

Les collisions d'ions lourds ultra-relativistes

Bruno ESPAGNON

Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

Université Paris-Sud



3^{ème} partie

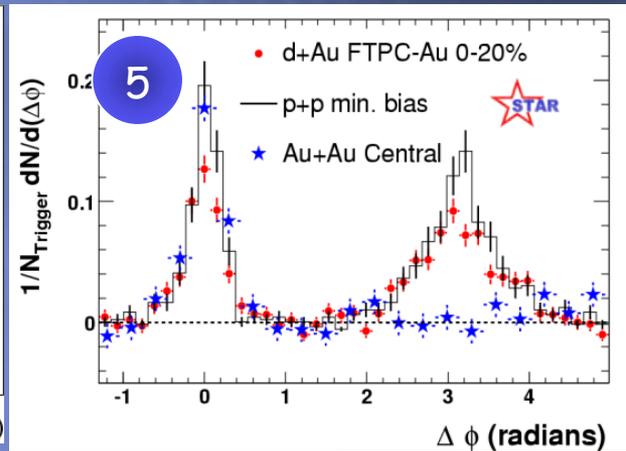
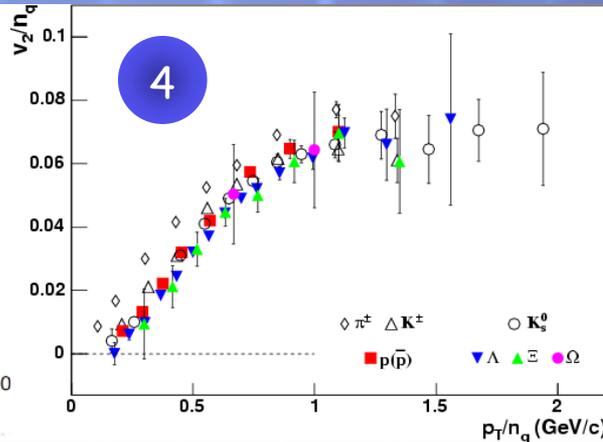
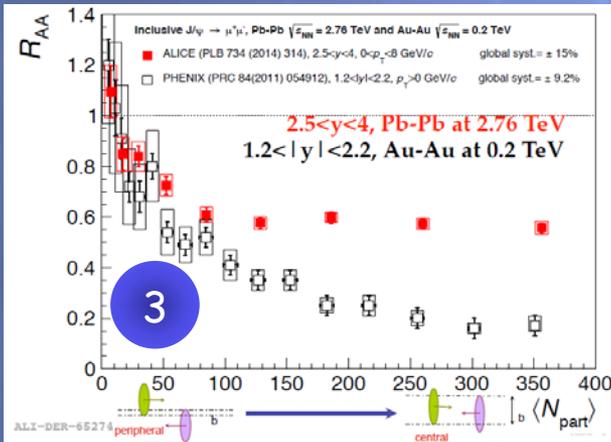
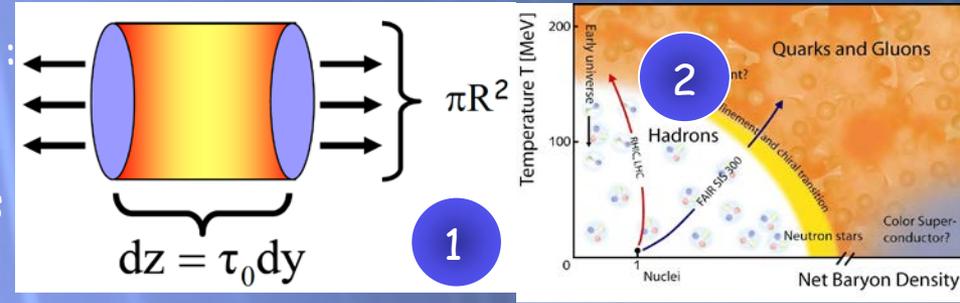
De la physique au
détecteur

Résumé de l'épisode précédent...

Quelques résultats du SPS, RHIC et LHC...

le système produit par collisions d'ions lourds :

1. a une densité d'énergie $\gg \epsilon_c$
2. a une température au freeze-out $\sim T_c$
3. dissout/régénère (!) les résonances lourdes
4. a des degrés de liberté partoniques
5. absorbe les jets



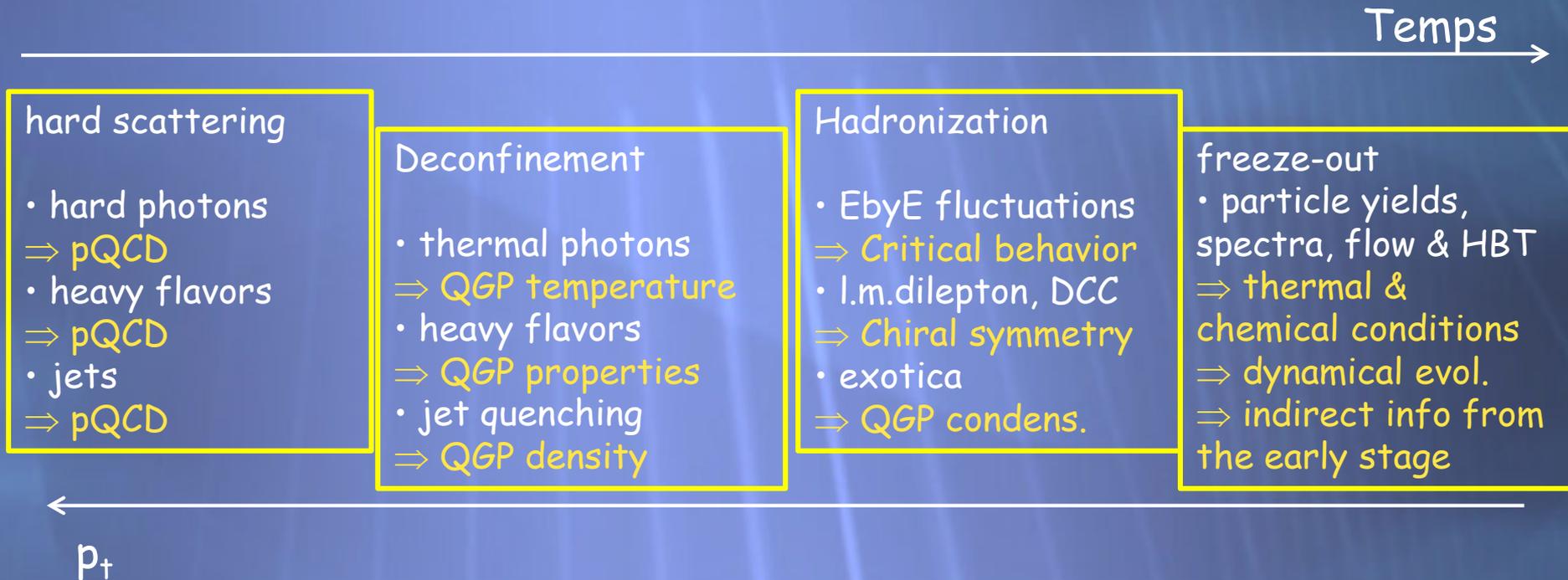
Comportement attendu d'un plasma de quarks et de gluons

PLAN :

- ✓ Matière nucléaire et QGP.
 - ✓ Notions fondamentales
 - ✓ QGP et collisions d'ions lourds ultra-relativistes
 - ✓ Sonder le QGP
- ✓ Recherche expérimentale du QGP
 - ✓ Les accélérateurs
 - ✓ Expériences passées et présentes.
 - ✓ Quels résultats ? Quelques résultats...
- ✓ De la physique au détecteur
 - ✓ Un exemple concret avec le spectromètre à muons d'ALICE
 - ✓ La vie d'une expérience sur collisionneur.
 - ✓ Le futur ?

Un exemple concret avec le
spectromètre à muons
d'ALICE.

ALICE shopping list

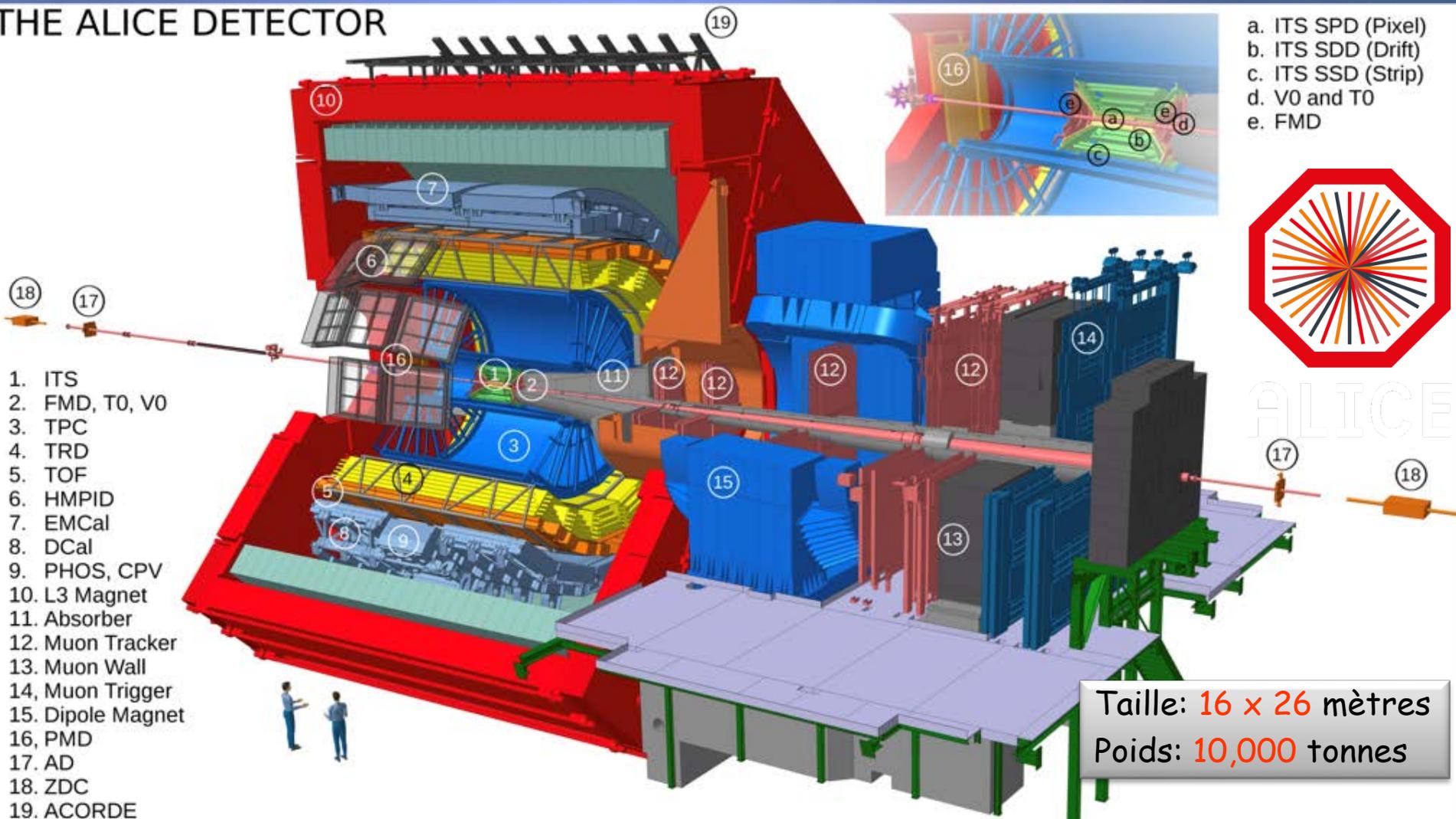


ALICE est conçu pour explorer un grand domaine en p_t
et pour corrélérer la plupart des signaux

grandes acceptance et granularité, triggers sélectifs, bonne efficacité
de tracking, grande couverture en moment, reconstruction des vertex
secondaires, identification des hadrons, leptons & photons

ALICE : A Large Ion Collider Experiment

THE ALICE DETECTOR



1. ITS
2. FMD, T0, V0
3. TPC
4. TRD
5. TOF
6. HMPID
7. ECal
8. DCal
9. PHOS, CPV
10. L3 Magnet
11. Absorber
12. Muon Tracker
13. Muon Wall
14. Muon Trigger
15. Dipole Magnet
16. PMD
17. AD
18. ZDC
19. ACORDE



ALICE

Taille: 16 x 26 mètres
Poids: 10,000 tonnes

7(4) SPS(RHIC) expériences en 1
19 sous-détecteurs

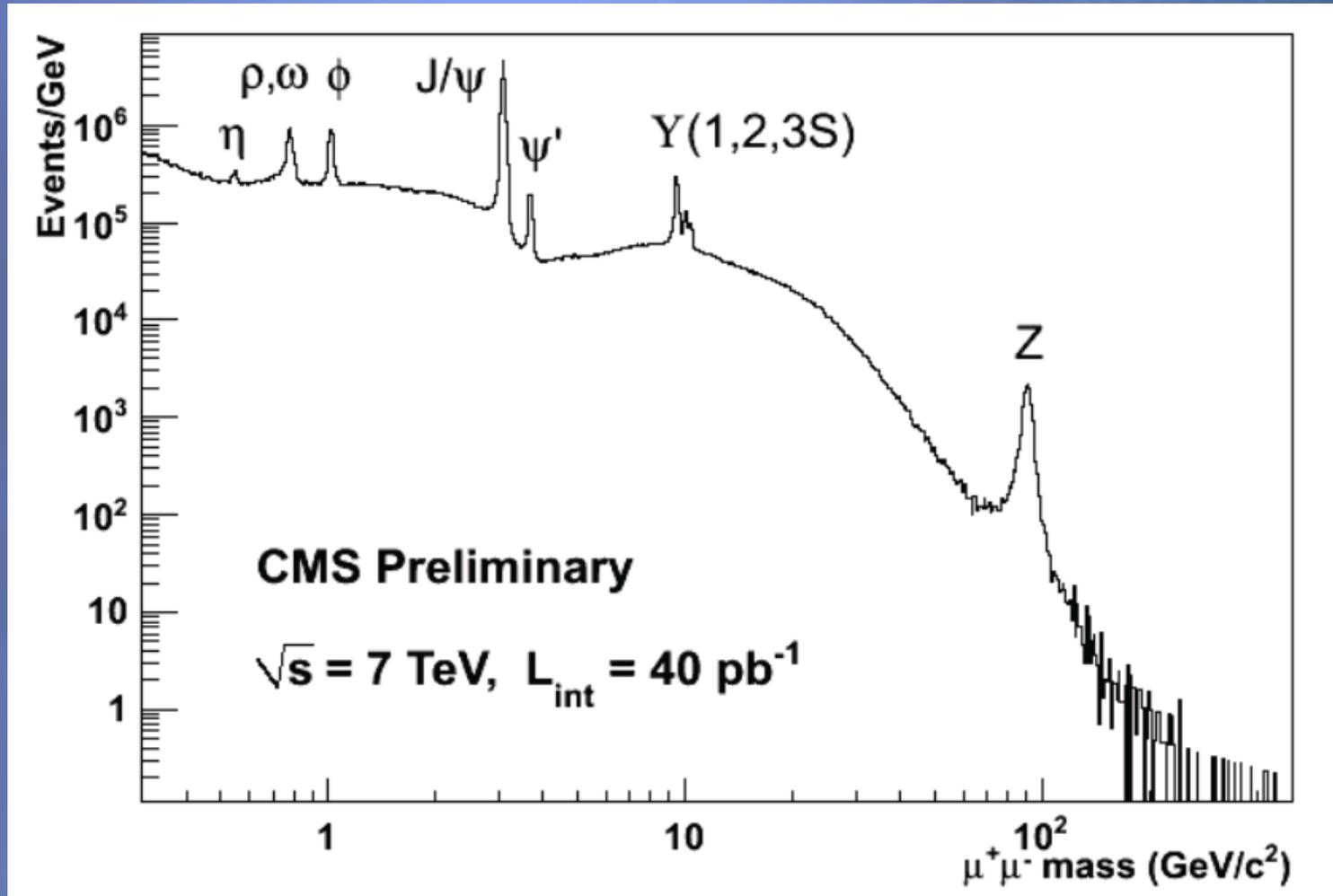
38 pays, 182 instituts, ~1800 membres

Bruno Espagnon

De la physique aux détecteurs
Ecole IN2P3

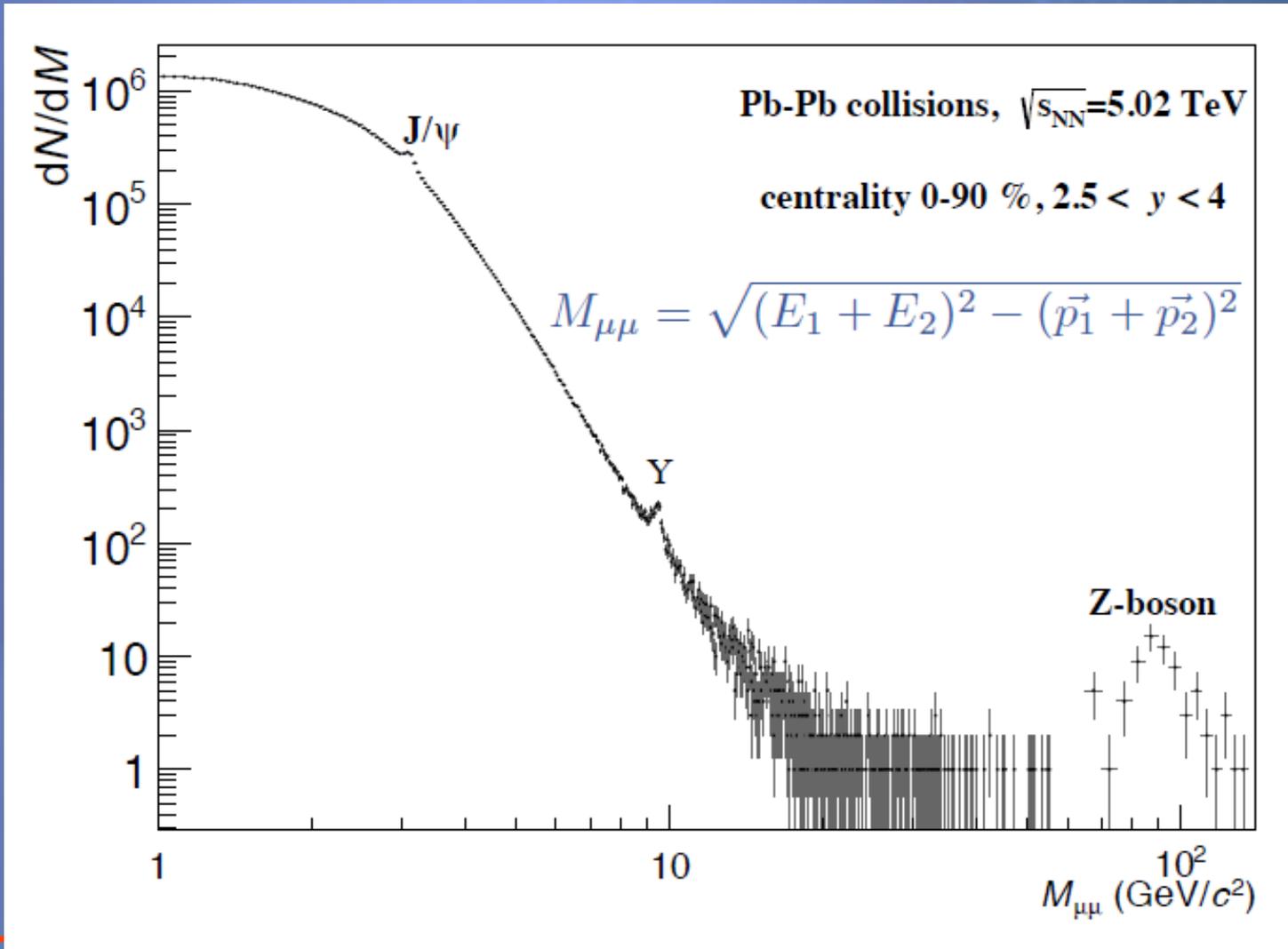
Le spectromètre à muons

Objectif : mesure les productions du J/ψ , ψ' et des Υ en dimuons ($\mu^+\mu^-$)



Le spectromètre à muons

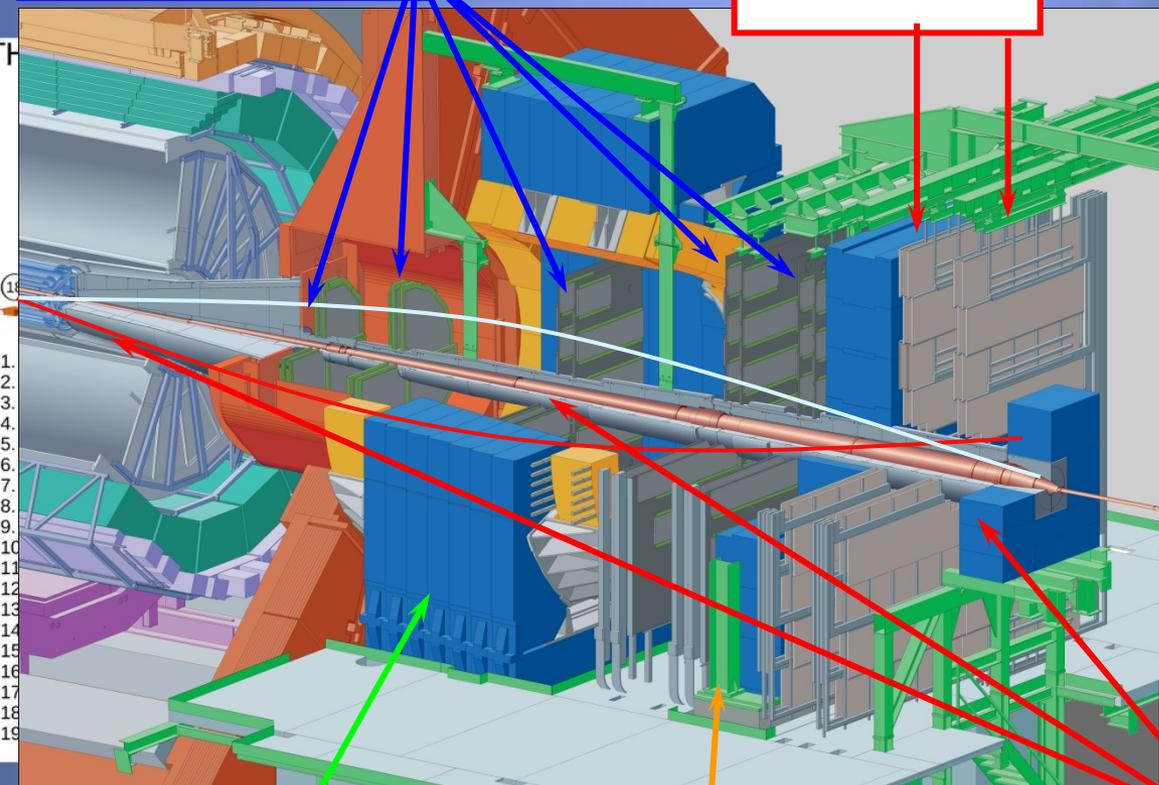
Mesures J/ψ , du Υ et du Z en dimuons ($\mu^+\mu^-$) en collisions Pb-Pb dans ALICE



Le spectromètre à muons

Stations de trajectographie

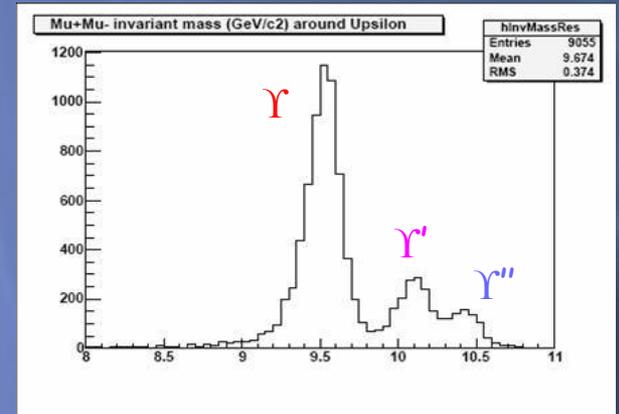
Stations de trigger



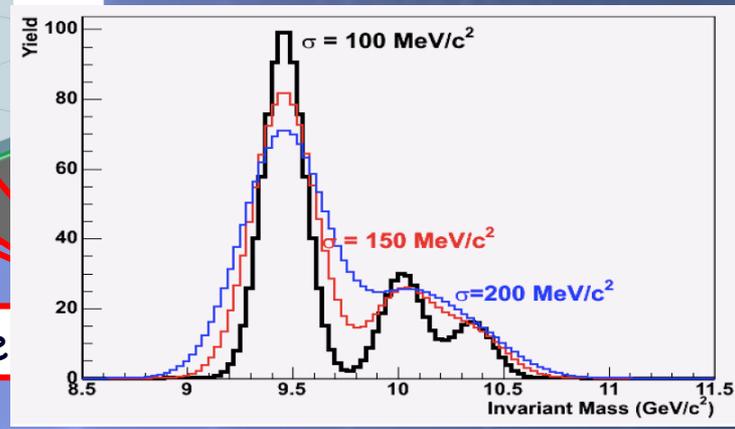
Aimant dipolaire

Filtre à muons

Absorbeur



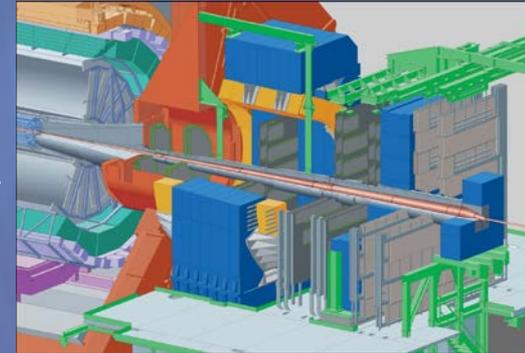
Spectromètre dédié à la mesure des (di)muons ($2,5 < \eta < 4$)



Le spectromètre à muons

Pour simplifier, on se limitera ici uniquement à l'aspect trajectographie. On ne s'occupera pas du système de déclenchement mais une étude similaire peut être faite dessus.

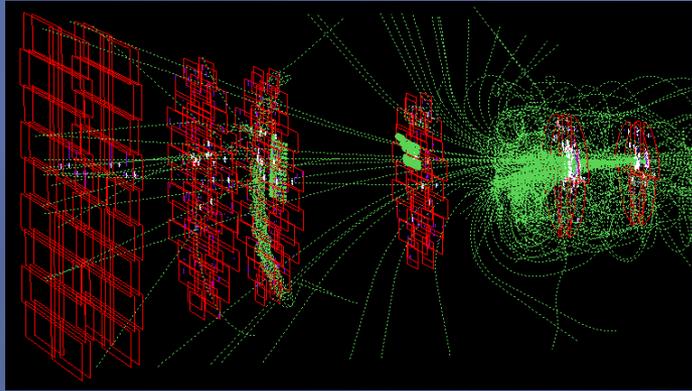
Qu'est-ce qui va jouer sur la résolution en masse ?
-> ce qui va affecter la mesure de l'impulsion des muons.



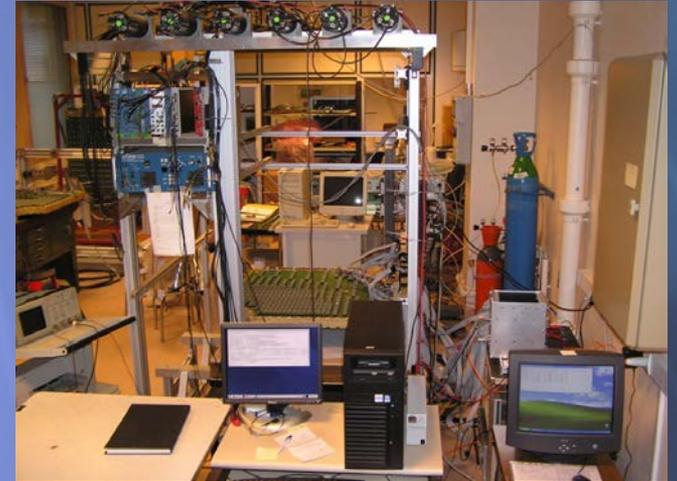
- ✓ La connaissance du champ magnétique -> cartographie du champ magnétique
- ✓ La composition de l'absorbeur frontal (et le "budget" matière global du détecteur) !
- ✓ La résolution intrinsèque des chambres de trajectographie
- ✓ La connaissance précise du positionnement des détecteurs
- ✓ La qualité de l'électronique de lecture de ces chambres
- ✓ Le software de reconstruction avec la cartographie de l'électronique

Comme pour beaucoup d'autres choses, un détecteur doit être pensé de manière globale...

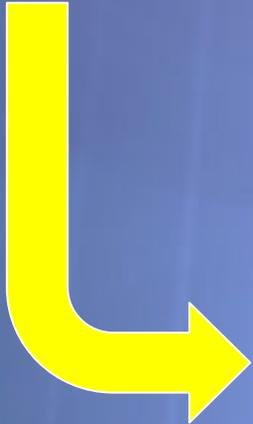
Dialogue permanent entre simulations et expérience



Modélisation des détecteurs -> définition des caractéristiques et validation des options



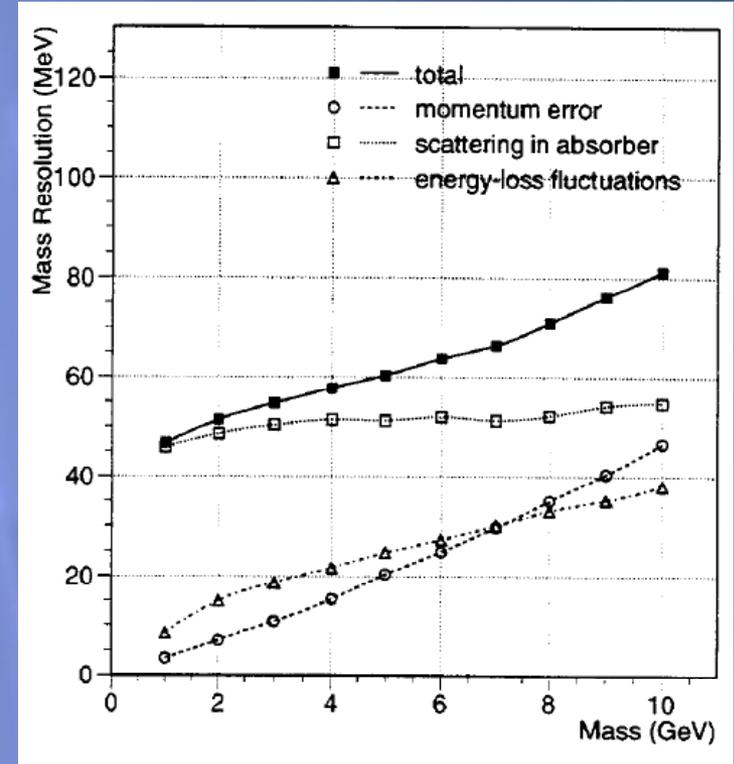
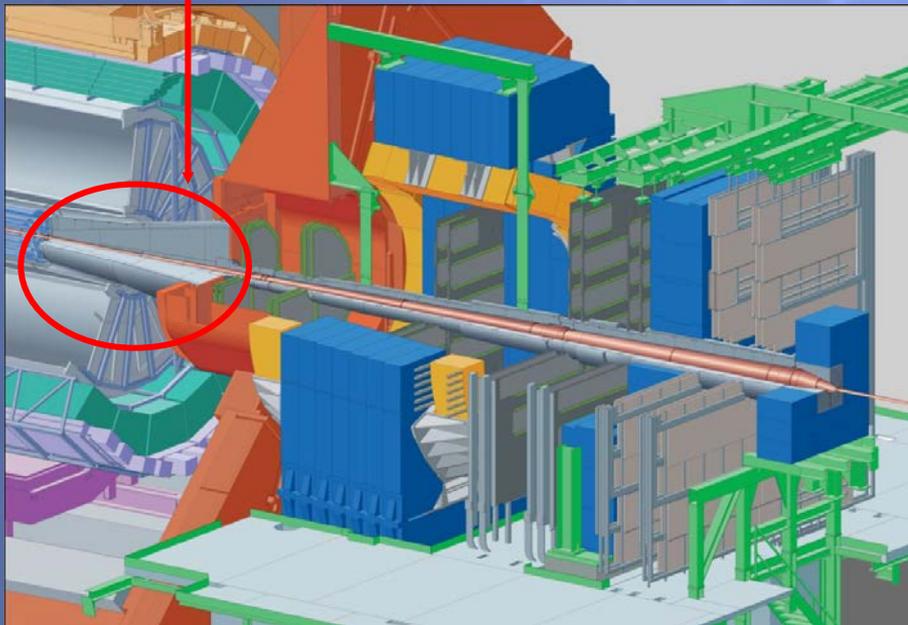
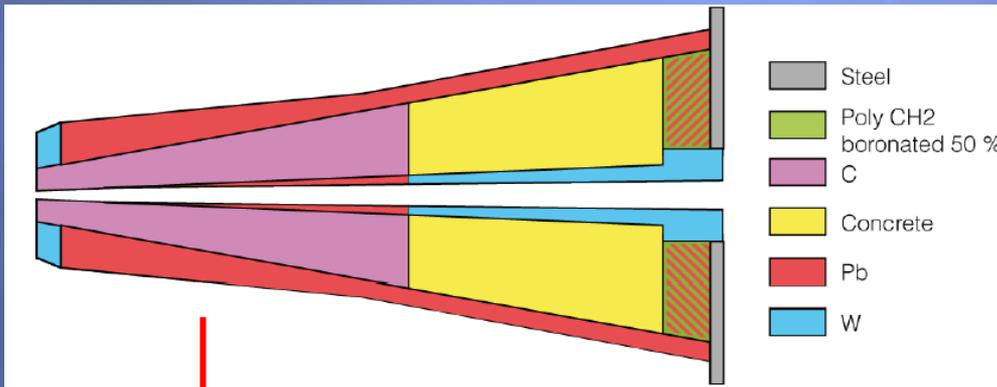
Validation et vérification des performances par des tests expérimentaux



Construction du détecteur



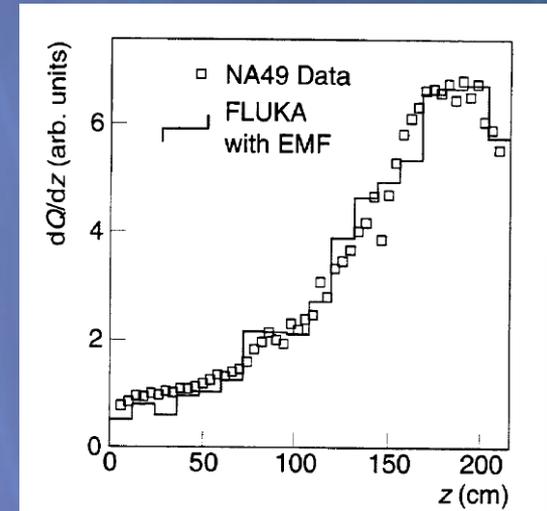
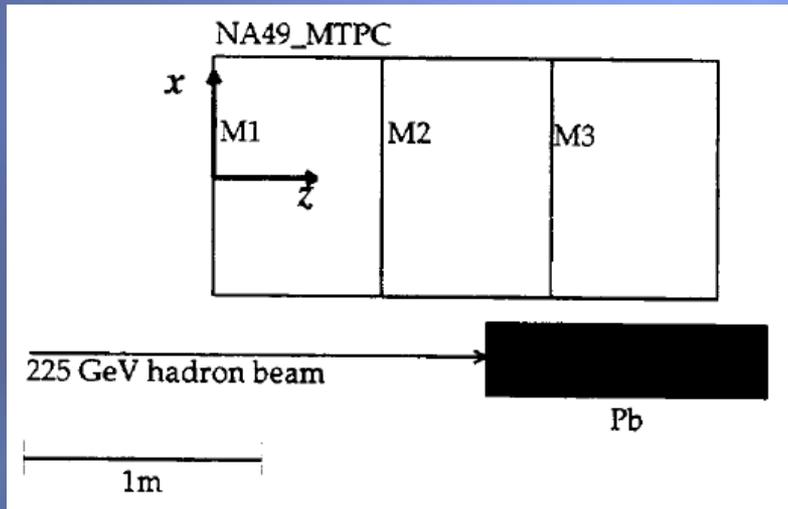
L'absorbeur frontal



Contraintes : réduire le flux hadronique (jusqu'à 8000 particules/unité de rapidité prévu initialement) en dégradant le moins possible la résolution en masse $\rightarrow \sim 10 \lambda_I$ et $\sim 60 X_0$

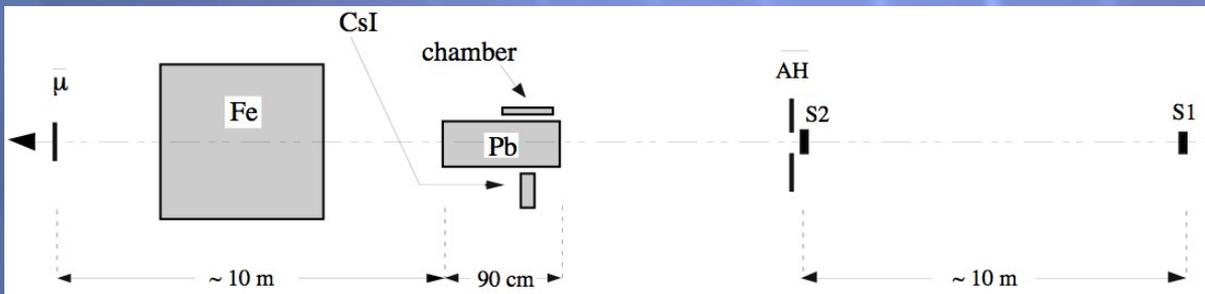
+ travail similaire pour l'absorbeur à petit angle

L'absorbeur frontal

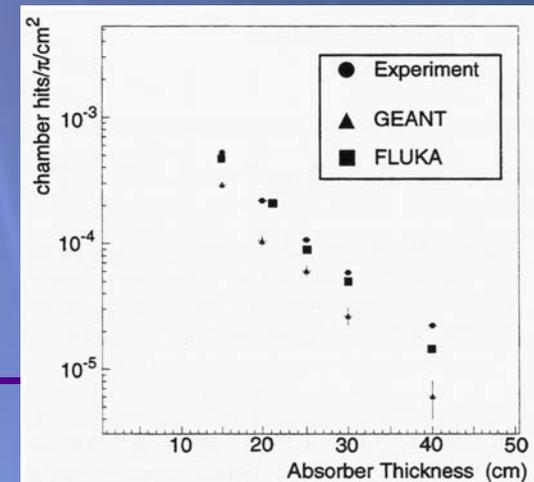


Test effet absorbeur frontal avec la TPC de NA49

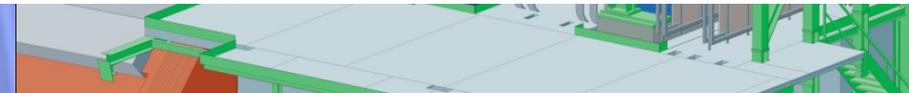
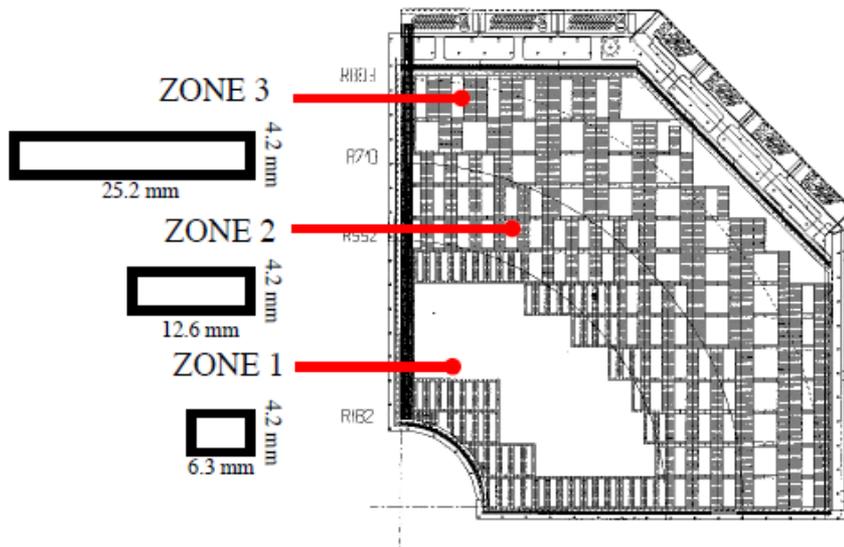
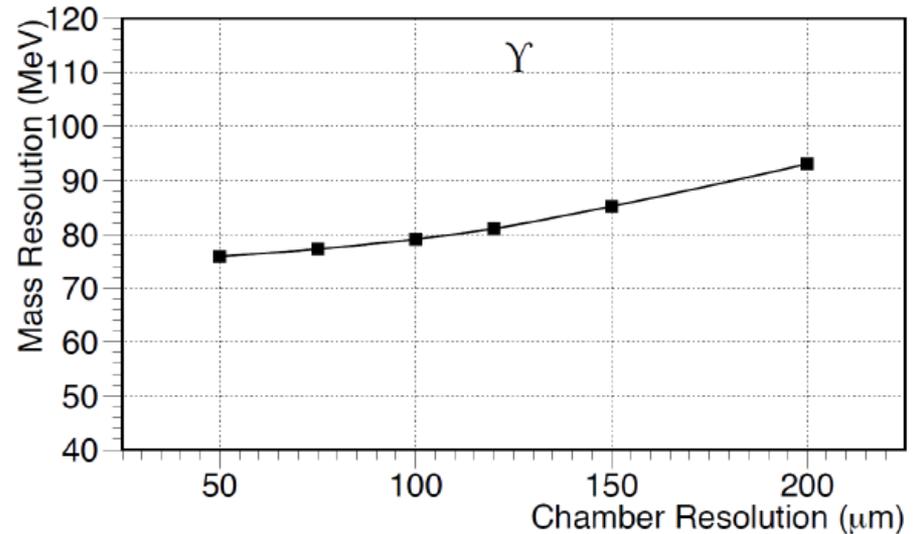
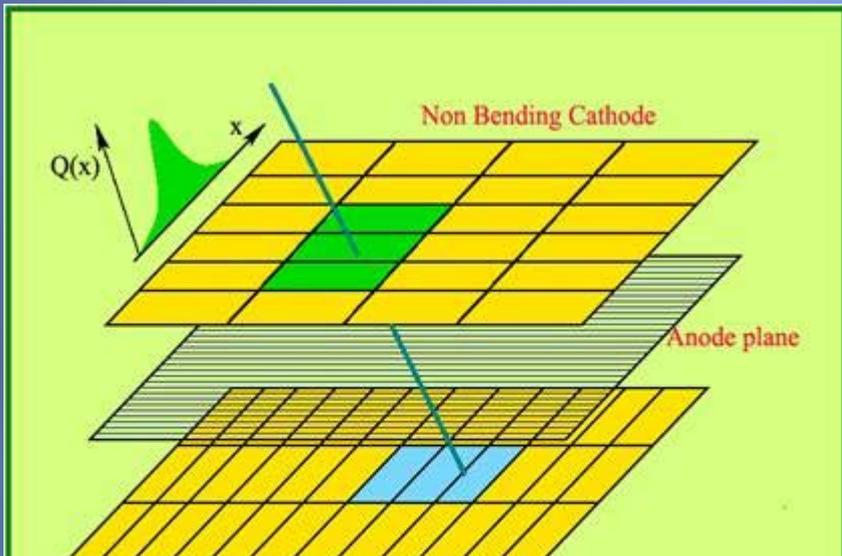
... et comparaison des résultats expérimentaux avec les simulations



Dispositif expérimental de la première étude du punch-through latéral de l'absorbeur à petit angle

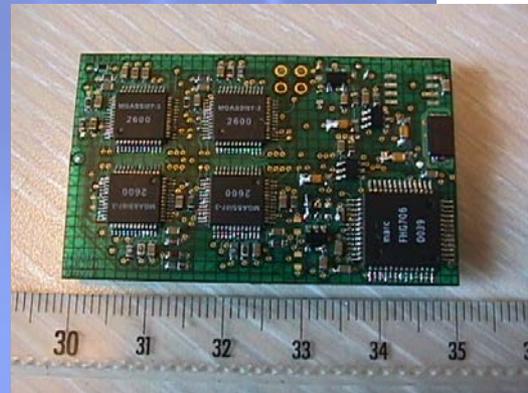
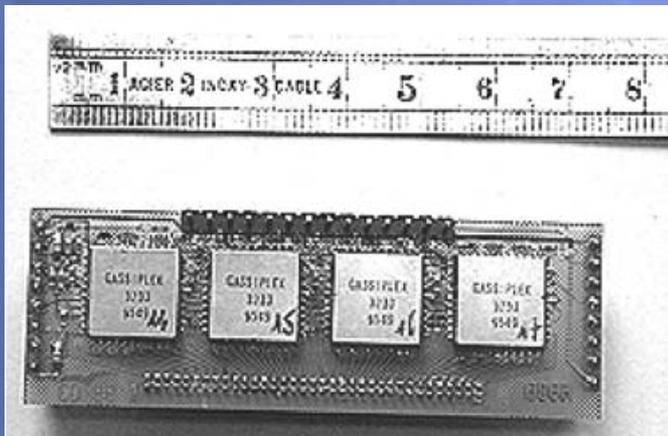
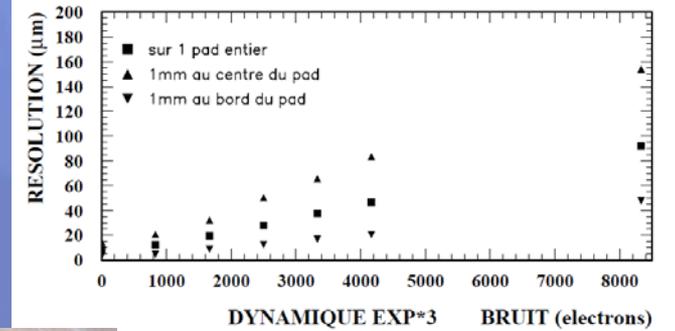
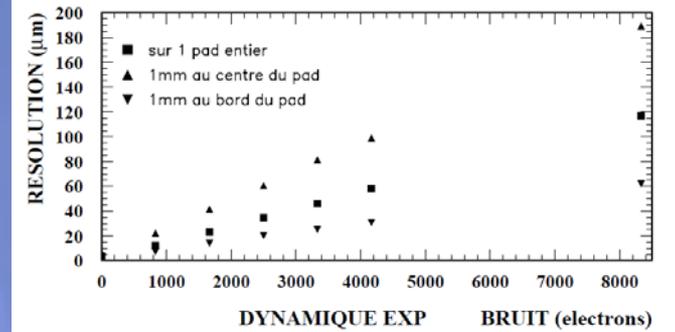
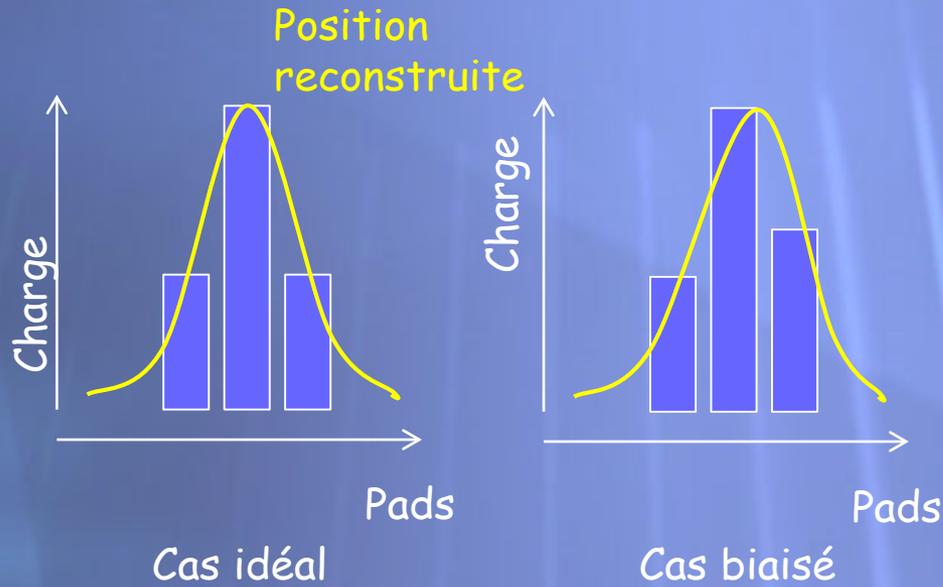


Les chambres de trajectographie



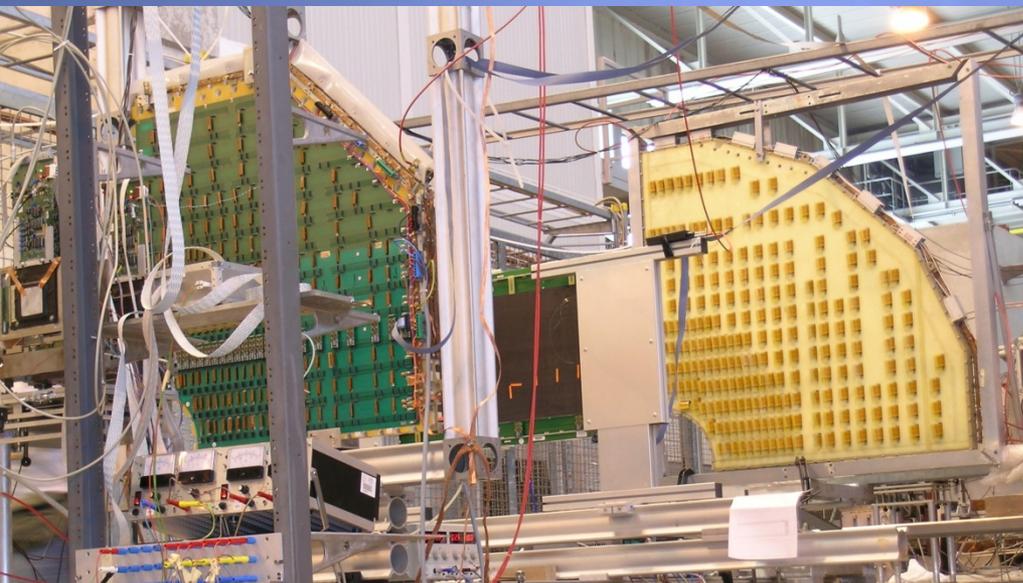
Résolution des chambres à fils (avec leur électronique) dans le plan de déviation doit être $<$ à $100 \mu\text{m}$.
 Taux d'occupation $<$ à 5%.
 Faibles longueurs de radiation
 Très bonne efficacité.
 Faible sensibilité aux neutrons et γ

L'électronique de lecture



Simulations

Les chambres de trajectographie

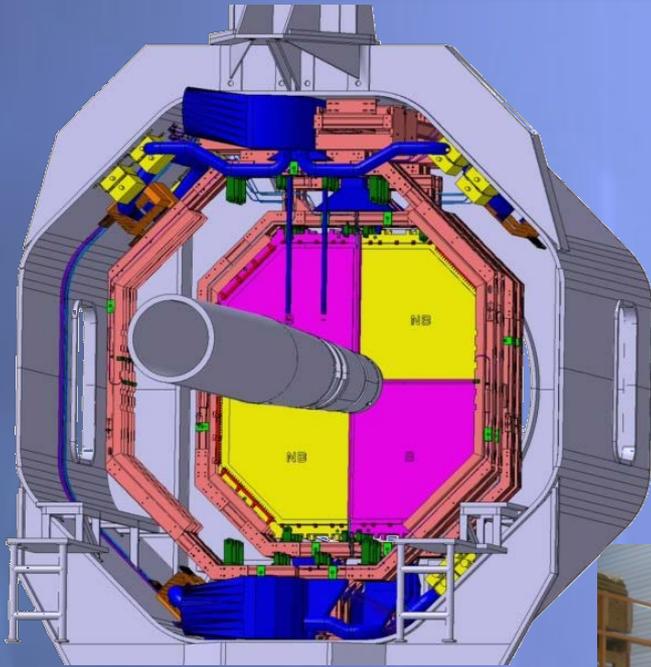


Tests en faisceau au CERN du prototype final de quadrant et de l'électronique

Tests en cosmique de chaque quadrant équipé de son électronique avant installation dans le spectromètre

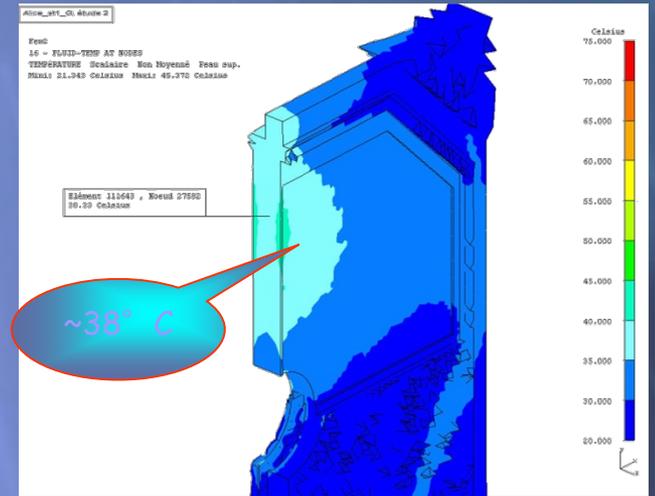


Etude de l'intégration des détecteurs

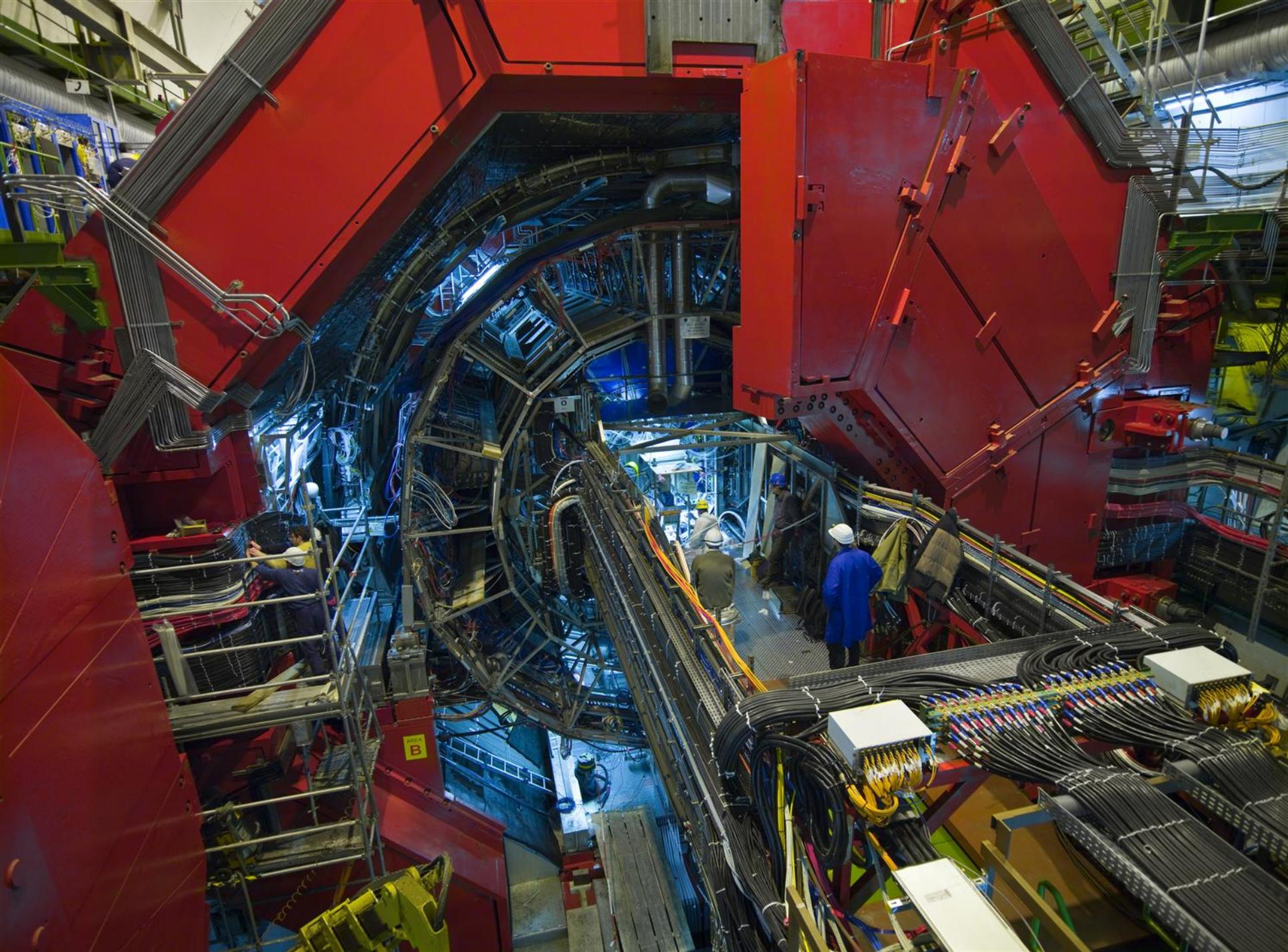


Modélisation

Réalisation
d'une maquette
à l'échelle 1



Etude thermique



Construction du système de
trajectographie du
spectromètre à muons
d'ALICE.

L'absorbeur frontal



Polyéthylène :
Italie



Installation de l'absorbeur frontal de
hadrons (~30 t)

Structure interne complexe



Graphite : Inde

Acier : Finlande



Tungstène :
Chine

Aimant dipolaire



Bobines France

0,7 T - 2,7 MW - 800 +



culasse Dubna

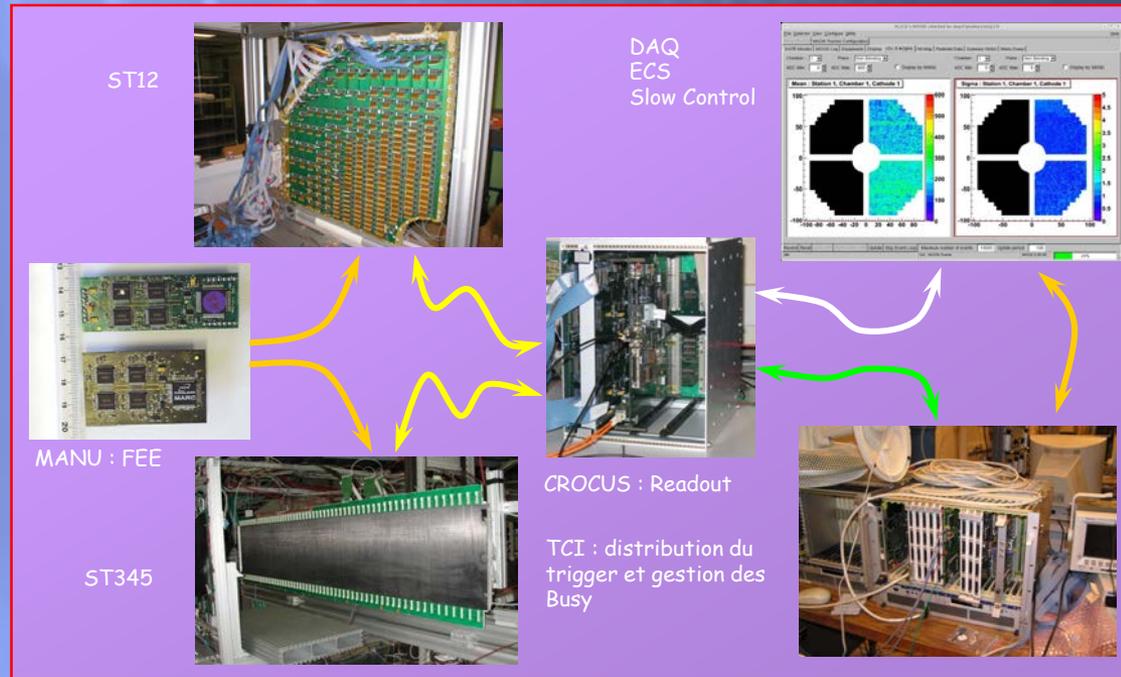
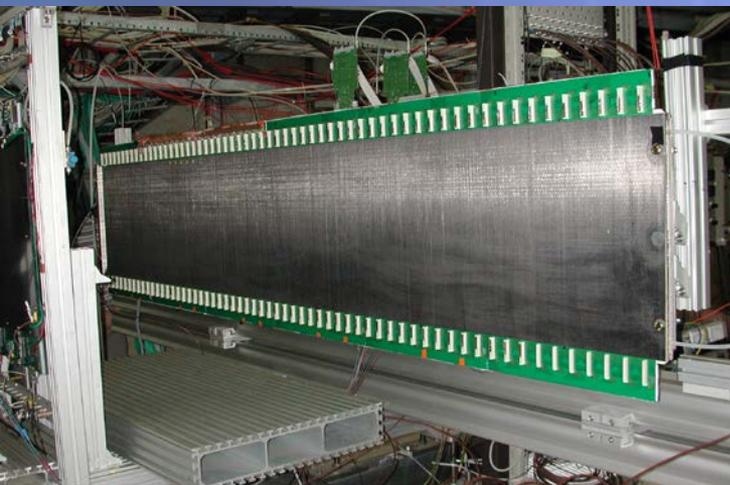


Bruno Espagnon

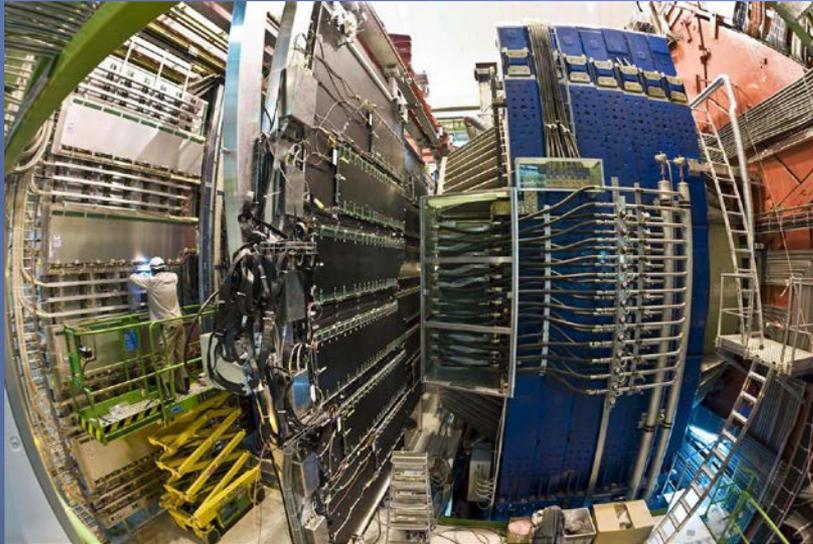
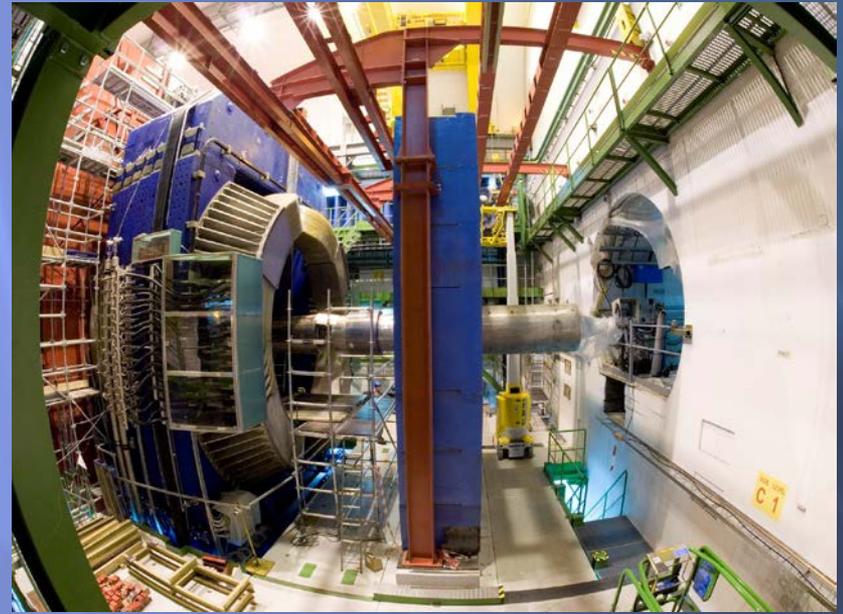
Le système de trajectographie



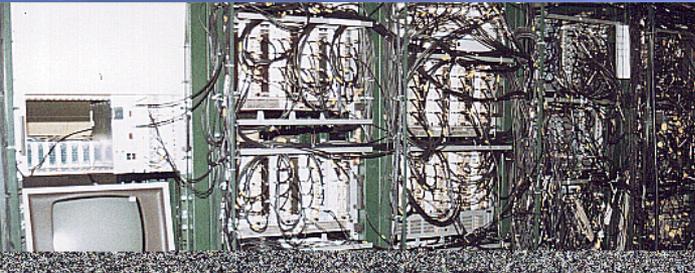
Chambres de trajectographie : chambres à fils à cathodes segmentées : $1,1 \cdot 10^6$ pads à lire



L'électronique du système de trajectographie.



Salle de contrôle ...

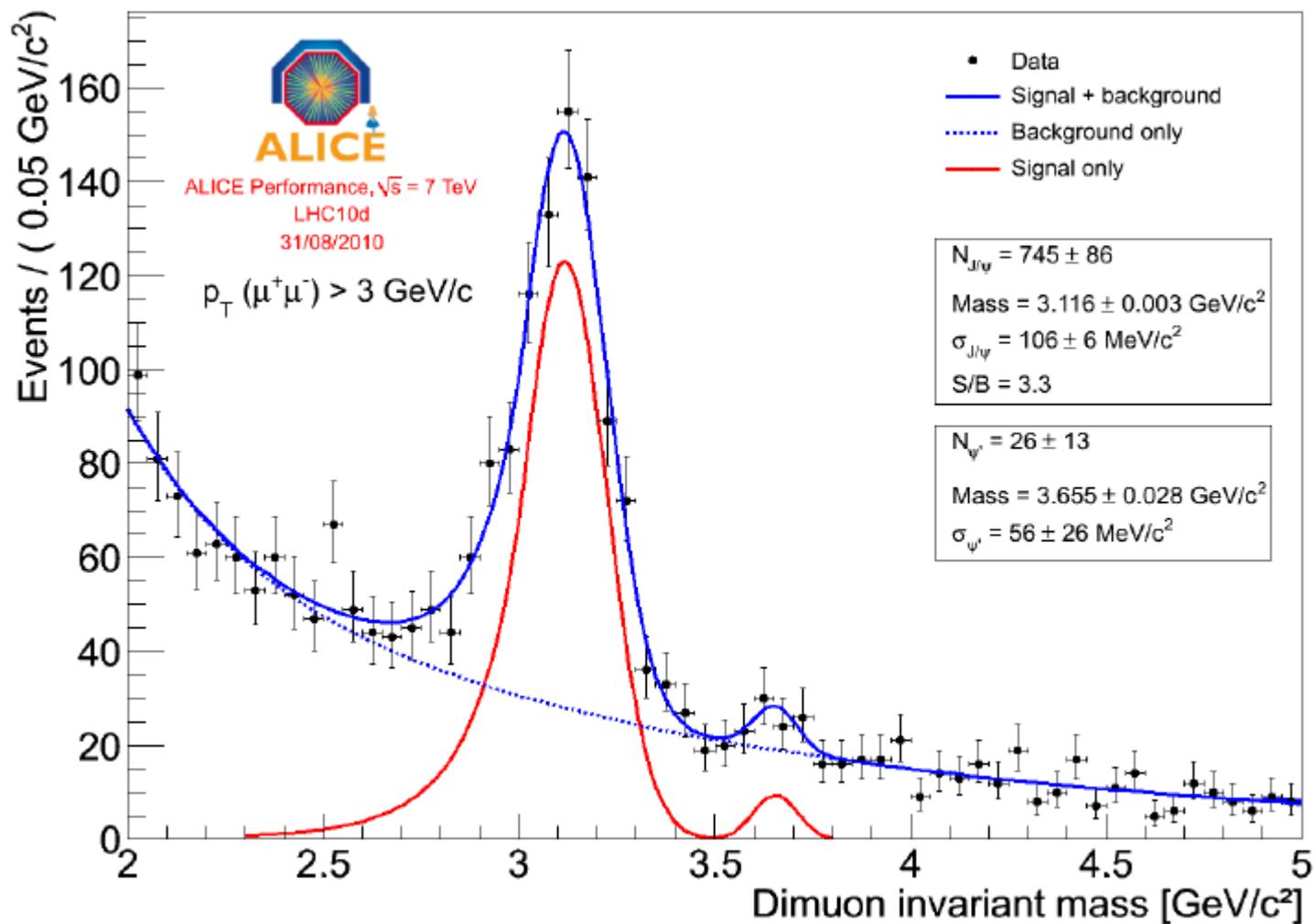


NA38



ALICE

Et enfin si tout marche bien ...

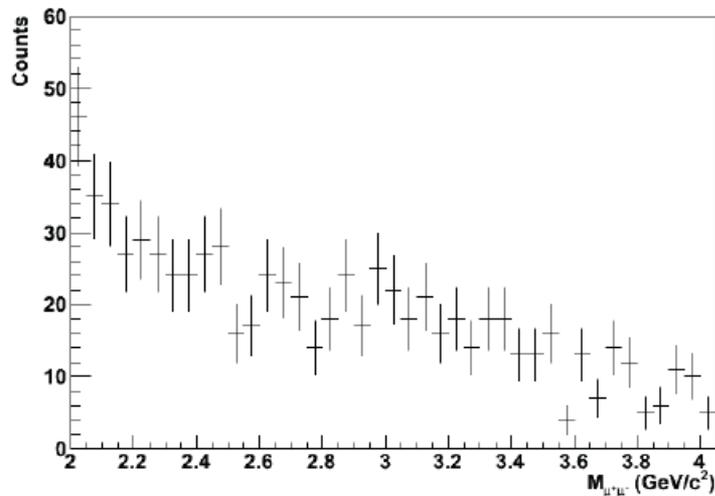


PWG3-MUON-011

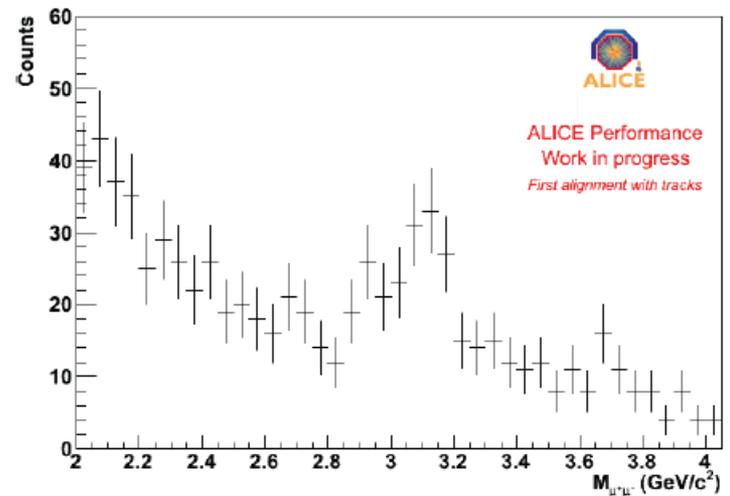
Bon il y a quand même un peu de travail avant !!!

Avec et sans alignement des chambres

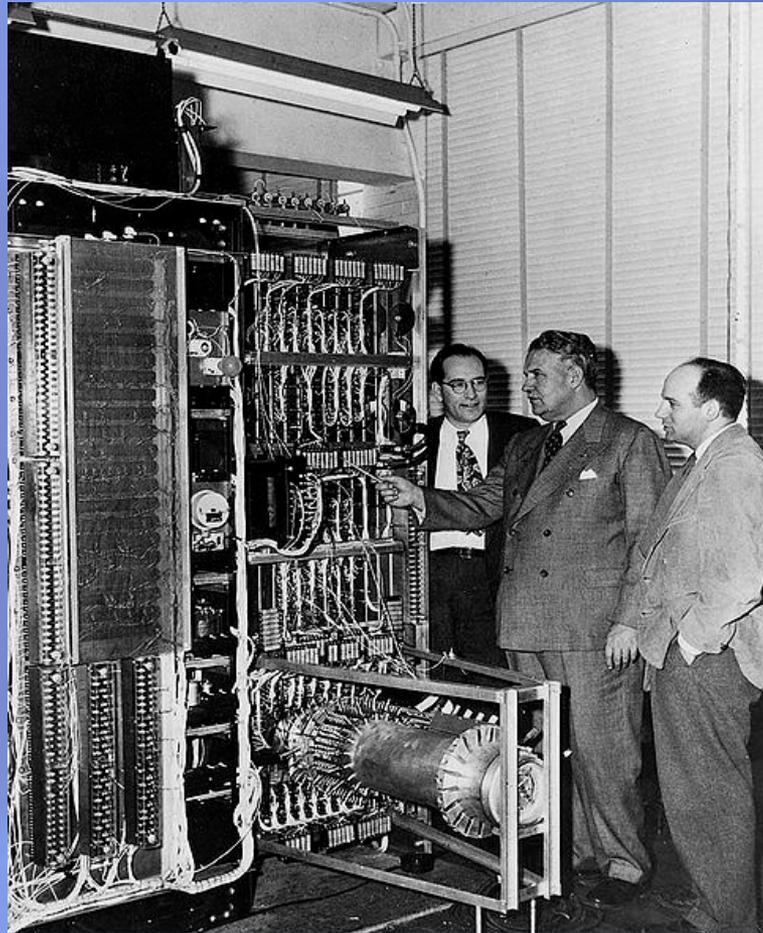
Invariant mass without alignment



Invariant mass with first alignment



Software et grille de calculs.



Software et grille de calculs.



LHC : 15 PB de données / an soit plus de 1000 fois la quantité d'informations des livres imprimés dans le monde chaque année.

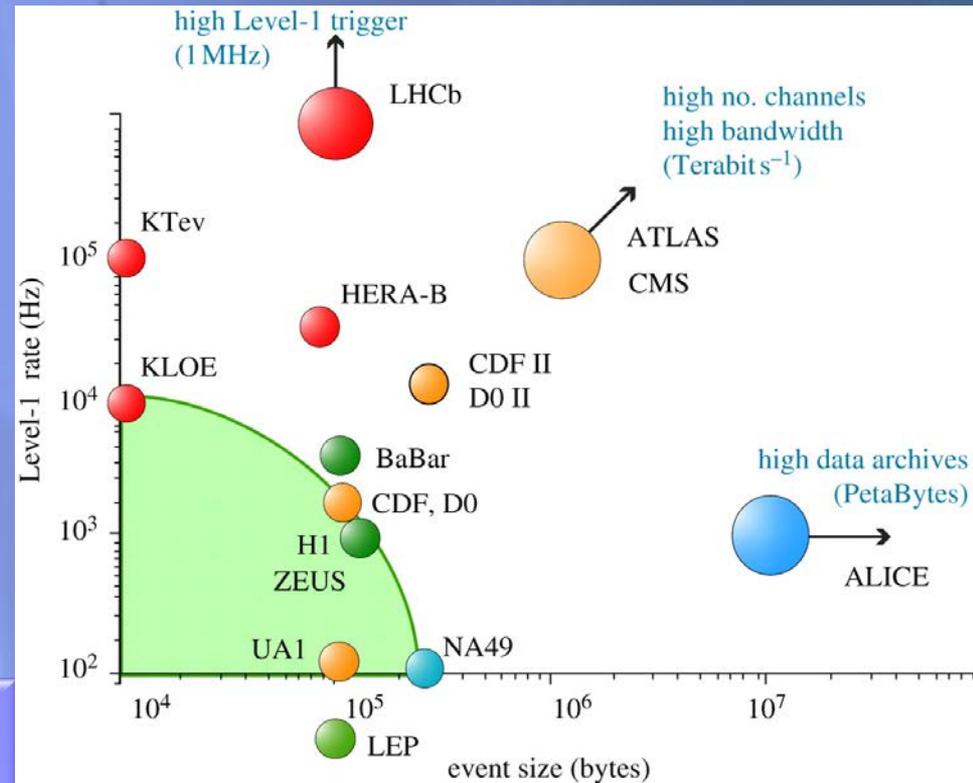
Pour ALICE :

Online: jusqu'à 13 GB/s

jusqu'à 7 GB/s (1DVD / s) de données sur disque

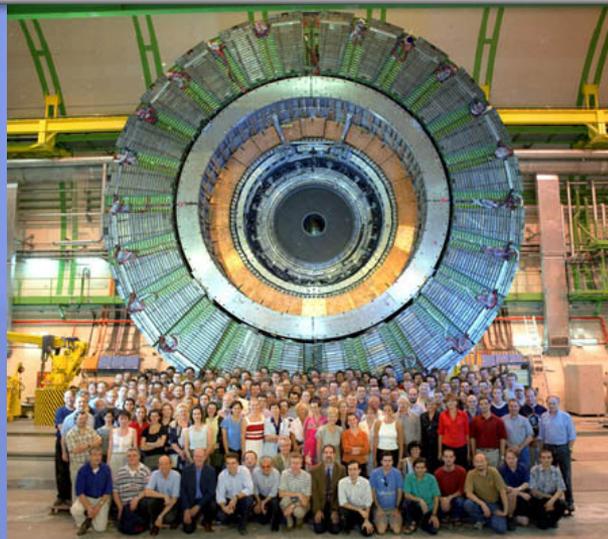
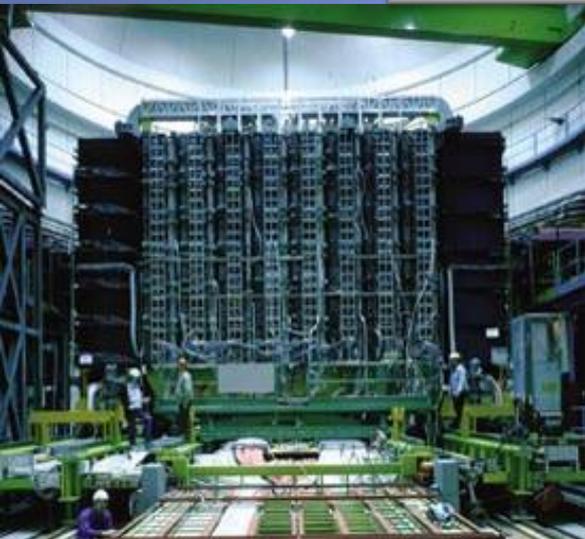
2010-13 : 13 PB de données lues (175 ans de vidéos HD !) et 6,5 PB stockés sur la grille de calcul

Offline: ~500 k HEP-SPEC06 sur GRID



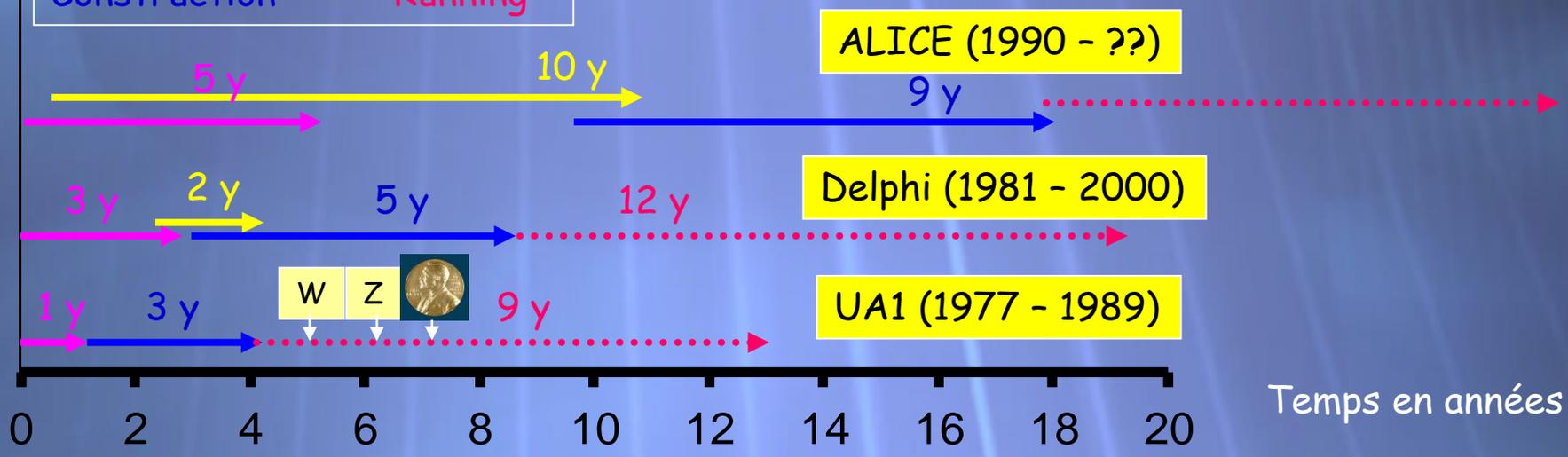
La vie d'une expérience sur
collisionneur.

La vie d'une expérience sur collisionneur.



Design
Construction

R&D
Running



Temps en années

La vie d'une expérience sur collisionneur.

UA1 proposal (154 p.)

sub. Jan '78, approved June '78

Delphi LoI, TP, 7 Addenda (500 p.)



Alice:

EoI

LoI + 1 Add

TP + 3 Add

12 TDR's + 3 Add

3 Vol PPR

4422 p.

Ne pas oublier les budgets...

Le futur ?

Les expériences futures.

- STAR & PHENIX @ RHIC-II (BNL, Brookhaven, USA)
- NA61 @ SPS (CERN, Genève, Suisse)
- CBM @ FAIR (GSI, Darmstadt, Allemagne)
- MPD @ NICA (JINR, Dubna, Russie)

points communs :

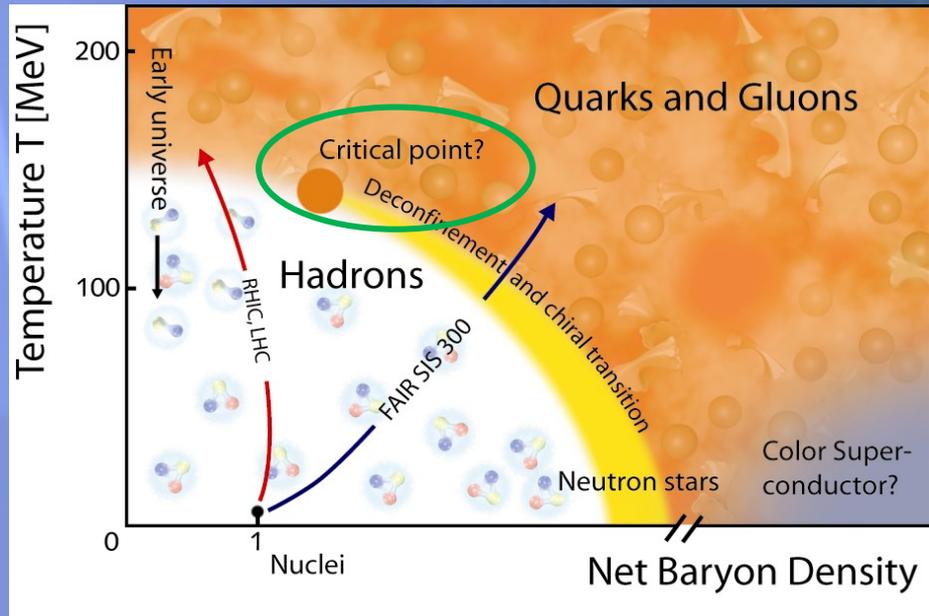
- énergies similaires & plus faibles que celles LHC (forcément!)
- mêmes buts physiques :
 - recherche & étude du point critique
 - propriétés des hadrons à haute densité

Upgrade d'ALICE, plus haute luminosité :

Physique de précision ->

Augmentation de la statistique : électronique plus rapide + DAQ plus rapide.

AFTER @ LHC (Cible fixe au CERN !)



Conclusions.

- Le déconfinement des hadrons en un Plasma de Quarks et de Gluons est une prédiction de la ChromoDynamique Quantique
- Le QGP aurait existé quelques micro-secondes après le Big Bang et pourrait constituer le cœur des étoiles à neutrons
- Les collisions entre ions lourds sont le seul moyen dont on dispose pour tenter de recréer le QGP en laboratoire
- Les résultats expérimentaux collectés au SPS, à RHIC et à présent au LHC indiquent la formation d'un système très chaud & dense dont les caractéristiques sont compatibles avec le comportement attendu d'un QGP
- Le LHC offre un environnement totalement nouveau et des conditions expérimentales beaucoup plus favorables pour la formation et l'étude du QGP
- Hors LHC, 4 expériences traqueront le point critique du diagramme de phase
- Une expérience sur cible fixe proposée au LHC

Un peu d'épistémologie...

Suppression des quarkonia : le cas du J/ψ ... encore !

June 1986

BNL-38344

J/ψ SUPPRESSION BY QUARK-GLUON PLASMA FORMATION

T. Matsui

Center for Theoretical Physics
Laboratory for Nuclear Science
Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, MA 02139, USA

and

H. Satz

Fakultät für Physik
Universität Bielefeld, D-48 Bielefeld, F.R. Germany
and
Physics Department
Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, USA

ABSTRACT

If high energy heavy ion collisions lead to the formation of a hot quark-gluon plasma, then colour screening prevents $c\bar{c}$ binding in the deconfined interior of the interaction region. To study this effect, we compare the temperature dependence of the screening radius, as obtained from lattice QCD, with the J/ψ radius calculated in charmonium models. The feasibility to detect this effect clearly in the dilepton mass spectrum is examined. We conclude that J/ψ suppression in nuclear collisions should provide an unambiguous signature of quark-gluon plasma formation.

Suppression des quarkonia : le cas du J/ψ ... encore !

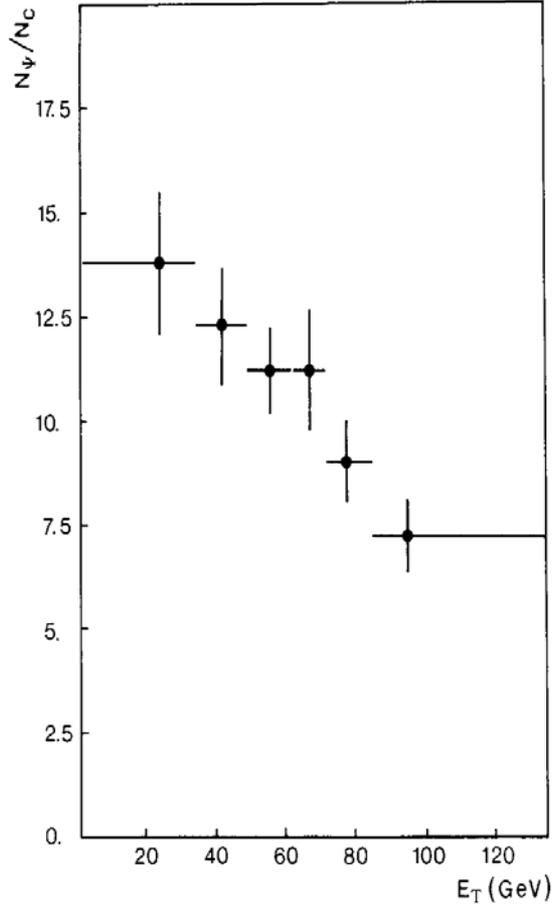
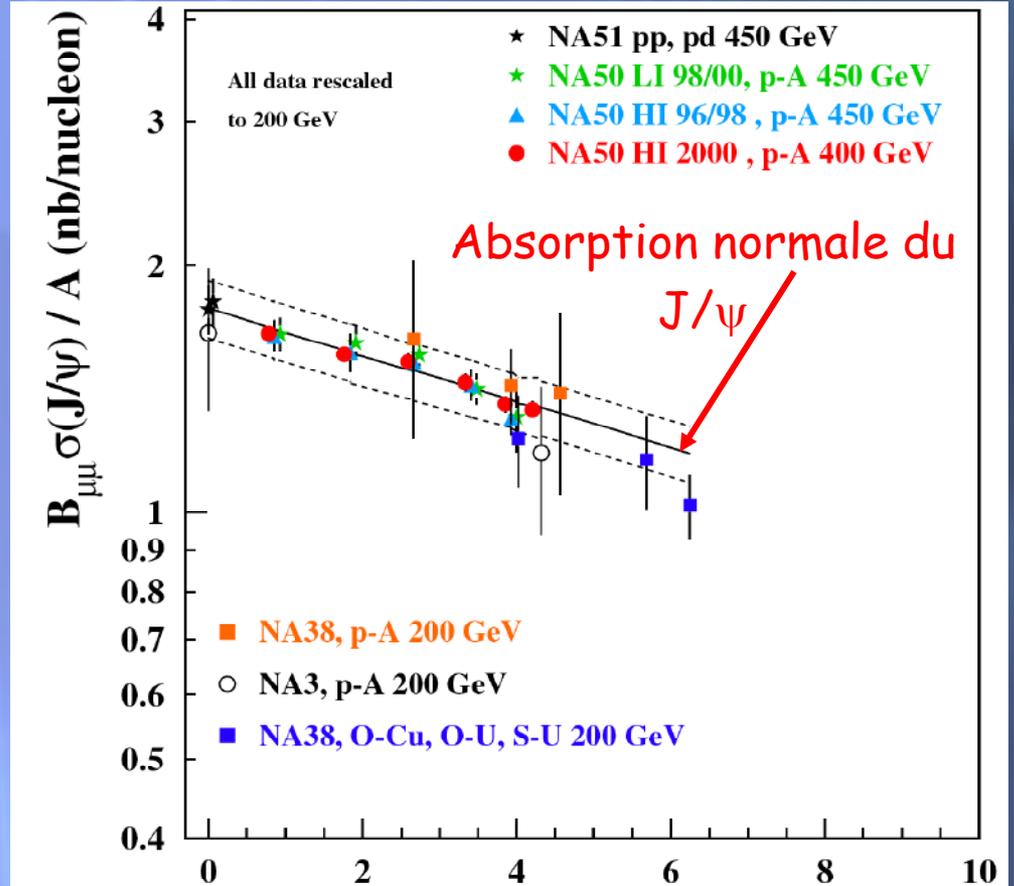


Fig. 6. The evolution of $S=N_\psi/N_c$ as a function of E_T .

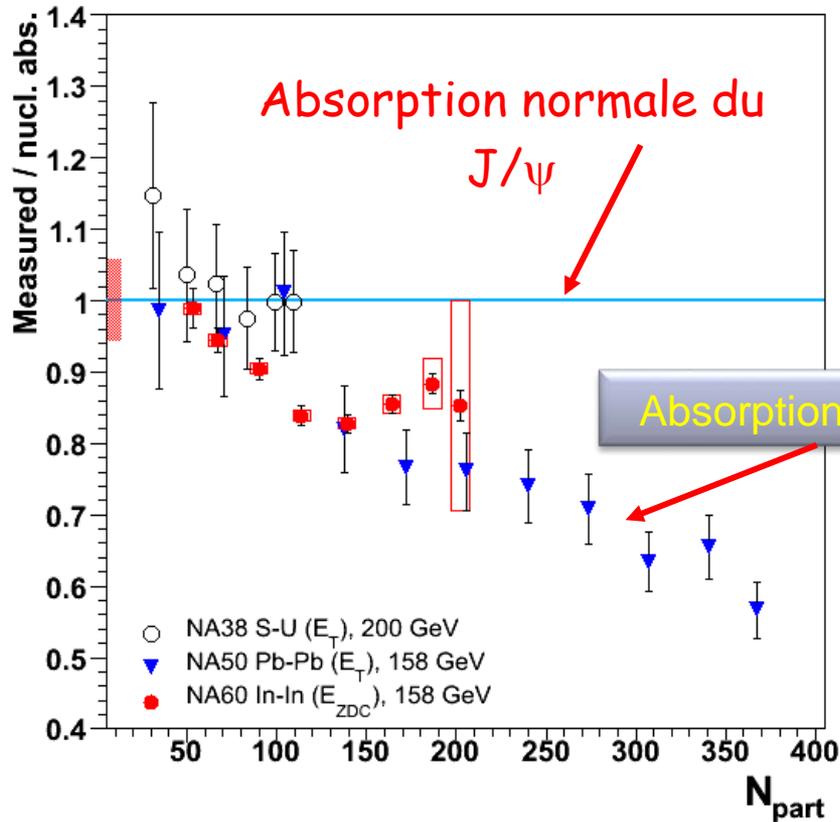
Suppression d'un facteur 2 ... mais incluant entre autre l'absorption nucléaire normale



1^{er} résultats de NA38 : O+U à 200 GeV/c

L(fm)

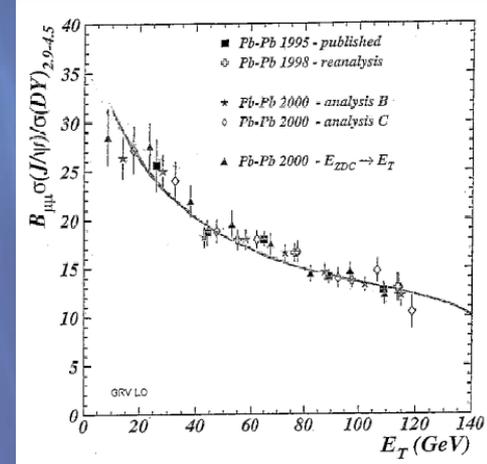
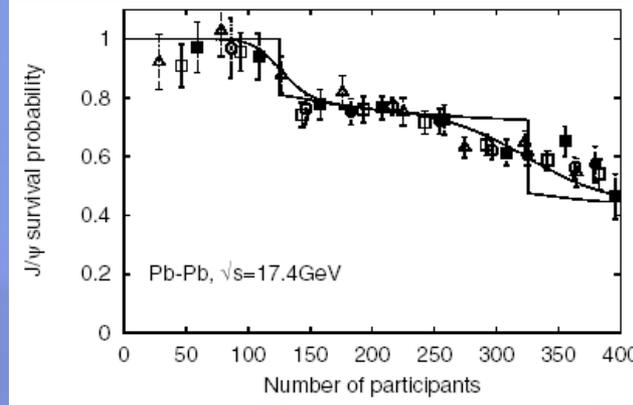
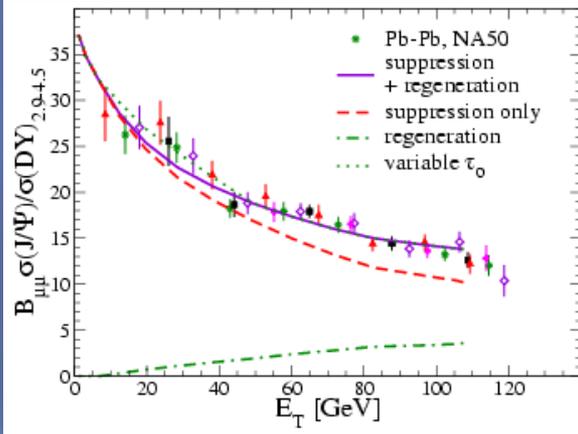
Suppression des quarkonia : le cas du J/ψ ... encore !



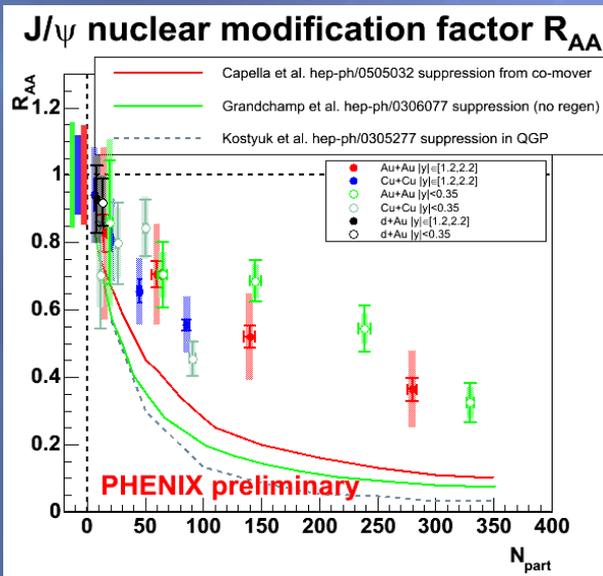
Etude avec un grand nombre de systèmes
p-A absorption normale (effet nucléaire froid)
Changement de régime seulement en Pb-Pb

Bataille de modèles théoriques
avec et sans QGP pour expliquer
ces données...

Suppression des quarkonia : le cas du J/ψ ... encore !



... modèles reproduisant avec plus ou moins de bonheur les résultats



Pour finir par surestimer la suppression à RHIC puisque $\epsilon_{RHIC} > \epsilon_{SPS}$!

Conclusion

What I learned from experiment after 20 years in
 J/ψ suppression

1/ *Many years of hard work, repeating the same measurement under improved conditions are needed to reach stable, coherent and comparable experimental results* (just “progress”)

and also

2/ *It is very risky to build models, to try and reproduce still UNPUBLISHED, and therefore, PRELIMINARY, results. For PUBLISHED results, go to 1/... and be extremely cautious...*

Fin du 3^{ème} cours.