
Les basses masses

-
- Basses masses et symétrie chirale
 - Basses masses et ALICE

Qui sont les basses masses ?

Résonance	ρ	ω	ϕ	J/ψ	Υ
Masse (MeV/c ²)	770	782	1020	3097	9460
Largeur (MeV/c ²)	150	8.4	4.4	0.087	0.052
$c\tau$ (fm)	1.3	23.4	45	2268	3752
BR $\mu^+ \mu^-$ (%)	$4.6 \cdot 10^{-3}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$	5.9	2.5

- Temps de vie très court

- $\tau_{\rho} \ll \tau_{QGP} \sim 10 \text{ fm} < \tau_{\omega, \phi} \ll \tau_{J/\psi, \Upsilon}$

- BR en dimuons faible, mais production importante

- $N_{\mu\mu}$ (basses masses) $\sim N_{\mu\mu}$ (J/ψ)

Intérêts

- Augmentation de l'étrangeté avec l'apparition du QGP.
 - Etude du taux de production du ϕ ($s\bar{s}$)
- Restauration de la symétrie chirale
 - Etude du spectre du ρ

La symétrie chirale

$$\mathcal{L}_{\text{QCD}} = -\frac{1}{4} G_a^{\mu\nu} G_{\mu\nu}^a + i\bar{u}\gamma^\mu D_\mu u + i\bar{d}\gamma^\mu D_\mu d - m_u \bar{u}u - m_d \bar{d}d + \dots$$

$$\psi = \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \text{et on ne s'intéresse pas aux gluons et aux quarks plus lourds.}$$

$$\mathcal{L} = i\bar{\psi}\gamma^\mu \partial_\mu \psi - \frac{m_u + m_d}{2} \bar{\psi}\psi - \frac{m_u - m_d}{2} \bar{\psi}\tau_3\psi$$

$$m_u, m_d \approx 1,5 - 7 \text{ MeV} \ll \Lambda_{\text{QCD}} \approx 1 \text{ GeV}$$

$$\mathcal{L} = i\bar{\psi}\gamma^\mu \partial_\mu \psi$$

La symétrie chirale (II)

$$\begin{aligned}\mathcal{L} &= i\bar{\psi}\gamma^\mu\partial_\mu\psi \\ &= i\bar{\psi}_L\gamma^\mu\partial_\mu\psi_L + i\bar{\psi}_R\gamma^\mu\partial_\mu\psi_R\end{aligned}$$

Les chiralités gauche et droite se transforment indépendamment ($SU(2)_L \otimes SU(2)_R$)

-> Le Lagrangien est invariant sous des transformations chirales :

$$\begin{aligned}\psi_L &\rightarrow e^{i\vec{\sigma}\cdot\vec{\epsilon}_L/2}\psi_L \\ \psi_R &\rightarrow e^{i\vec{\sigma}\cdot\vec{\epsilon}_R/2}\psi_R\end{aligned}$$

-> La QCD possède la symétrie chirale (en très bonne approximation).

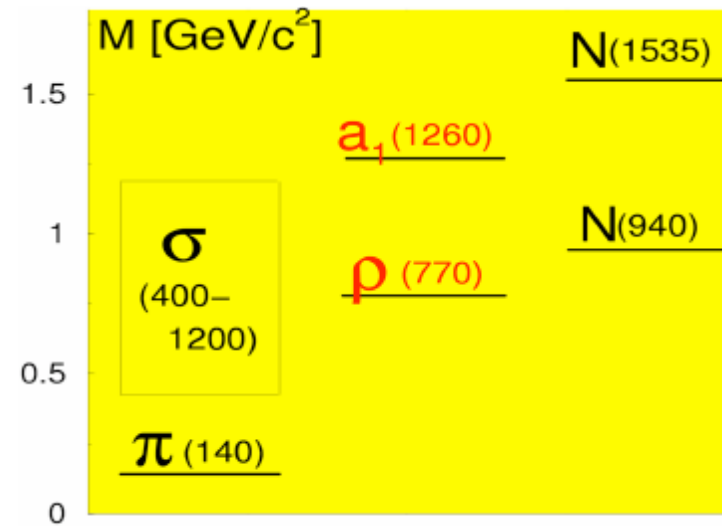
Partenaires chiraux

- Conséquence physique de la symétrie chirale : chaque particule possède un partenaire chirale de même spin et de parité opposée :

$$\Pi(0^-) \leftrightarrow \sigma(0^+)$$

$$\rho(1^-) \leftrightarrow a_1(1^+)$$

$$N(940)(1/2^+) \leftrightarrow N(1535)(1/2^-)$$



Si la symétrie était réalisée, 2 partenaires chiraux auraient la même masse. Ce n'est pas le cas.

-> La symétrie chirale est brisée.

Brisure de la symétrie chirale

- La symétrie chirale est donc spontanément brisée à basse température :
 - L_{QCD} possède la symétrie chirale, mais
 - le vide ne possède pas cette symétrie.
- Paramètre d'ordre de la symétrie chirale: le condensat de quarks (mesure la “quantité de brisure” de la symétrie)

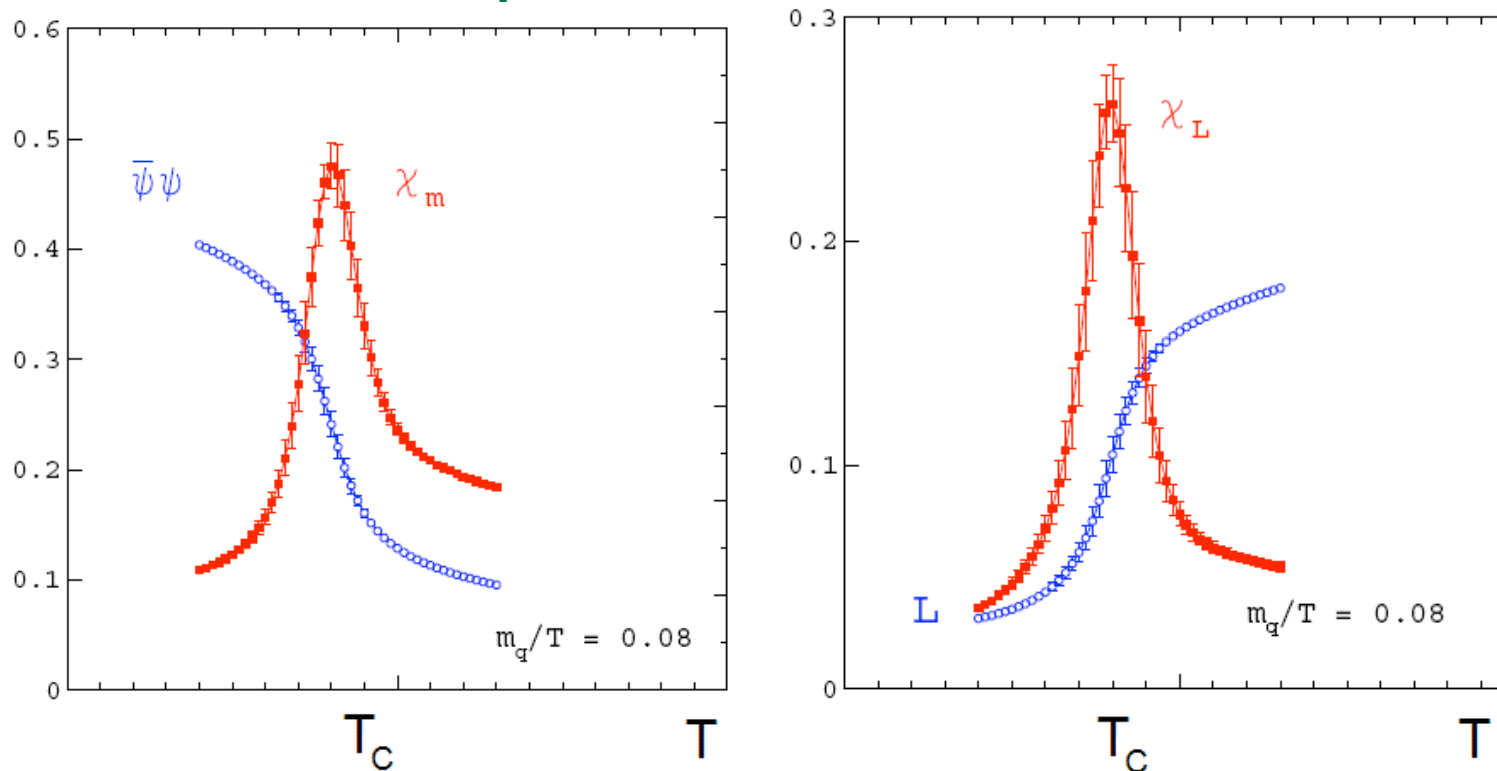
$$\langle \bar{q}q \rangle = \frac{1}{2} \langle \bar{q}_R q_L + \bar{q}_L q_R \rangle$$

- Dans le vide QCD :

$$\langle \bar{q}q \rangle_0 \approx -(240 \text{ MeV})^3$$

(mesuré avec la désintégration du pion)

A haute température



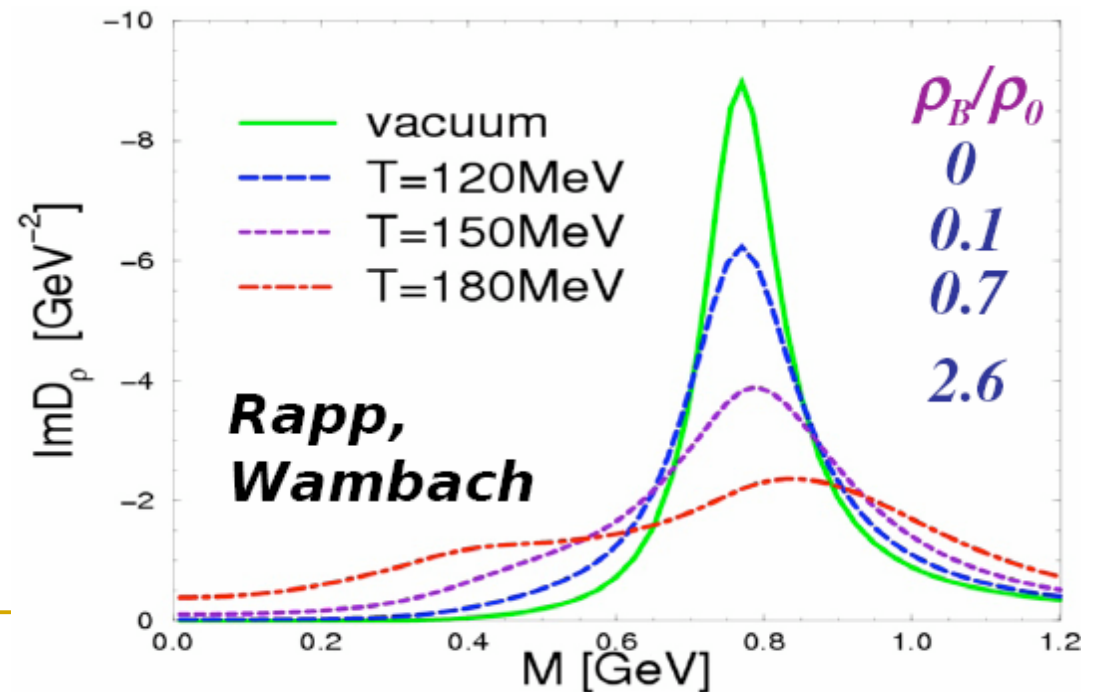
Paramètres d'ordre de la sym. chirale (droite) et du confinement (gauche)

- Les calculs sur réseau montrent une chute de la valeur du condensat en $T=T_C \rightarrow$ transition de phase, restauration de la symétrie chirale.
- $T_C(\text{chirale})=T_C(\text{déconfinement})$!

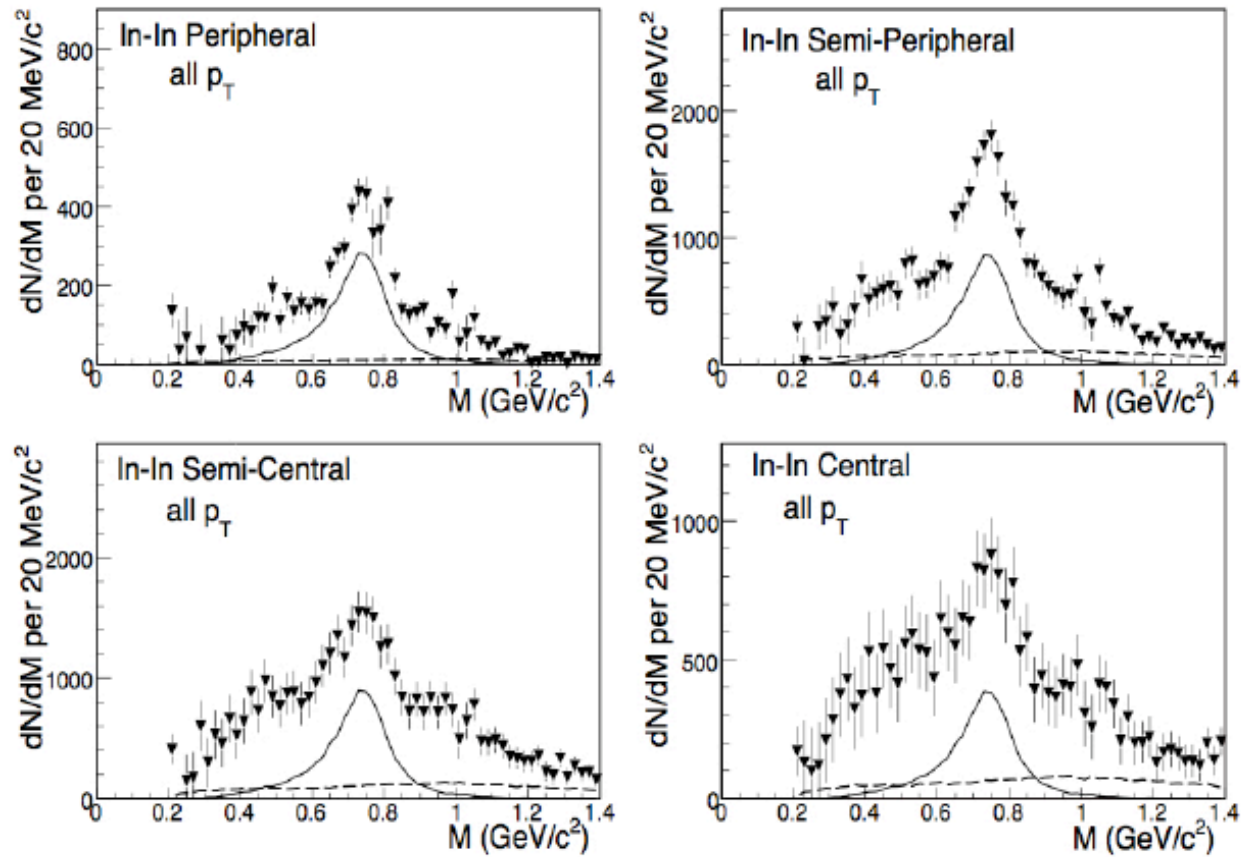
Conséquences physiques

- Lorsque T augmente, la restauration de la symétrie chirale entraîne un mélange entre partenaires chiraux.
 - Par exemple ρ et a_1 .
- La fonction spectrale du rho dans un milieu chaud et dense a été calculée.

- Prédiction : élargissement du spectre avec la température/densité.

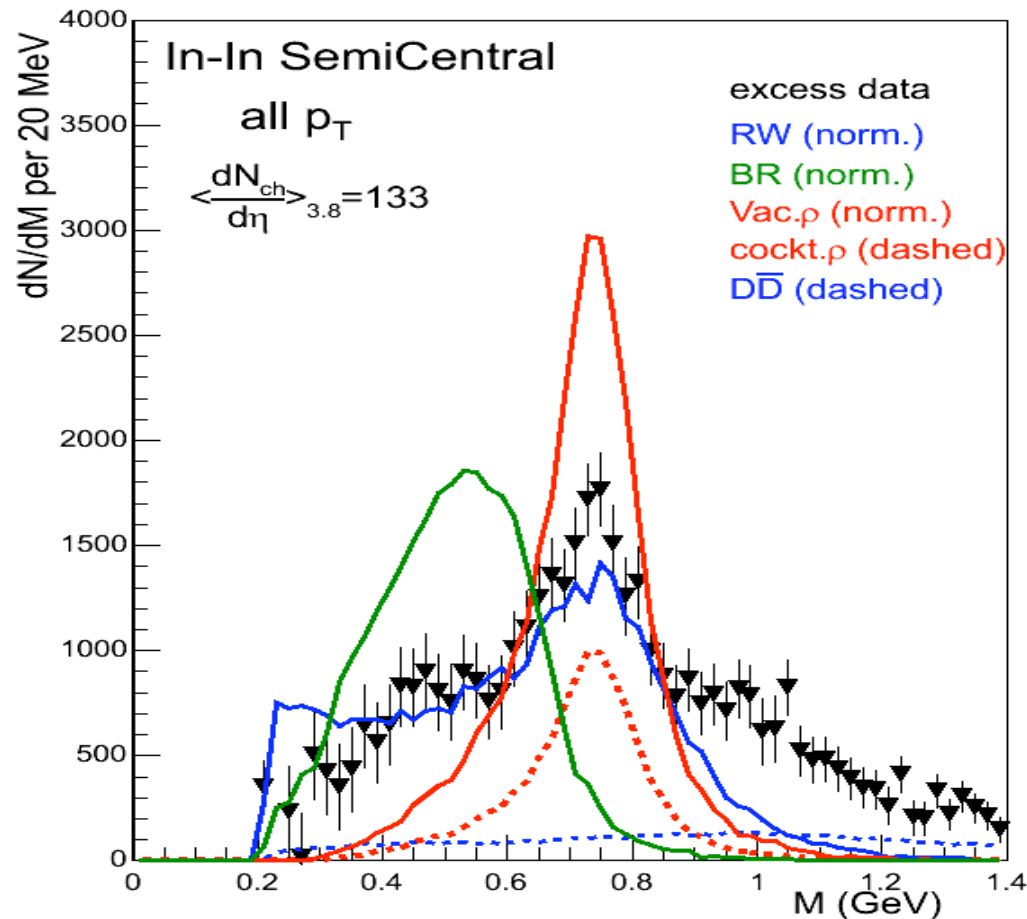


Résultats de NA60



Excès de dimuons piqué à M_ρ , élargissement avec la centralité.

Théorie vs NA60

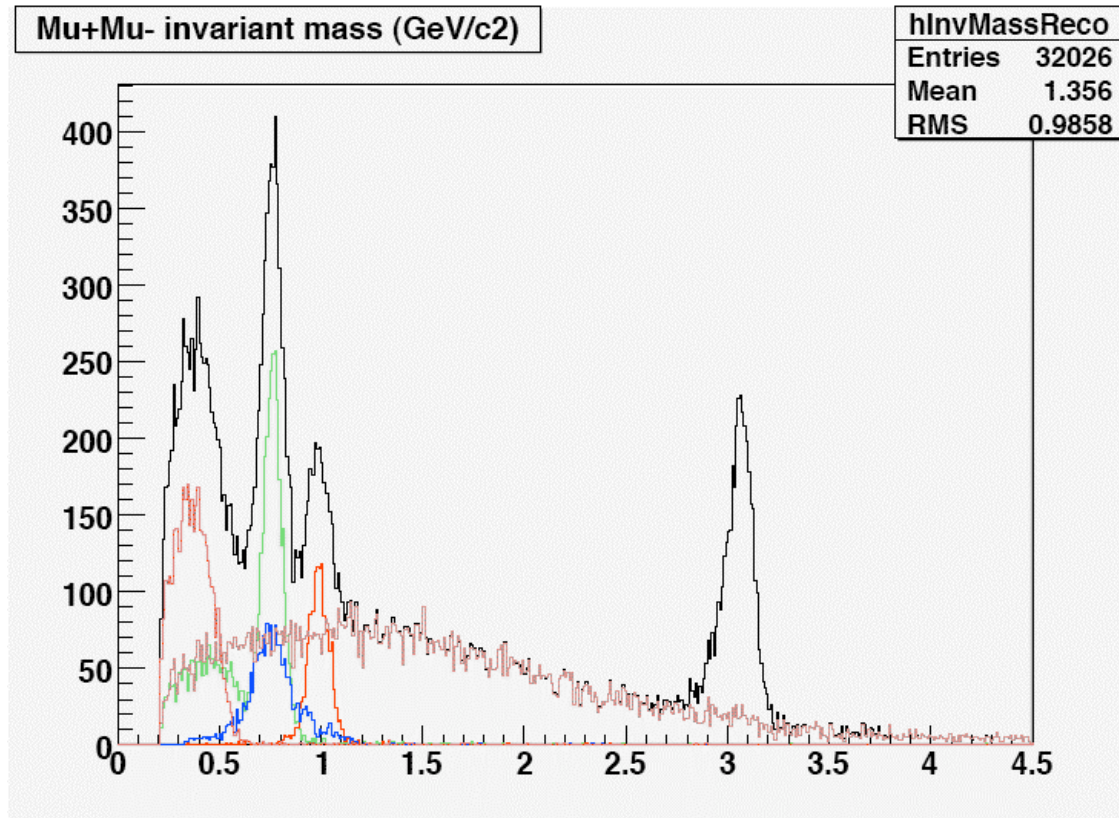


Le scénario d'un élargissement du spectre décrit bien les données (en bleu).

Les scénarios de rho non modifiés (en rouge) ou de variation de masse (en vert) sont à écarter.

Prévisions pour ALICE

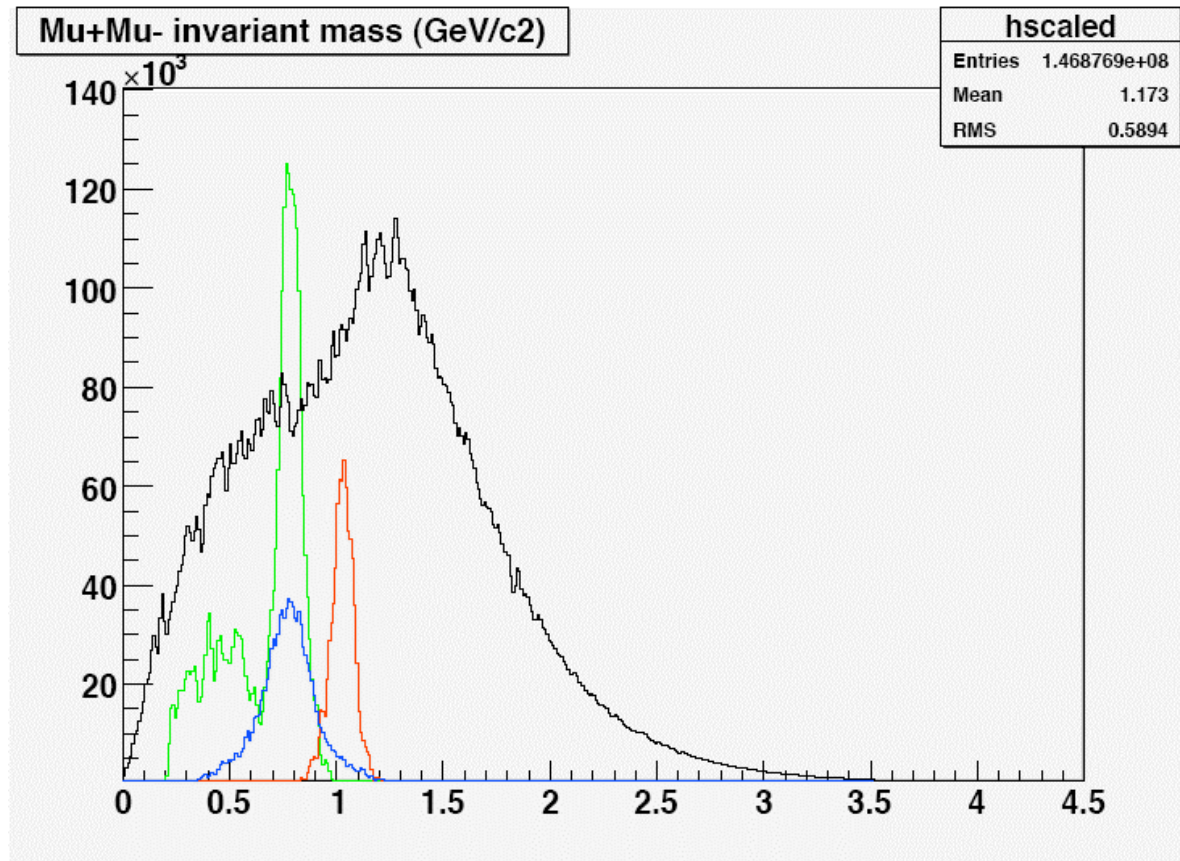
ALICE: pp



Signal attendu dans le spectromètre dimuon d'ALICE, sans le bruit de fond non-corrélé (~ 50000 évts grille 2006, cut en P_T à 0.5 GeV/c).

Contributions des ρ (bleu), ω (vert), ϕ (rouge), η (rouge foncé) et c/b ouverts (brun).

ALICE: pp (II)



Avec le bruit de fond non-corrélé (simulations rapides d'un mois de prises de données).

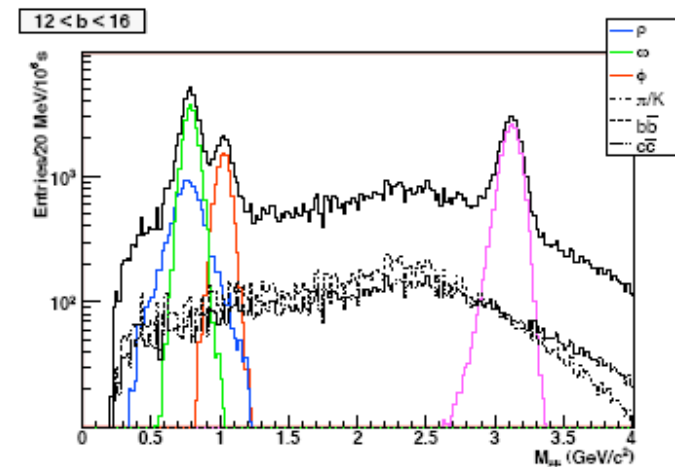
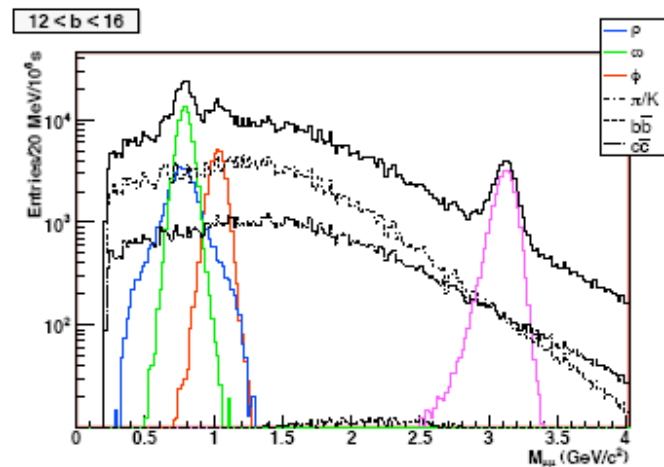
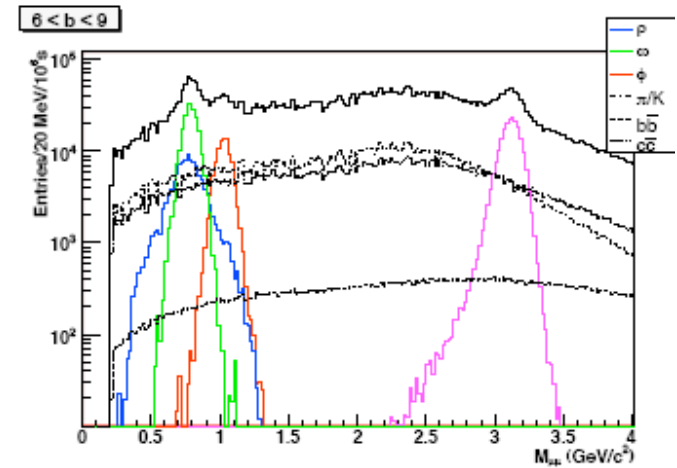
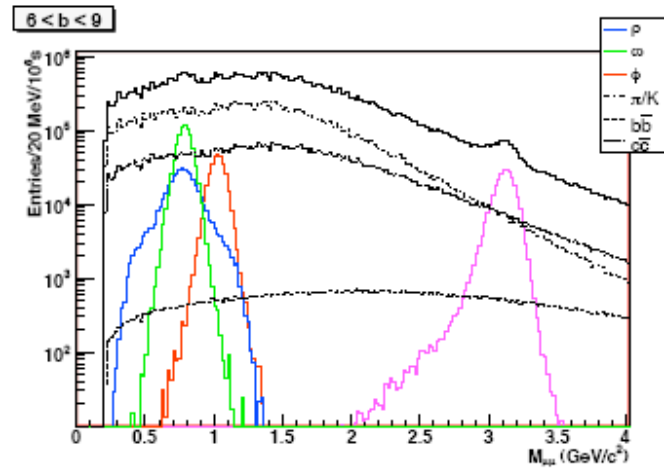
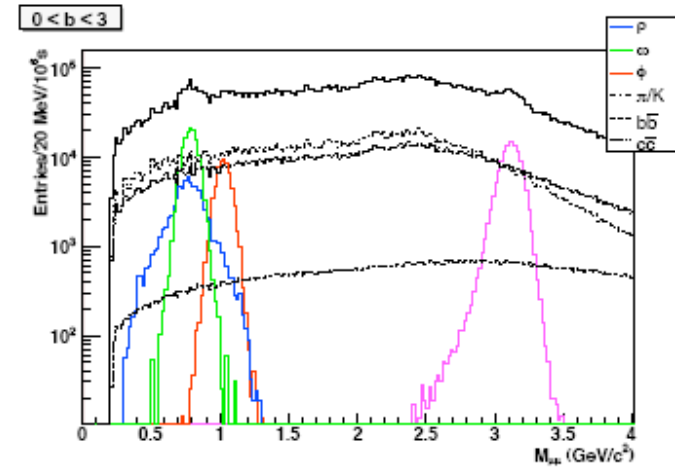
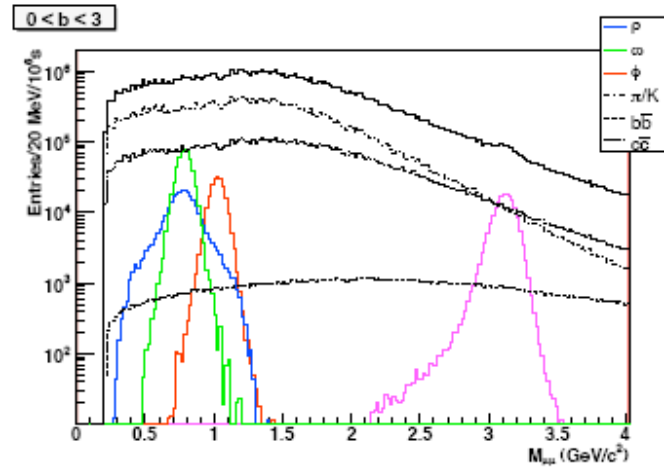
Le signal reste bien visible ($S/B \sim 0.3 - 1$).

Pb-Pb

Simulations rapides,
 P_{Tcut} à 0.5 GeV (gauche)
et 1 GeV (droite).

Bruit de fond très
important (en particulier
le non-corrélé, à bas P_T).

Problème : les effets de
milieu sont plus
importants à bas P_T .



Pb-Pb S/B

$p_T^{single} > 0.5 \text{ GeV}/c$					
Meson	b range (fm)	S[$\times 10^3$]	B[$\times 10^3$]	S/B	Significance
ρ	0 - 3	255	16703	0.02	62
	3 - 6	457	20700	0.02	99
	6 - 9	381	9672	0.04	120
	9 - 12	184	2136	0.09	121
	12 - 16	41	167	0.25	92
ω	0 - 3	503	8485	0.06	168
	3 - 6	884	10841	0.08	258
	6 - 9	755	5178	0.15	310
	9 - 12	364	1092	0.33	302
	12 - 16	82	89	0.92	199
ϕ	0 - 3	210	10668	0.02	64
	3 - 6	371	13081	0.03	101
	6 - 9	323	6125	0.05	127
	9 - 12	153	1385	0.11	124
	12 - 16	34	112	0.31	91

Pour un mois de prises de données Pb-Pb (10^6 s).

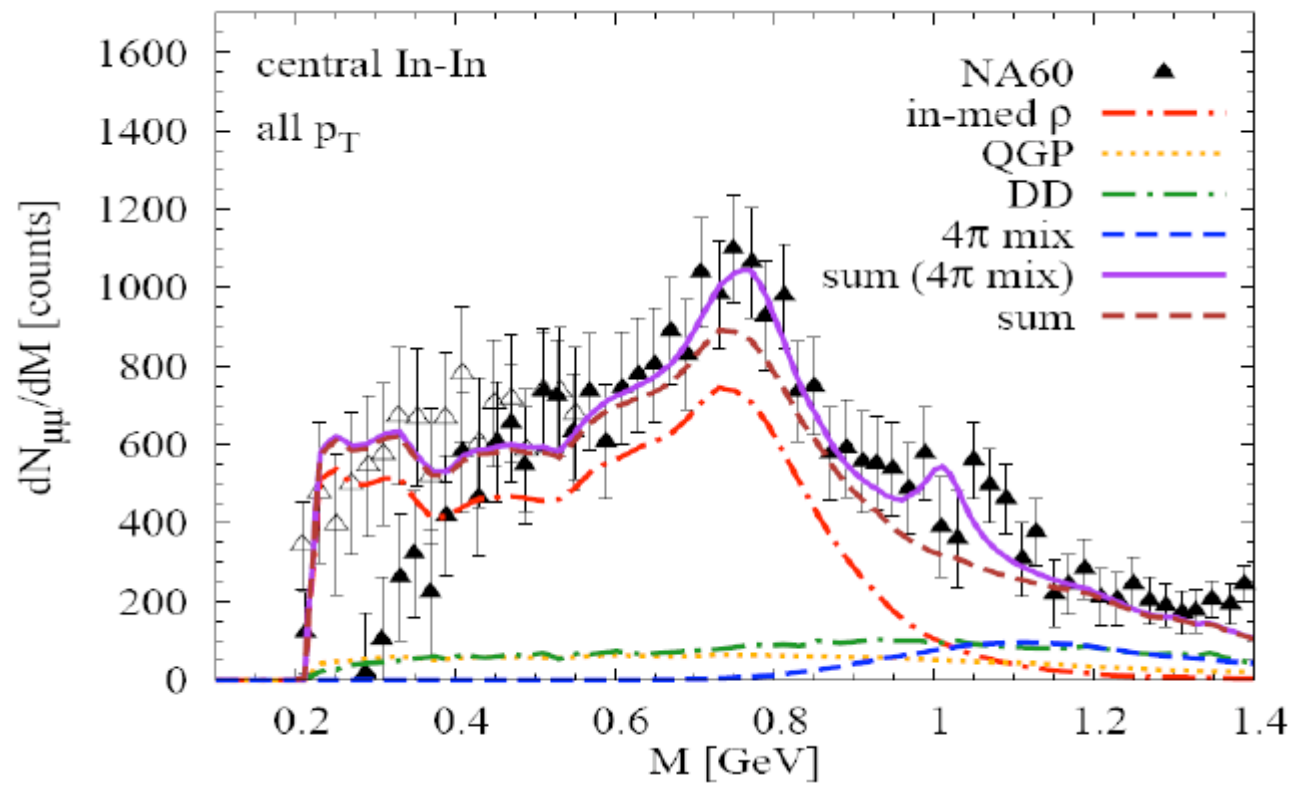
Malgré un S/B très faible, la signification reste haute, grâce à la haute statistique.

Un cut en P_T à 1 GeV améliorerait beaucoup le S/B, mais très peu la signification.

Conclusions

- Dimuons de basses masses importants pour l'étude de la symétrie chirale.
- Etude de ces dimuons possible avec ALICE, en particulier grâce à l'importance de la statistique.
- Important travail d'extraction du signal (event mixing ?)

Backup



e. Many body approach (R. Rapp, J. Wambach, G. C.)

ρ propagator

$$D_\rho(M, \vec{q}, \mu_{B,T}) = (M^2 - m_\rho^2 - \Sigma_{\rho\pi\pi} - \Sigma_{\rho B} - \Sigma_{\rho M})^{-1}$$

ρ self-energy

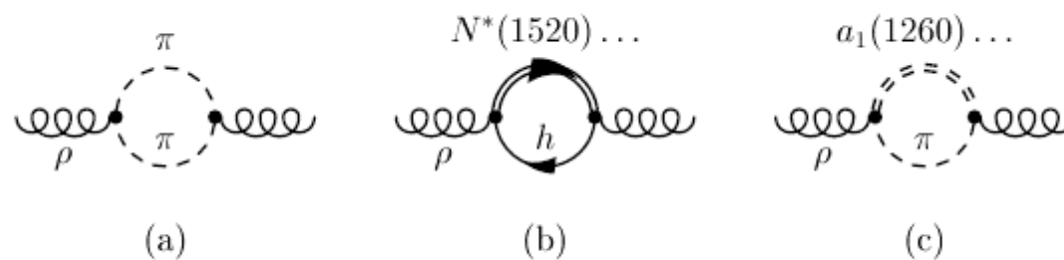
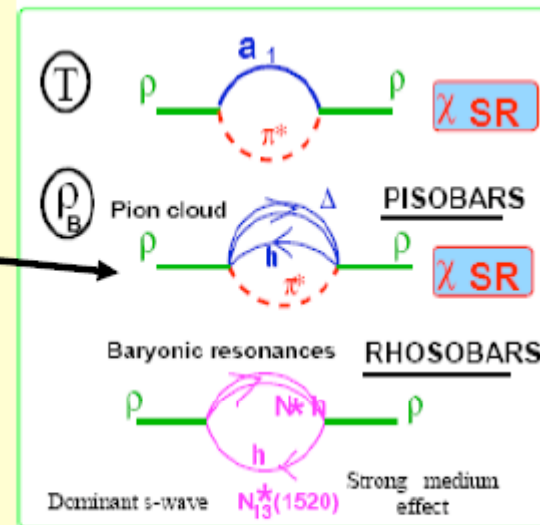
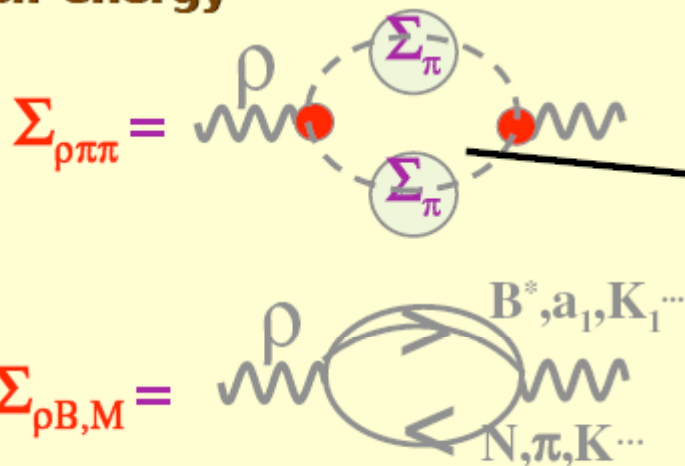


Figure 2: Sources of medium effects induced by interactions of the ρ meson in hot and dense hadronic matter: (a) renormalization of its pion cloud due to modified pion propagators, and direct interactions of the ρ meson with (b) baryons and (c) mesons, typically approximated by baryon- and meson-resonance excitations [11, 12].

Table 1.5: Idem as Table 1.5 using the "Low" p_T trigger condition ($p_T^{single} > 1$ GeV/c).

$p_T^{single} > 1$ GeV/c					
Meson	b range (fm)	S[$\times 10^3$]	B[$\times 10^3$]	S/B	Significance
ρ	0 - 3	67	861	0.08	70
	3 - 6	123	1058	0.12	114
	6 - 9	104	505	0.21	133
	9 - 12	50	106	0.47	128
	12 - 16	11	8	1.37	81
ω	0 - 3	137	458	0.30	178
	3 - 6	236	564	0.42	265
	6 - 9	206	267	0.77	300
	9 - 12	100	57	1.74	253
	12 - 16	23	4	5.40	140
ϕ	0 - 3	61	569	0.11	78
	3 - 6	109	710	0.15	121
	6 - 9	93	339	0.28	142
	9 - 12	45	72	0.63	133
	12 - 16	10	5	1.71	80

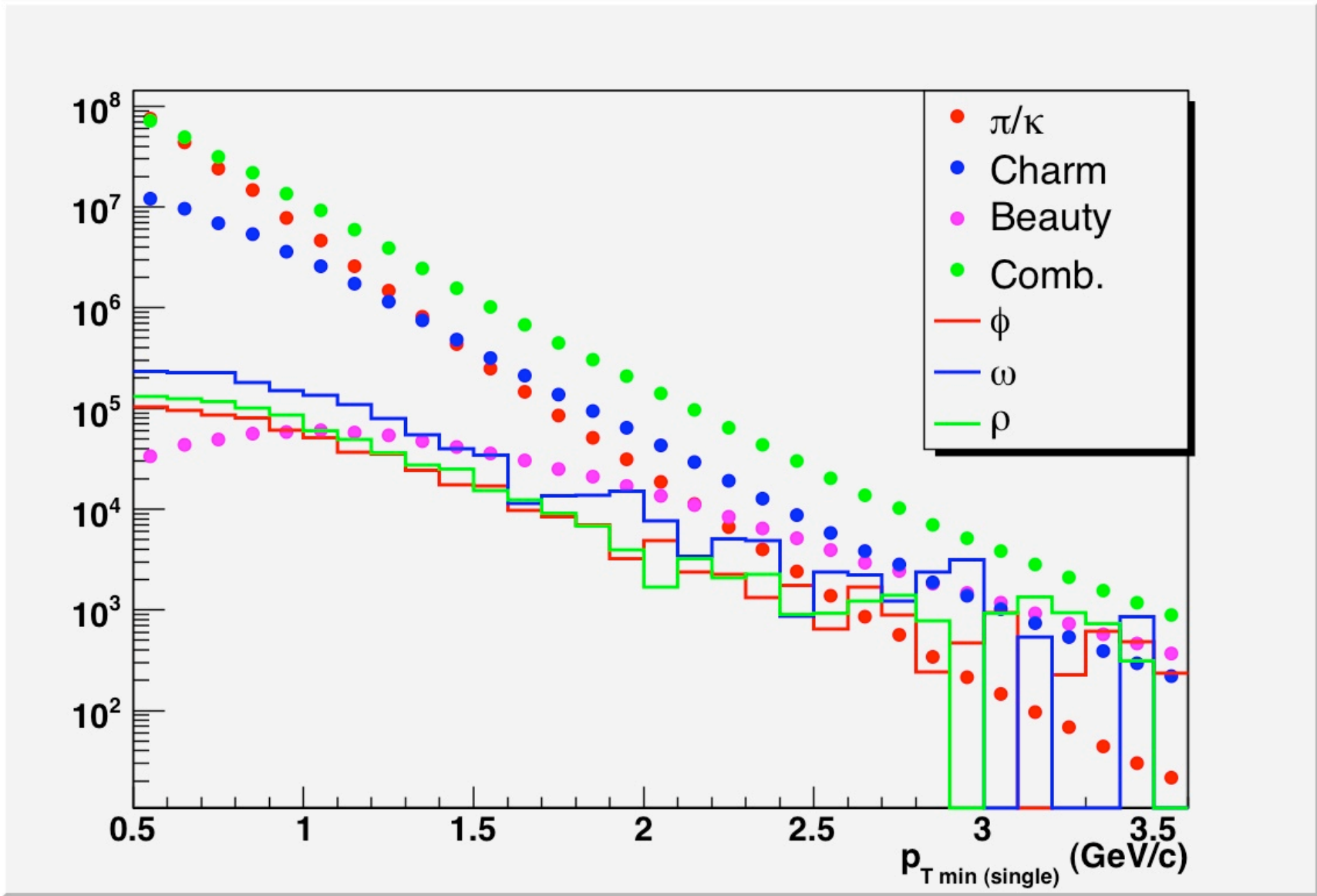


Table 1.6: Expected resonance signal (S), background (B) yields (in unit of 10^3), signal-to-background ratio (S/B) and significance ($S/\sqrt{S+B}$) for ρ , ω and ϕ for five bins in p_T for the most central bin ($0 < b < 3$). For each column, the first number gives the result using the "Natural" p_T trigger cut ($p_T^{single} > 0.5$ GeV/c) and the number in parenthesis the result using the "Low" p_T trigger cut ($p_T^{single} > 1$ GeV/c).

Meson	p_T range (GeV/c)	S [$\times 10^3$]	B [$\times 10^3$]	S/B	$S/\sqrt{S+B}$
ρ	0 - 2	104 (0.4)	12142 (39)	0.01 (0.01)	30 (1.8)
	2 - 4	136 (49)	4243 (751)	0.03 (0.06)	65 (55)
	4 - 6	20 (15)	138 (58)	0.14 (0.27)	50 (57)
	6 - 8	3.7 (3.3)	13 (4.9)	0.29 (0.68)	29 (37)
	8 - 10	0.8 (0.7)	2.0 (0.7)	0.38 (1.02)	15 (19)
ω	0 - 2	210 (0.8)	6176 (24)	0.03 (0.03)	83 (4.9)
	2 - 4	274 (100)	2234 (398)	0.12 (0.25)	173 (142)
	4 - 6	42 (33)	74 (32)	0.56 (1.05)	122 (131)
	6 - 8	6.9 (6.4)	7.0 (2.7)	0.99 (2.39)	59 (67)
	8 - 10	1.5 (1.4)	1.1 (0.4)	1.39 (3.65)	29 (33)
ϕ	0 - 2	89 (0.9)	7487 (36)	0.01 (0.02)	32 (4.7)
	2 - 4	106 (43)	2213 (450)	0.05 (0.10)	69 (62)
	4 - 6	19 (15)	85 (36)	0.22 (0.42)	58 (67)
	6 - 8	2.9 (2.5)	8.1 (3.1)	0.36 (0.80)	28 (34)
	8 - 10	0.8 (0.7)	1.4 (0.5)	0.54 (1.51)	16 (21)