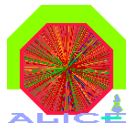


# Les muons de haut pt comme sonde du QGP aux énergies LHC.

---

2èmes Journées QGP France

Zaida Conesa del Valle



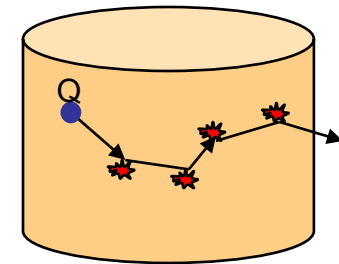
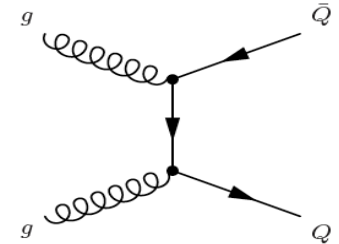
# Sommaire

---

- I. Contributions au spectre des muons à grand pt
- II.  La mesure des bosons faibles dans ALICE
- III.  Le spectre de muons de haut pt, est-il influencé par la formation du PQG?
  - ✓ La perte d'énergie radiative des quarks lourds
  - ✓ Les bosons faibles, sont-ils affectés par le PQG?
- IV. Conclusions et perspectives

# Les quarks lourds comme sonde du PQG

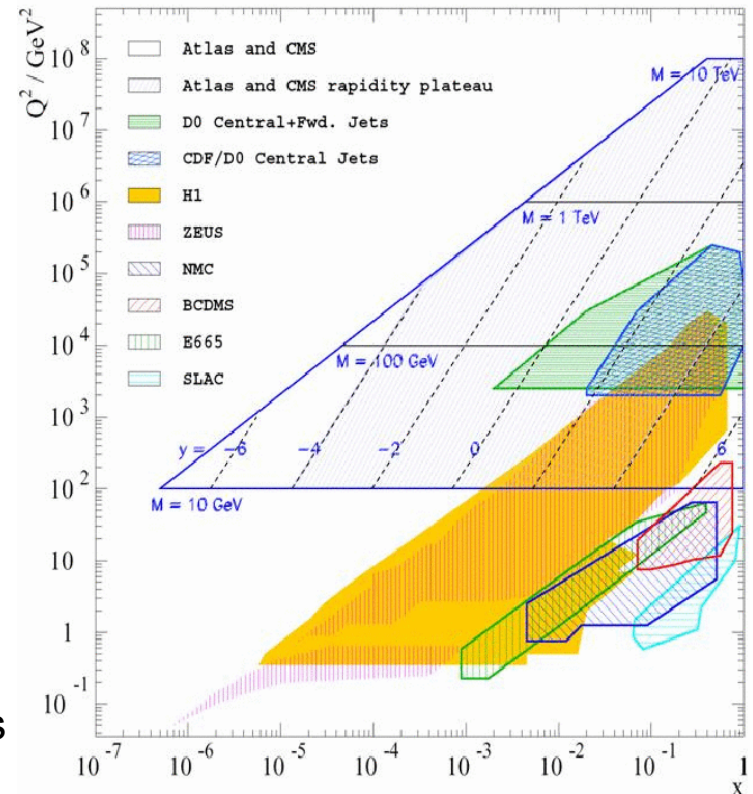
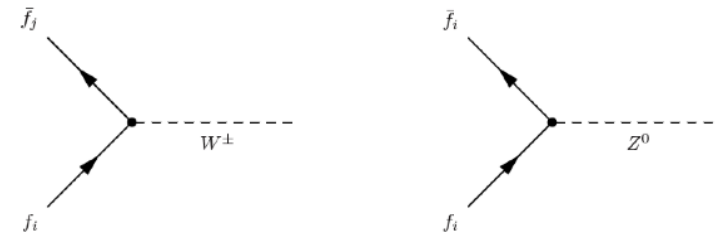
- Production en collisions nucléon-nucléon
  - ↪ Temps de production  $\tau_p \sim 0.05 - 0.15 \text{ fm}/c$
  - ↪ Processus prédominants: la **fusion gluonique** et annihilation  $q\text{-}q\text{bar}$
- Influence du **milieu nucléaire**: collisions p-A
  - ↪ **Shadowing**
  - ↪ **Saturation gluonique**
- Effets dans un **PQG**: collisions A-B
  - ↪ **Perte d'énergie** dans le PQG (grand pt)
  - ↪ **Thermalisation** dans le PQG (bas pt)
- Pourquoi au LHC?
  - ↪ Ils seront produits abondamment
  - ↪ Sensibilité à la perte d'énergie du charme mais aussi de la beauté
  - ↪ Petites valeurs de Bjorken-x ( $10^{-3}, 10^{-5}$ )



	SPS Pb-Pb Cent	RHIC Au-Au Cent	LHC p-p	LHC Pb-Pb Cent
$N(c\bar{c})$	0.2	10	0.2	115
$N(b\bar{b})$	-	0.05	0.007	5

# Pourquoi les bosons faibles aux énergies LHC ?

- Sont **produits dans des collisions dures initiales**  $\tau_f \sim 10^{-3}$  fm/c, et décroissent en  $\sim 0.1$  fm/c. Au premier ordre c'est l'annihilation quark anti-quark qui prédomine.
- Sont des « chandelles » du modèle standard. Ils permettront:
  - ↪ Mesures de la **luminosité**.
  - ↪ Sonder les **PDFs** (coll.p-p) et les **effets nucléaires** (coll. p-A) dans le domaine de Bjorken-x de  $x \sim (10^{-4}-10^{-3})$  à  $Q^2 \sim m_{W,Z}^2$
- En première approximation ils n'interagissent pas **avec le PQG**, alors:
  - ↪ Sa production permettra de **valider le scaling binaire** (avec le nombre de collisions N-N);
  - ↪ Ils pourront être **des références** pour observer les effets induits par le PQG dans le cas d'autres sondes, comme la perte d'énergie des quarks lourds de grand pt.



# Sommaire

---

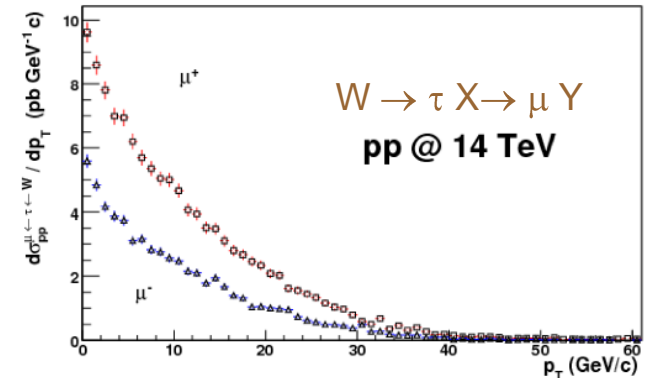
- I. Contributions au spectre des muons à grand pt
- II.  La mesure des bosons faibles dans ALICE
- III.  Le spectre de muons de haut pt, est-il influencé par la formation du PQG?
  - ✓ La perte d'énergie radiative des quarks lourds
  - ✓ Les bosons faibles, sont-ils affectés par le PQG?
- IV. Conclusions et perspectives

# Contributions au spectre de muons de haut pt

## ➤ Décroissances des bosons W et Z

- Le canal du  $\tau$
- Les voies en quarks lourds (c,b)

↪ Toutes contribuent à la zone de bas pt, sont négligeables pour le cas échéant.



## ➤ Décroissances de la beauté et du charme

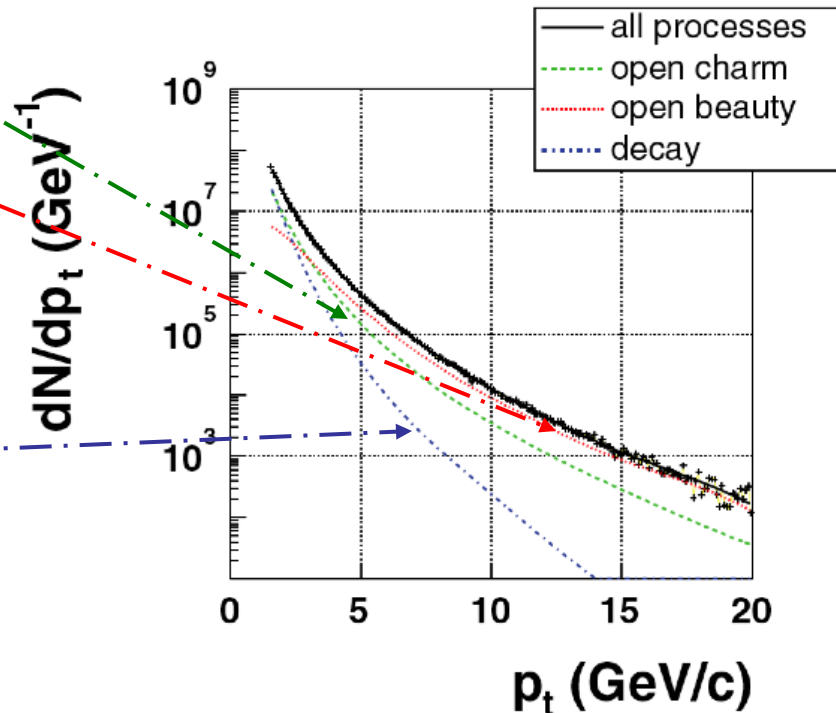
- Les mésons beaux et charmés
- Les quarkonia

↪ Peuplent la région de pt intermédiaire, on les considérera

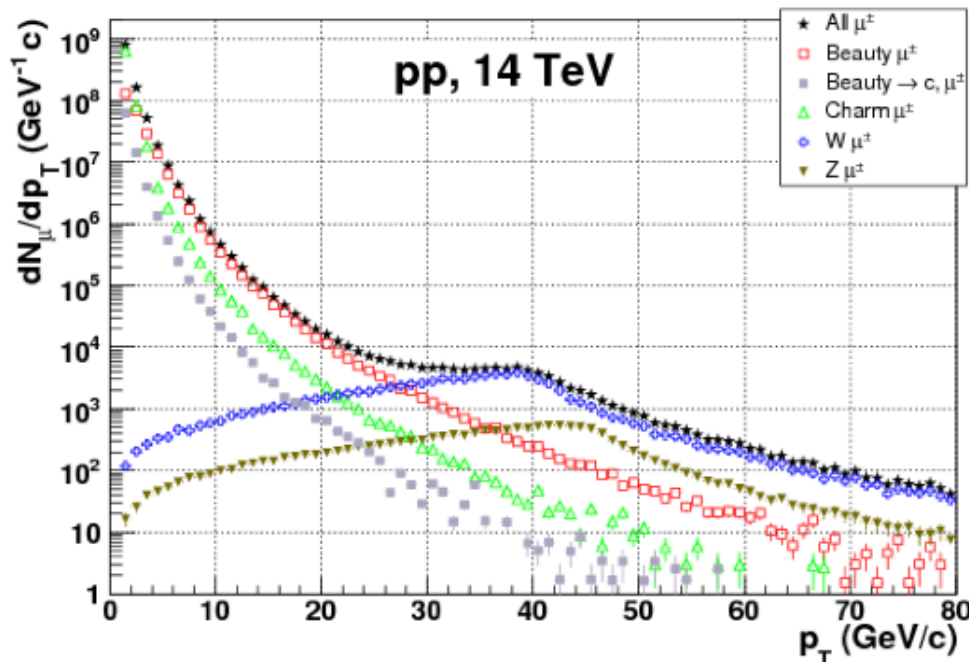
## ➤ Décroissances hadroniques

- Les pions et kaons

↪ Contribuent à petit pt ( $pt < 2 \text{ GeV}/c$ ), sont négligeables pour ce qui nous concerne.



# Le spectre de muons de grand pt avec ALICE

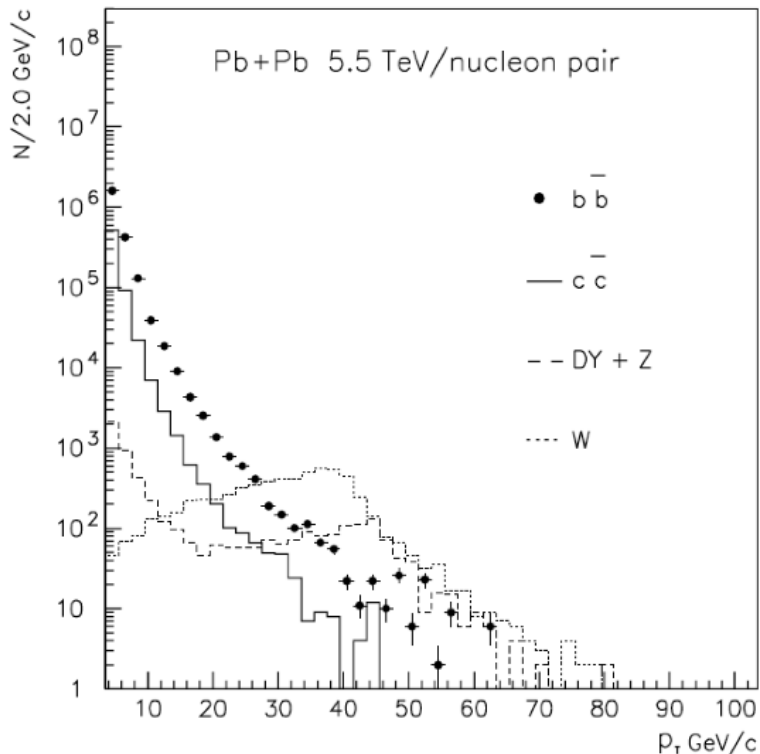


- □ Les décroissances de la beauté et du charme prédominent dans la région intermédiaire de  $p_T$ 
  - ↪ Pour  $p_T > 4$  GeV/c  $N(b) > N(c)$
- Les décroissances issues des bosons faibles peuplent la zone de  $p_T > 30$  GeV/c
- Les processus Drell-Yan
  - $q\bar{q} \rightarrow \mu^+ \mu^-$
  - ↪ Contribution à étudier après le pic du Z ( $p_T > 50$  GeV/c), mais négligeable pour l'étude des W

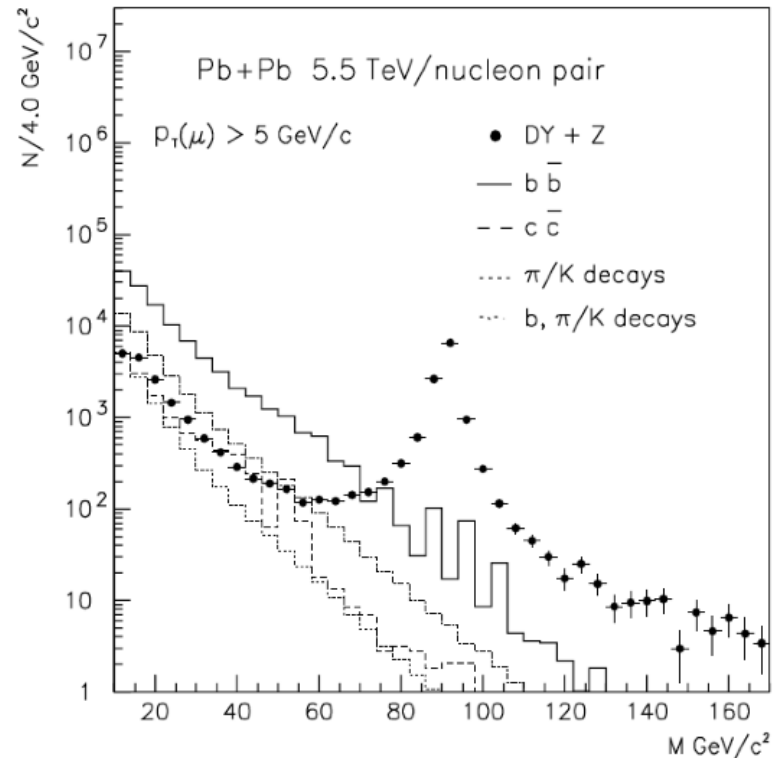
⇒ □ □ Les muons issus de W prédominent pour  $p_T$  (30,50) GeV/c, donc les W peuvent être détectés avec le spectromètre.

# Le DY et le spectre de muons reconstruit à CMS

Spectre en pt des muons,  
 $pt > 3.5 \text{ GeV}/c$ ,  $|\eta| \leq 2.5$



Masse invariante des dimuons,  
 $pt > 5 \text{ GeV}/c$ ,  $|\eta| \leq 2.5$



## ➤ Les processus Drell-Yan

- Contribution à étudier après le pic du Z ( $pt > 50 \text{ GeV}/c$ ), mais négligeable pour l'étude des  $W \mu$



# Sommaire

---

- I. Contributions au spectre des muons à grand pt
- II.  La mesure des bosons faibles dans ALICE
- III.  Le spectre de muons de haut pt, est-il influencé par la formation du PQG?
  - ✓ La perte d'énergie radiative des quarks lourds
  - ✓ Les bosons faibles, sont-ils affectés par le PQG?
- IV. Conclusions et perspectives

# Statistique attendue dans le spectromètre

- Les estimations indiquent que le nombre de muons reconstruits des décroissances muoniques des W et Z dans le spectromètre est

μ des W

Collision	$N_{\mu \leftarrow W}$	$N_{\mu \leftarrow W}^{Reco}$
p-p at 14 TeV	$6.3 \cdot 10^5$	$8.6 \cdot 10^4$
p-Pb at 8.8 TeV	$2.3 \cdot 10^5$	$4.0 \cdot 10^4$
Pb-p at 8.8 TeV	$2.3 \cdot 10^5$	$1.7 \cdot 10^4$
Pb-Pb at 5.5 TeV	$1.4 \cdot 10^5$	$1.4 \cdot 10^4$

Paires de μ des Z

Collision	$N_{\mu^+ \mu^- \leftarrow Z}$	$N_{\mu^+ \mu^- \leftarrow Z}^{Reco}$
p-p at 14 TeV	$5.7 \cdot 10^4$	$2.4 \cdot 10^3$
p-Pb at 8.8 TeV	$2.3 \cdot 10^4$	$1.2 \cdot 10^3$
Pb-p at 8.8 TeV	$2.3 \cdot 10^4$	$3.0 \cdot 10^2$
Ar-Ar at 6.3 TeV	$9.6 \cdot 10^4$	$2.1 \cdot 10^3$
Pb-Pb at 5.5 TeV	$1.4 \cdot 10^4$	$2.3 \cdot 10^2$

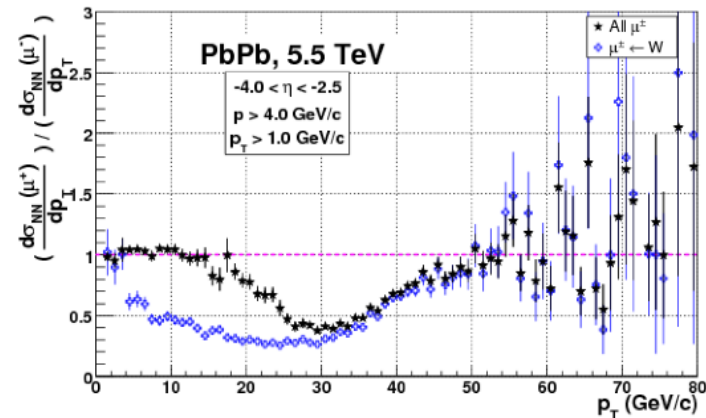
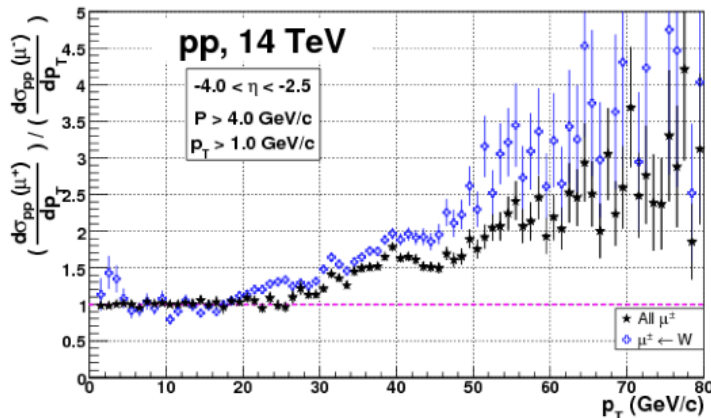
- On pourra mesurer les W dans des coll. p-p p-Pb et Pb-Pb.
- Les Z pourront être détectés en coll. p-p, p-Pb et Ar-Ar. En Pb-Pb et Pb-p faudra accumuler la statistique de plusieurs années.

- En plus:

- Environ 1/2 des muons issus des décroissances des bosons faibles sont produits dans le domaine de pt (30,50) GeV/c.
- Les classes de centralité les plus adéquates en coll. Pb-Pb pour étudier le W sont 0-10% et 40-70%.
- L'isospin des systèmes qui interagissent  $\oplus$  la violation de la parité  $\Rightarrow$  asymétrie de charge des muons décrets de W.

# L'asymétrie de charge des muons, indicateur des W

- L'asymétrie de charge des muons décrets de W, est-elle cachée par les autres sources de muons?



- ↪ Pour petit  $p_T$ , la valeur du rapport est proche de un, les quarks c et b étant majoritaires.
- ↪ Pour  $p_T > 30 \text{ GeV}/c$  la valeur s'écarte de un, étant dominé par la contribution du W.

Collision	$p_T$ (GeV/c)	$N_{\mu^+}^{\text{Reco}} / N_{\mu^-}^{\text{Reco}}$ (de W)	$N_{\mu^+}^{\text{Reco}} / N_{\mu^-}^{\text{Reco}}$
p-p à 14 TeV	(15,20)	$0.99 \pm 0.02$	$1.02 \pm 0.01$
p-p à 14 TeV	(30,40)	<b><math>1.64 \pm 0.02</math></b>	<b><math>1.42 \pm 0.01</math></b>
Pb-Pb à 5.5 TeV	(15,20)	$0.33 \pm 0.02$	$0.89 \pm 0.01$
Pb-Pb à 5.5 TeV	(30,40)	<b><math>0.42 \pm 0.01</math></b>	<b><math>0.48 \pm 0.01</math></b>

⇒ Le rapport de production de  $\mu^+/\mu^-$  peut indiquer la production de W.

# Sommaire

---

- I. Contributions au spectre des muons à grand pt
- II.  La mesure des bosons faibles dans ALICE
- III.  Le spectre de muons de haut pt, est-il influencé par la formation du PQG?
  - ✓ La perte d'énergie radiative des quarks lourds
  - ✓ Les bosons faibles, sont-ils affectés par le PQG?
- IV. Conclusions et perspectives

# Les modèles de perte d'énergie des quarks lourds

## ➤ Le modèle BDMPS (Baier-Dokshitzer-Mueller-Peigné-Schiff)

- ↪ Calcul des pertes d'énergie radiatives des quarks lourds.
- ↪ Dans le processus les gluons de la fonction d'onde du parton peuvent acquérir de l'énergie et éventuellement être rayonnés.
- ↪ Dans l'approximation statique la perte d'énergie est:

$$-\Delta E = \int^{\omega_c} \omega \frac{dI}{d\omega} \propto \alpha_s C_R \hat{q} L^2$$

Para ver esta película, debe disponer de QuickTime™ y de un descompresor BMP.

- Est proportionnelle à  $L^2$
- Est proportionnelle à  $q$ : le carré de l'impulsion transférée par le milieu au parton par unité de matière traversée.
- Est proportionnelle à  $C_R \Rightarrow$  Est plus grand pour des gluons que pour des quarks
- Indépendante de l'énergie initiale du parton.

## ➤ L'effet « dead cone »: due à sa masse, le gluon-bremsstrahlung des quarks lourds est supprimé pour des angles $\theta < M/E \equiv \theta_0$

# Les calculs de perte d'énergie des quarks lourds

## ➤ Nos calculs (Coll. avec Dainese, Ding, Martinez, Zhou)

### ↪ Utilisons le Parton Quenching Model (PQM)

- **Quenching weights**: calculs BDMPS + effet « dead cone » + énergie initiale du parton
- Géométrie réaliste (modèle de Glauber)

### ↪ Dépendance en rapidité: scaling en pseudo-rapidité

$$\hat{q}(\eta') = \hat{q}(\eta = 0) \times \frac{dN_{ch}}{d\eta} \Big|_{\eta=\eta'} / \frac{dN_{ch}}{d\eta} \Big|_{\eta=0}$$

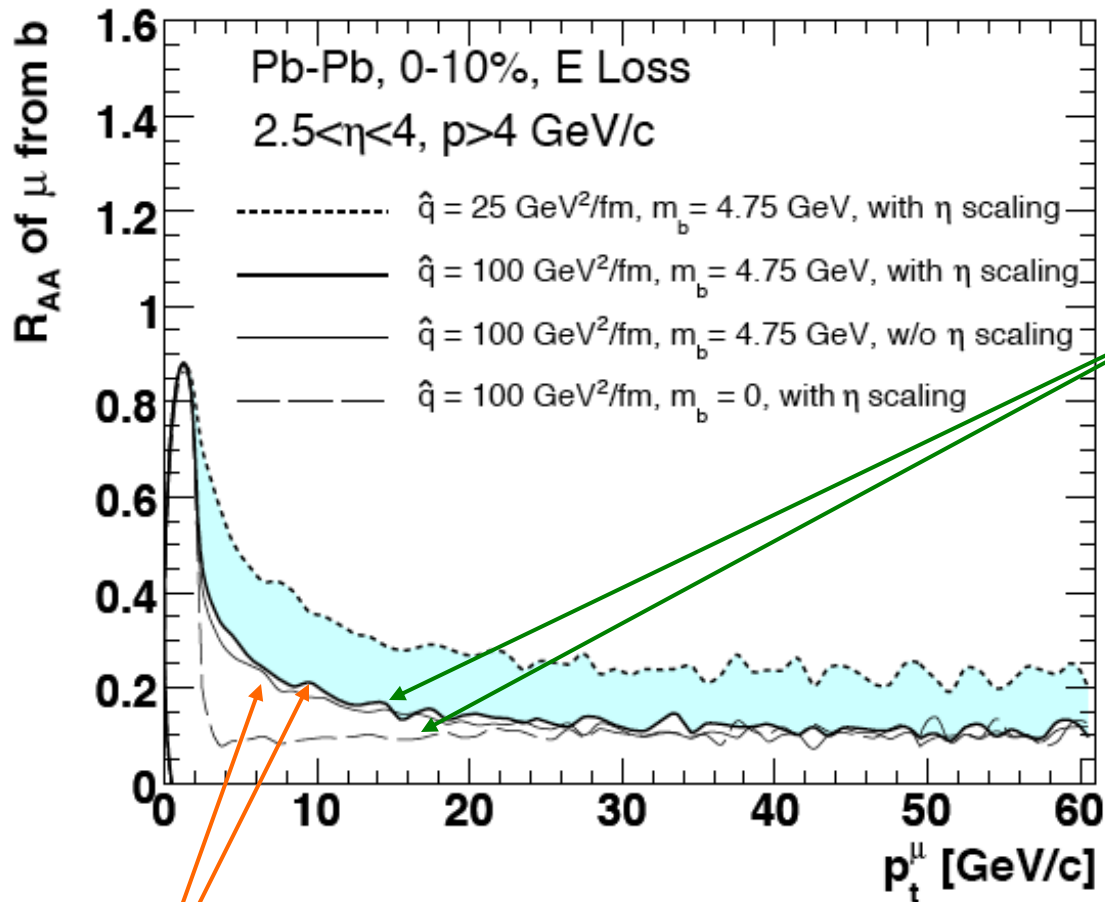
### ↪ Les partons qui ont perdu la plupart de leur énergie sont redistribués selon une **distribution thermique**:

$$\frac{dN_{thermal}}{dm_T} \propto m_T \exp\left(-\frac{m_T}{T}\right)$$

### ↪ Simulation des quarks lourds avec HVQMNR + perte d'énergie + fragmentation de Peterson + décroissance modèle spectateur

(e.g.  $\mu$  kinematics for  $B \rightarrow \mu$  from  $b \rightarrow c + \mu + \nu_\mu$ )

# Effets dead-cone et scaling pseudo-rapidité



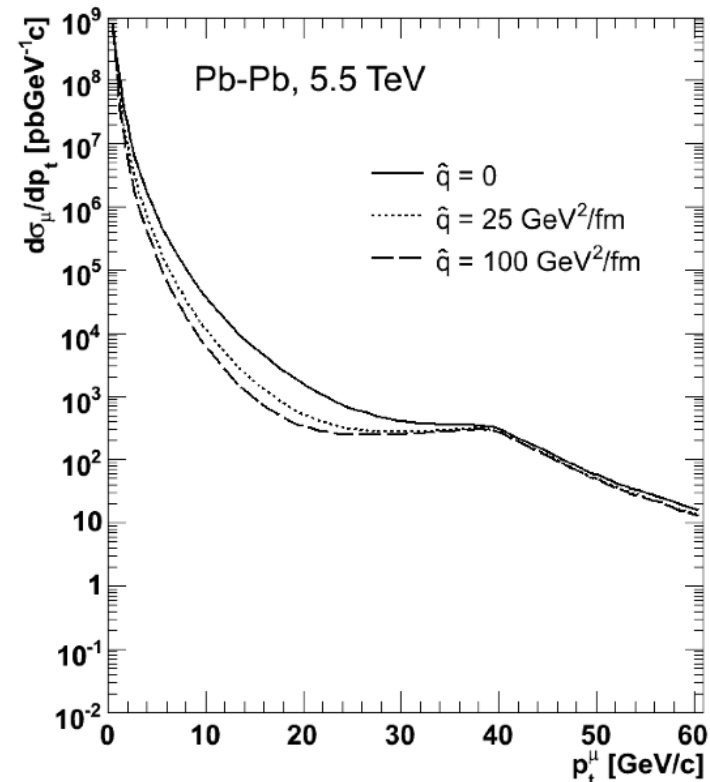
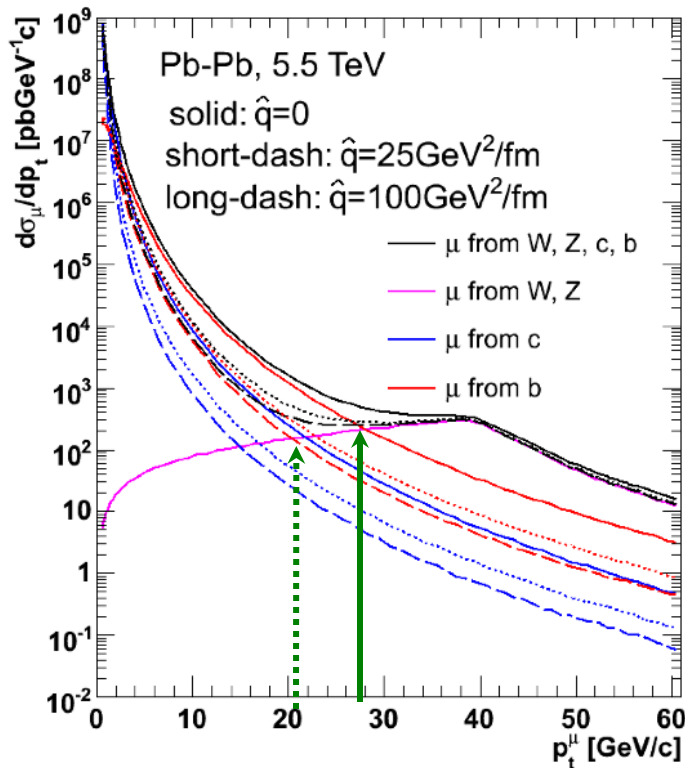
Dead-cone  
effect

Pseudo-rapidity scaling

Deviens négligeable

# La perte d'énergie vue à travers des muons I

- Les calculs de perte d'énergie des quarks lourds nous montrent que le spectre des muons:
  - ↪ Le **point de croisement** des contributions de la beauté et du W devrait diminuer de 5-7 GeV/c.





# La perte d'énergie vue à travers des muons II

## ➤ Évaluation du $R_{AA}$

- ↪ Diminue d'un facteur 2-4 pour  $p_t < 20$  GeV/c en Pb-Pb 0-10% CC
- ↪ Mais... besoin des données p-p à la même énergie.

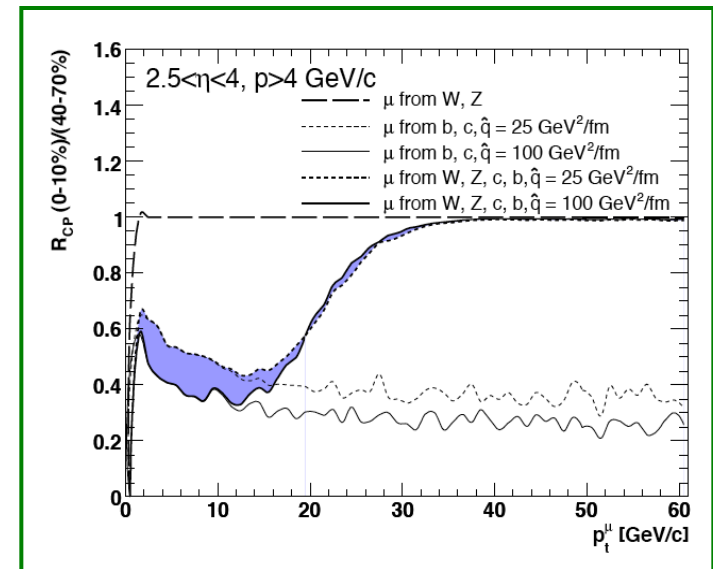
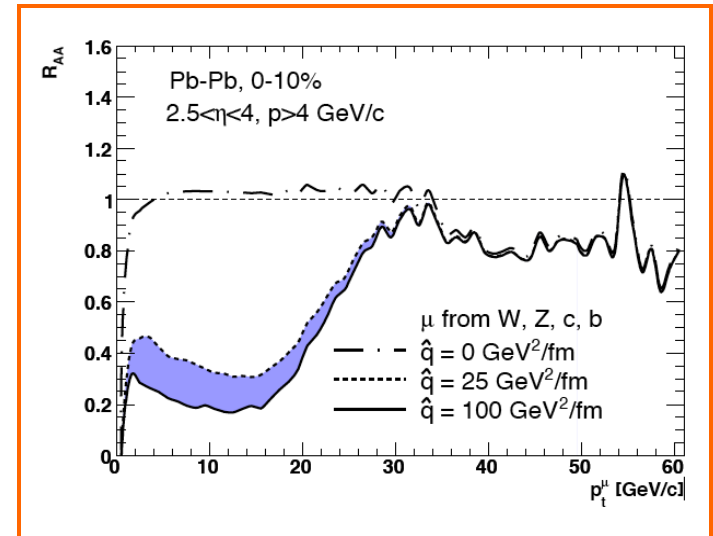
## ➤ Évaluation du $R_{CP}$

- ↪ Diminue d'un facteur 2-3 pour  $p_t < 20$  GeV/c en Pb-Pb (0-10%)/(40-70%) CC
- ↪ Mais... statistique limitée pour définir les classes de centralité.

## ➤ Rapport du nombre de muons en divers domaines de $p_t$

$$S = \frac{N_\mu(15, 20)}{N_\mu(30, 40)}$$

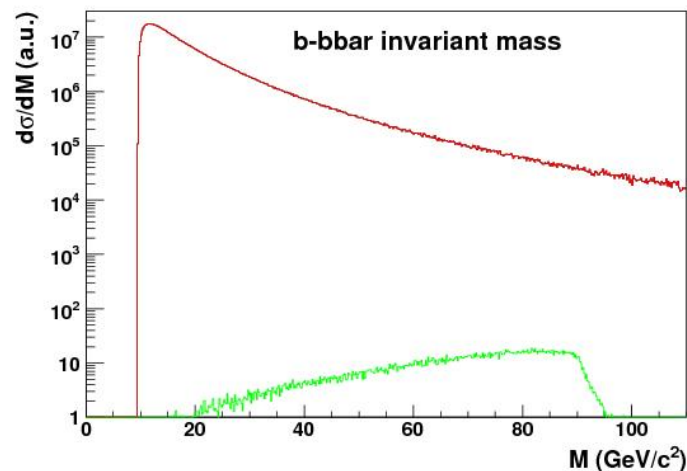
- ↪  $S \sim 4.8$  en coll. Pb-Pb MB
- ↪ Devrait diminuer d'un facteur 3-5 en Pb-Pb 0-10% CC par rapport aux calculs théoriques sans perte d'énergie.
- ↪ Mais... besoin de bien comprendre et reproduire les effets nucléaires.



# Les bosons faibles, sont-ils sensibles au PQG?

- Les W/Z sont formés très rapidement  $t_f \sim 1/M$ , et décroissent en  $t_d \sim 1/\Gamma \sim 0.1 \text{ fm}/c$ 
  - ↪ Se sont les produits de sa décroissance qui traversent le milieu!
  - ↪ Interagissent eux avec le plasma? Sont ils affectés?
    - Les leptons ont un  $\lambda \sim 10 \text{ fm}/c \sim L_{\text{QGP}}$  [Coll. avec S. Peigné, A. Peshier]
      - ⇒ Les leptons seront peu ou pas influencés par le PQG
    - Et la décroissance  $Z \rightarrow b \bar{b}$ ?
      - ⇒ Les quarks b seront sensibles au milieu!
      - ⇒ Mais il y a un énorme bruit de fond qu'il faudrait discriminer...

Préliminaire



# Conclusions

---

- Les bosons  $W$  et  $Z$  pourront être mesurés avec le spectromètre à muons d'ALICE à partir du spectre de muons et du spectre de masse invariante.
- Le spectre de muons est dominé par la contribution du charme pour  $pt$  (2,4) GeV/c, par la beauté pour  $pt$  (4,25) GeV/c, et pour  $pt$  (30,50) GeV/c la contribution du  $W$  prévaut.
- L'existence d'une asymétrie de charge des muons permettra de signaler la production des  $W$ .
- Les muons issus des bosons faibles seront peu influencés par la formation du PQG. Ils serviront comme sonde de référence pour l'étude des effets du milieu sur d'autres sondes, comme les quarks lourds.
- Les calculs de perte d'énergie des quarks lourds montrent que le spectre de muons sera sensible à celle-ci dans le domaine de  $pt$  (5,30) GeV/c. Des études du  $R_{aa}$ ,  $R_{cp}$  et  $S$  nous aideront à étudier tels effets.

# Perspectives

- Approfondir l'étude de faisabilité de la mesure des bosons Z, en considérant l'influence du Drell-Yan.
- Réaliser des études sur les erreurs systématiques associées à l'extraction des sections-efficaces de production de W et Z.
- Évaluer la sensibilité du spectromètre aux PDFs à partir de la production des bosons faibles. Où le spectromètre à muons est particulièrement bien placé pour sonder les petites valeurs de  $x$ .
- Étudier la possibilité de détecter les effets du PQG des bosons faibles. Par ex. approfondir l'analyse de Z en quarks b.

