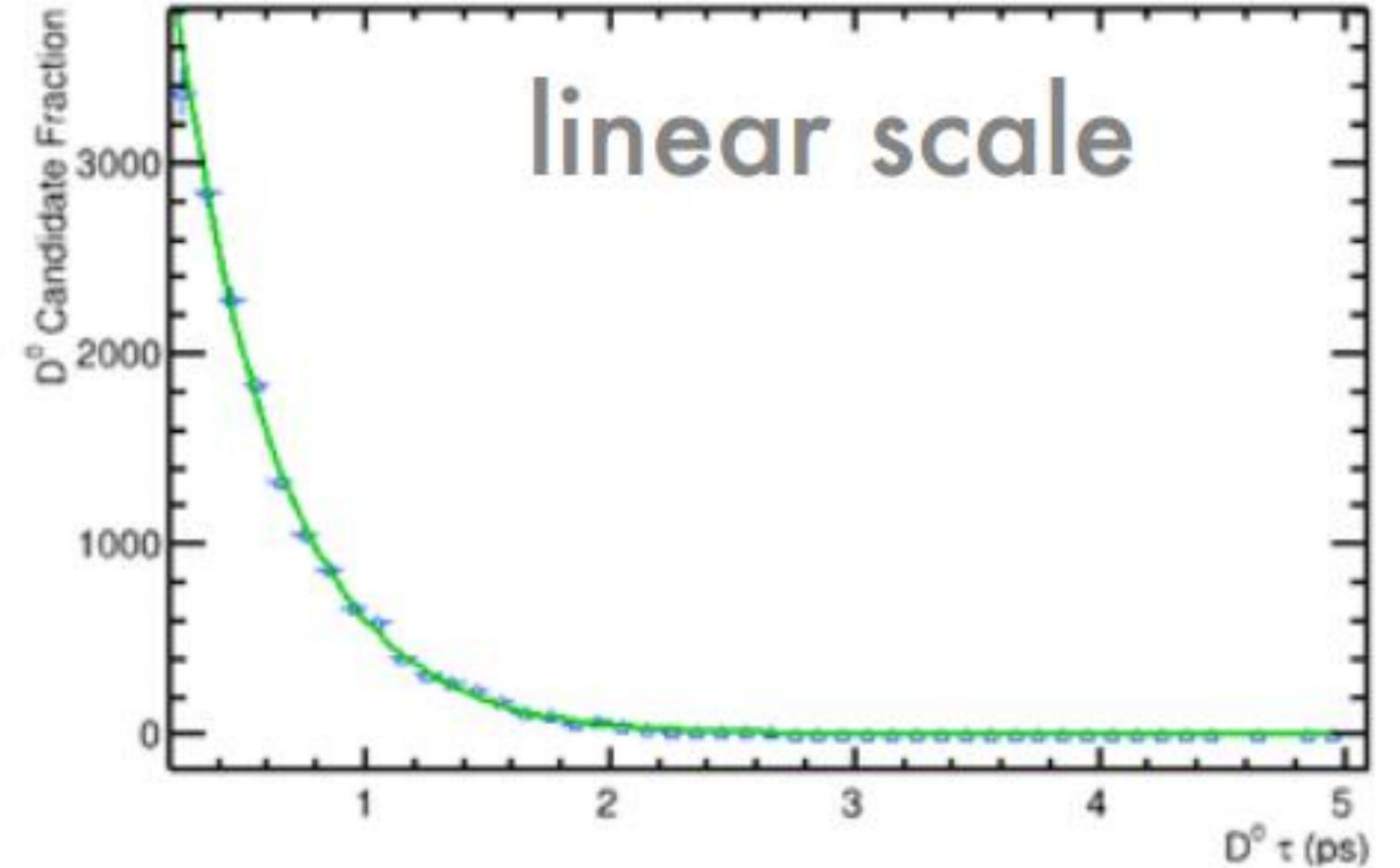
Demi-vie (médiane) et durée de vie moyenne (espérance = temps de vie) d'une population ayant une décroissance exponentielle.



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

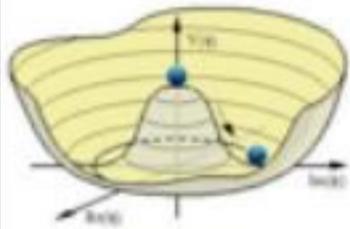


Echelle logarithmique

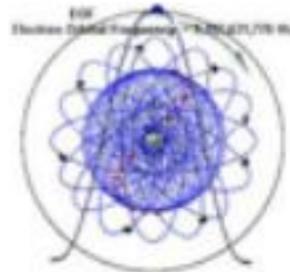


Echelle lineaire

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 1s

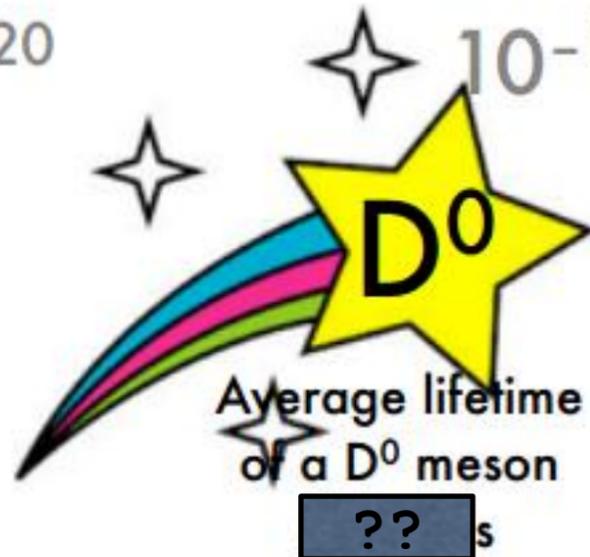


typical life-span
of a person
 $2.4 \cdot 10^9 \text{ s}$



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

10^{-20}



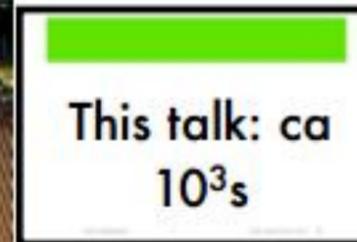
Average lifetime
of a D^0 meson
 $?? \text{ s}$

10^{-10}



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

1



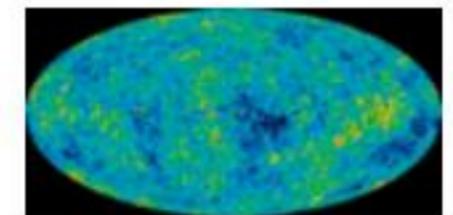
This talk: ca
 10^3 s

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...

Comment mesurons-nous un temps de vie court?

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

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

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

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?

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

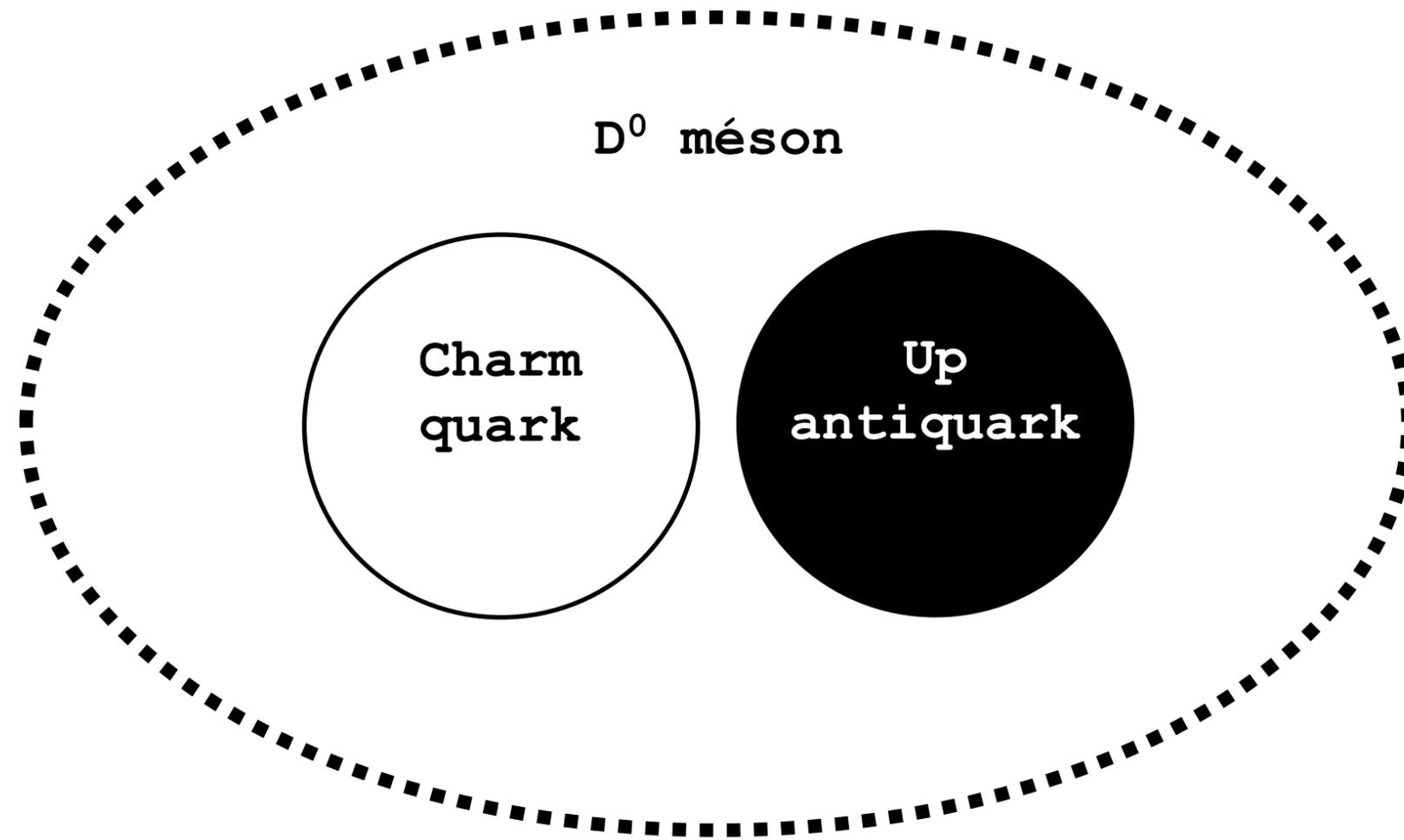
Elle parcourra $3 \cdot 10^{-4}$ mètres, donc 0.3 mm

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

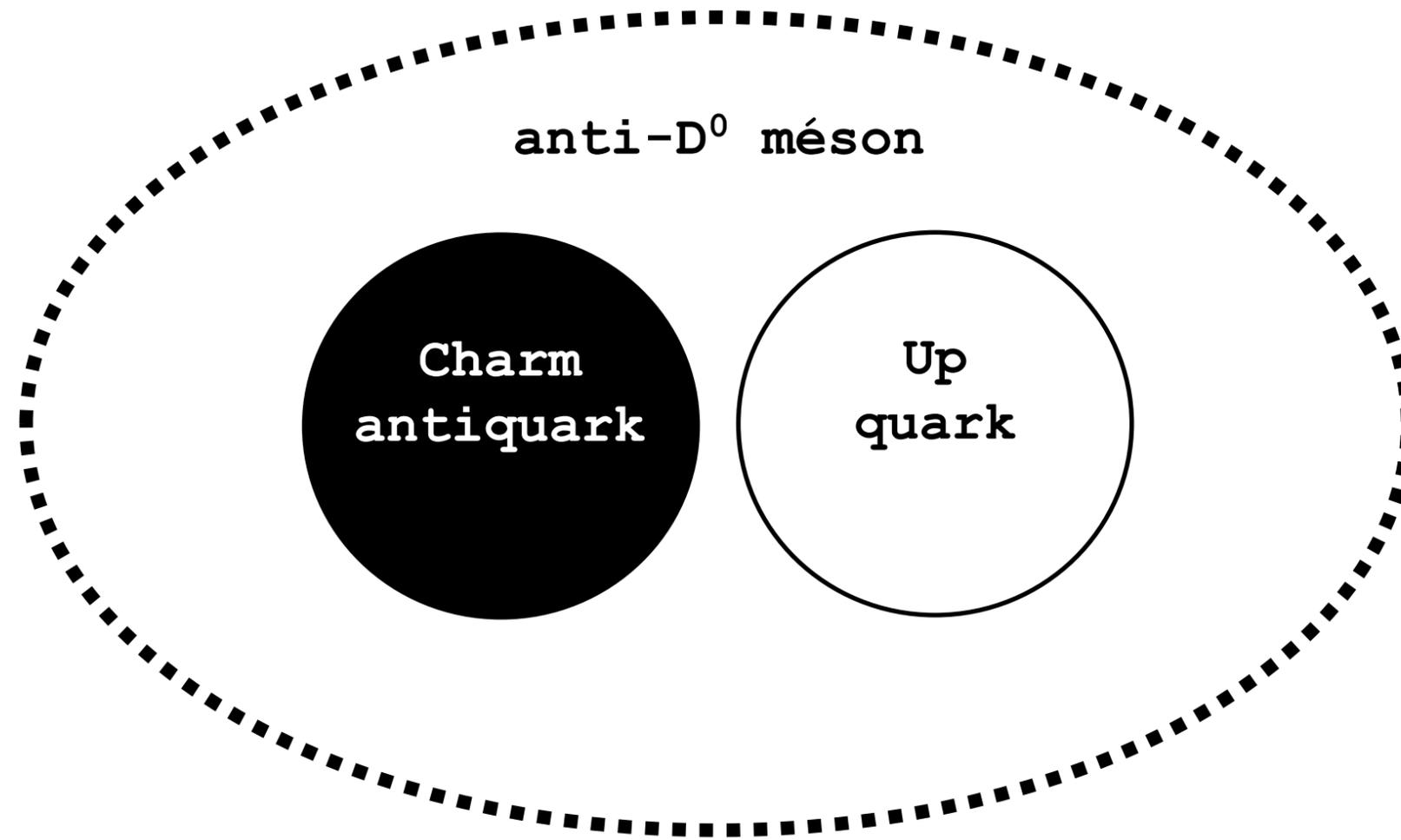
$$t' = t / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Normalement une particules au LHC avec un temps de vie de 10^{-12} seconds parcourra 1 cm... Qui est énorme pour nous et donc assez pour pouvoir la mesurer !

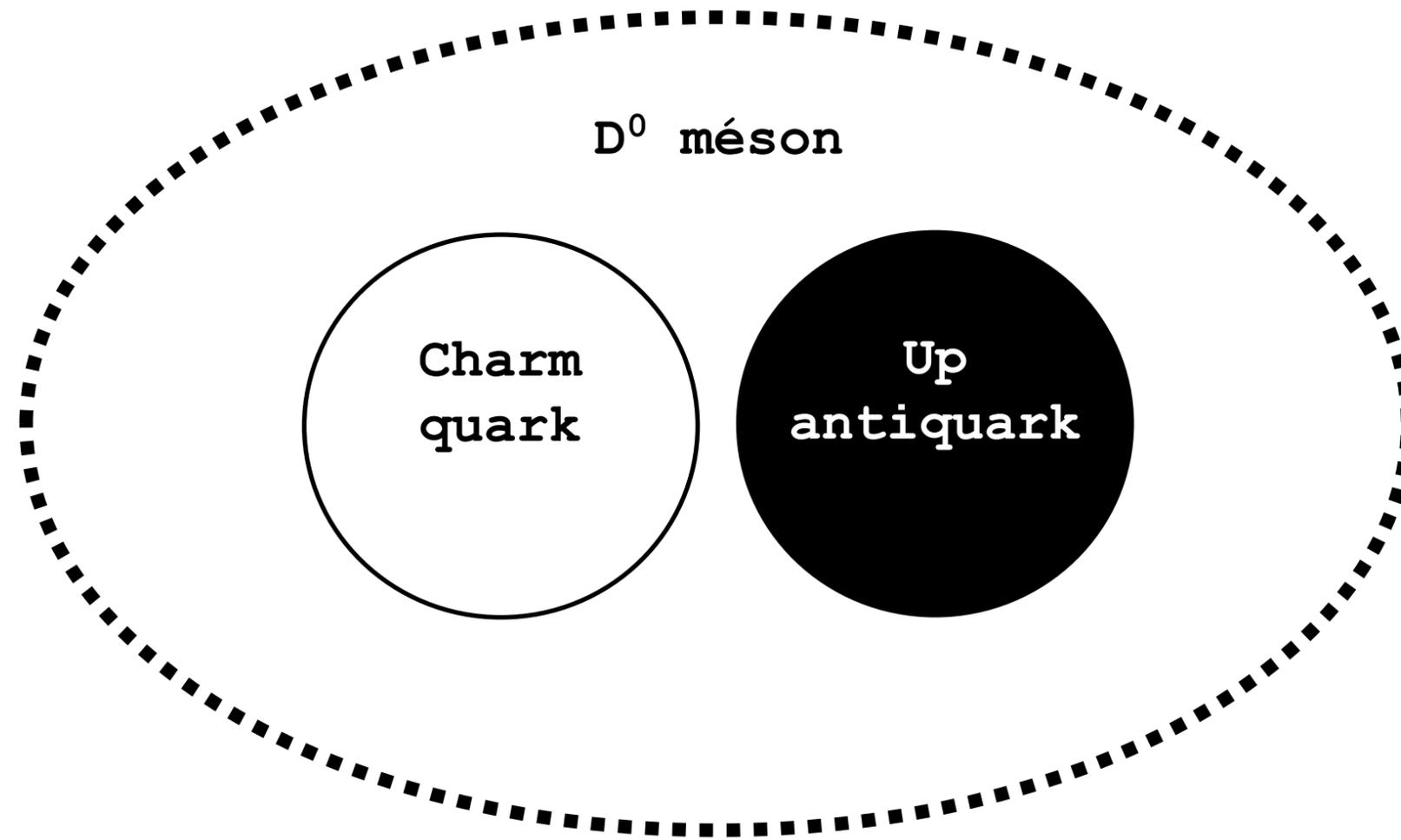
Pourquoi le D0 est si spécial ?



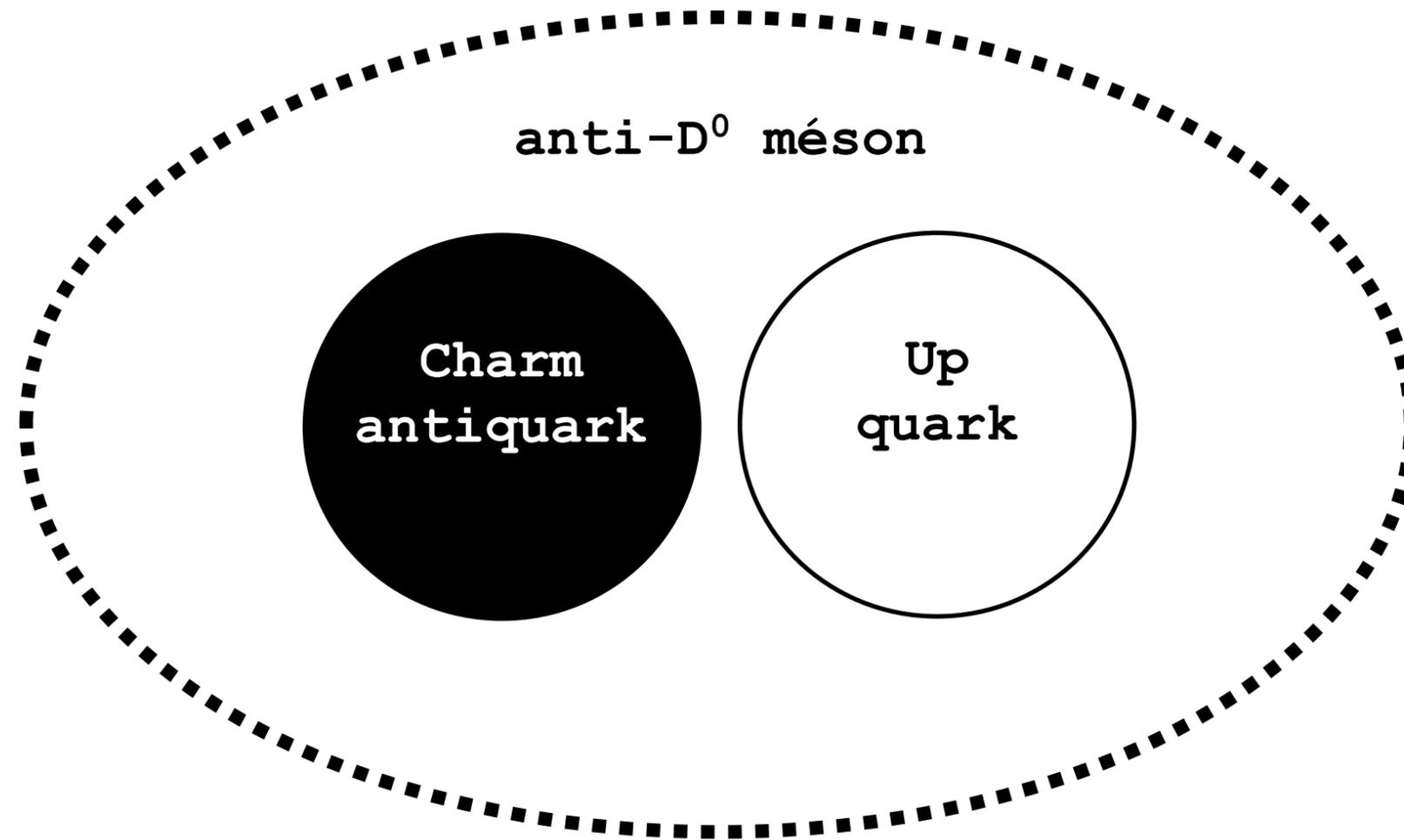
Pourquoi le D^0 est si spécial ?



Pourquoi le D^0 est si spécial ?

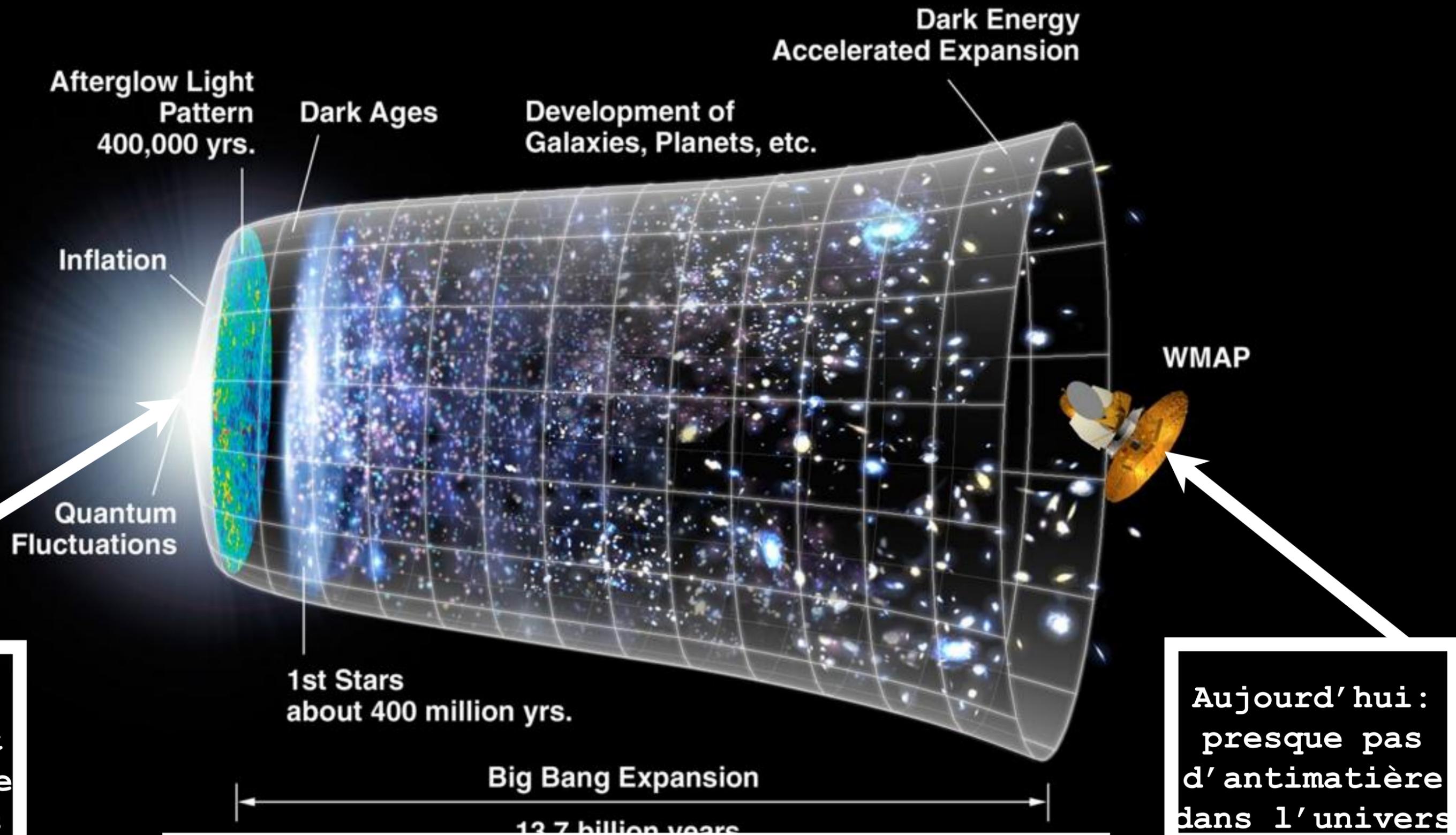


Il oscille !



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 ?

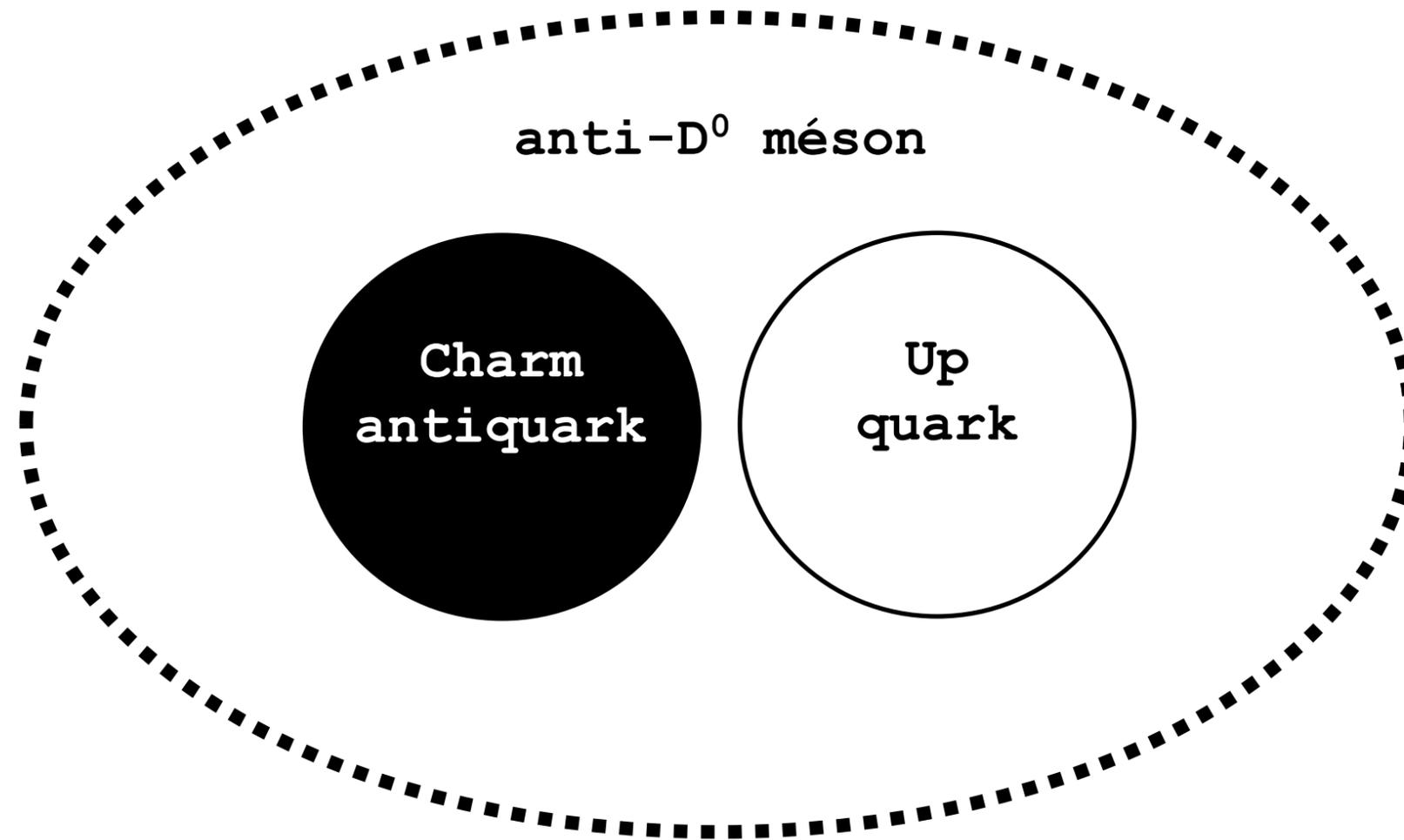


Autant matière et antimatière créés dans le big bang

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

OU 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?

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

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

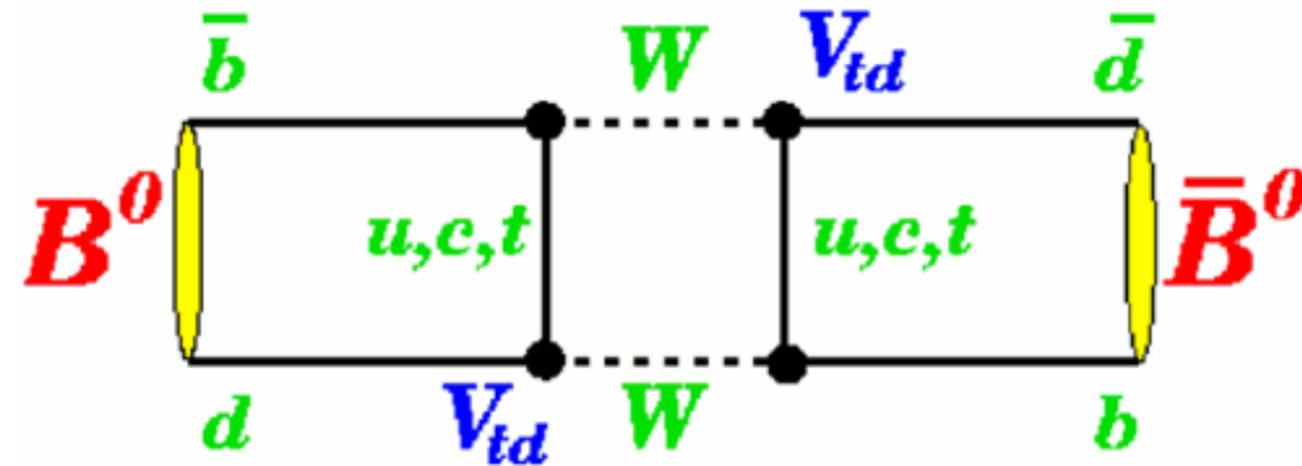
Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

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
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Quarks				
	<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
	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
Leptons	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



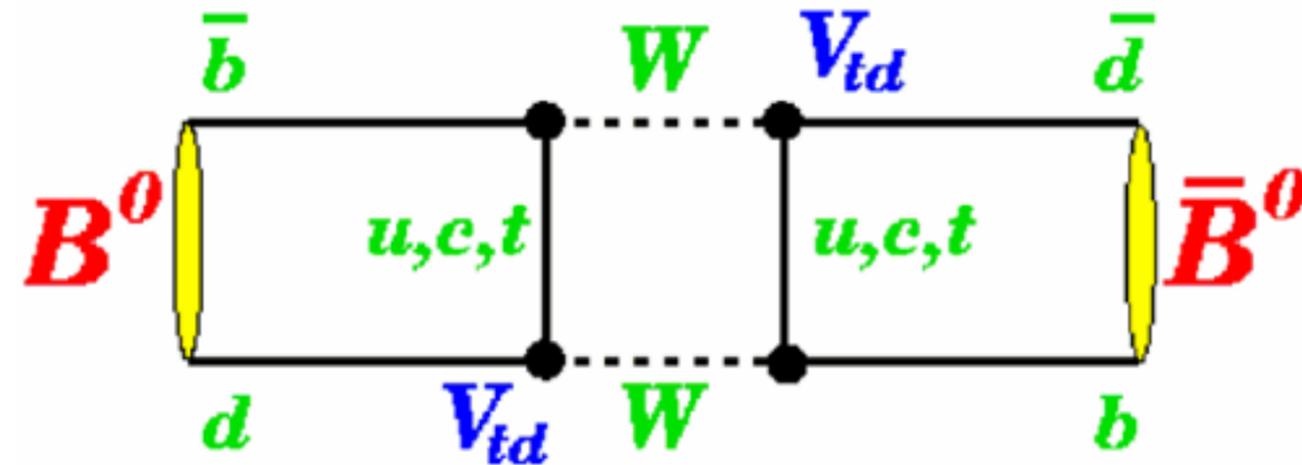
Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

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)



Pourquoi le D^0 et pas une autre particule?

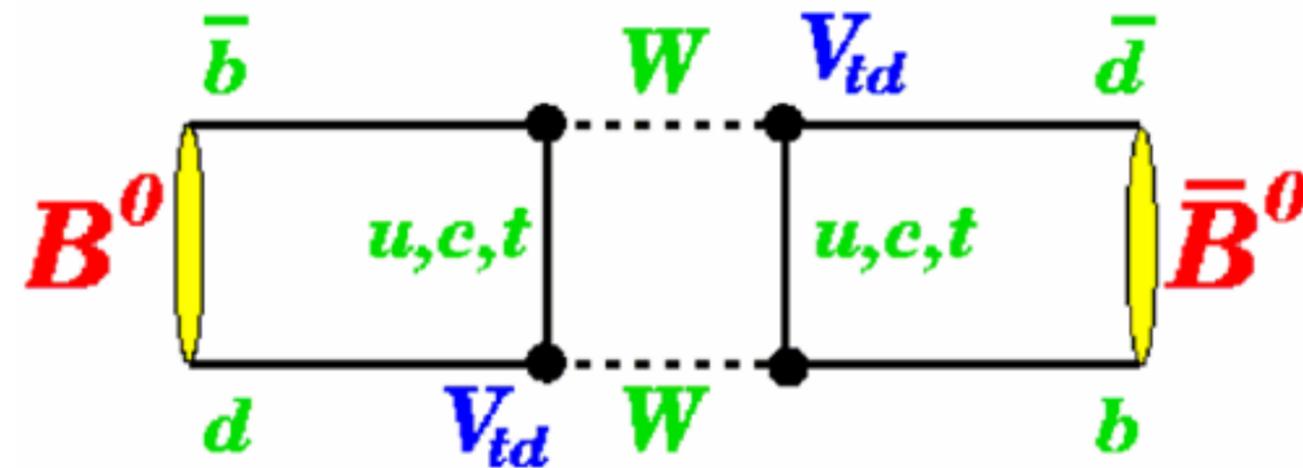
Three Generations of Matter (Fermions)

	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 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
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Quarks				
	<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
	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
Leptons				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

Le but de l'exercice

- a) Vous montrer les données qui viennent du LHC
- b) Vous apprendre comment sélectionner des particules dans ces données
- c) Vous apprendre à ajuster des fonctions aux données pour mesurer une propriété importante du signal
- d) Vous apprendre comment estimer les incertitudes systématiques d'une mesure

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 !

Y a pas que du signal ...

On produit beaucoup de D^0 , mais

a) on peut pas reconstruire toutes leurs désintégrations

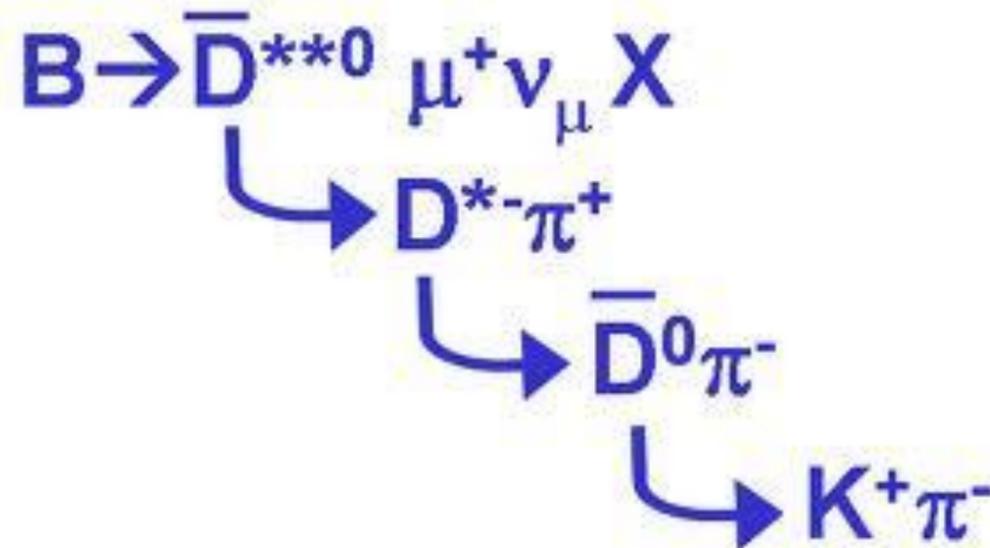
- pour la mesure que vous allez faire, vous reconstruirez que les D^0 qui se **désintègrent dans un pion et un kaon**

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

- Par exemple une combinaison incorrecte de deux particules est appelé **bruit de fond combinatoire**

c) les D^0 sont moins lourds que d'autres particules qui sont produites aussi (par exemple le B) et donc ces B peuvent se désintégrer dans le D (et d'autres particules) - **bruit de fond physique**

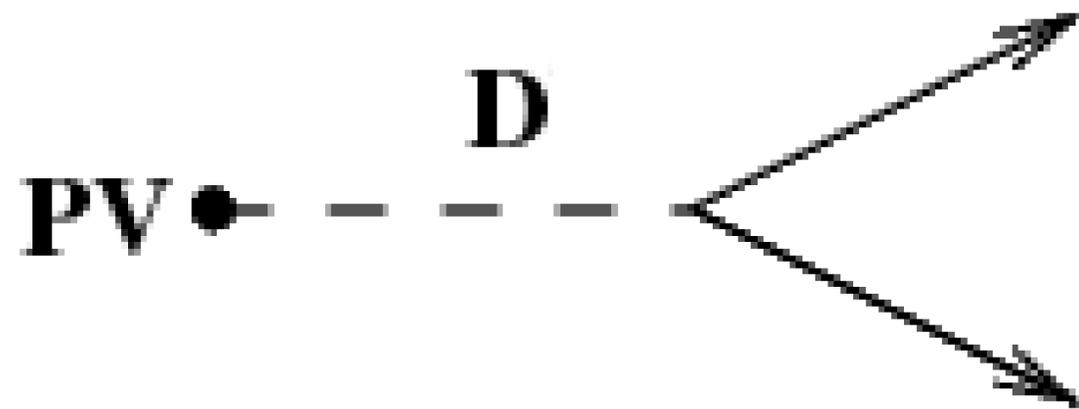
- pas grave, mais le problème est que les B ont un temps de vie aussi ! Et même plus long que les D !!!



Y a pas que du signal ...

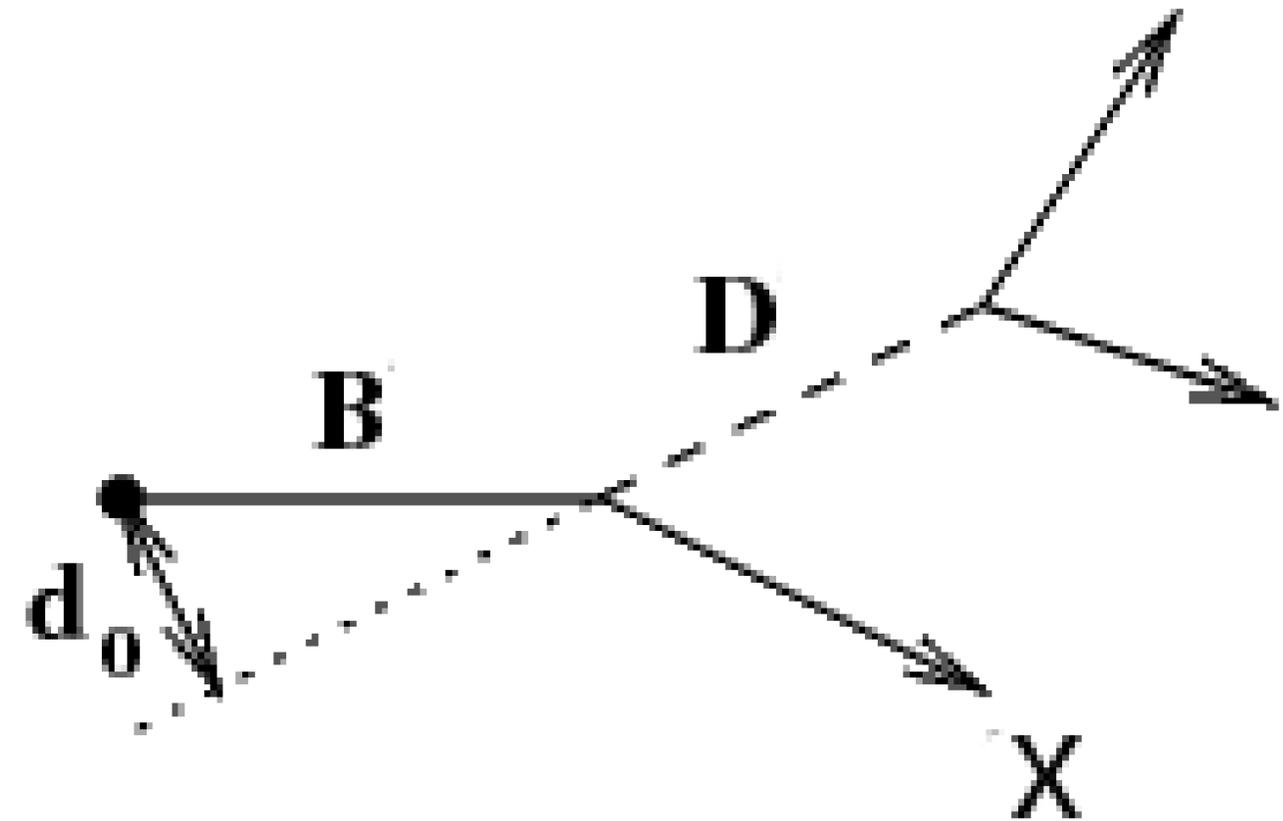
Direct Production

D points back to PV

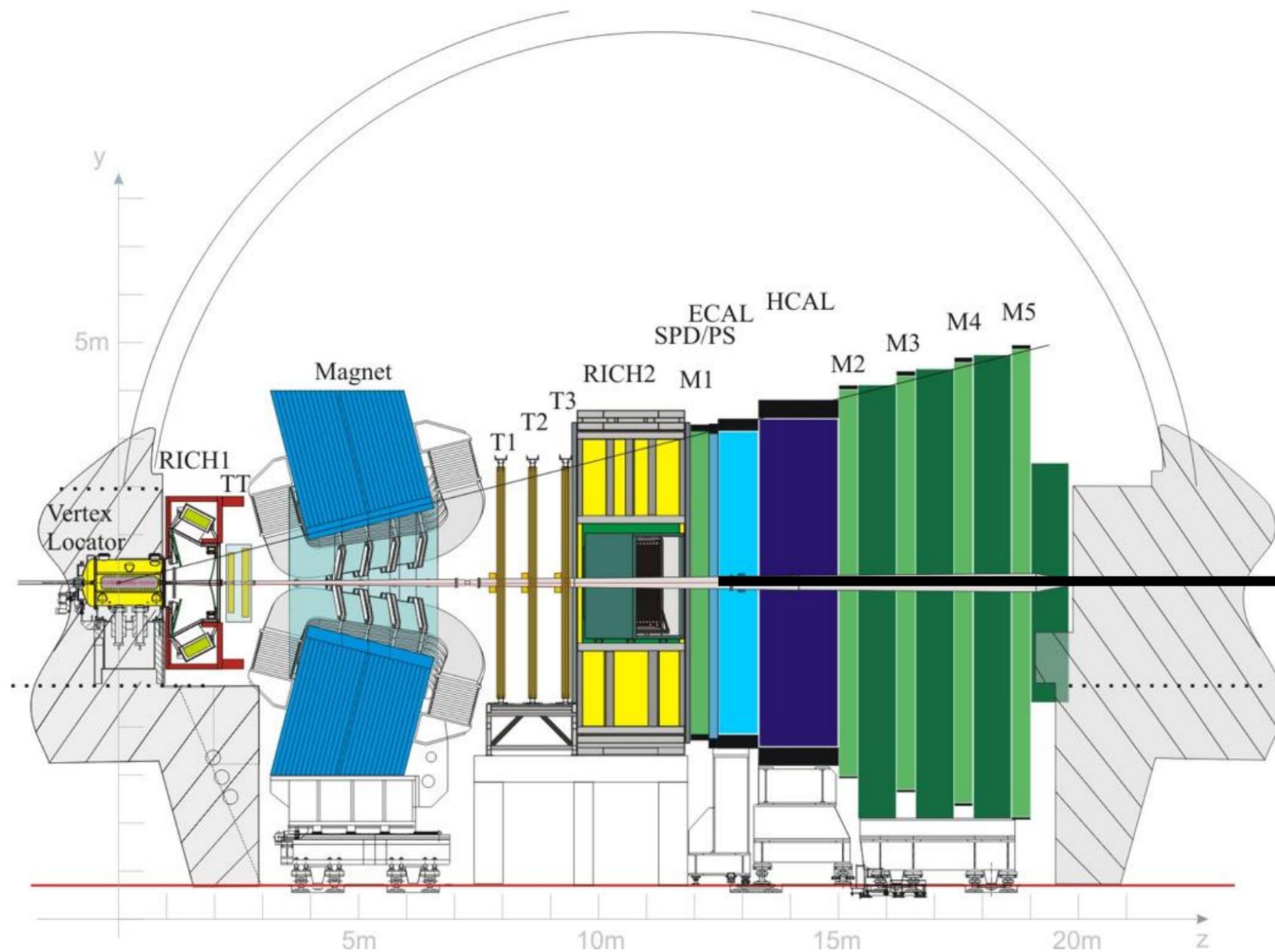


Secondary Production

D has finite impact parameter



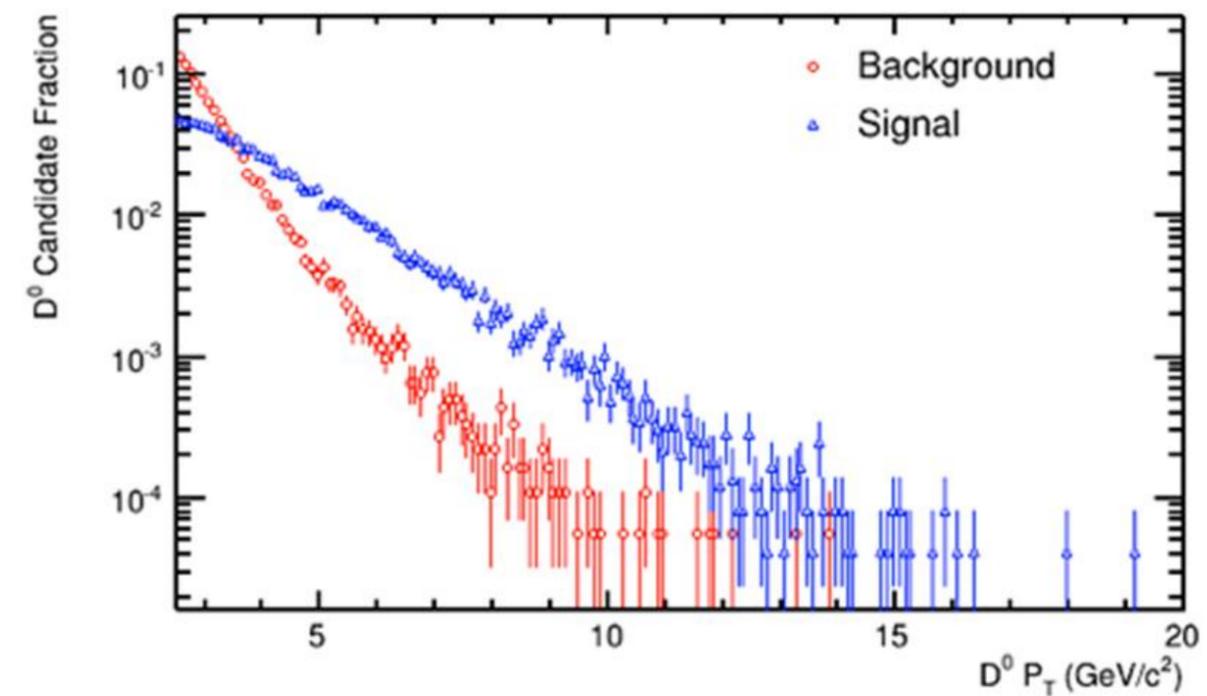
LHCb @ LHC



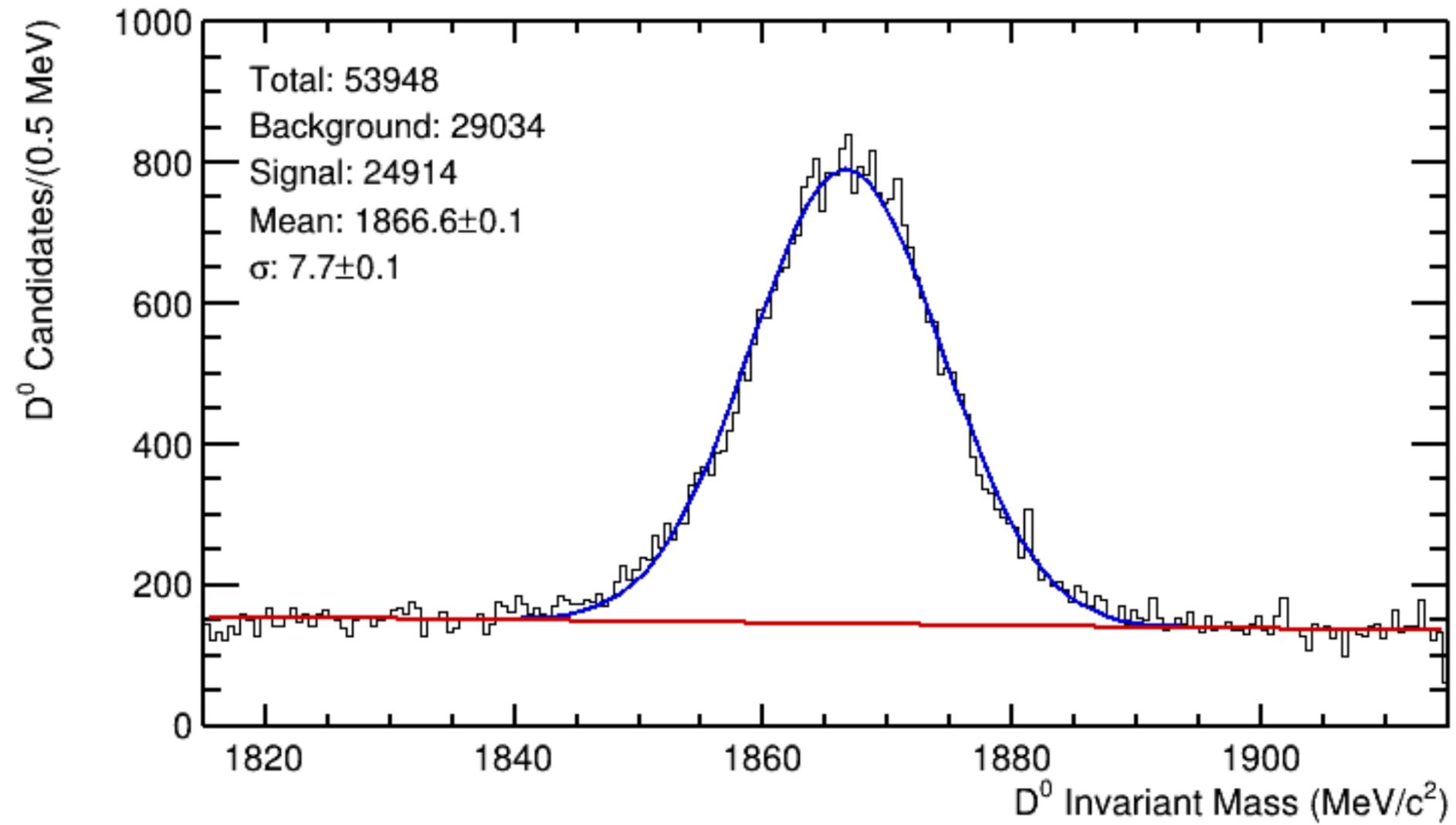
Transverse

Faisceaux

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

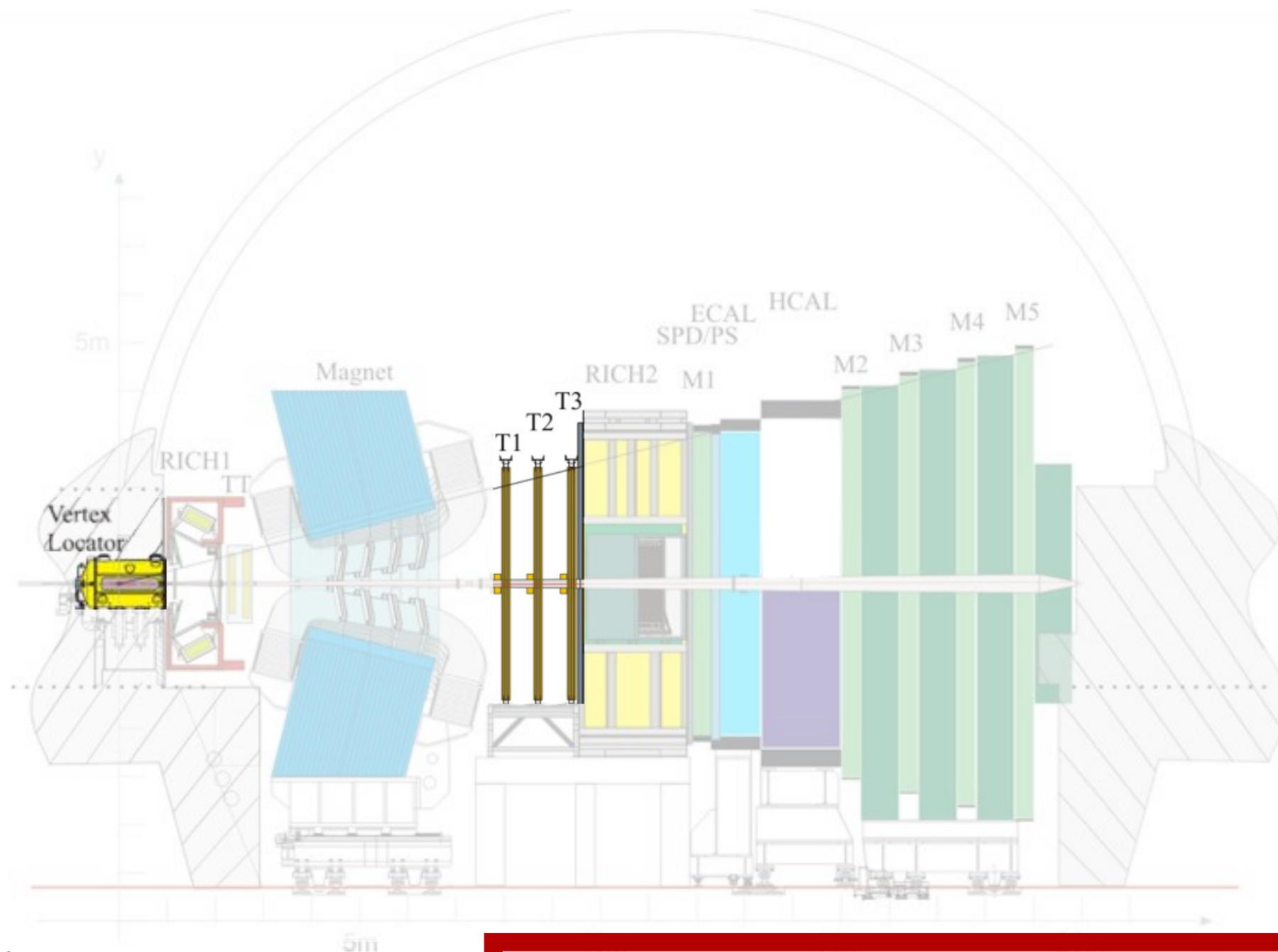
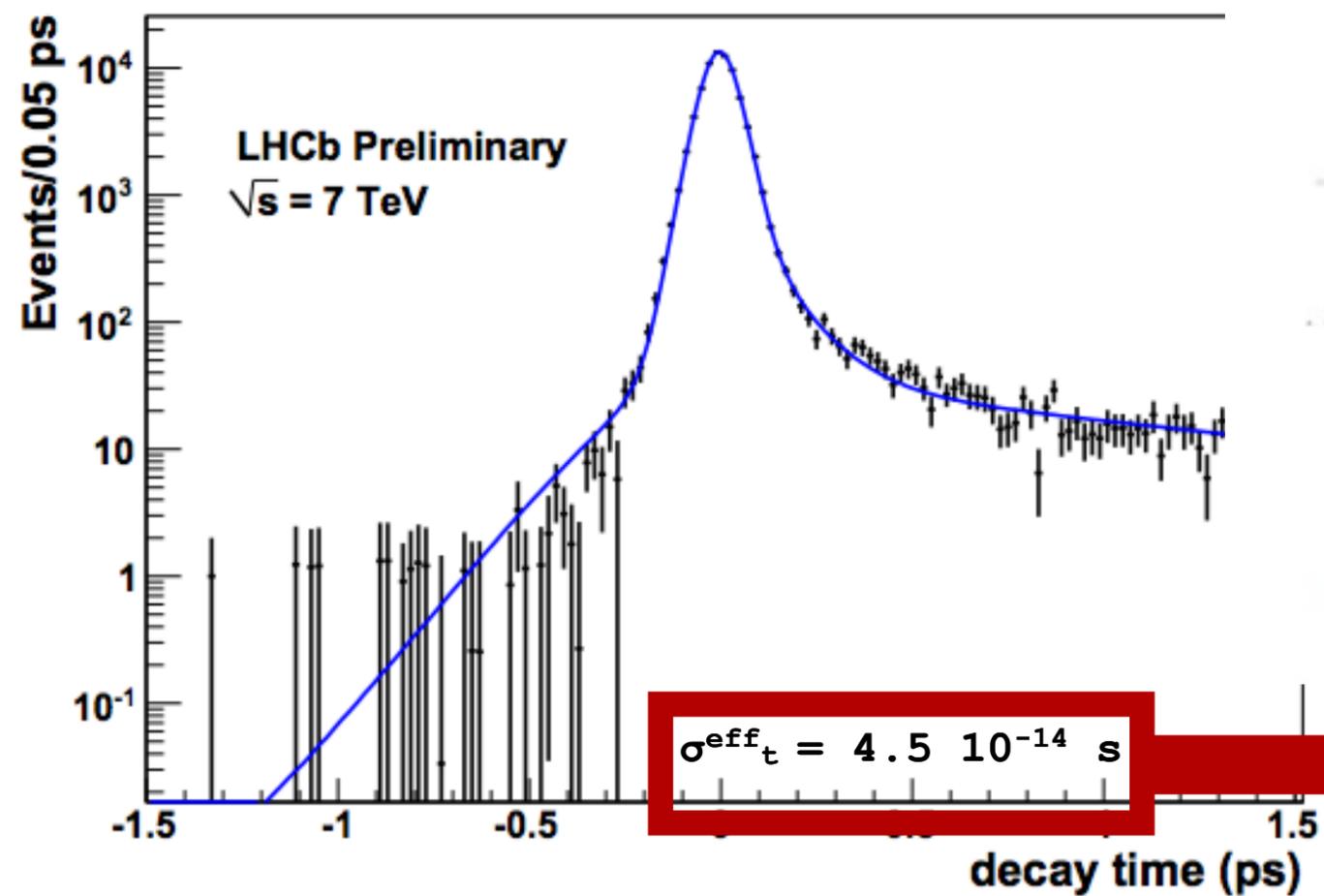


Masse invariante



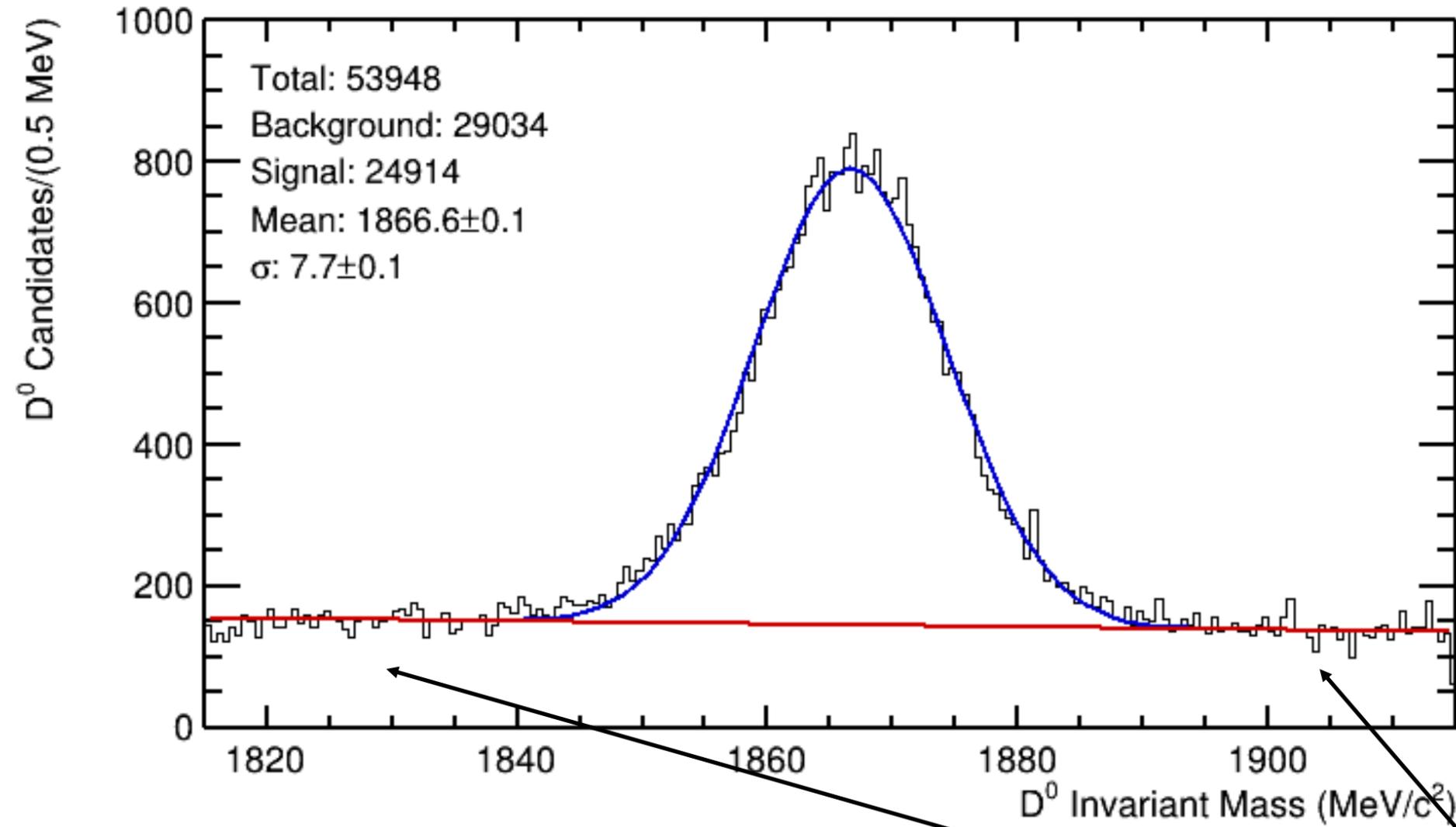
Utilise désintégrations $D^0 \rightarrow K\pi$: distribution de la mass.

LHCb : performance



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

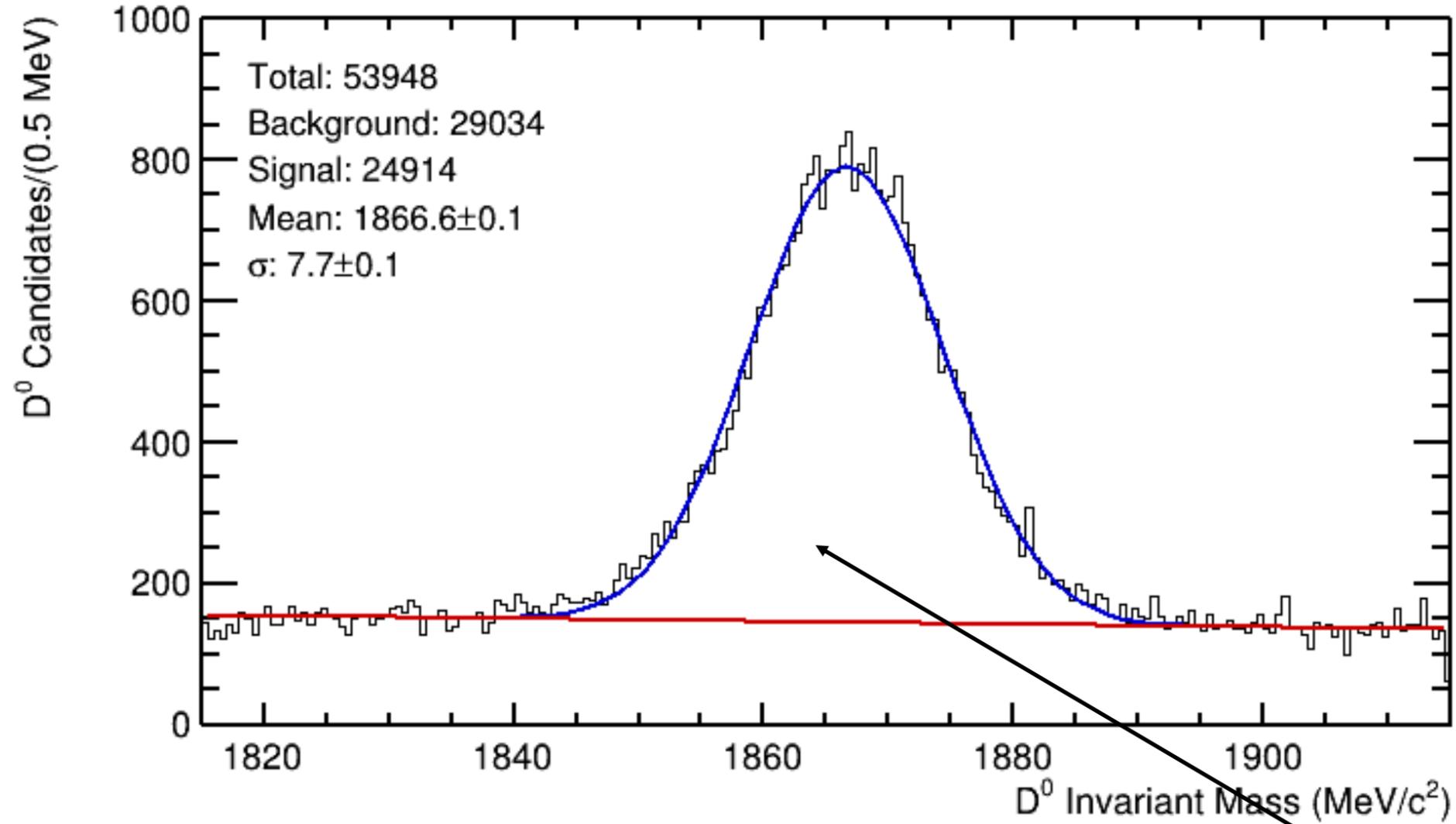
Signal et bruit de fond I



Utilise désintégrations $D^0 \rightarrow K\pi$: distribution de la mass.

Bruit de fond combinatoire

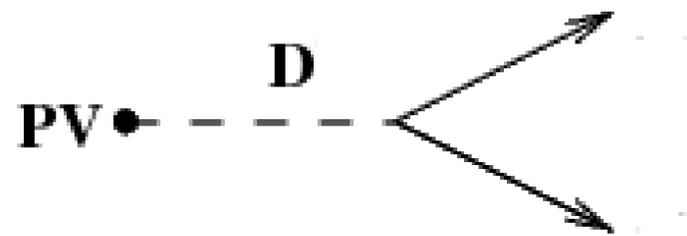
Signal et bruit de fond II



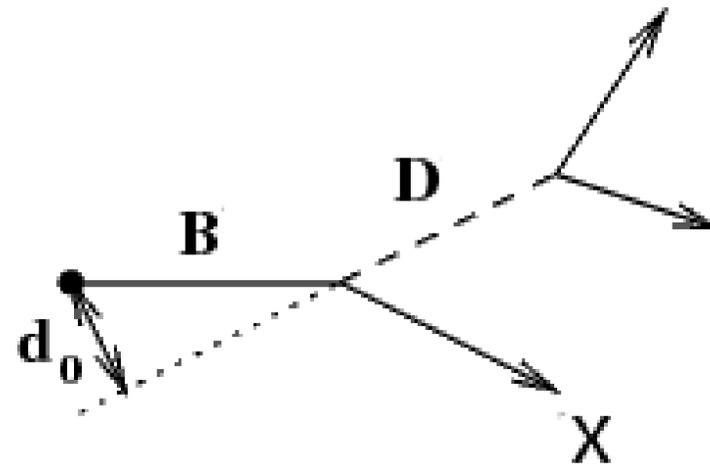
Signal D0, mais tous les D0 viennent
du vertex primaire ??

Y a pas que du signal ...

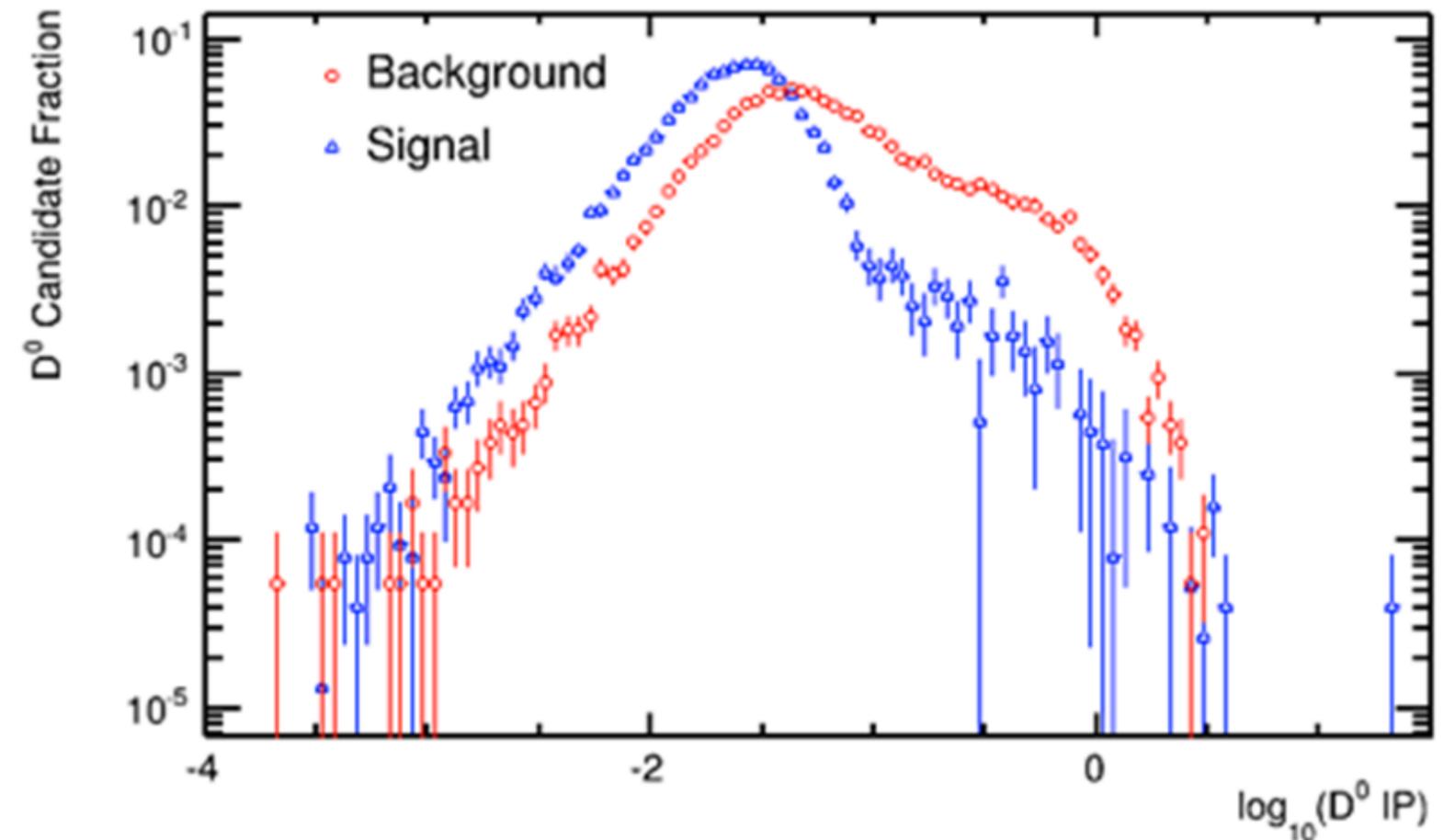
Direct Production
D points back to PV



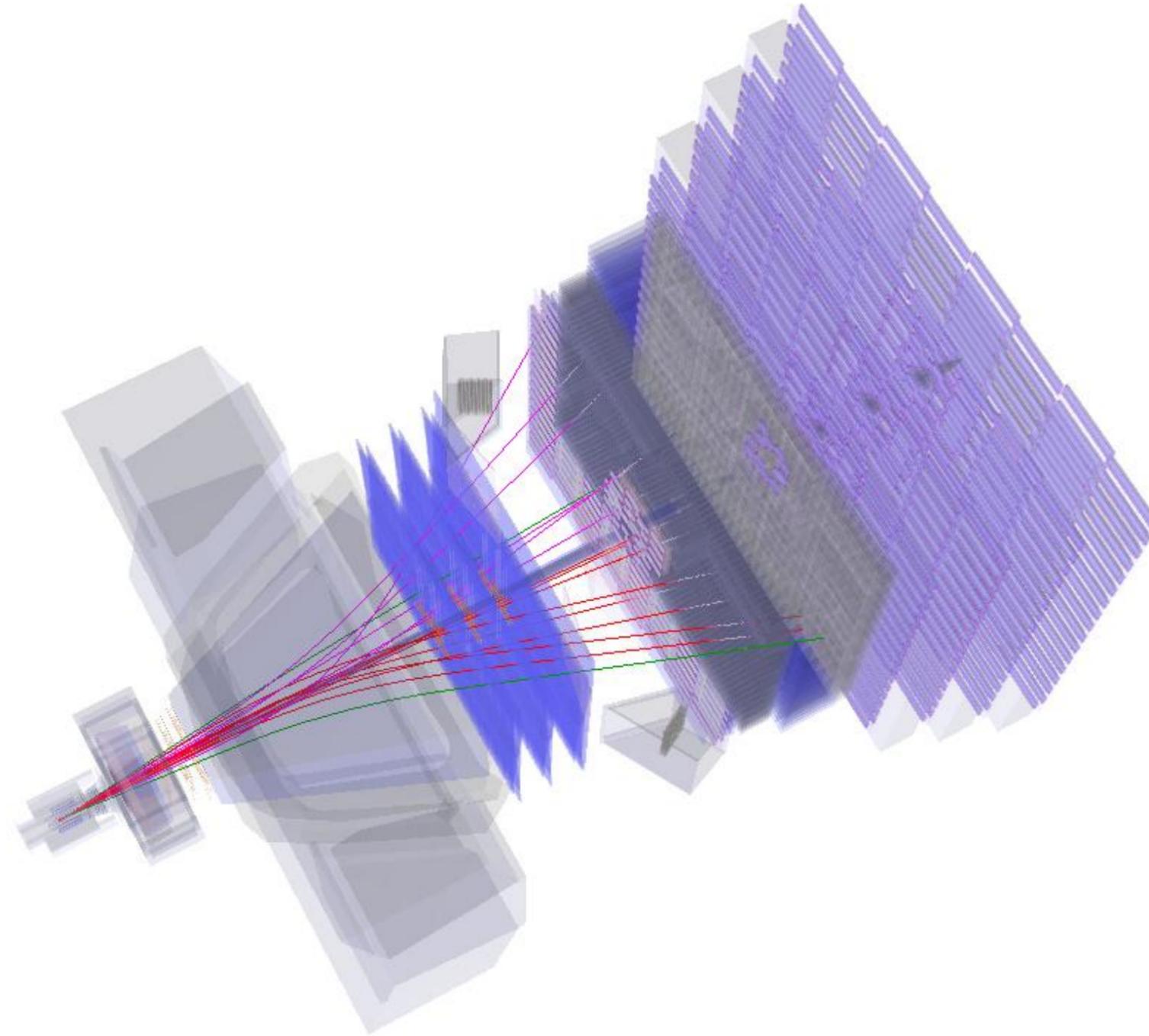
Secondary Production
D has finite impact parameter



Bruit de fond physique



Display



Du moment que LHCb est un détecteur en avant il est difficile de faire des exercices visuels en regardant tout le détecteur, donc on fait un zoom autour de la zone d'interaction ou vous pouvez (??) trouver les vertex déplacés (secondaires)

Le framework d'analyse

Event Control | Viewer 1 Help

Start
Combination 1 | Validate
Help | Exit

View
[Zoom] [Fit] [Lightbulb]
 Hide Geometry
 Transparency

Event manager
Event number: 7
[Previous] [Next]

Particle Info
Name: []
Mass: [] MeV/c²
E: [] MeV
q: []
chi2: []
px: [] MeV/c
py: [] MeV/c
pz: [] MeV/c
Save Particle

My Particles
[]
Calculate | Delete
Mass: []

Histogram
Add | Draw
Save Histogram

Legend
K- [Green]
K+ [Blue]
pi- [Red]
pi+ [Magenta]
D0 [Black]

Help

Zoom gives you closer look at collision

Click on the track to find out about particle properties

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!

View
[Zoom] [Fit] [Lightbulb]
 Hide Geometry
 Transparency

Event manager
Event number: 3
[Previous] [Next]

Particle Info
Name: pi+
Mass: 139.57 MeV/c²
E: 6498.92 MeV
q: 1.00
chi2: 0.59
px: -125.11 MeV/c
py: 649.90 MeV/c
pz: 6458.96 MeV/c
Save Particle

My Particles
My particle: K-
My particle: pi+
Calculate | Delete
Mass: 1821.14

Histogram
Add | Draw
Save Histogram

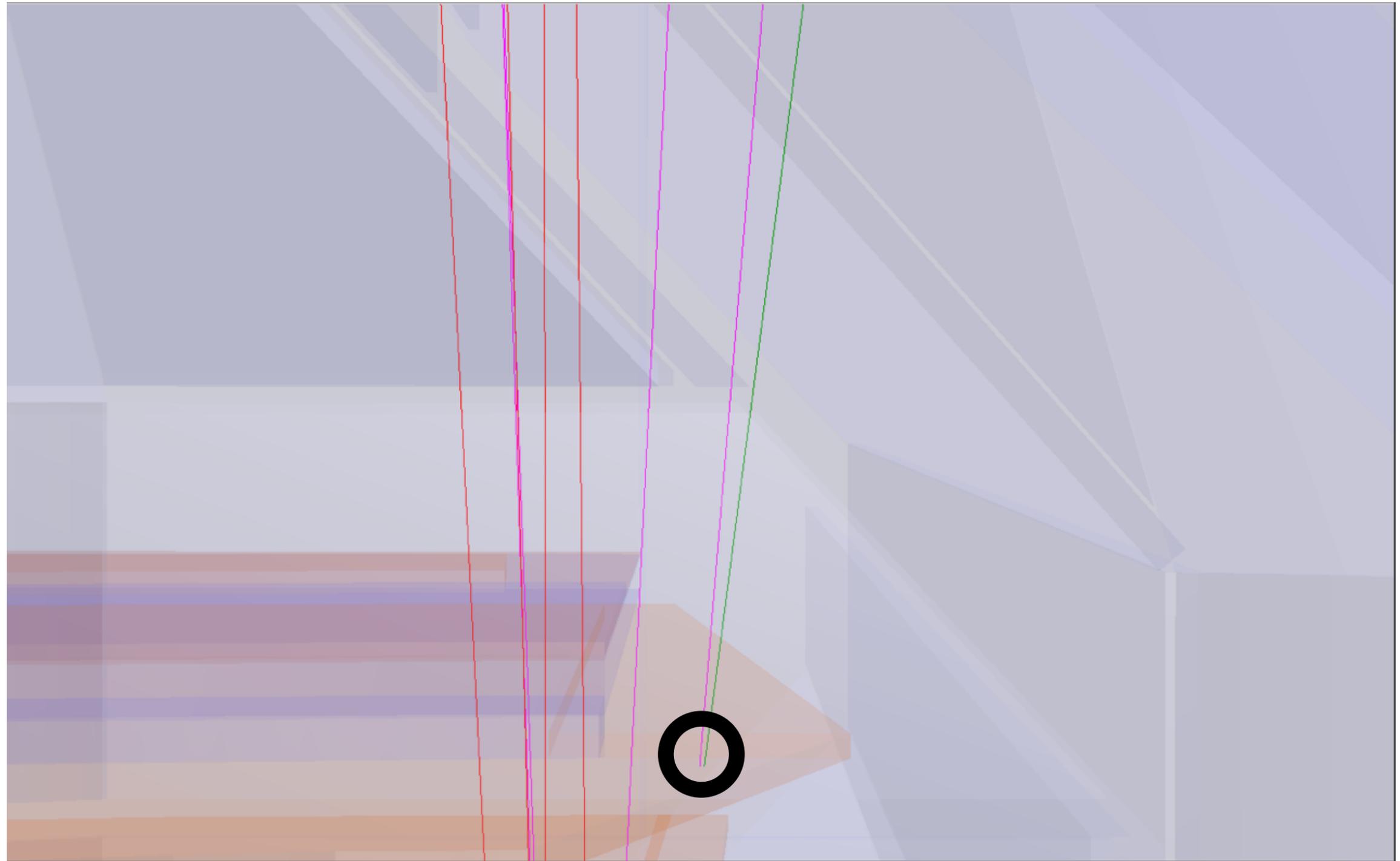
Hint shows you the hidden D0 and its children

Transparent view gives you a better look at particle tracks and the LHCb detector

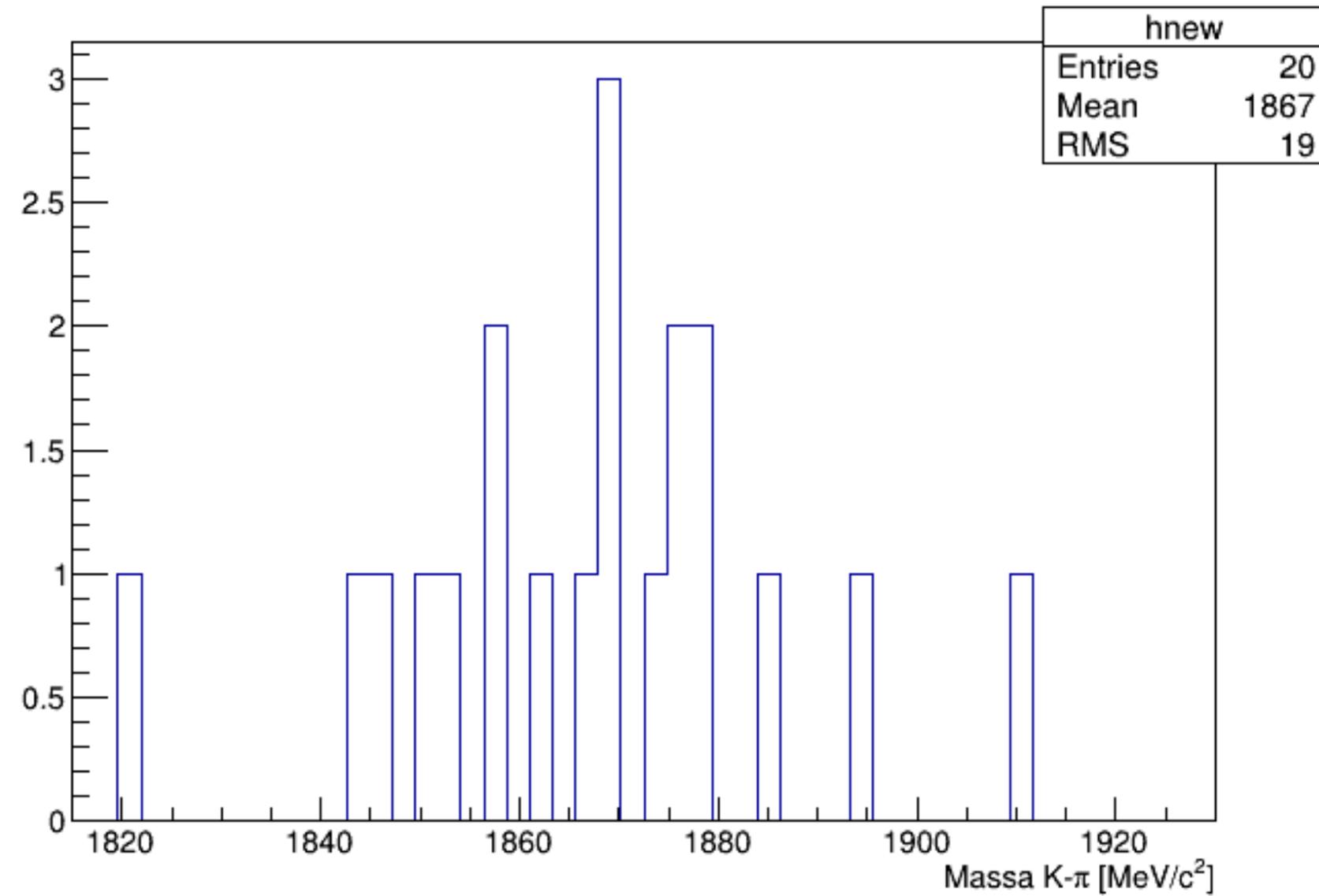
You can hide the geometry to see all the particle tracks.

Fullscreen shows the full view of LHCb detector and particle tra

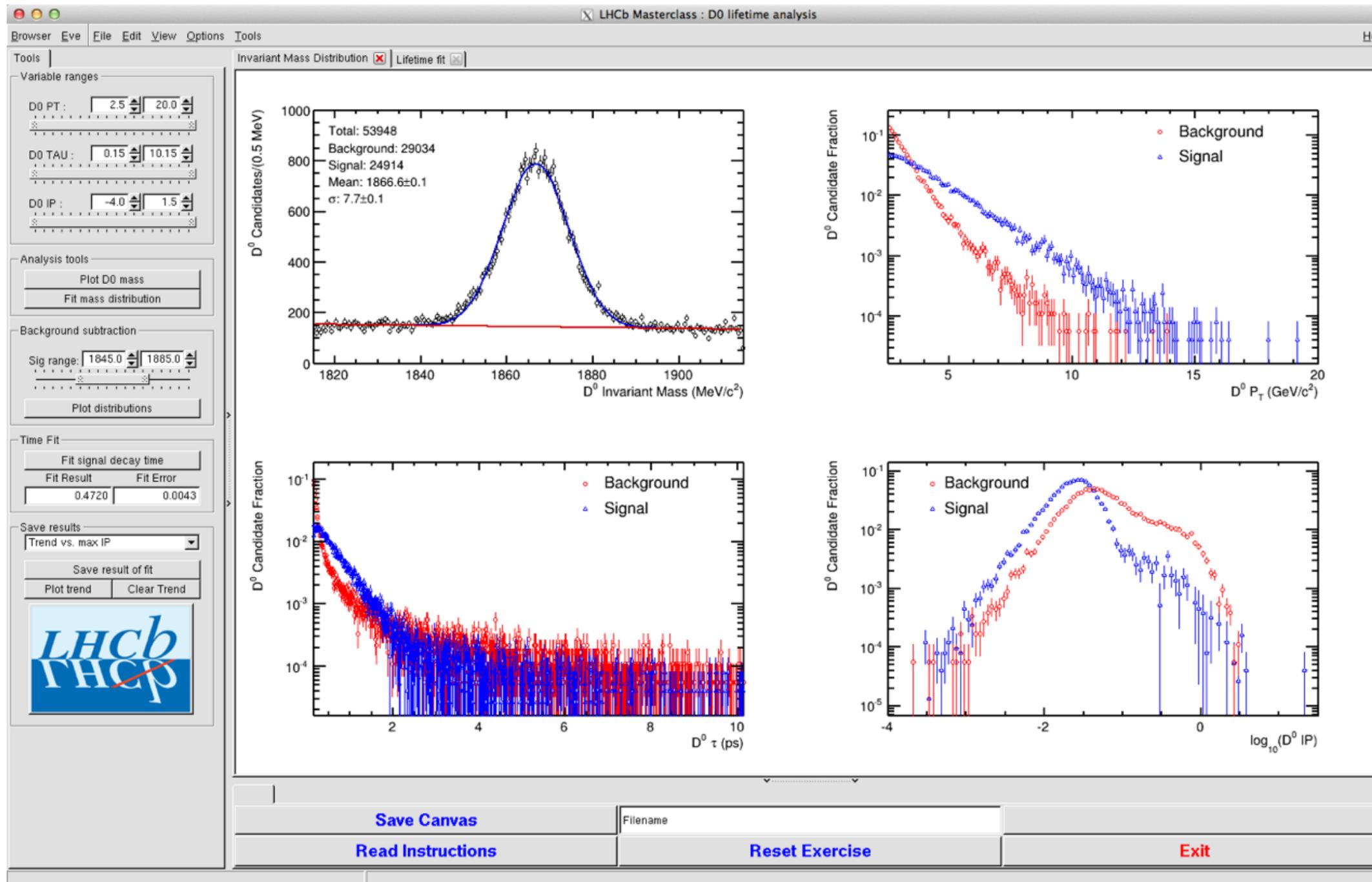
Un événement facile



Un histogramme (de masse)

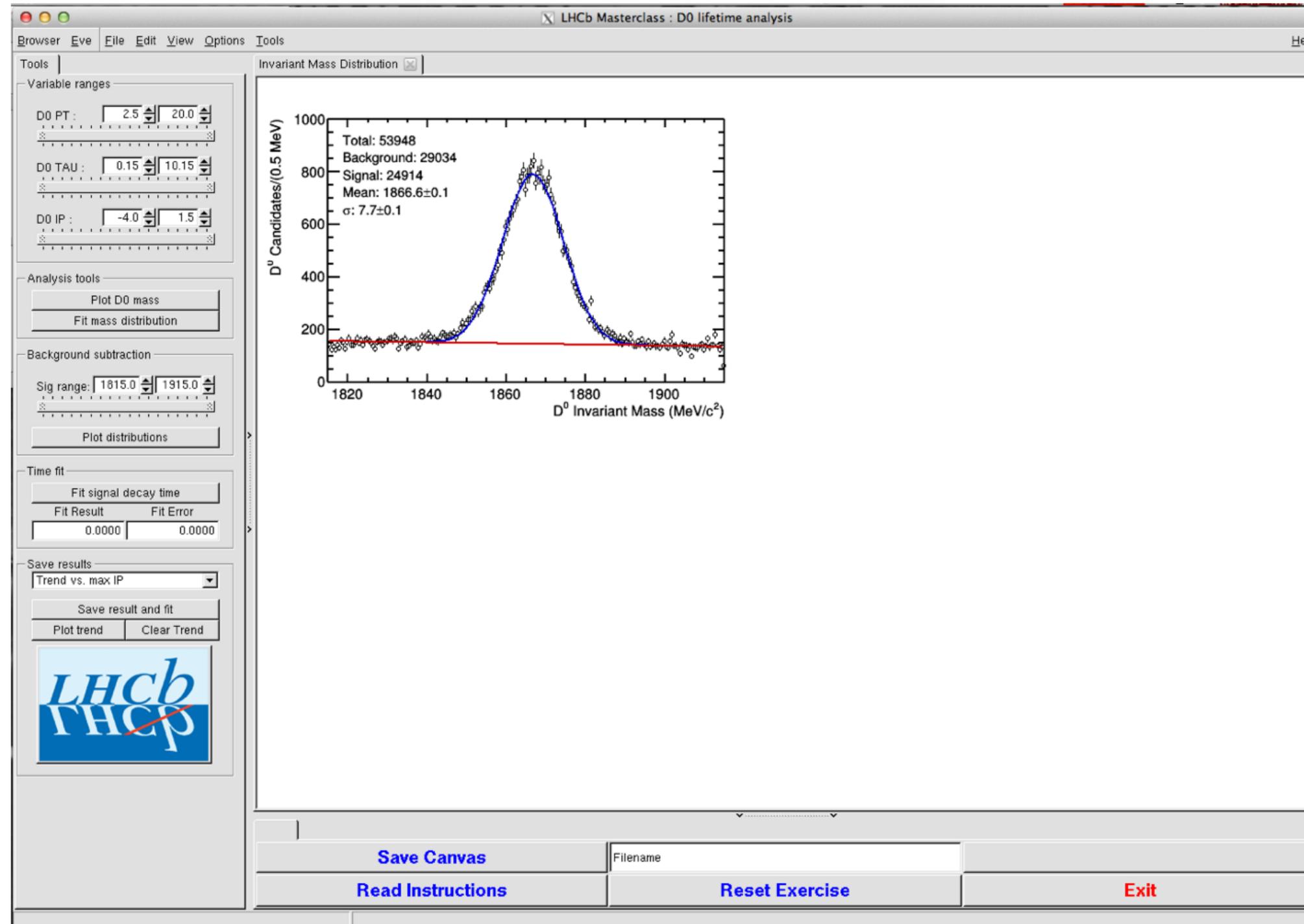


Comment ajuster le temps de vie



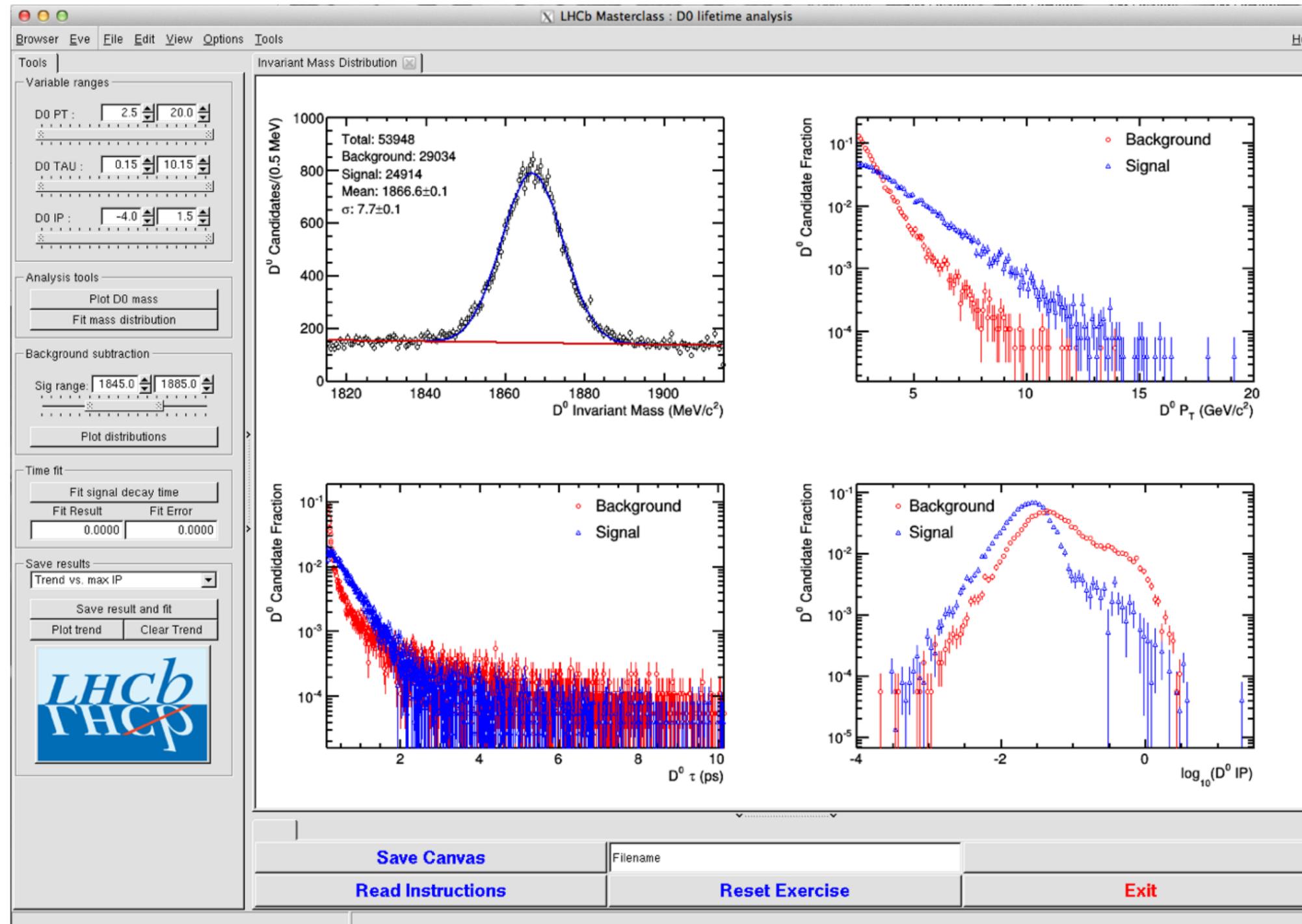
Une fois fini de regarder et sélectionner les bons événements, on vous donne un échantillon plus grand de données pour la mesure du temps de vie du méson D0.

Ajustement de la masse



La première tâche est d'ajuster des fonctions à la distribution du signal et du bruit de fond

Histogrammer des observables

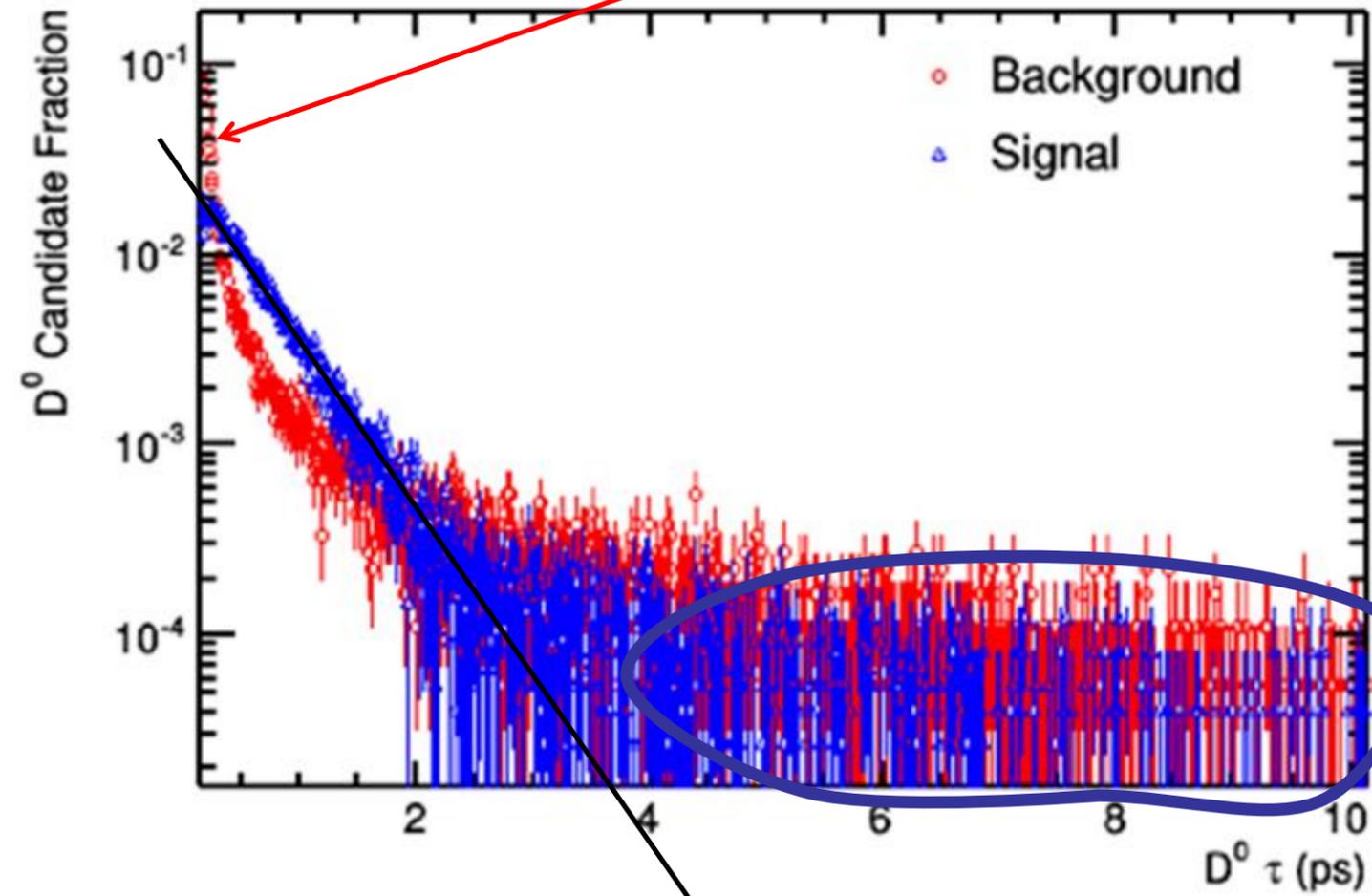


Vous utiliserez les résultats de l'ajustement pour histogrammer les distributions de plusieurs observables pour le signal et le bruit de fond.

Interpreter les distributions

Temps de vie... ou presque

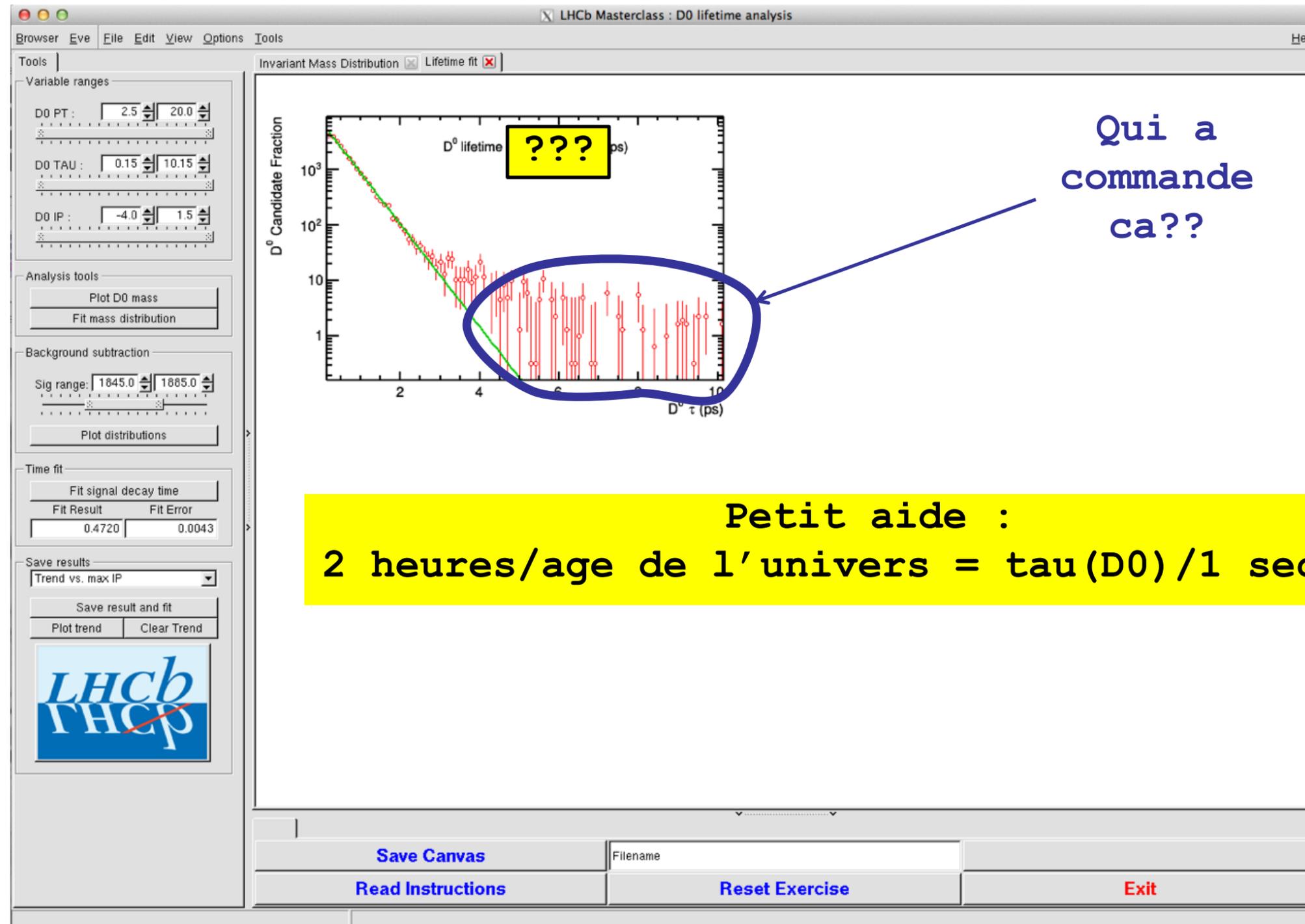
Bruit de fond combinatoire



Qui a commande ca??

Ligne droite (signal?)

Histogrammer et ajuster le temps de vie



Enfin vous ajusterez et donc mesurerez le temps de vie !!!
Est-ce que vos résultats sont en accord avec la moyenne mondiale???



Never stop



searching !!!



The END