Study of the $B \to X(3872)K \to D^{*0}\bar{D}^0K$ decay at Belle

Étude de la désintégration
$B \to X(3872)K \to D^{*0}\bar{D}^0K$
avec le détecteur Belle

Défense publique de thèse

Nicolas Zwahlen

5 mars 2009

Plan

1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats XYZ
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

Plan

1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats XYZ
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

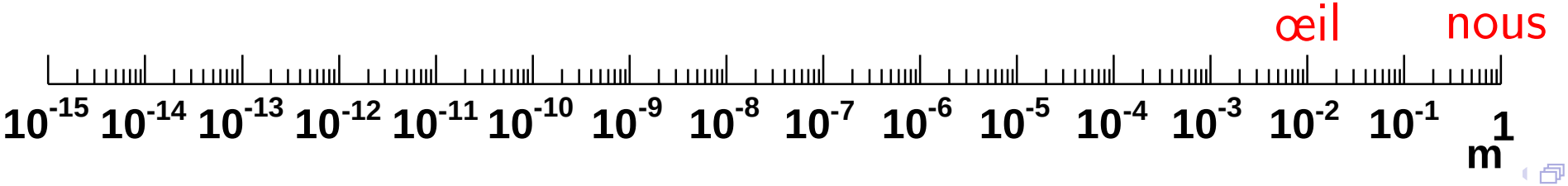
Echelle de grandeurs

Voyage de notre monde vers le monde des particules, en quelques étapes :

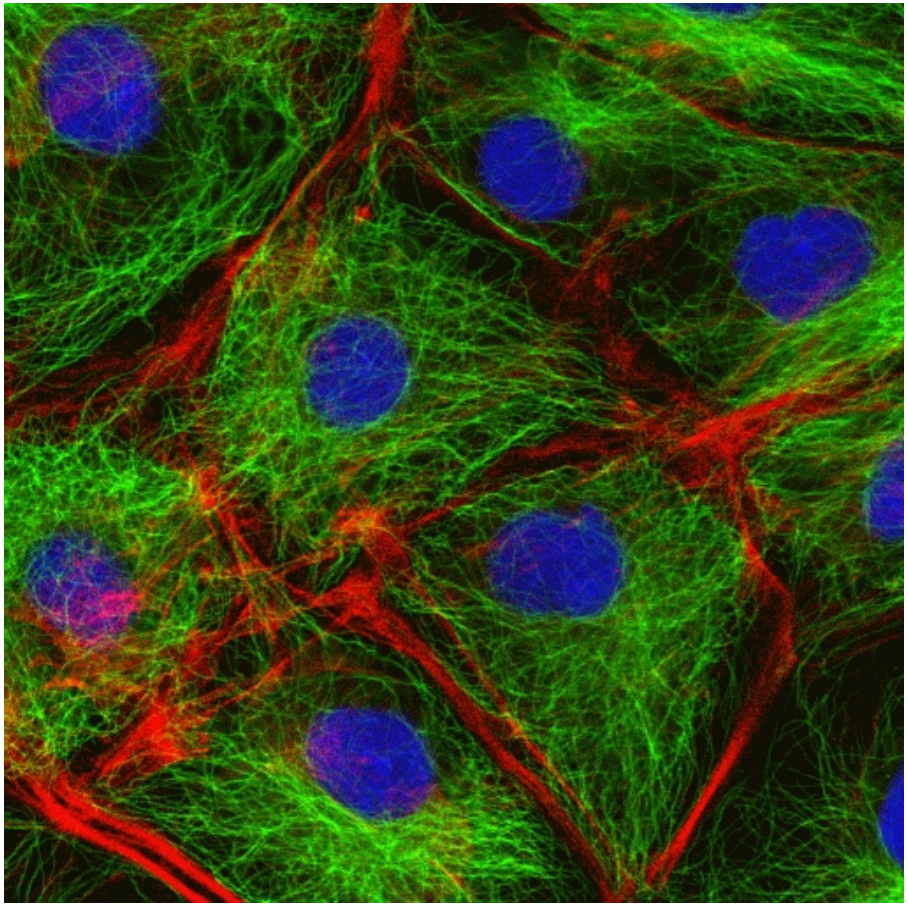
Echelle de grandeurs

Œil

Taille :
environ 1 cm
(10^{-2} m)

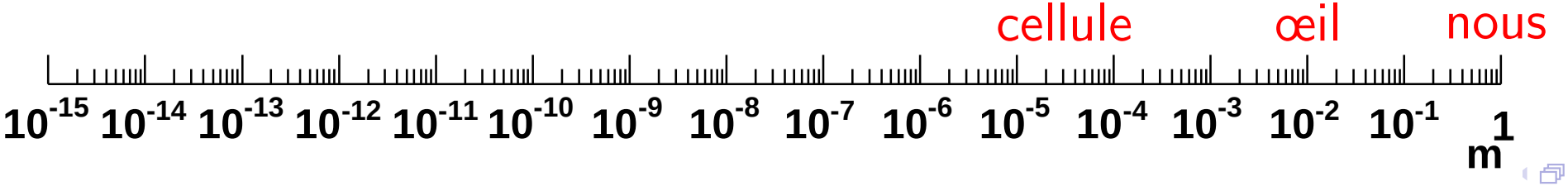


Echelle de grandeurs

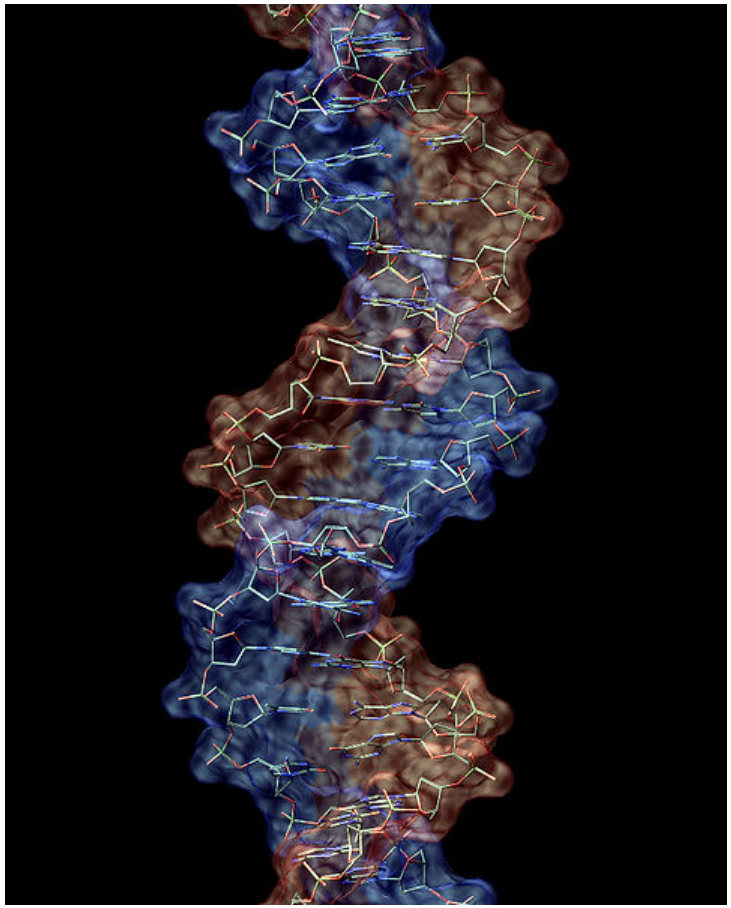


Cellules

Taille :
environ 100 microns
(10^{-4} m)

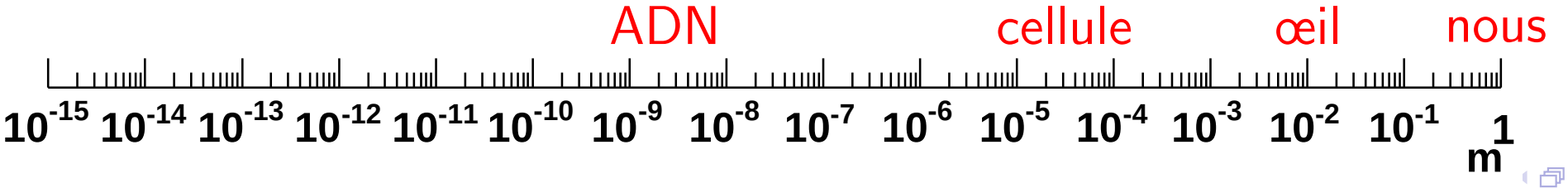


Echelle de grandeurs

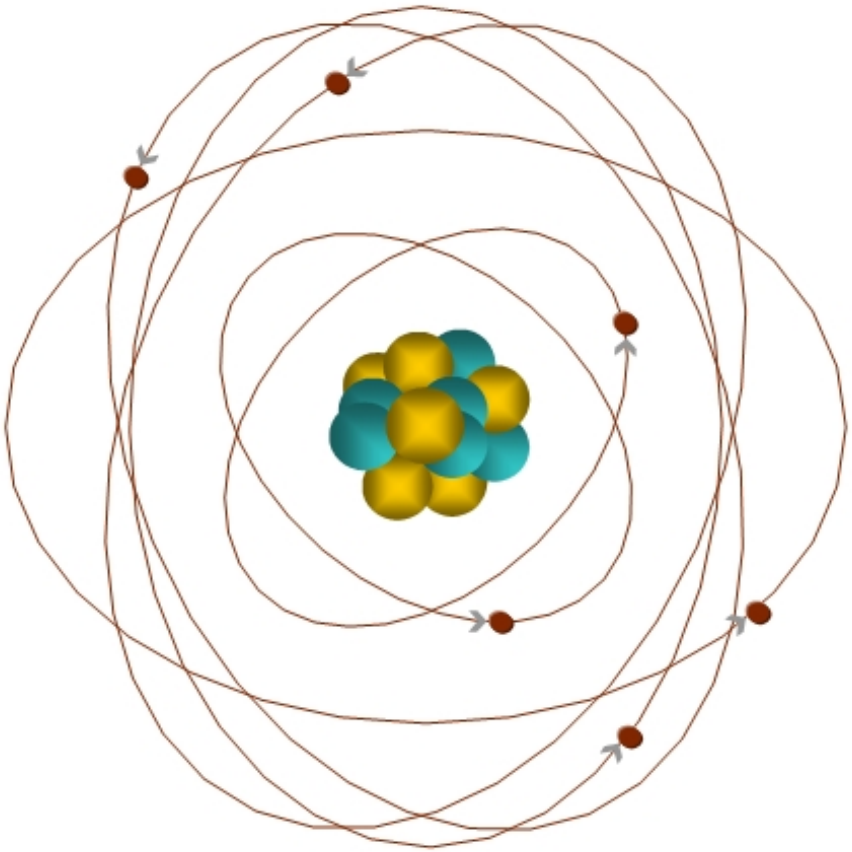


Double hélice d'ADN

Taille :
environ 20 ångströms de diamètre
(10^{-9} m)



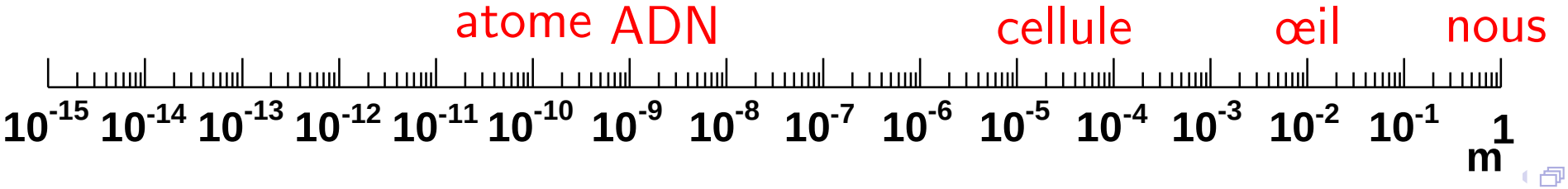
Echelle de grandeurs



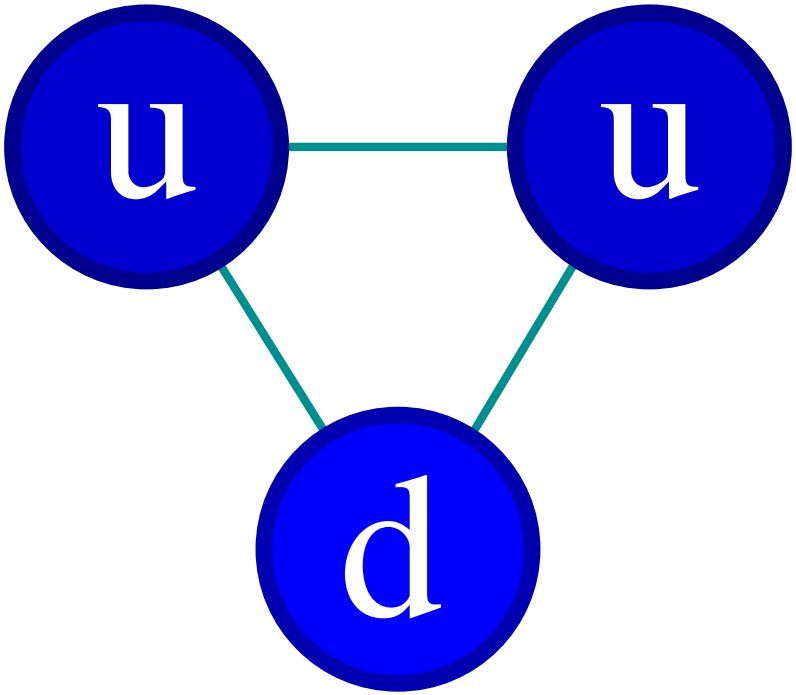
Atome

Taille :
environ 1 ångström
(10^{-10} m)

noyau (protons et neutrons) entouré d'un nuage d'éléctrons



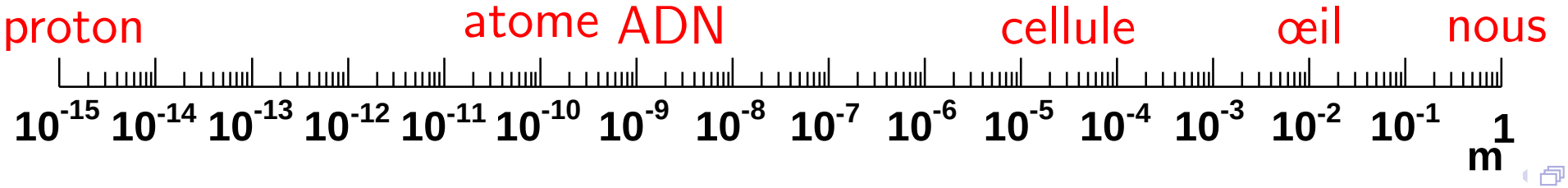
Echelle de grandeurs



Proton

Taille :
environ 1 fermi
(10^{-15} m)

formé de 3 quarks



Particules élémentaires

charge					
−1	leptons	e electron	μ muon	τ tau	**bosons** photons
0		neutrino e	neutrino μ	neutrino τ	W, Z
+2/3	quarks	u up	c charm	t top	gluons
−1/3		d down	s strange	b bottom	Higgs ?

Antiparticules élémentaires

charge				
+1	anti–leptons	e positon	μ anti–muon	τ anti–tau
0		antineutrino e	antineutrino μ	antineutrino τ
−2/3	anti–quarks	$\bar{u}$ anti–up	$\bar{c}$ anti–charm	$\bar{t}$ anti–top
+1/3		$\bar{d}$ anti–down	$\bar{s}$ anti–strange	$\bar{b}$ anti–bottom

bosons

photons

W, Z

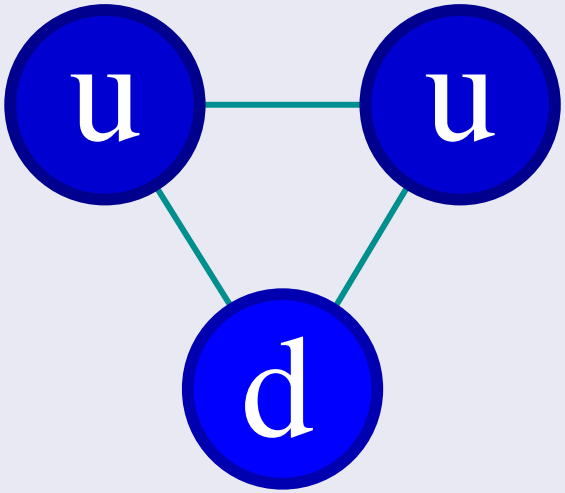
gluons

Higgs ?

Particules composées (hadrons)

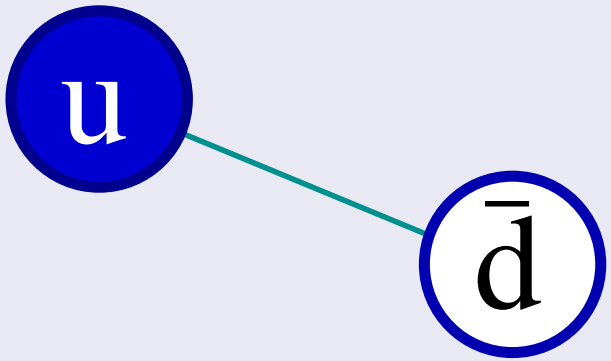
Les quarks ne sont jamais isolés, mais se groupent de deux manières différentes :

Baryons



trois quarks
(protons, neutrons, ...)

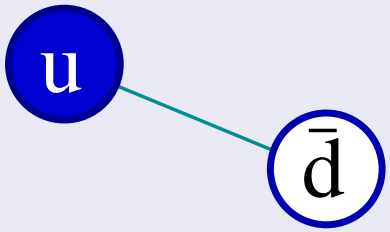
Mésons



un quark et un antiquark
(pions, kaons, ...)

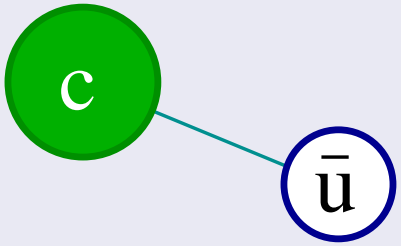
Exemples de mésons

Pion π



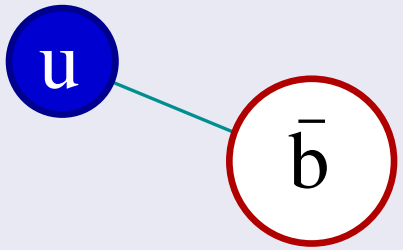
masse 150 MeV

Méson D



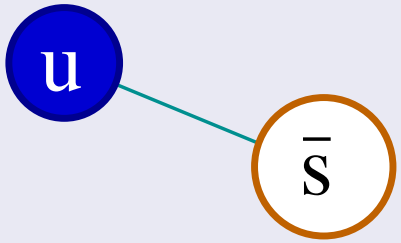
masse 1865 MeV

Méson B



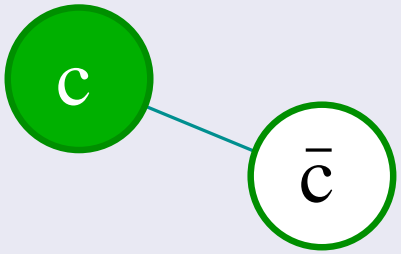
masse 5280 MeV

Kaon K



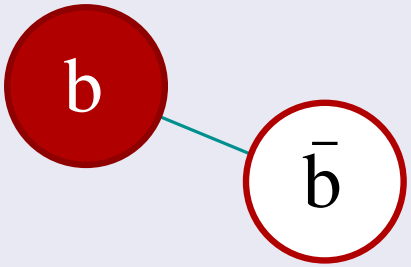
masse 500 MeV

Charmonium J/ψ



masse 3100 MeV

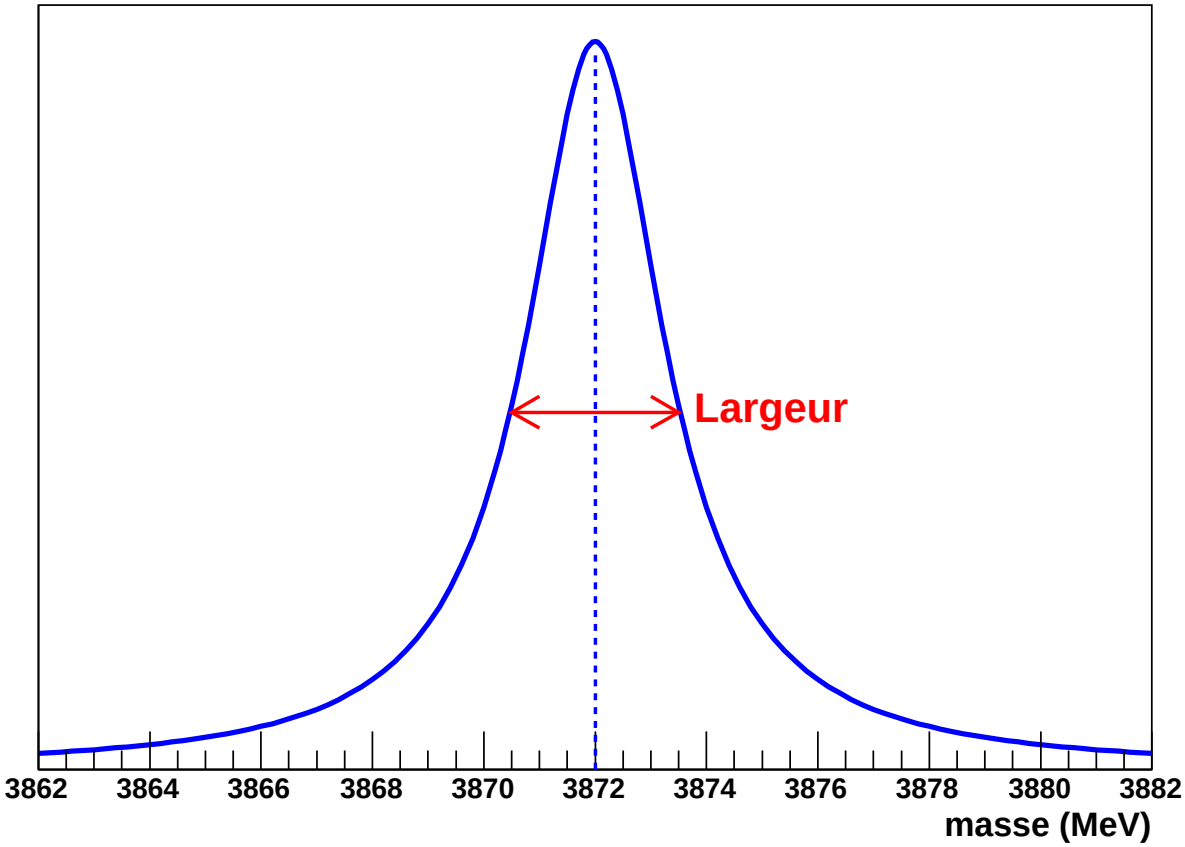
$\Upsilon(4S)$



masse 10580 MeV

Résonances

Les résonances sont des particules très instables qui se désintègrent rapidement. Elles sont caractérisées par leur *masse* et leur *largeur*.



On aimerait mesurer la masse et la largeur du $X(3872)$.

Plan

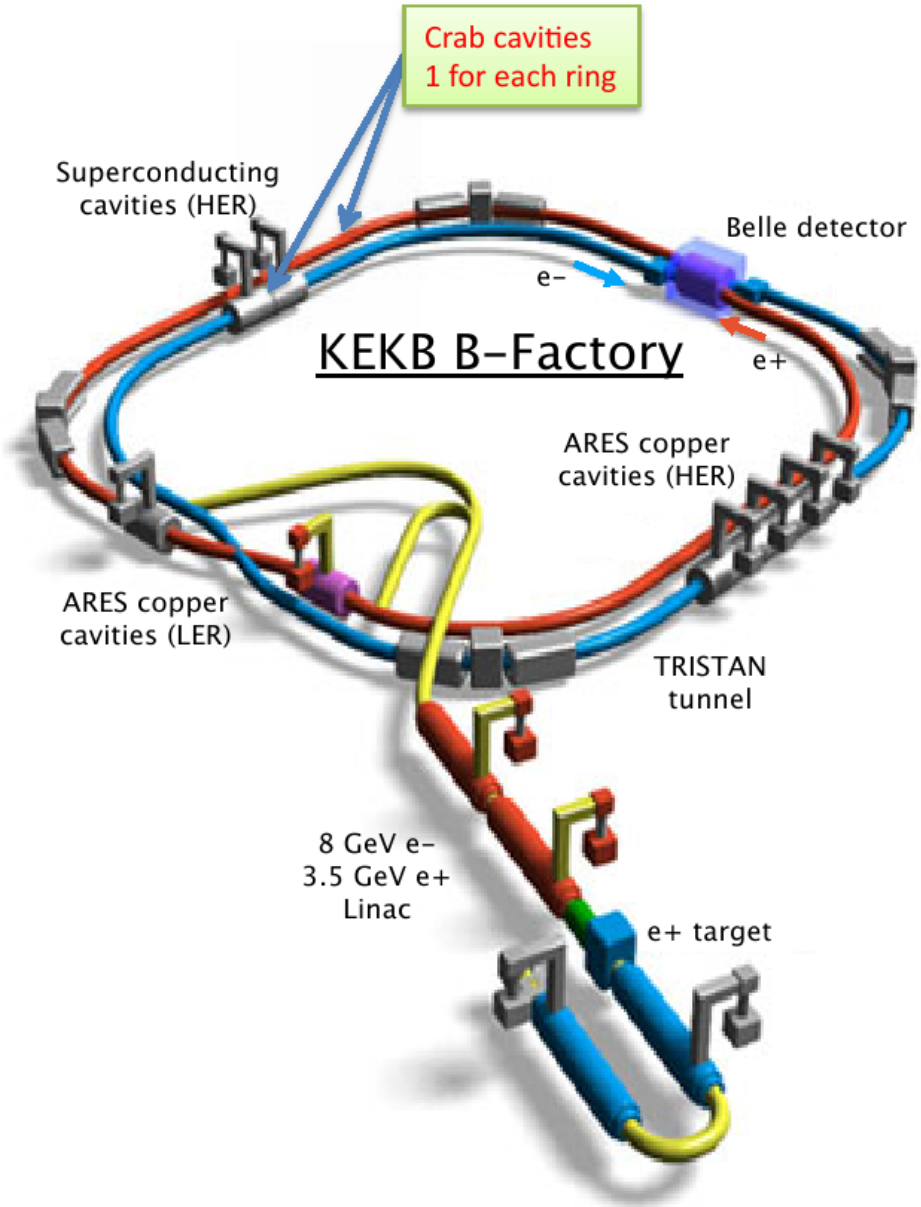
1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats XYZ
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

L'expérience Belle

- Collaboration de 300 physiciens venant de 60 instituts, dans 14 pays.
- Se trouve à Tsukuba, au Japon.
- Créée pour étudier la physique des mésons B.
- A démarré en 1999.
- A accumulé environ 800 millions de paires $B\bar{B}$.

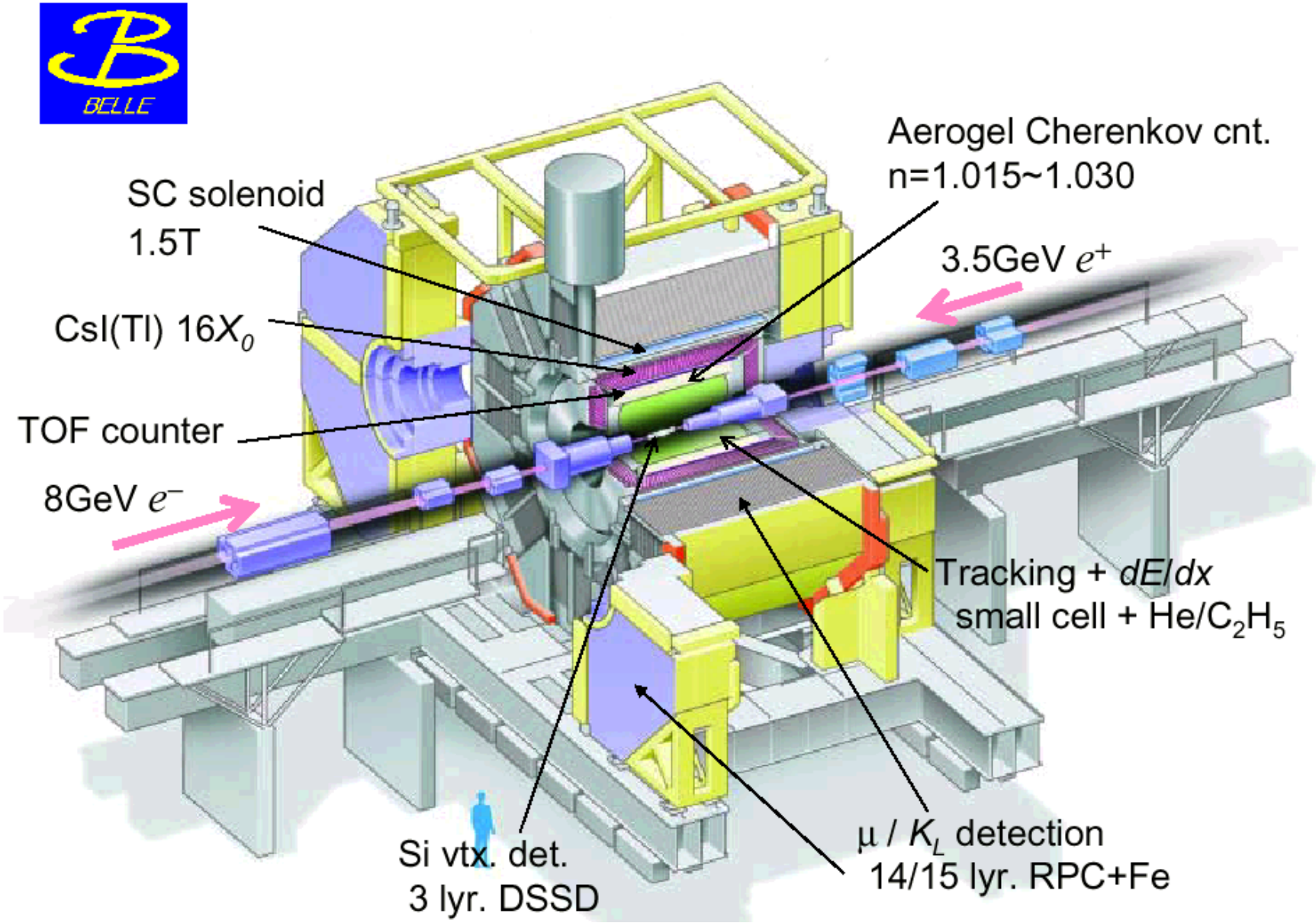
Vue aérienne du KEK

L'accélérateur KEKB

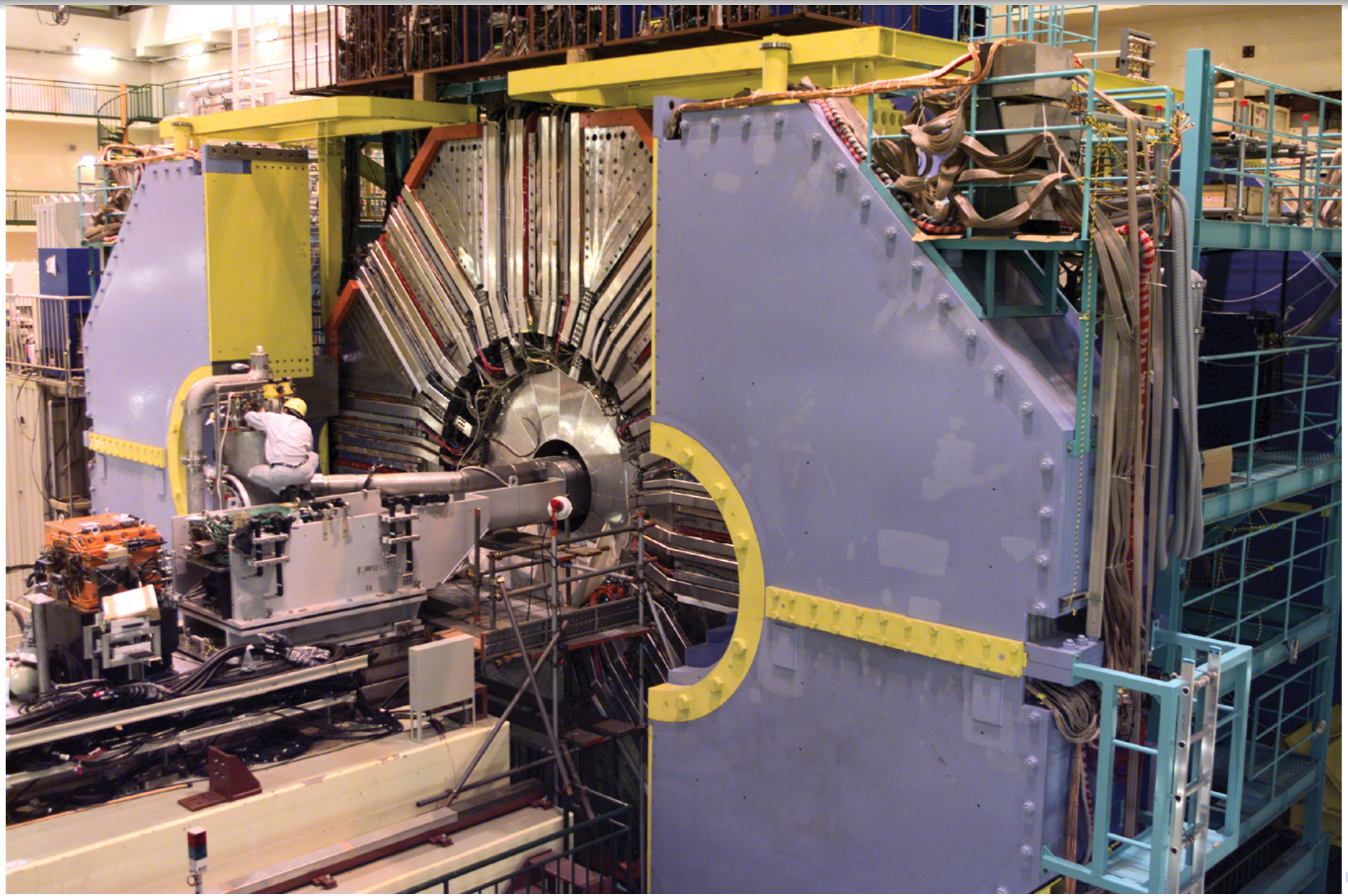


- collisionneur e^+e^- asymmétrique
- 2 anneaux de 3 km de long, à 10 m sous terre
- un point d'interaction, au centre du détecteur Belle
- les collisions produisent des résonances $\Upsilon(4S)$ qui se désintègrent en paires $B\bar{B}$
- « usine à B »

Le détecteur Belle

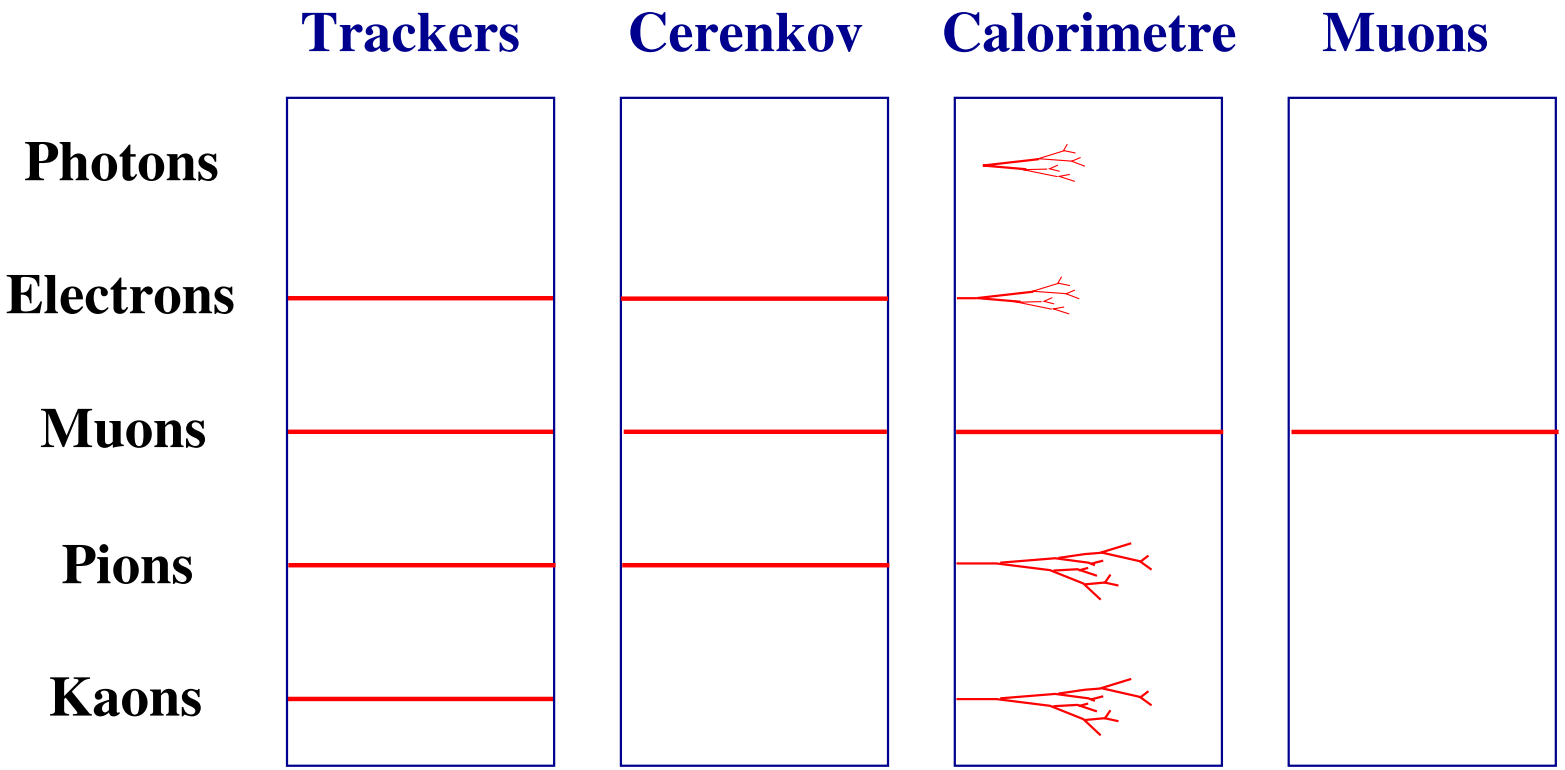


Le détecteur Belle



Principe de détection

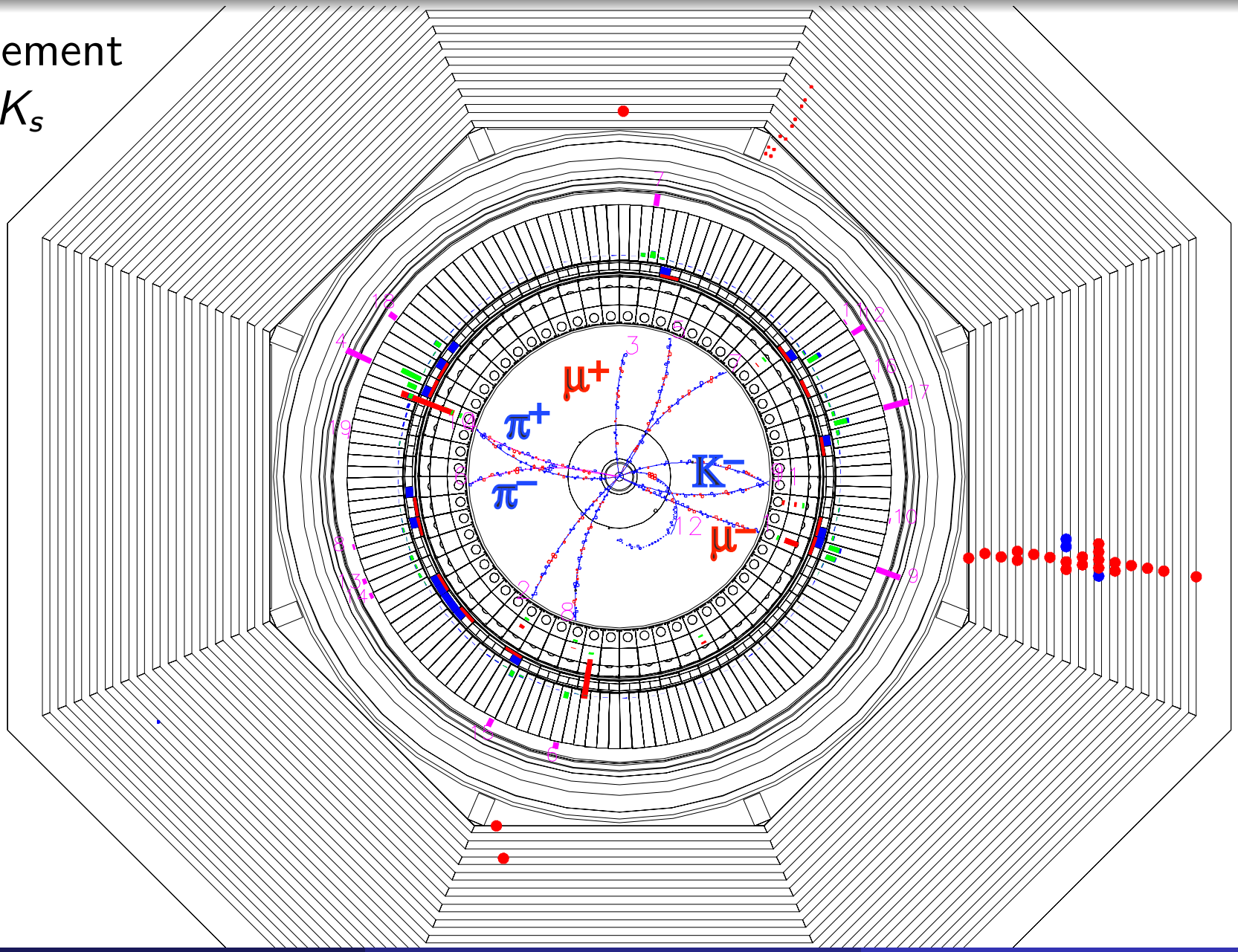
Différentes particules laissent des traces dans différents sous-détecteurs, ce qui permet de les identifier.



Un champ magnétique courbe les trajectoires de particules chargées, permettant de mesurer leur charge et leur quantité de mouvement.

Un exemple de collision

évènement
$J/\psi K_s$

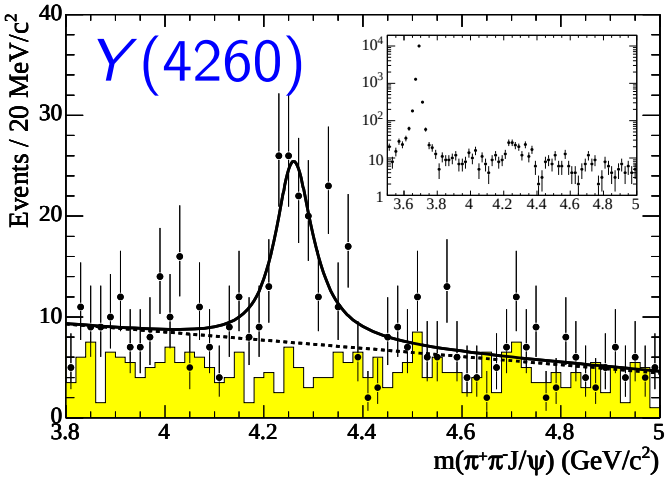


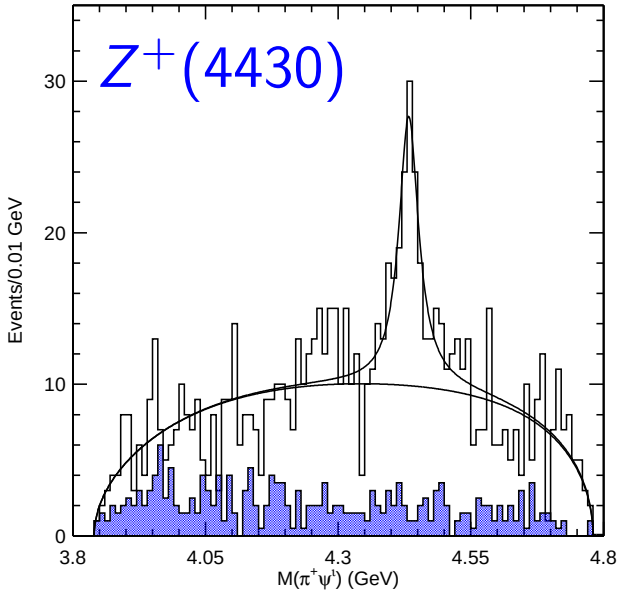
Plan

1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats *XYZ*
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

Etats XYZ

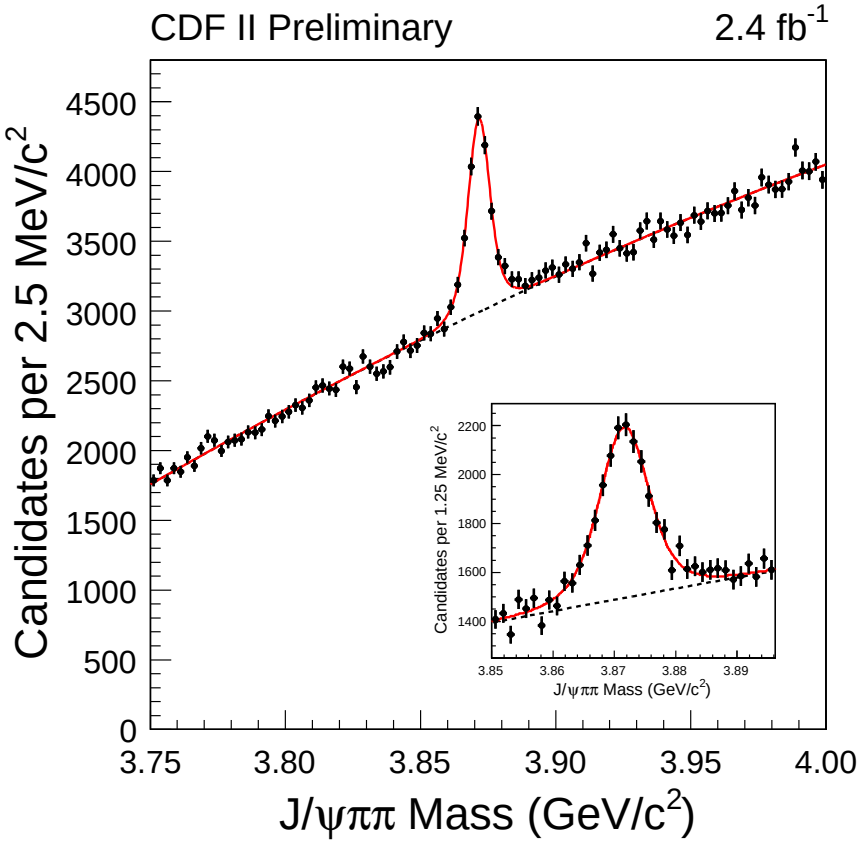
- Depuis 2003, plusieurs nouvelles particules inattendues ont été découvertes
- masses proches de 4000 MeV
- nommées « mésons XYZ »
- la plupart sont de nature encore inconnue, apparemment « exotique »
- $X(3872)$, $X(3940)$, $Y(3940)$, $Y(4260)$, $Z^+(4430)$, ...





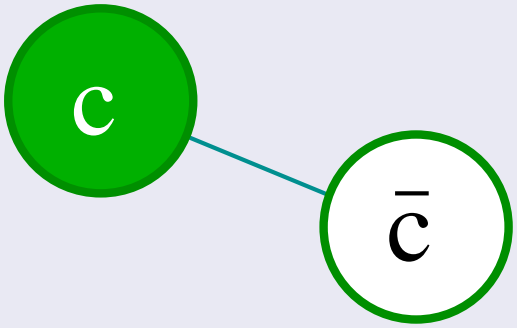
Le $X(3872)$

- découvert par Belle en 2003
- dans le canal $B \to J/\psi\pi^+\pi^- K$
- masse 3872.0 ± 0.6 MeV, très proche du seuil $D^{*0}D^0$
- largeur < 2.3 MeV
- confirmé par BaBar, CDF et DØ
- nature inconnue, plusieurs hypothèses

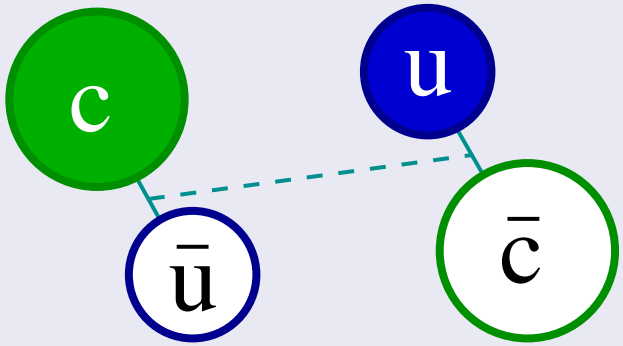


Modèles théoriques pour le $X(3872)$

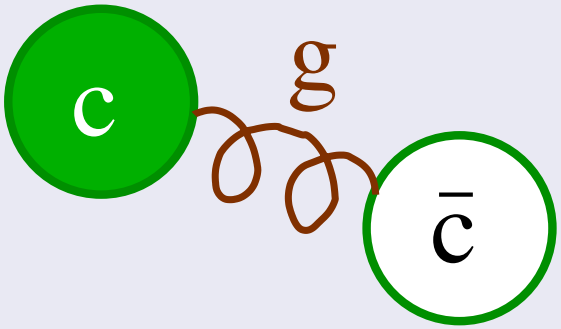
Charmonium



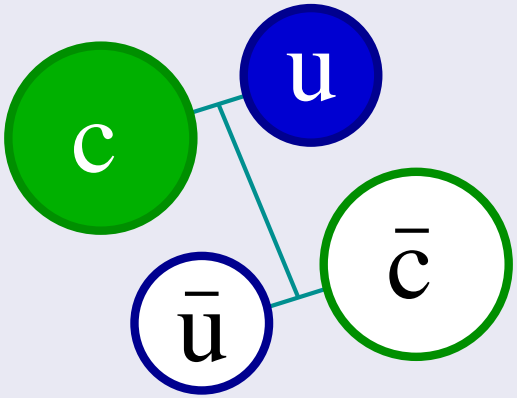
Molécule $D^{*0} - \bar{D}^0$



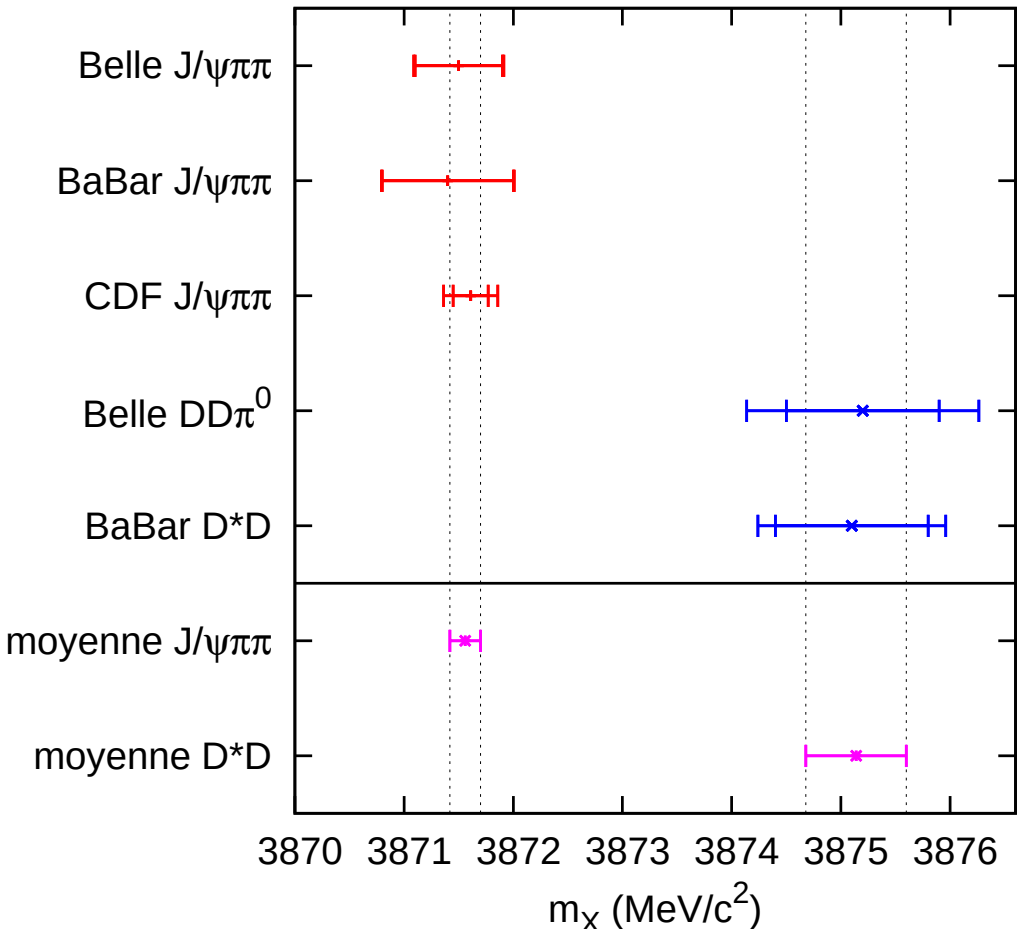
Hybride charmonium - gluon



Tetraquark : quatre quarks



$X(3872)$ et $X(3875)$?



Le X a aussi été observé par Belle dans le canal $D^0\bar{D}^0\pi^0$ et par BaBar dans le canal $D^{*0}\bar{D}^0$, mais à des masses plus hautes.

On soupçonne qu'il y ait deux particules différentes :

- $X(3872)$ se désintègre en $J/\psi\pi^+\pi^-$
- $X(3875)$ se désintègre en $D^{*0}\bar{D}^0$

$X(3940)$ et $Y(3940)$

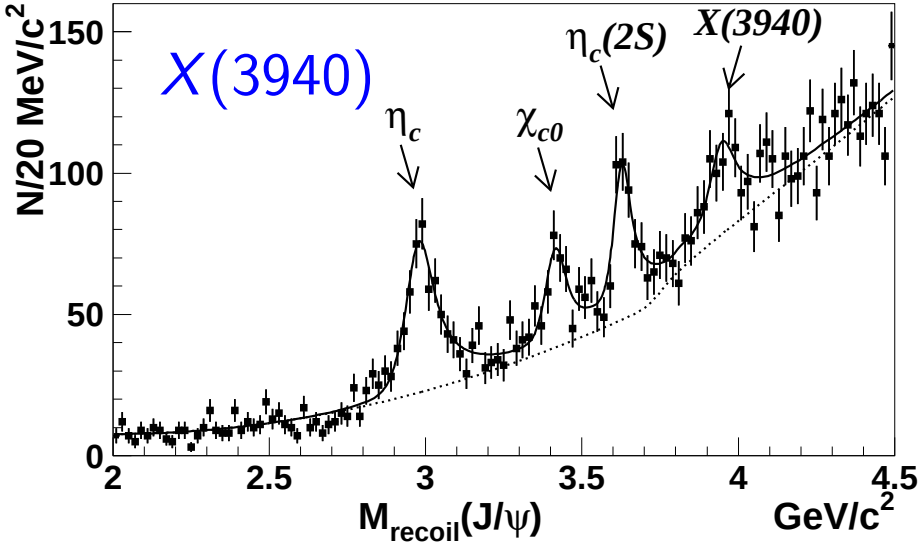
X(3940)

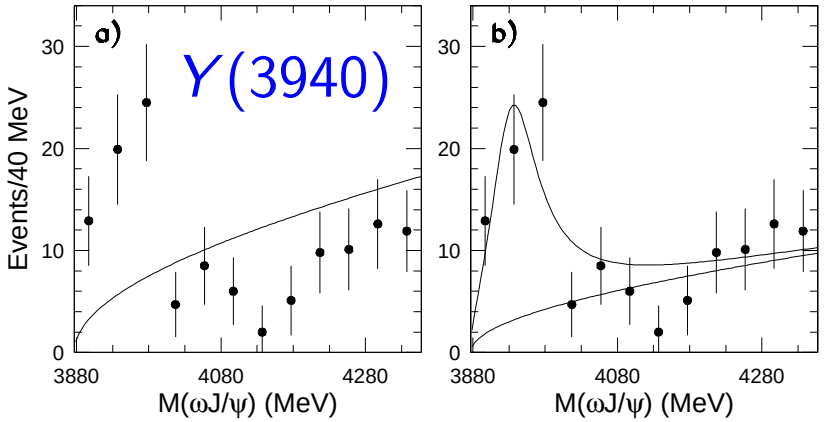
- masse 3943 ± 6 MeV
- largeur 39 ± 26 MeV
- canal $e^+e^- \to X(3940)J/\psi$, $X(3940) \to D\bar{D}^*$

Y(3940)

- masse 3943 ± 17 MeV
- largeur 87 ± 34 MeV
- canal $B \to Y(3940)K$, $Y(3940) \to J/\psi\,\omega$

Deux états ou un seul ?





Plan

1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats XYZ
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

Schéma de désintégration

$B \rightarrow X(3872)K$ suivi de $X(3872) \rightarrow D^{*0}\bar{D}^0$

Schéma de désintégration

$B \rightarrow X(3872)K$ suivi de $X(3872) \rightarrow D^{*0}\bar{D}^0$

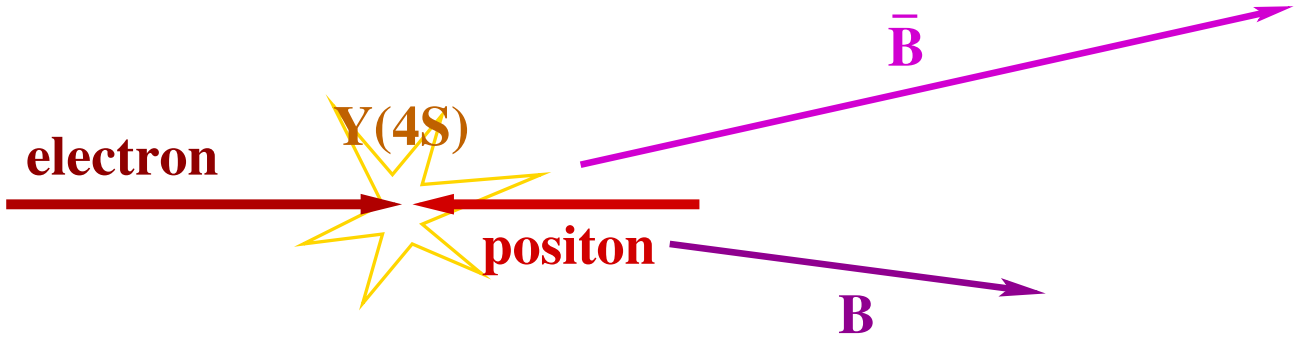


Schéma de désintégration

$B \rightarrow X(3872)K$ suivi de $X(3872) \rightarrow D^{*0}\bar{D}^0$

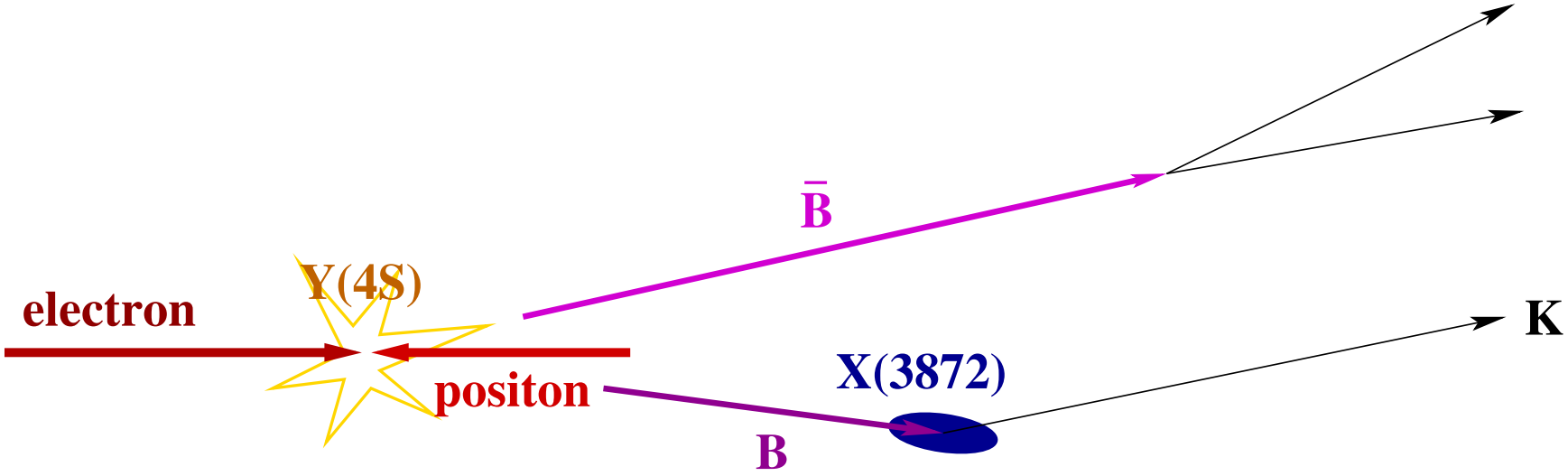


Schéma de désintégration

$B \rightarrow X(3872)K$ suivi de $X(3872) \rightarrow D^{*0}\bar{D}^0$

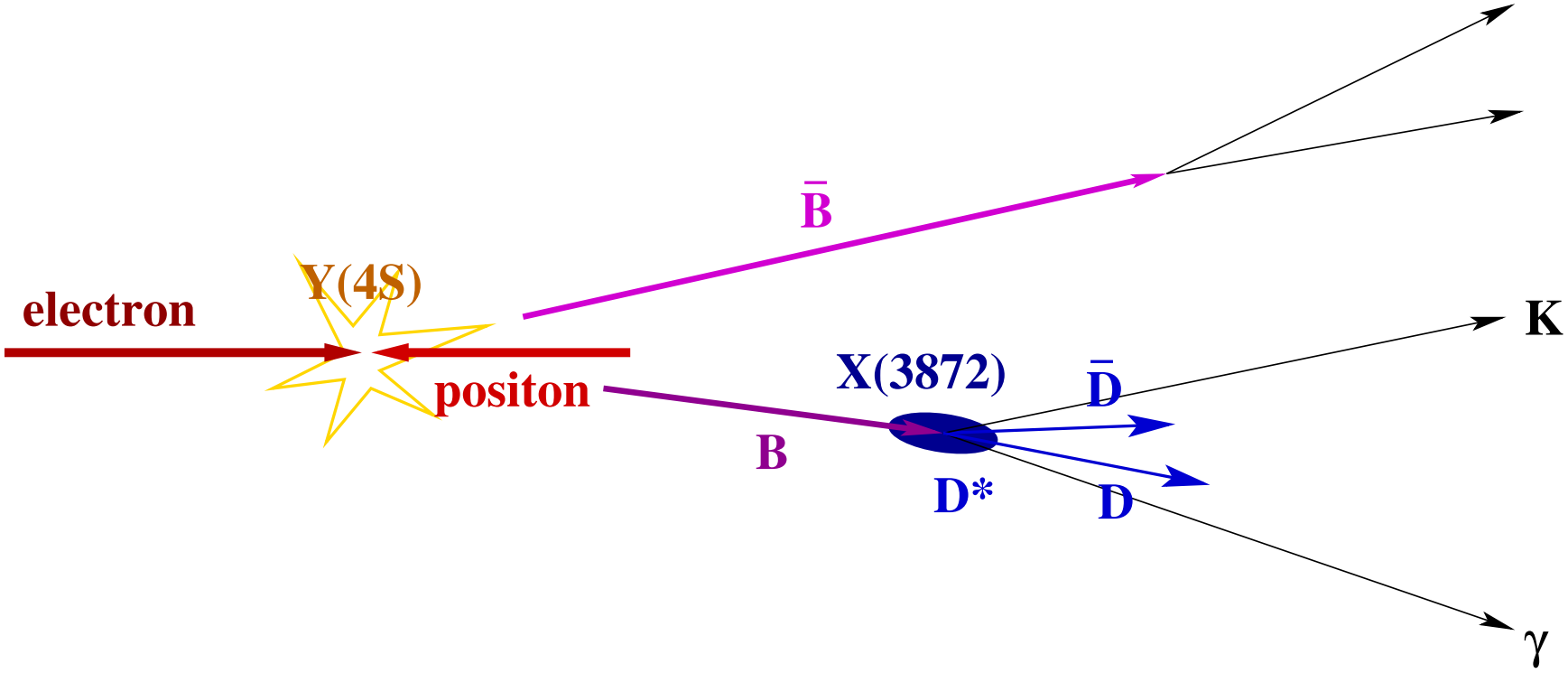
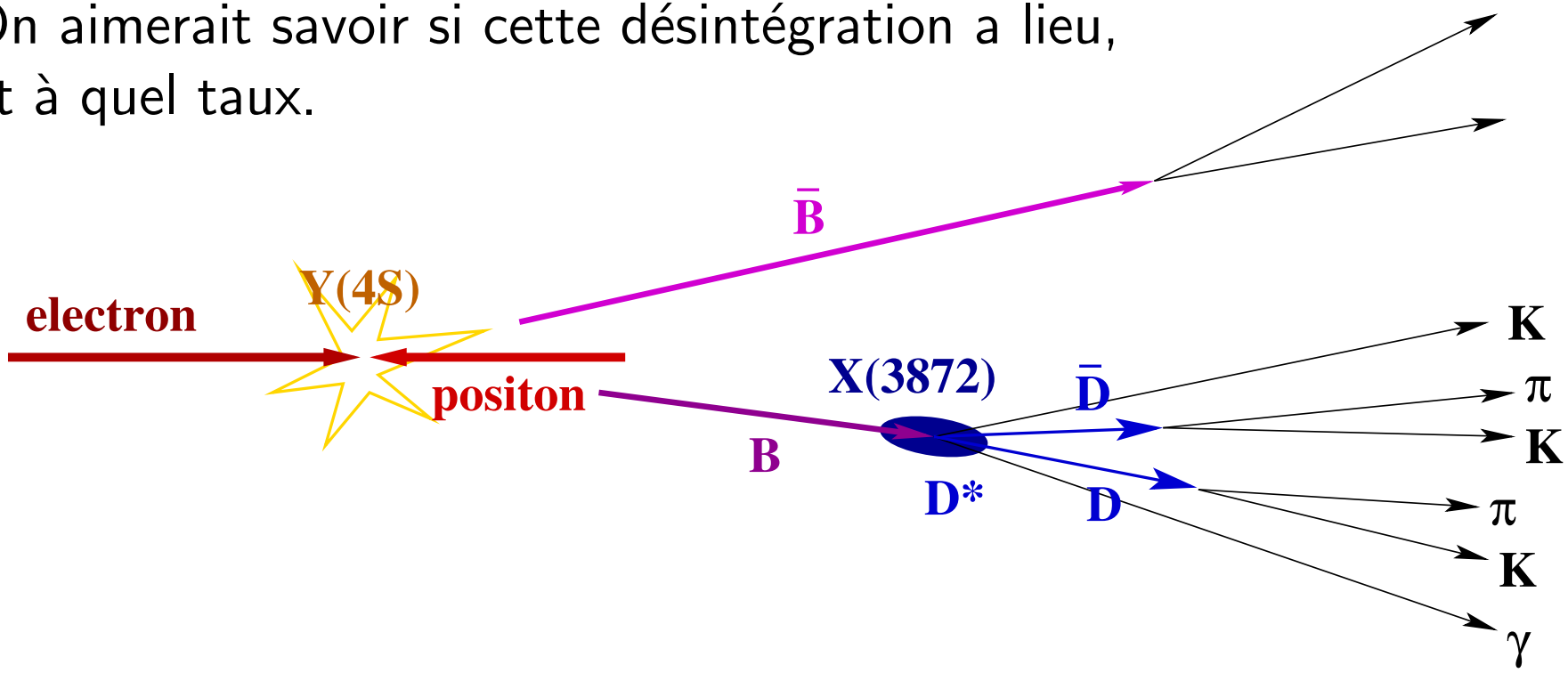


Schéma de désintégration

$B \rightarrow X(3872)K$ suivi de $X(3872) \rightarrow D^{*0}\bar{D}^0$

On aimerait savoir si cette désintégration a lieu, et à quel taux.



Seules les particules en noir sont détectées. Les autres doivent être reconstruites.

Reconstruction et sélection

On combine les particules pour remonter la chaîne jusqu'au B, en appliquant une série de coupures (masses, énergies) pour diminuer le bruit de fond tout en gardant la plupart du signal.

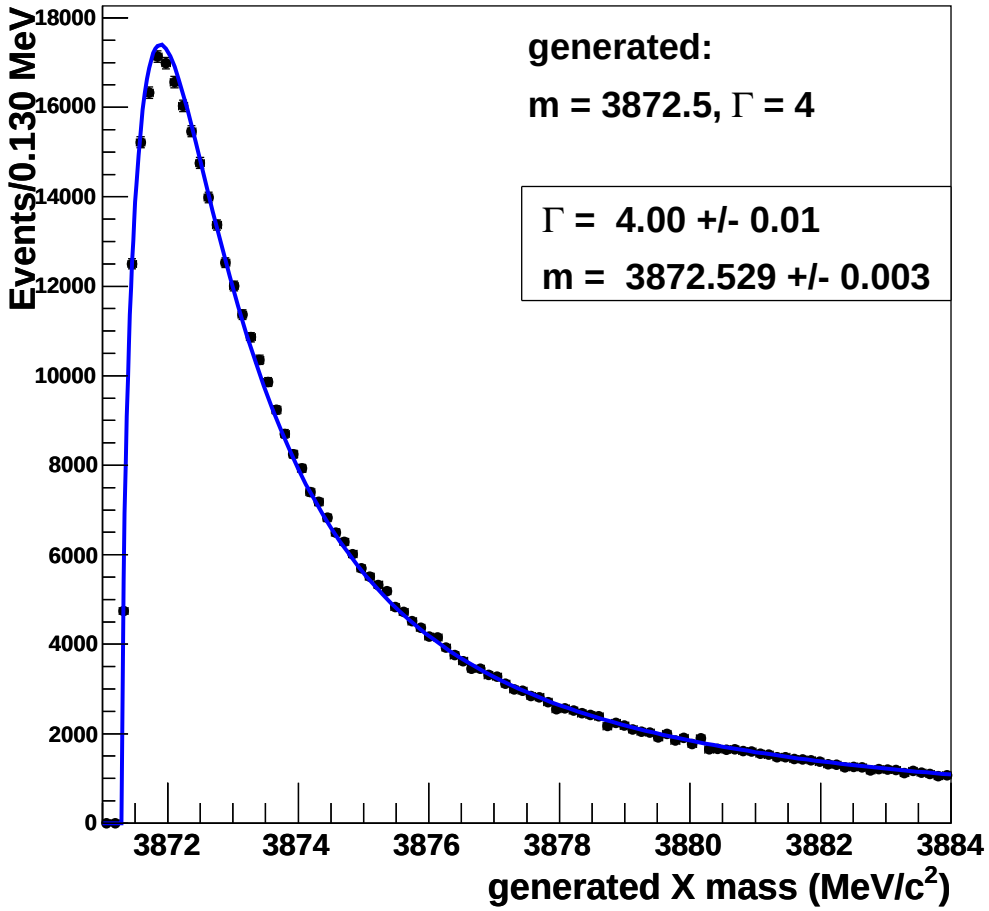
Après reconstruction, on obtient plusieurs candidats B. On sélectionne le meilleur en demandant que

- les masses des D^0 et du D^{*0} soient proches de leurs valeurs nominales,
- l'énergie du B corresponde à l'énergie du faisceau.

Les critères de sélection sont optimisés avec des simulations Monte Carlo.

Simulations Monte Carlo

On simule la désintégration en grande quantité, pour pouvoir étudier le signal, optimiser la sélection etc.

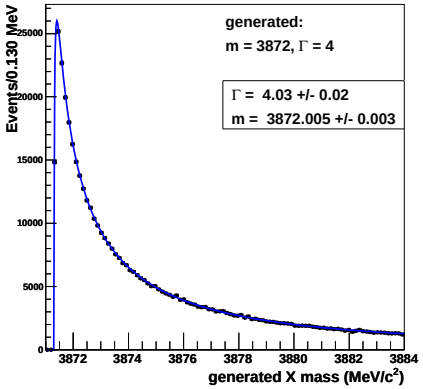


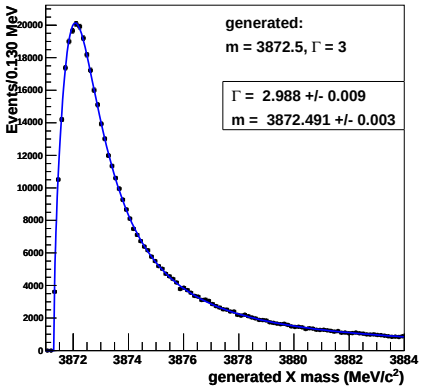
Distribution de la masse du $X(3872)$, générée selon une Breit-Wigner relativiste (S-wave).

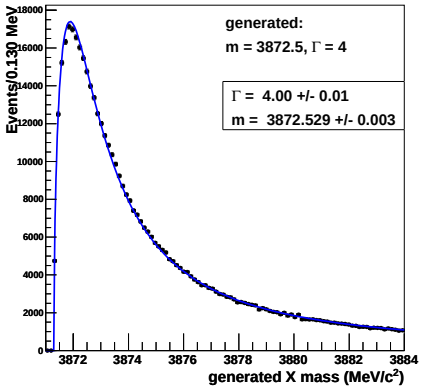
530'000 événements simulés.

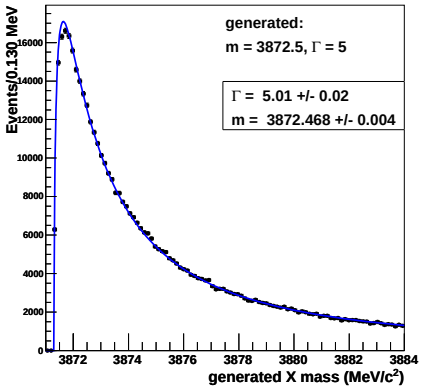
Simulations Monte Carlo

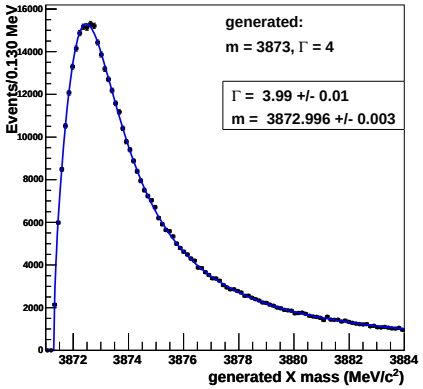
On varie la masse et la largeur du $X(3872)$:



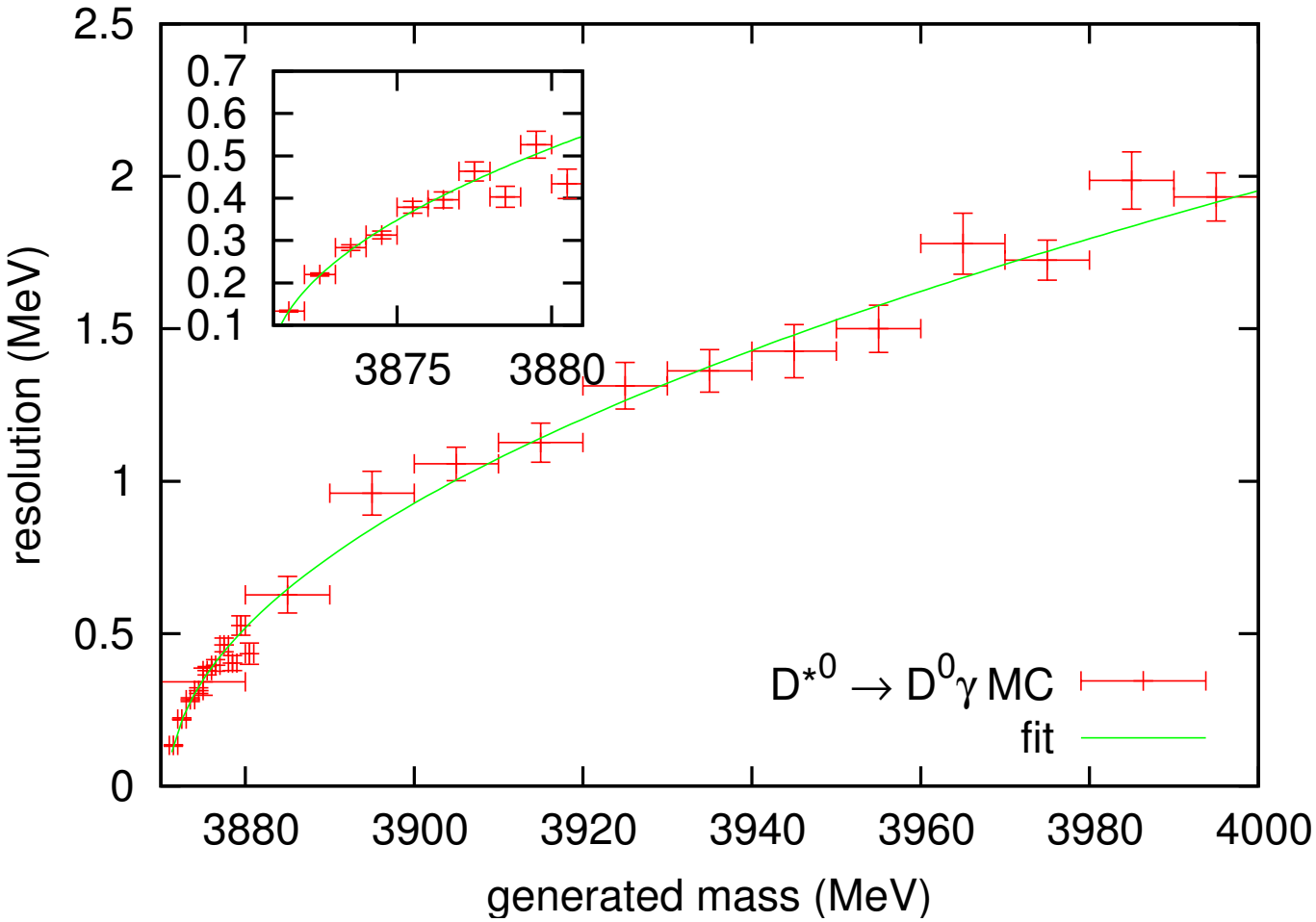








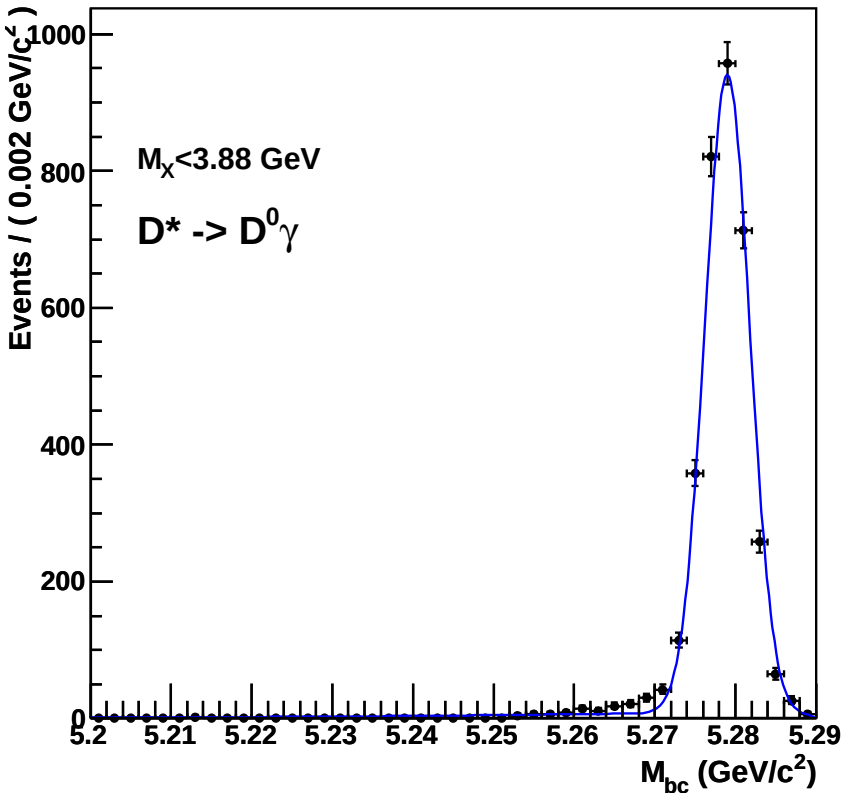
Résolution en masse



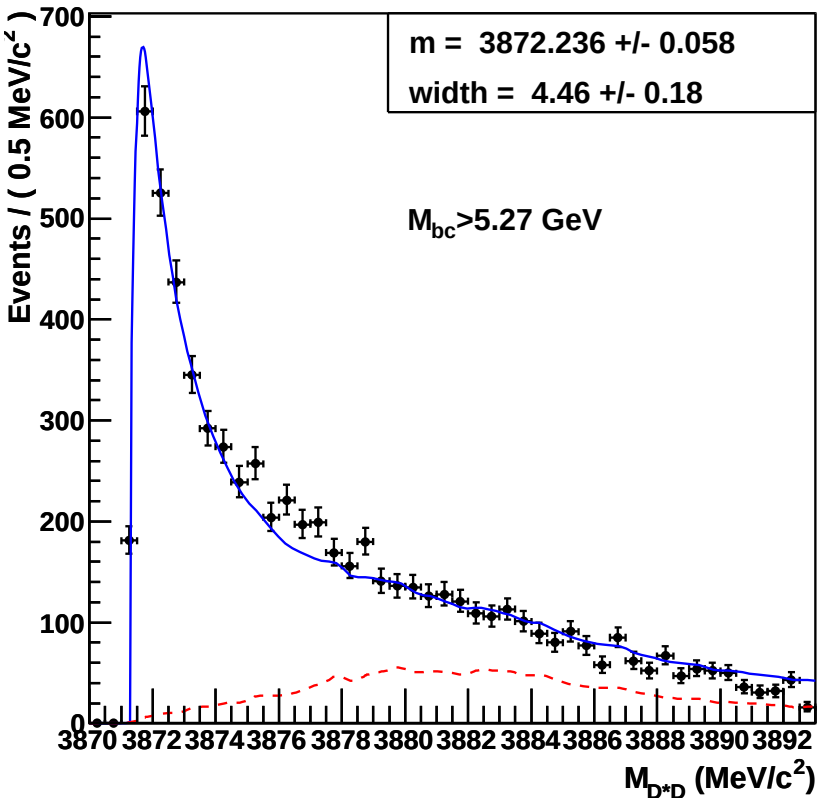
On obtient une excellente résolution pour ce type d'analyse.

Monte Carlo reconstruit

On utilise une simulation du détecteur Belle pour reconstruire le signal et estimer l'efficacité de reconstruction :



masse du B

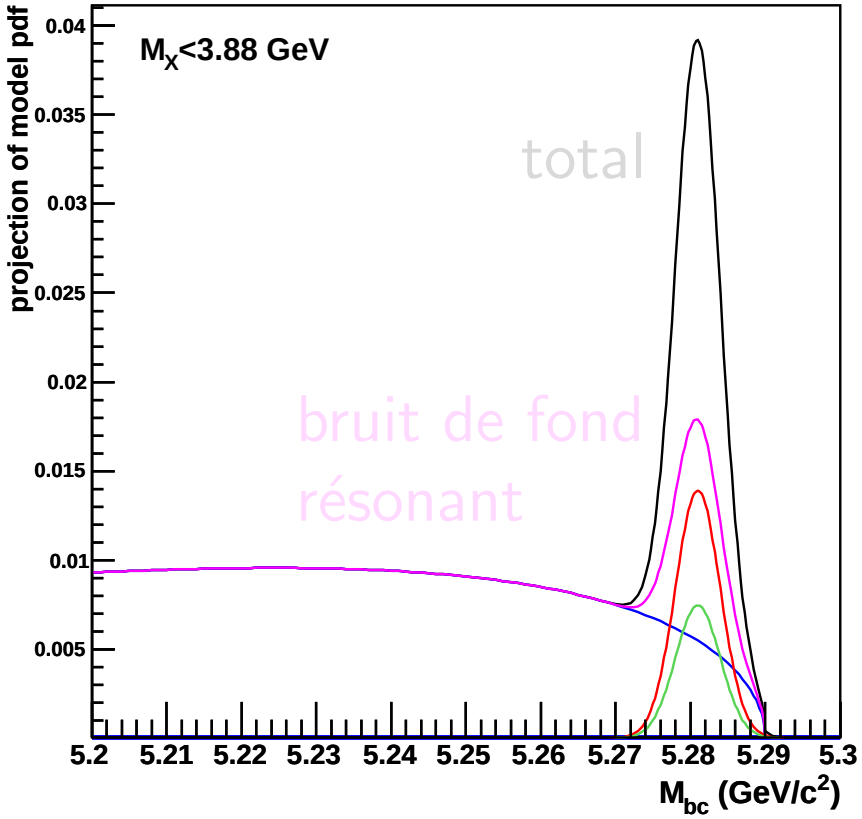


masse du $X(3872)$

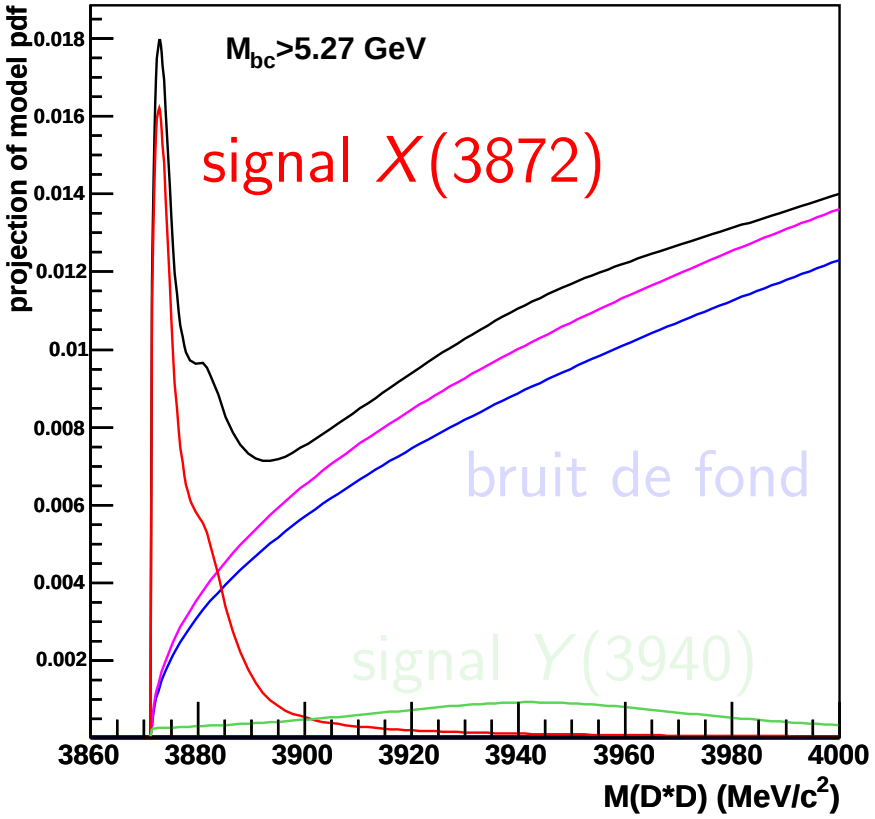
L'efficacité de reconstruction vaut environ $4 \cdot 10^{-4}$ (4 sur 10'000).

Fonction de fit

Fonction à 2 dimensions : masses du B et du $X(3872)$



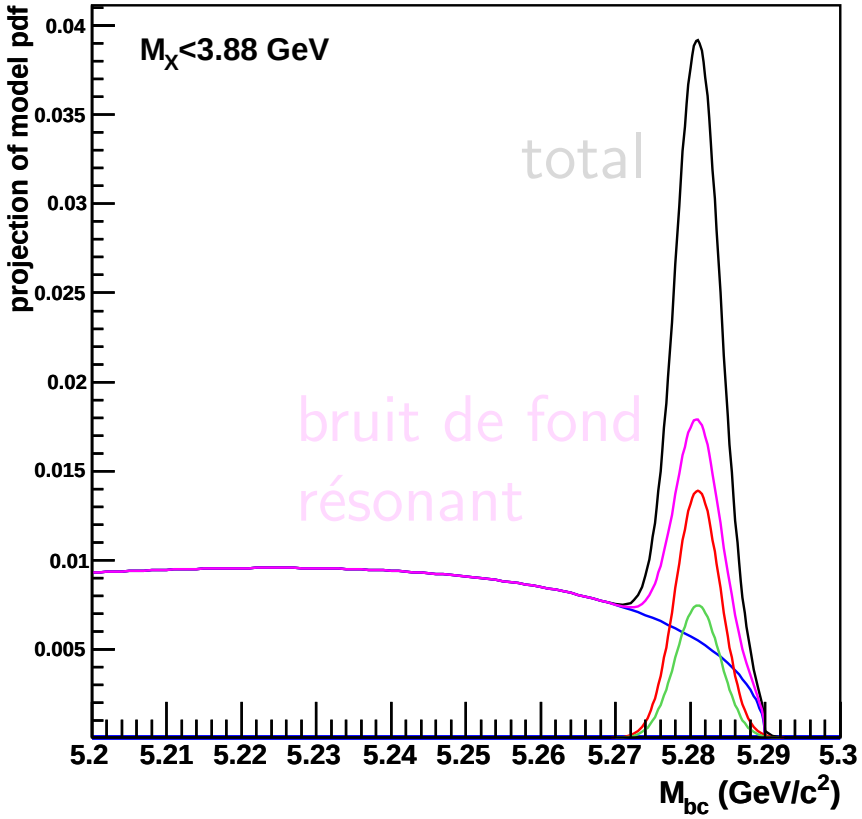
masse du B



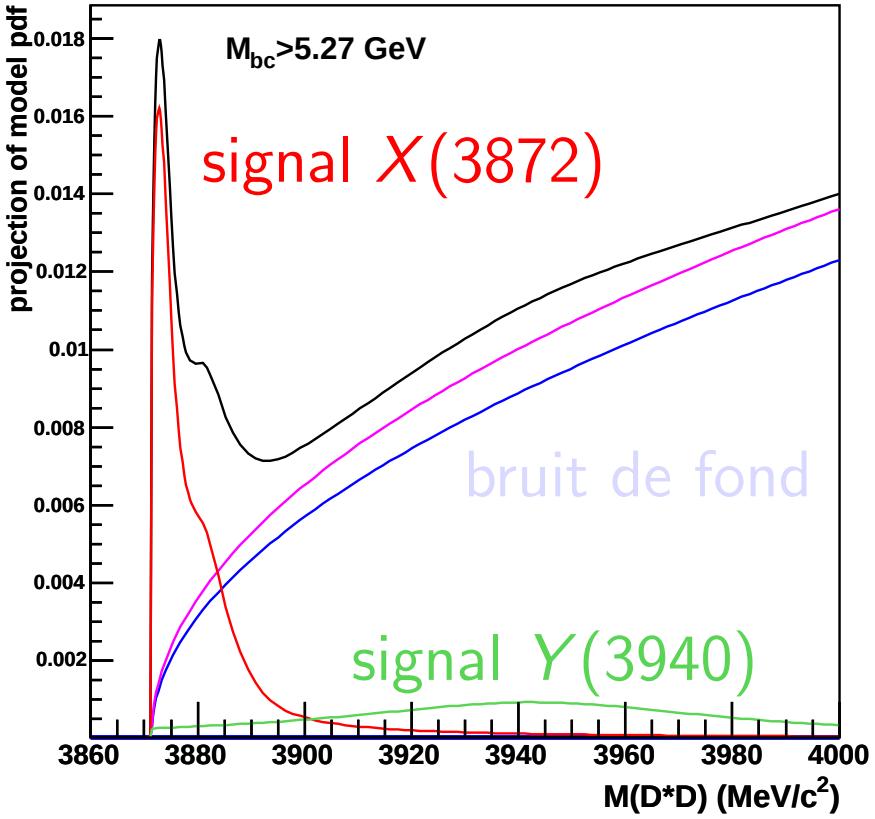
masse du $X(3872)$

Fonction de fit

Fonction à 2 dimensions : masses du B et du $X(3872)$



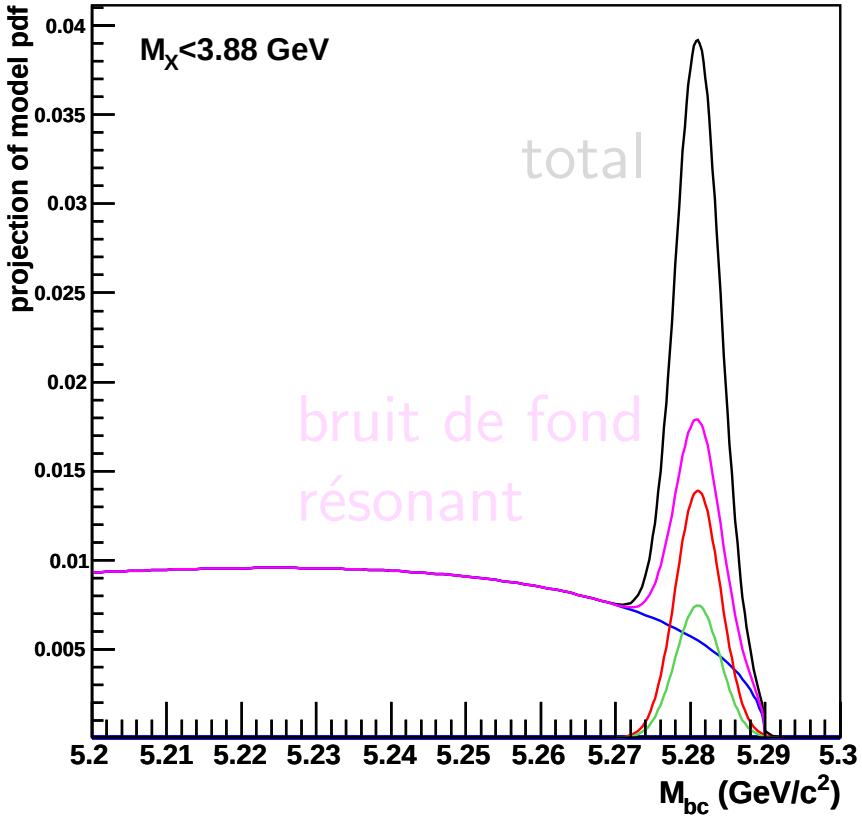
masse du B



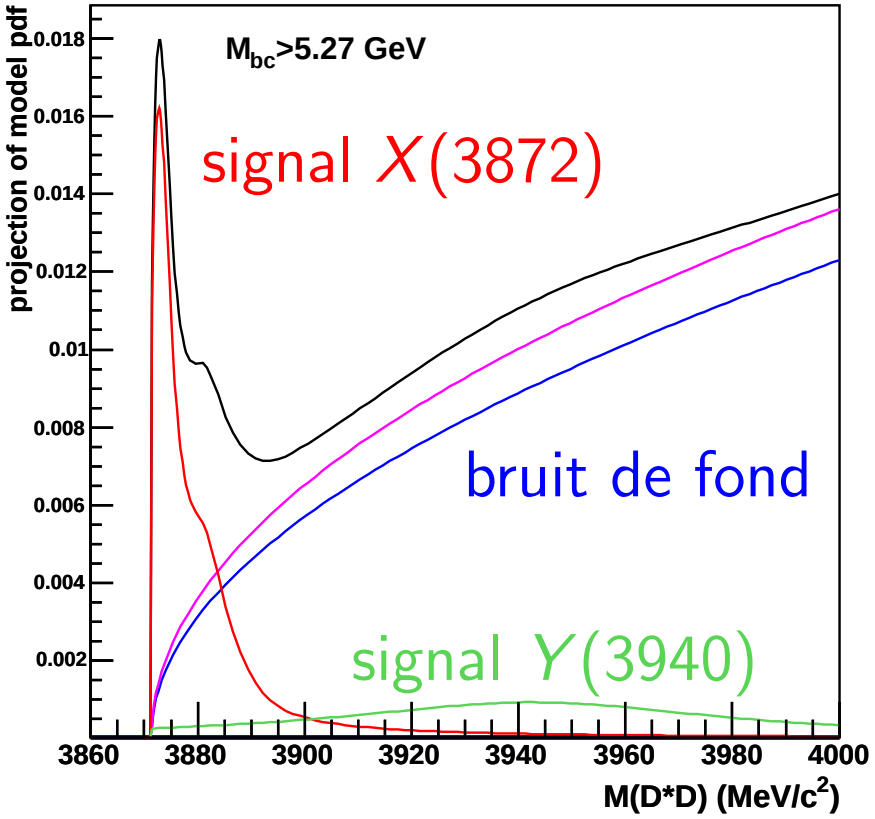
masse du $X(3872)$

Fonction de fit

Fonction à 2 dimensions : masses du B et du $X(3872)$



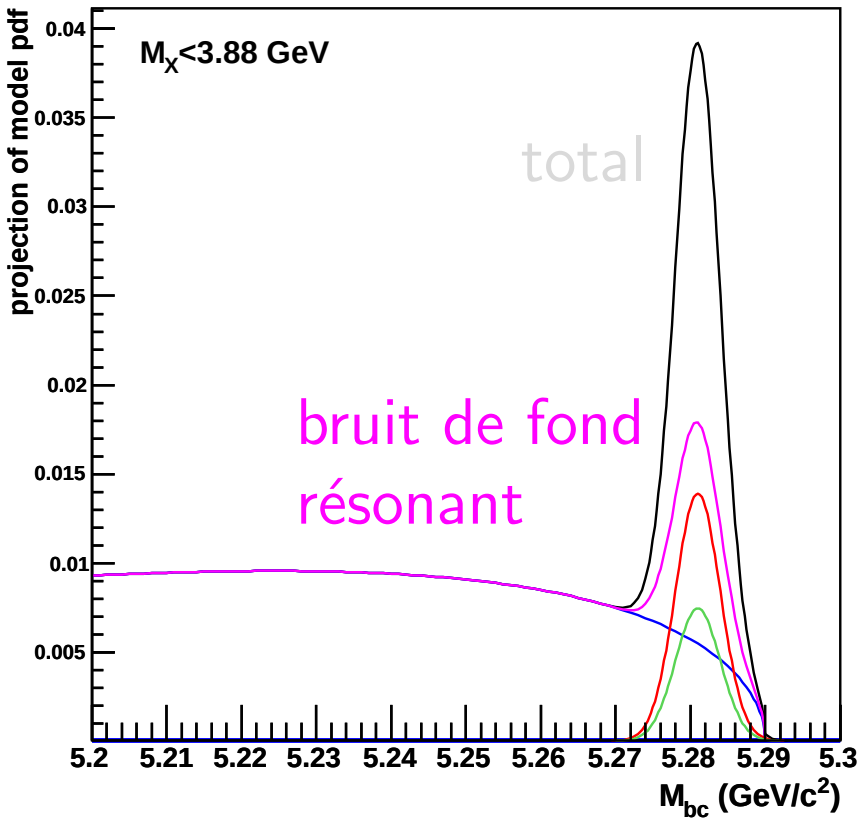
masse du B



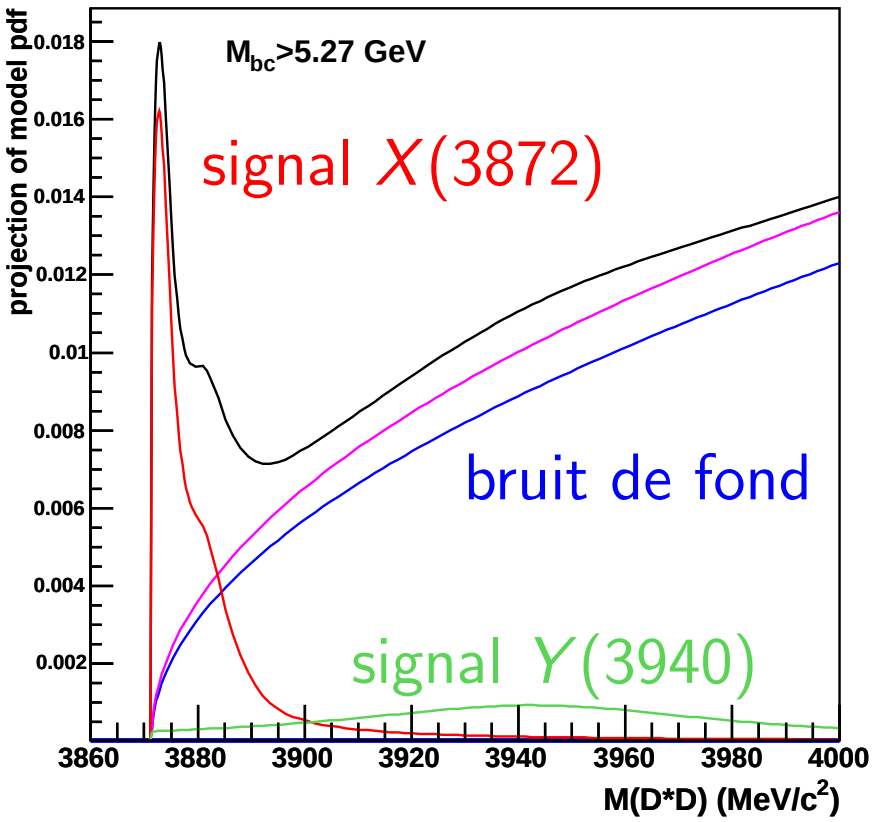
masse du $X(3872)$

Fonction de fit

Fonction à 2 dimensions : masses du B et du $X(3872)$



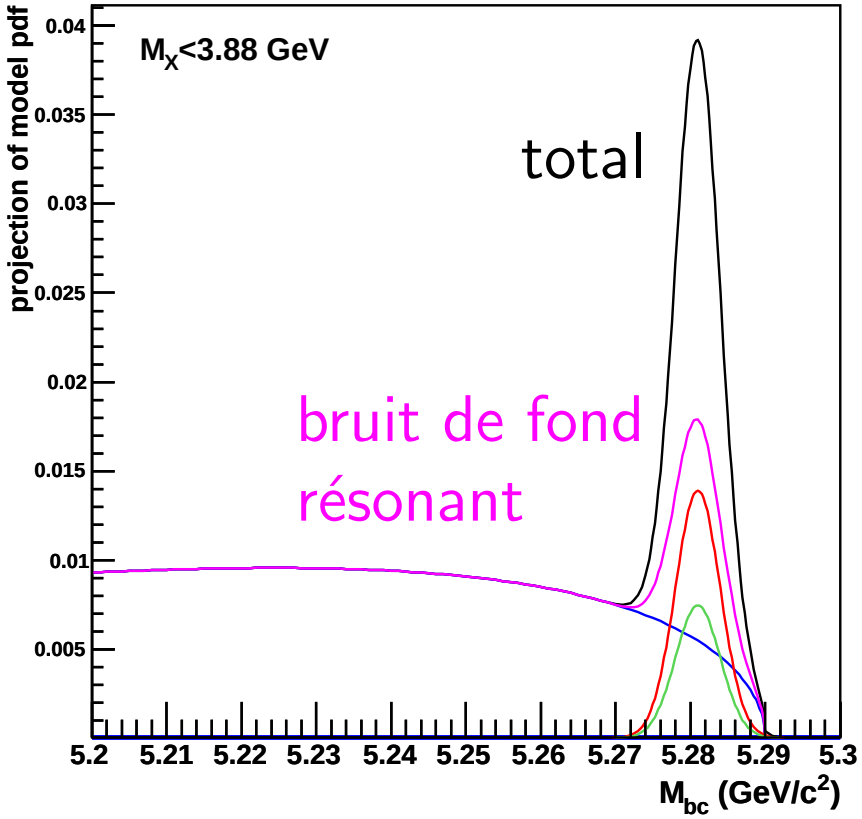
masse du B



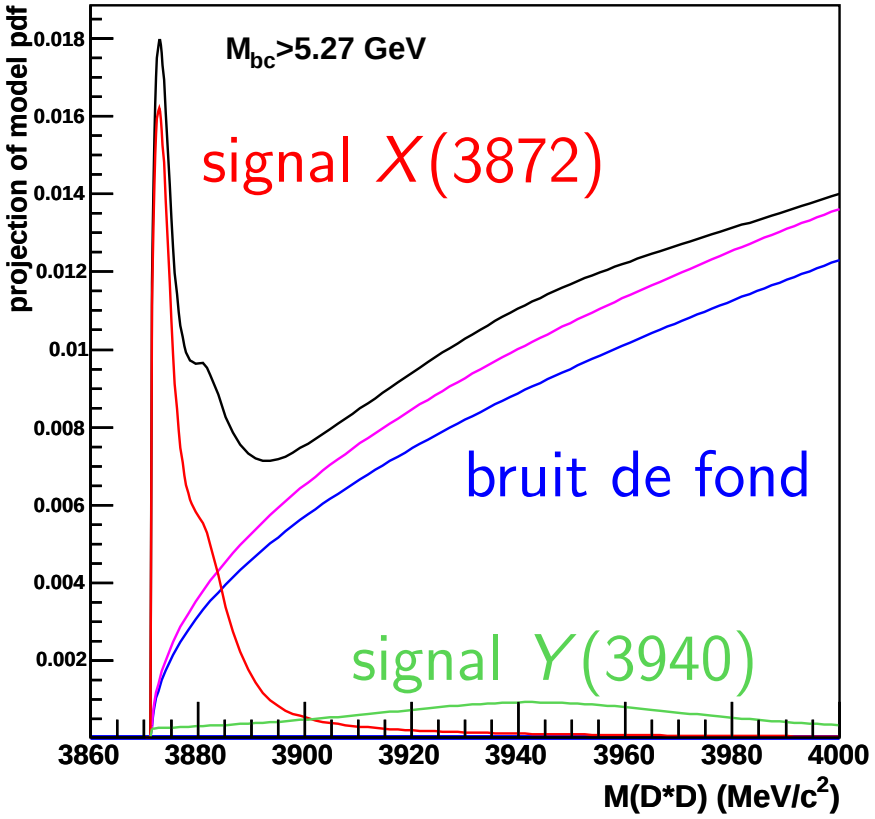
masse du $X(3872)$

Fonction de fit

Fonction à 2 dimensions : masses du B et du $X(3872)$



masse du B

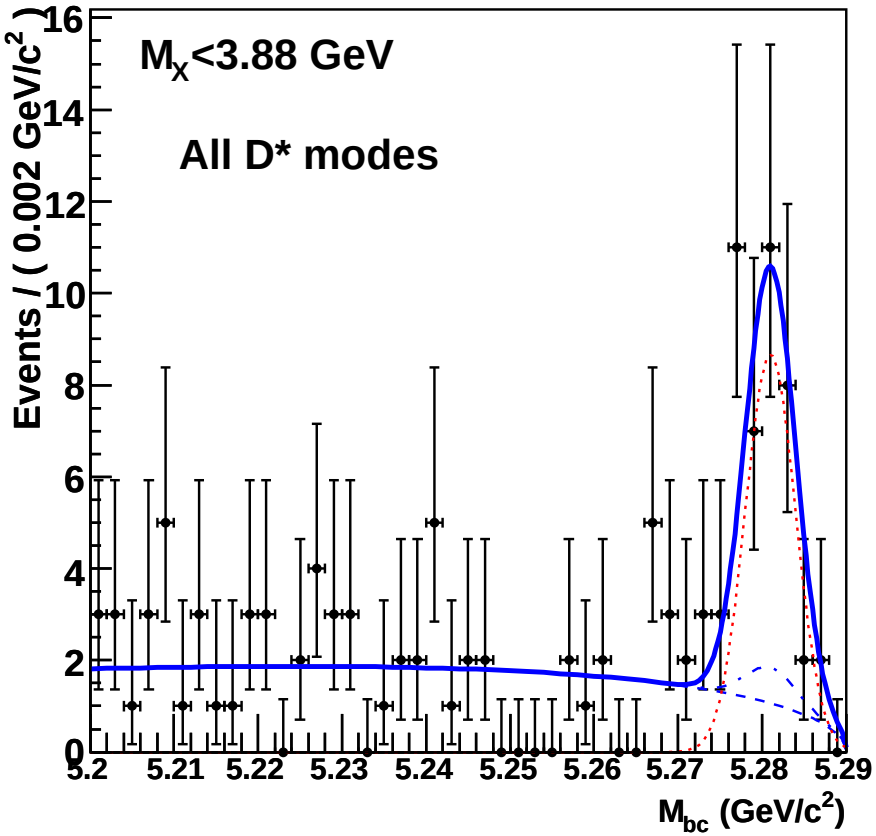


masse du $X(3872)$

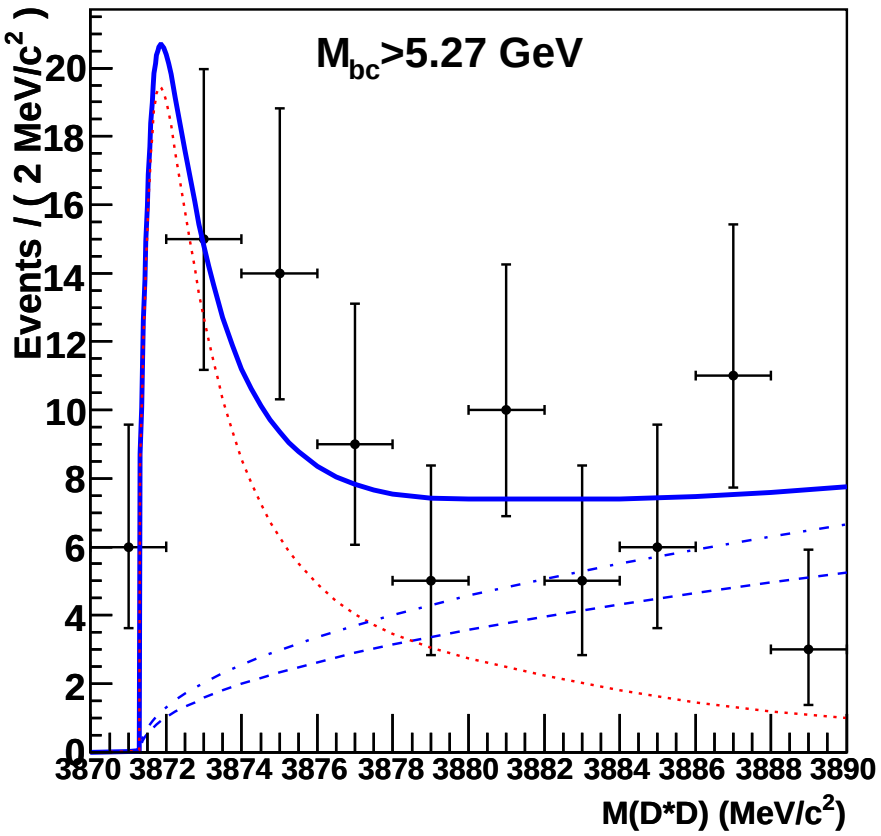
Plan

1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats XYZ
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

Fit des données



masse du B



masse du $X(3872)$

Résultats : taux de désintégration

- Signal total : $50.1\,^{+14.8}_{-11.1}$ évènements
- Rapports d'embranchement :

$$\mathcal{B}(B \to XK \to D^{*0}\bar{D}^0 K) = (0.80 \pm 0.20 \pm 0.11) \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{\mathcal{B}(B^0 \to X(3872)K^0)}{\mathcal{B}(B^+ \to X(3872)K^+)} = 1.26 \pm 0.65 \pm 0.06$$

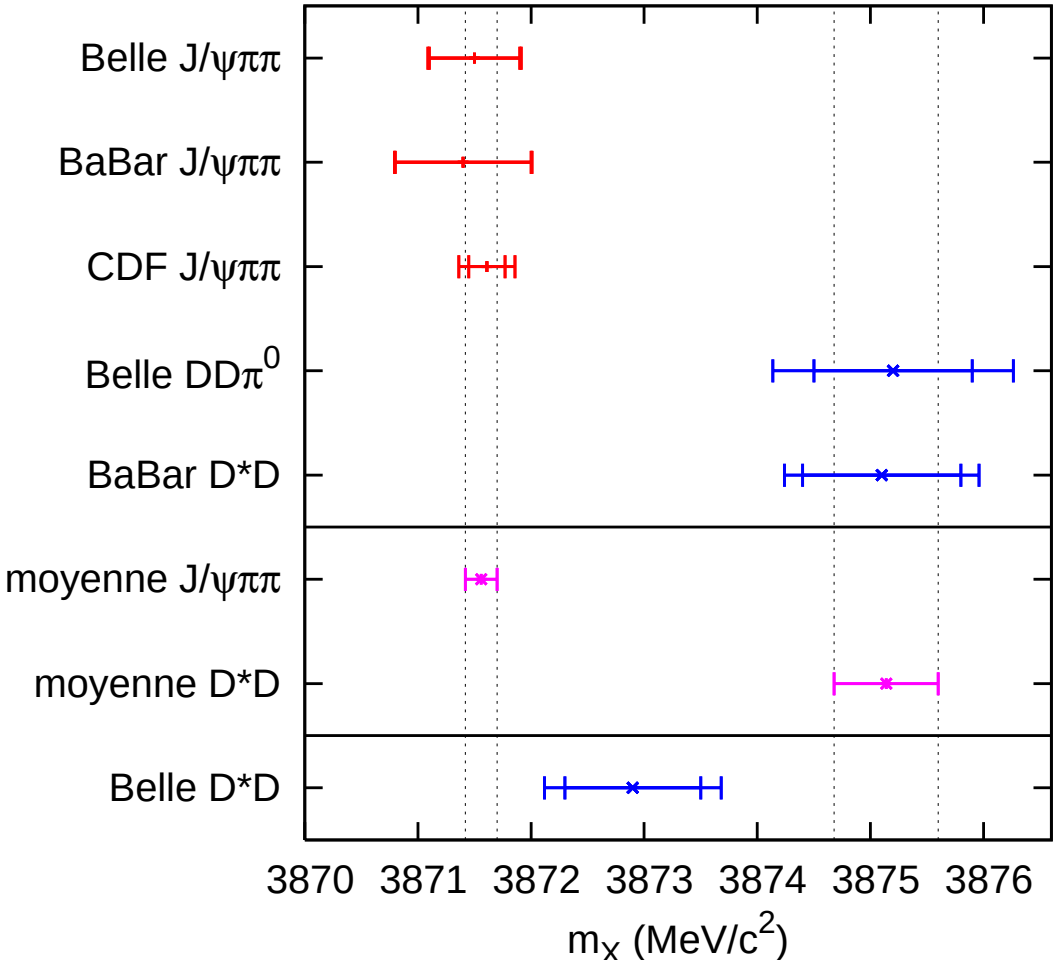
- **660 millions** de paires $B\bar{B}$ ont été détectées par Belle entre 1999 et 2007.
- Environ **106'000** B se sont désintégrés dans mon canal (soit 8 sur 100'000).
- **50** évènements ont pu être reconstruits (soit 5 sur 10'000).
- La significance du signal est de 7.9σ : moins d'une chance sur un billion que ce ne soit que du bruit.

Résultats : masse et largeur

masse :
$3872.9\,^{+0.6}_{-0.4}\,^{+0.3}_{-0.4}\ \mathrm{MeV}$

distance au seuil :
$\delta M = M_X - m_{D^{*0}D^0} =$
$1.1\,^{+0.6}_{-0.4}\ \mathrm{MeV}$

largeur :
$3.9\,^{+2.8}_{-1.4}\,^{+0.4}_{-1.0}\ \mathrm{MeV}$



Résultats pour $X(3940)$ et $Y(3940)$

- Le fit donne $7 \pm 21 \pm 4$ évènements $Y(3940)$. On obtient la limite $\mathcal{B}(B \to Y(3940)K \to D^{*0}\bar{D}^0 K) < 0.67 \cdot 10^{-4}$ (90% CL).
- En combinant avec les mesures précédantes de Belle et BaBar, on obtient :

$$\frac{\mathcal{B}(Y(3940) \to \omega\, J/\psi)}{\mathcal{B}(Y(3940) \to D^{*0}\bar{D}^0)} > 0.71$$

$$\frac{\mathcal{B}(X(3940) \to \omega\, J/\psi)}{\mathcal{B}(X(3940) \to D^{*0}\bar{D}^0)} < 0.58$$

- Cela suggère que le $X(3940)$ et le $Y(3940)$ sont des états différents.

Plan

1. Physique des particules
2. L'expérience Belle
3. Etats XYZ
4. Reconstruction
5. Résultats
6. Conclusion

Conclusion

- Nous avons étudié la désintégration $B \to X(3872)K \to D^{*0}\bar{D}^0K$ avec le détecteur Belle.
- Nous avons obtenu 50 évènements de signal, et nous avons mesuré la masse et la largeur du $X(3872)$, ainsi que le taux de désintégration dans le canal étudié.
- Le $X(3872)$ reste un mystère :
  - La masse est-elle en-dessus ou en-dessous du seuil $D^{*0}D^0$?
  - Y a-t-il une ou deux particules ?
  - Qu'est-ce que c'est ?

  SuperBelle et LHCb devraient pouvoir résoudre le mystère.
- Nous avons déterminé une limite supérieure pour le rapport d'embranchement du $Y(3940)$, qui suggère que ce n'est pas le même état que le $X(3940)$.

Merci !