

Suppression des Quarkonia lors des collisions d'ions lourds dans l'expérience ALICE

Matthieu Lenhardt

Subatech,
NANTES

Groupe Di-muons

Sommaire

1) Plasma de quarks et de gluons

- Points de vue théoriques et expérimentaux

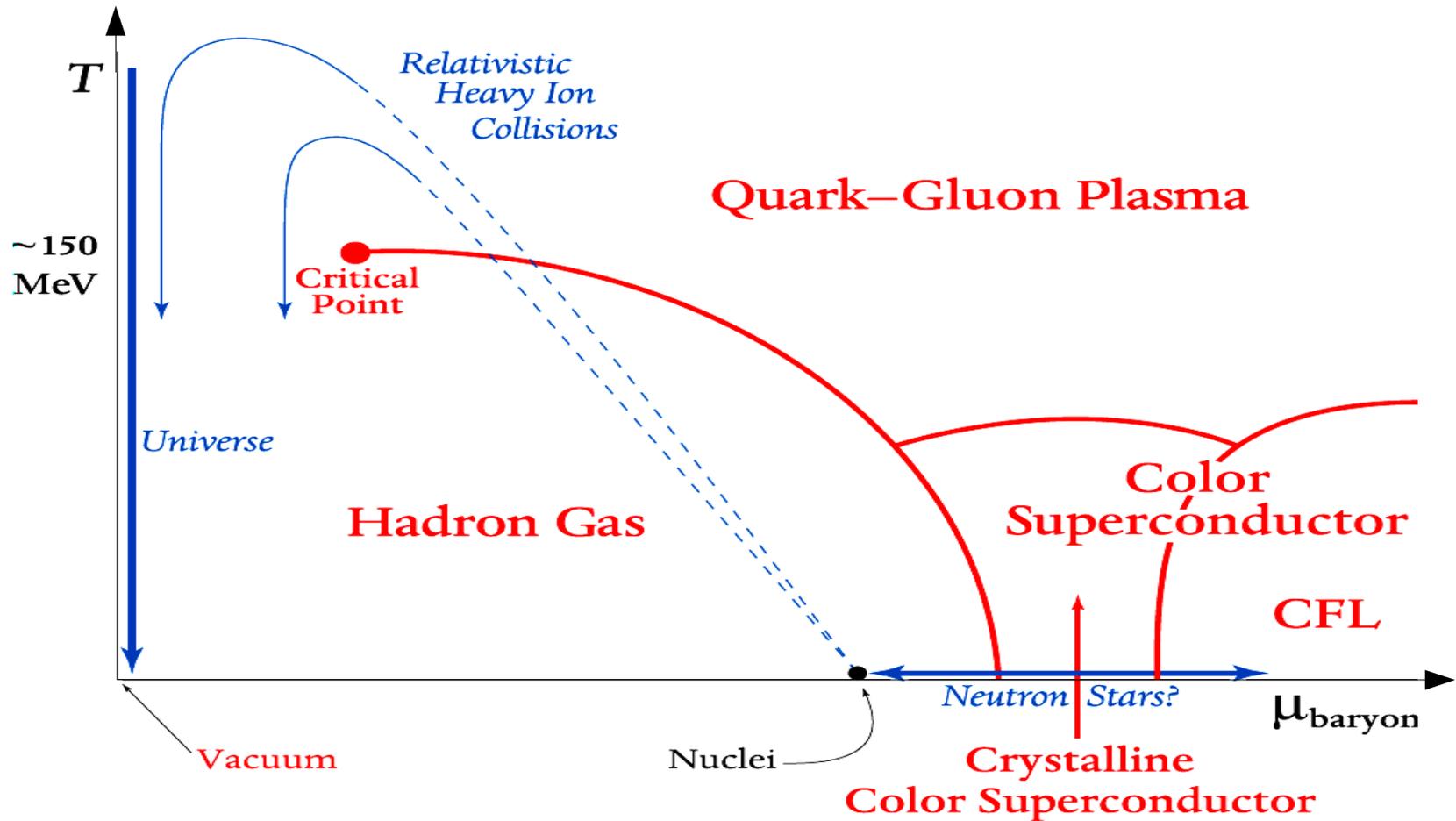
2) Les quarkonia comme sonde du plasma

- Introduction des quarkonia
- La suppression anormale

3 Expérience ALICE

- Introduction
- Bras Di-muons

QGP : Théorie



Le **Plasma de Quarks et de Gluons (QGP)** est un état de la matière nucléaire à haute température et haute densité. C'est un état **déconfiné** : les constituants de la matière nucléaire (quarks et gluons) ne sont plus confinés à l'intérieur des nucléons.

Son existence a été prévue par les calculs théoriques de chromodynamique quantique depuis le milieu des années 70.

QGP : Expérience

En laboratoire, une des manière d'obtenir un QGP sont les **collisions d'ions lourds aux énergies ultrarelativistes** ($\sim >10$ GeV/A c.m.).

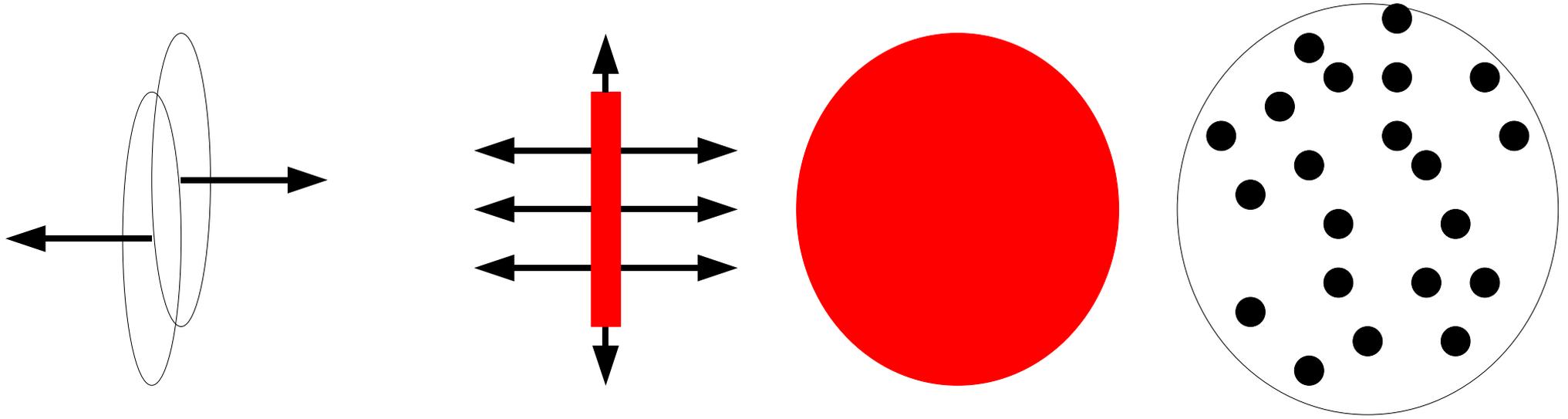
Exemples :

Accélérateur	Expériences	Collisions	Energies
SPS (CERN, Suisse)	NA 38 NA 50 NA 60 ...	S – U Pb - Pb	10 - 20 GeV/A c.m.
RHIC (BNL, Etats-Unis)	PHENIX STAR ...	Cu – Cu Au - Au	200 GeV/A c.m.
LHC (CERN, Suisse)	ALICE CMS ...	Pb-Pb	5,5 TeV/A c.m.

Problème : le milieu est créé dans un volume très faible (~ 10 fm³) et durant un temps très court (~ 10 fm/c).
Il est nécessaire de trouver une sonde.

De nombreuses sondes ont été proposées : nous nous intéresserons à une d'entre elles : la **suppression anormale des quarkonia**.

La collision



$\sim 0,1 \text{ fm}/c$

Temps de croisement
des noyaux.

$\sim 1 \text{ fm}/c$

Temps de formation
du plasma.



Expansion

$\sim 10 \text{ fm}/c$

Hadronisation.

$$1 \text{ fm}/c \simeq 10^{-24} \text{ s}$$

Quarkonia : introduction

Paire liée quark lourd – antiquark associé : $V(r) = \sigma r - \frac{\alpha}{r}$

$c-\bar{c}$ (charmonium), $b-\bar{b}$ (bottomonium)

Exemple ; charmonium, états les plus stables : J/Ψ ; χ_c ; Ψ'

$\Psi(3685) = \Psi'$ durée de vie : ~ 600 fm/c

$\Psi' \rightarrow J/\Psi + \dots$
 $\sim 57\%$

χ_{c2}
 $\chi_{c1}(3510) = \chi_c$ durée de vie : ~ 200 fm/c
 χ_{c0}

$\chi_c \rightarrow J/\Psi + \gamma$ $\sim 36\%$

$\eta_c(2979)$ $\Psi(3097) = J/\Psi$ durée de vie : ~ 2000 fm/c

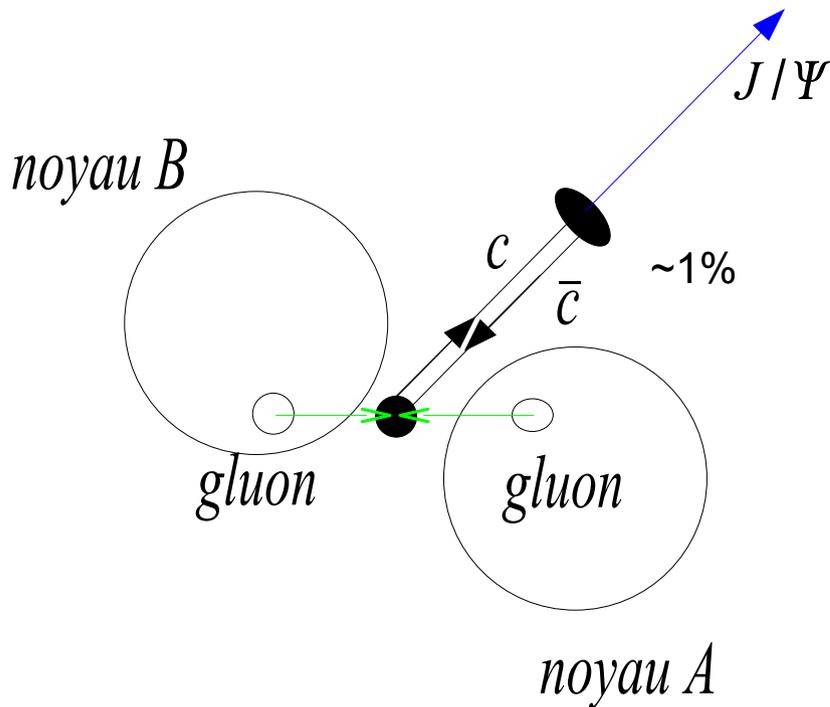
durée de vie : ~ 7 fm/c

masses en $\text{MeV} \cdot c^{-2}$

Quarkonia : production

Dans les collisions d'ions lourds (exemple du J/Ψ) :

Mode de production dominant : collisions gluon-gluon



Formation d'un état prérésonnant, de durée de vie de l'ordre du temps de création du plasma.

Un certain nombre de ces paires décroissent ensuite en quarkonia.

Temps caractéristiques :

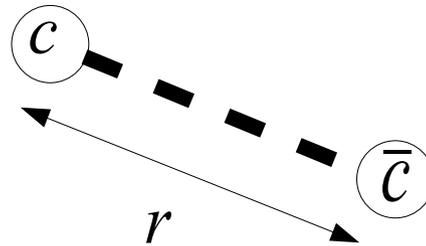
- ◆ formation de l'état prérésonnant : 0,1 fm/c
- ◆ formation du quarkonia : 1 fm/c
- ◆ décroissance du quarkonia : 1000 fm/c

Quarkonia : Sonde du QGP

Matsui & Satz, 1986

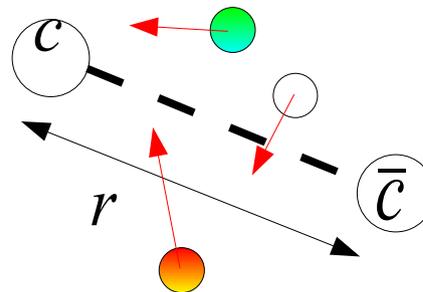
- ◆ Le quarkonia est lié par un potentiel d'interaction forte.

$$V(r) = \sigma r - \frac{\alpha}{r}$$



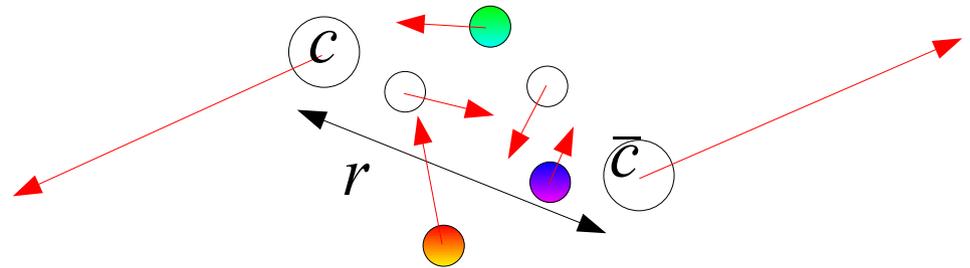
Ce potentiel est véhiculé par des gluons virtuels, porteurs de **charges de couleurs**.

- ◆ Les charges de couleur libres (quarks et gluons) évoluant dans le plasma écrantent le potentiel.



Quarkonia : Sonde du QGP

♦ A partir d'une certaine densité de charges, l'écrantage est suffisant pour que le potentiel ne lie plus le quarkonia : l'état se dissocie.



	J/Ψ	χ _c	Ψ'	Υ	Υ'	Υ''
Température de dissociation (MeV)	2,1 T _c	1,16 T _c	1,12 T _c	> 4 T _c	1,6 T _c	1,17 T _c

T_c : température de création du plasma.

Compter le nombre de quarkonia après une collision est donc un bon moyen de savoir si le QGP a été créé.

Il existe cependant d'autres effets qui modifient la nombre de quarkonia présents après une collision.

Quarkonia : Détection

Les quarkonia ont une durée de vie de l'ordre de 1000 fm/c

C'est nettement supérieur à la durée de vie du plasma (~ 10 fm/c), mais beaucoup trop court pour une mesure directe.

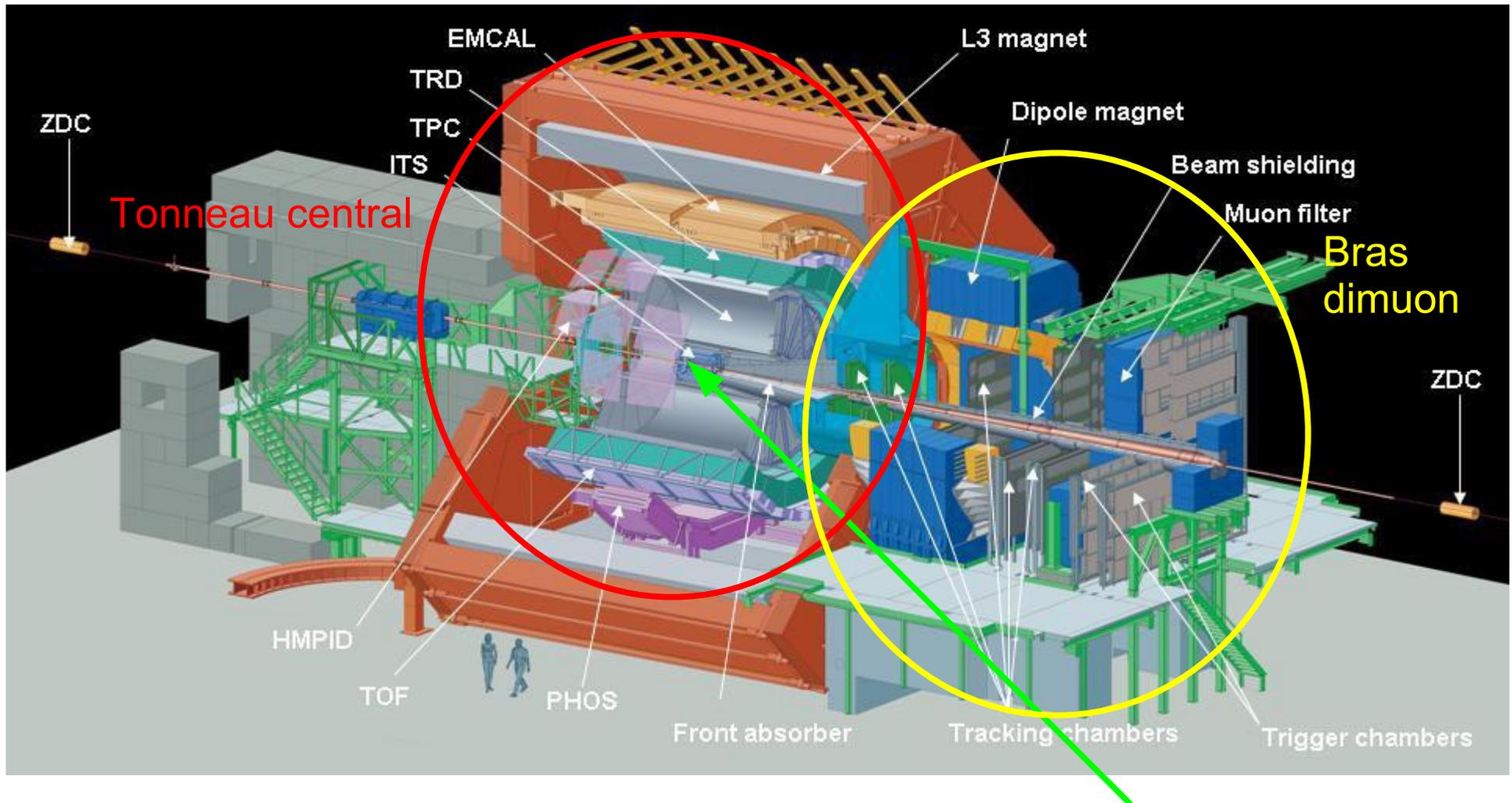
On doit donc se limiter à détecter les produits de désintégrations.
On privilégie généralement le **canal leptonique** :

Quarkonia $\rightarrow l^+ + l^-$

où (l^+, l^-) est soit une paire électron – positron e^-, e^+
soit une paire muon – antimuon μ^-, μ^+

ALICE : introduction

LHC (CERN, Suisse) : début courant 2009



Différents types de collisions : p-p , 14 TeV c.m.

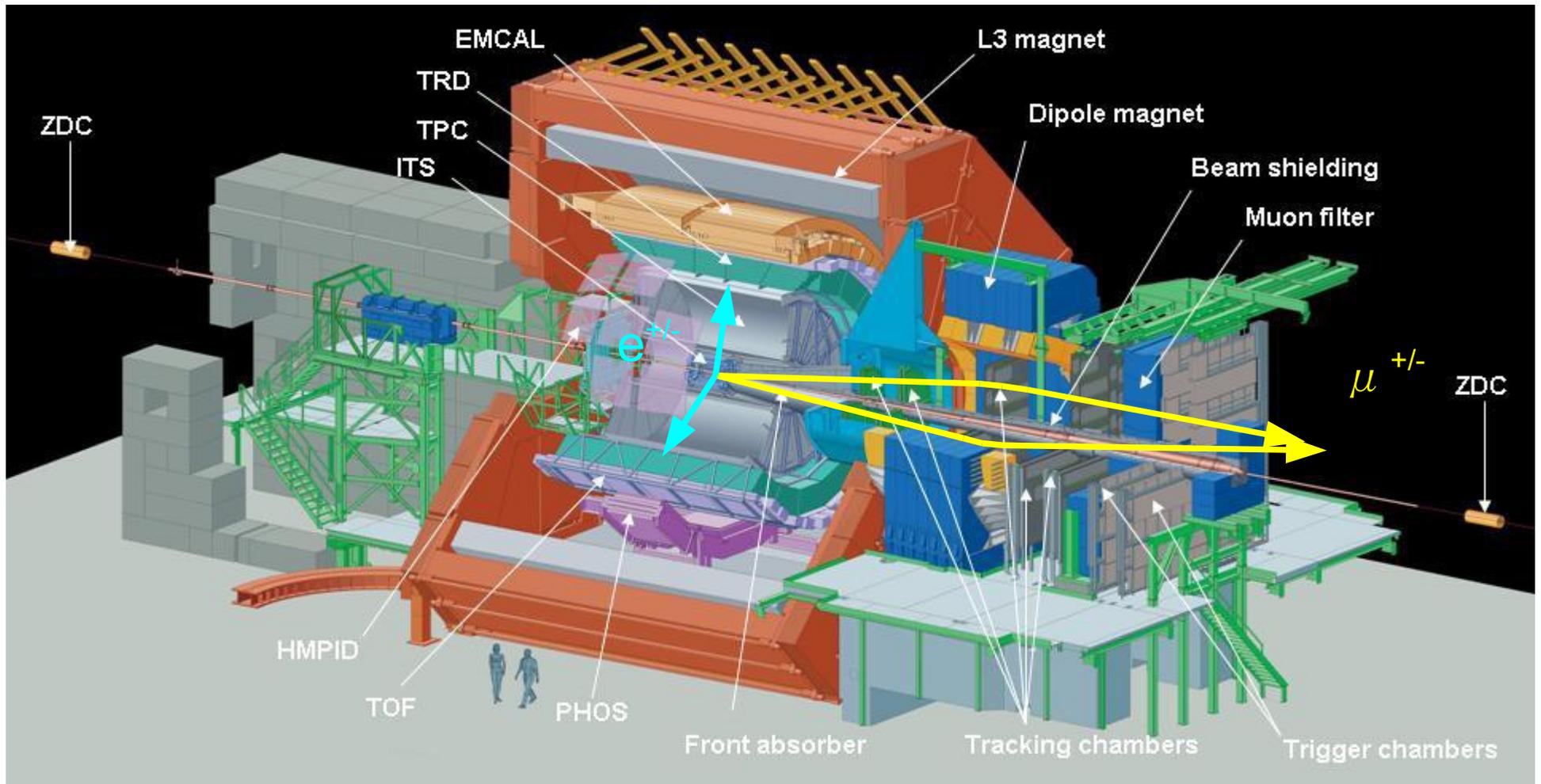
Pb-Pb , 5,5 TeV/A c.m.

p-Pb , 8,8 TeV/A c.m.

Point d'interaction

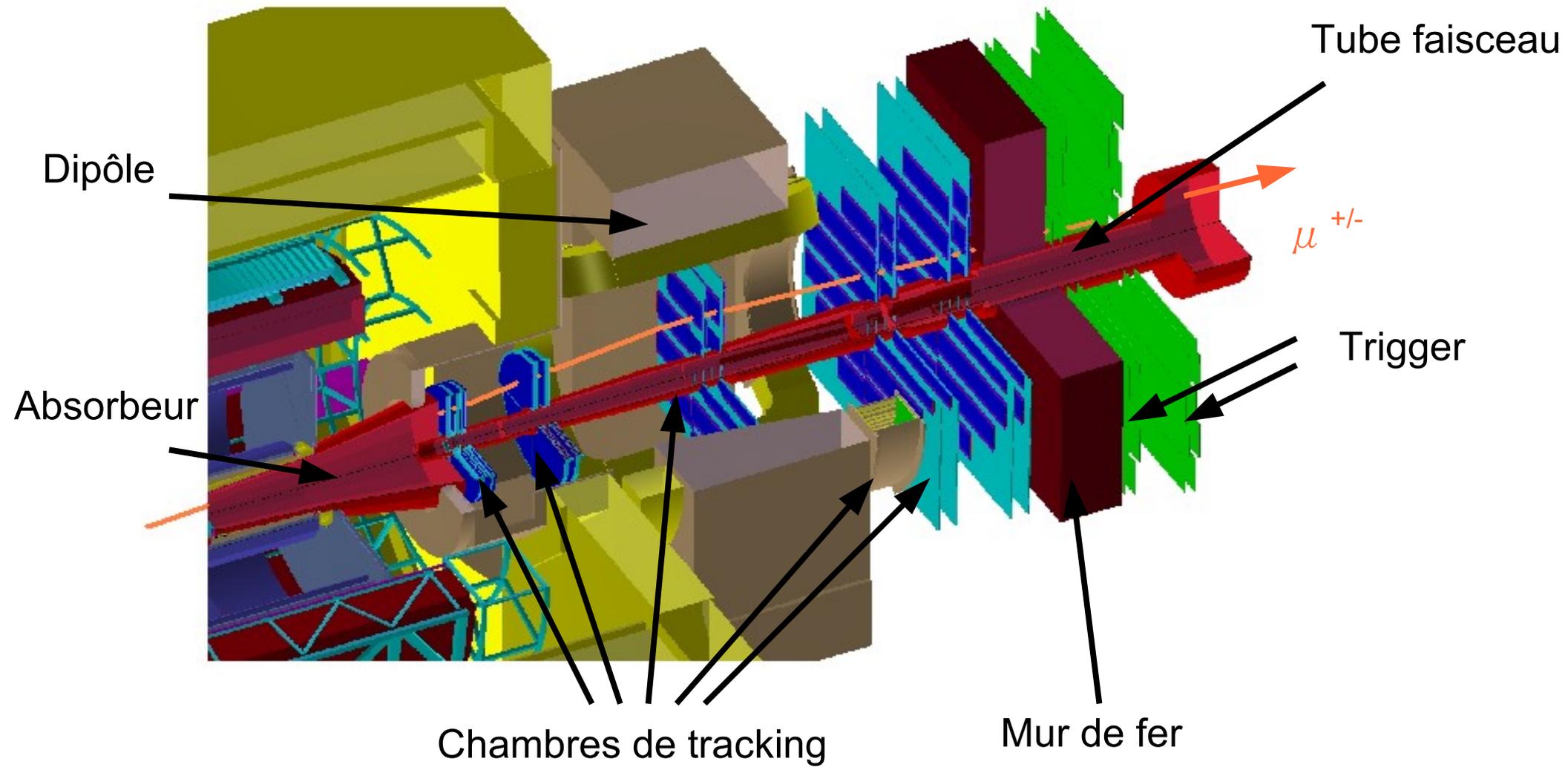
ALICE : introduction

Pour la détection des quarkonia, on utilise les deux canaux leptoniques :



Electronique dans le tonneau central et muonique dans le bras dimuon.
On s'intéresse exclusivement au bras dimuon.

Bras Dimuon



Bras Dimuon : Chambres à Muons

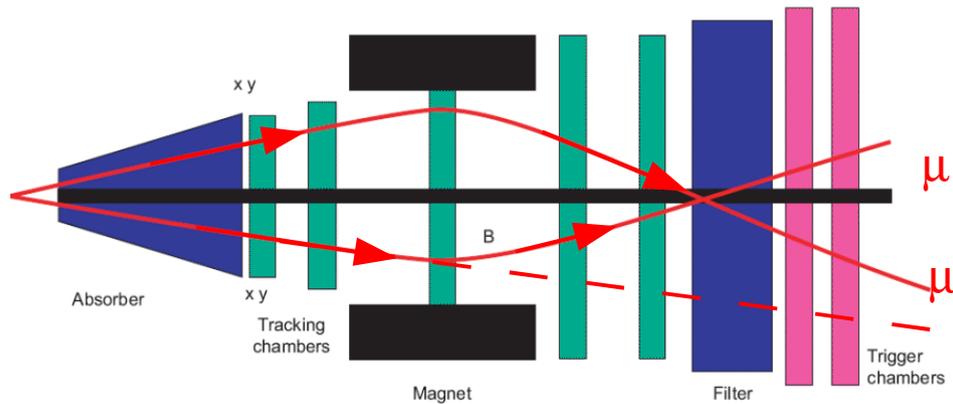
Composé de **cinq stations**, comprenant chacune deux chambres identiques, elles permettent de suivre la trajectoire d'un muon produit lors de la collision.

Toutes les chambres sont en fait des **chambres à fils**. Un muon la traversant va y induire une charge directement proportionnel à son énergie. Cette charge est collectée directement, donnant ainsi également l'information sur la position de la particule.



Identification des Muons

Une fois qu'un muon a laissé une trace dans chaque chambre (ou dans la plupart d'entre elles), il est possible de reconstruire sa trajectoire.



Grâce à la déviation de cette trajectoire (due au champ magnétique dans le dipôle), on remonte à l'impulsion du muon.

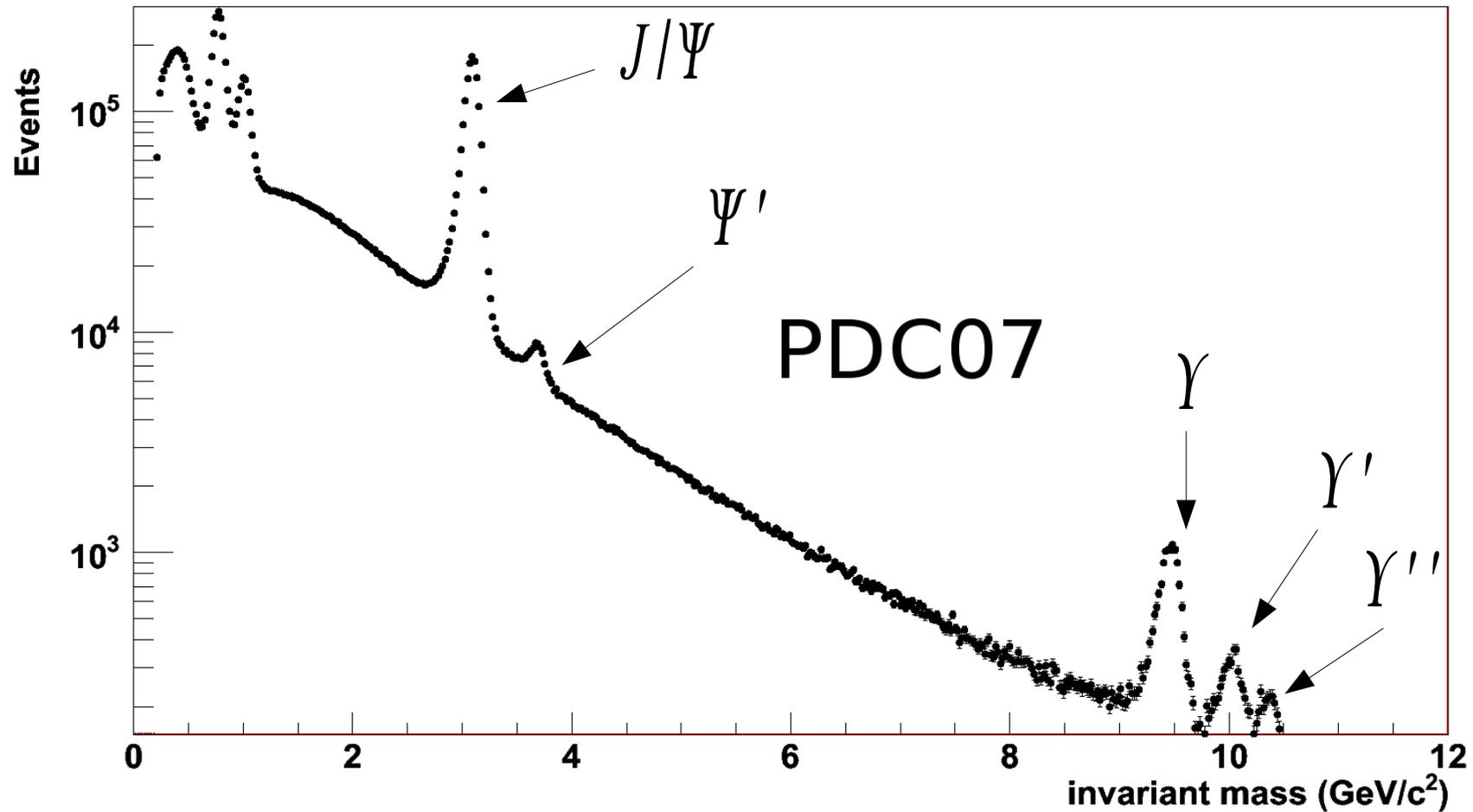
Les muons nous intéressant proviennent de la décroissance des quarkonia en paire de muons. On cherche donc des paires de muons en particulier.

Pour cela, on calcule la **masse invariante** d'une paire de muon :

$$M_{\mu\mu}^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2$$

Masse invariante : Simulation

Simulation des résultats espérés pour une collision proton-proton.



Perspectives

Point de vue phénoménologique :

♦ Afin de mieux comprendre la suppression anormale dans le QGP, il est nécessaire de comprendre tous les autres effets pouvant modifier le nombre de quarkonia observés.

Cela passe évidemment par plus de données.

Point de vue expérimental :

♦ Les dernières expériences (à l'heure actuelle) de SPS et RHIC sont en cours d'analyse, et devraient permettre d'éclaircir certains points que les précédentes avaient soulevés.

♦ La mise en service prochaine du LHC va apporter des résultats à des énergies supérieures et avec plus de statistique qu'à RHIC, ce qui permettra d'étudier la physique du bottomonium et peut-être d'observer de nouveaux mécanismes.

Bras Dimuon

