

# Les collisions d'ions lourds ultra-relativistes

---

Bruno ESPAGNON

Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

Université Paris-Sud



# 3<sup>ème</sup> partie

---

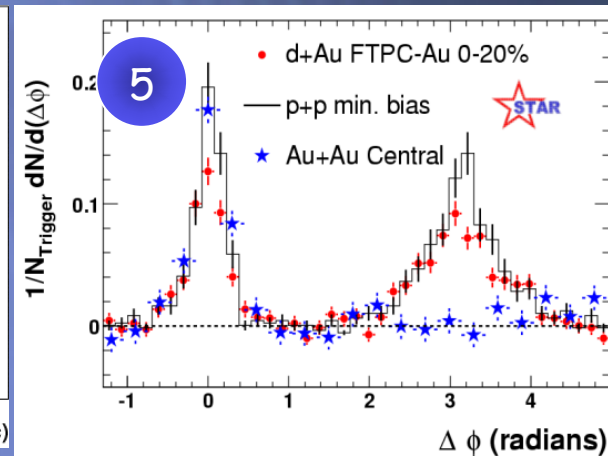
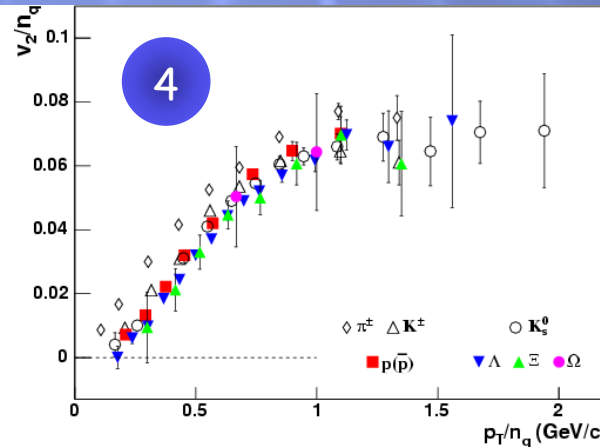
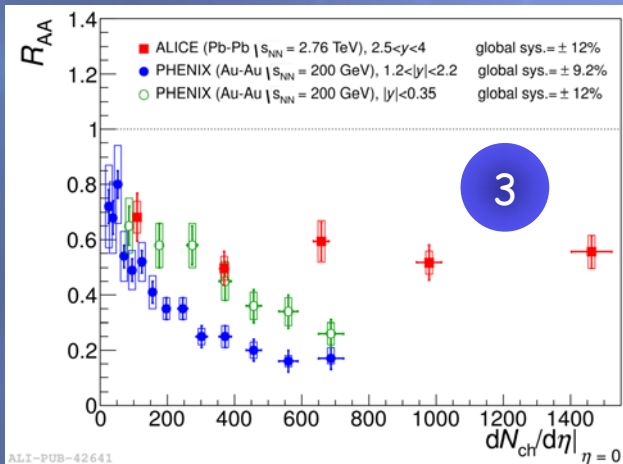
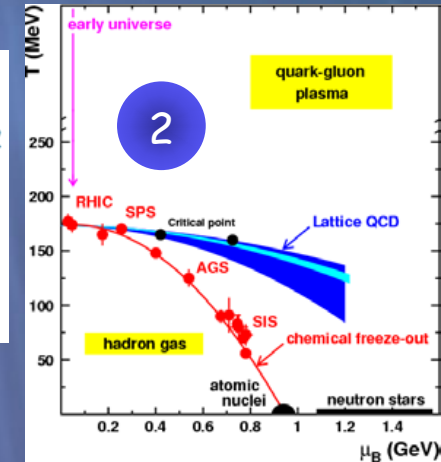
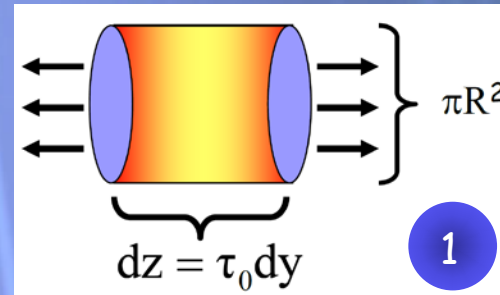
De la physique au  
détecteur

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



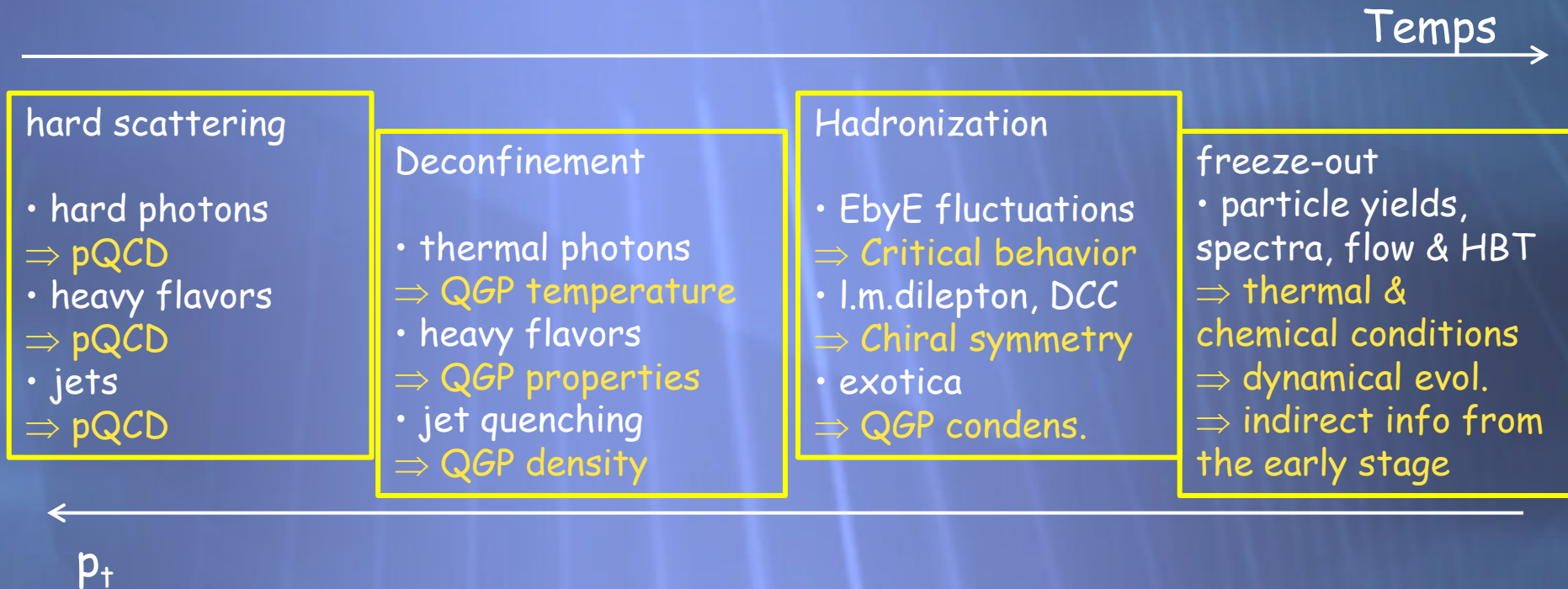
Comportement attendu d'un plasma de quarks et de gluons

## 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

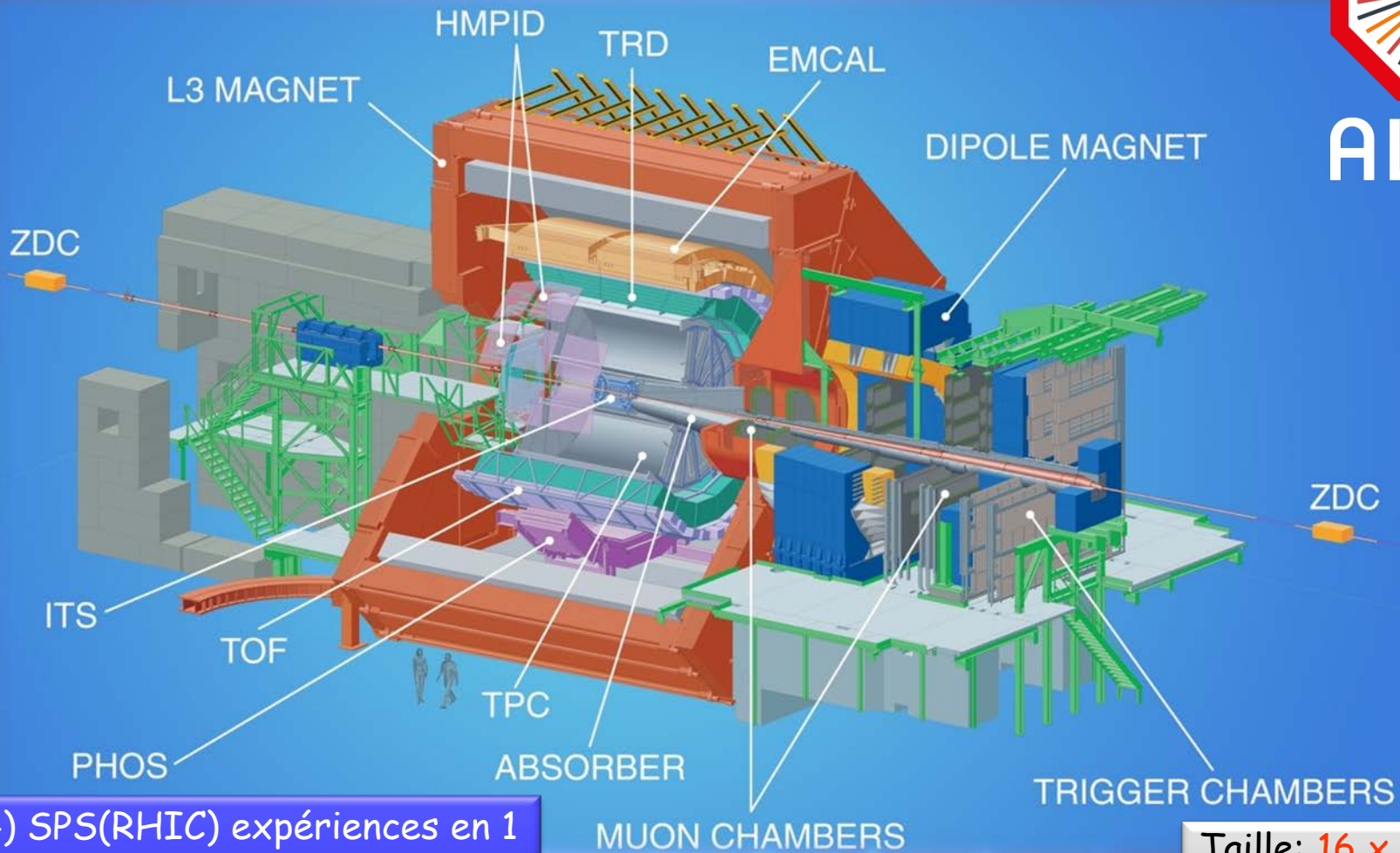
grandes acceptance et granularité, triggers sélectifs, bonne efficacité  
de tracking, grande couverture en moment, reconstruction des vertex  
secondaires, identification des hadrons, leptons & photons



# ALICE : A Large Ion Collider Experiment



# ALICE



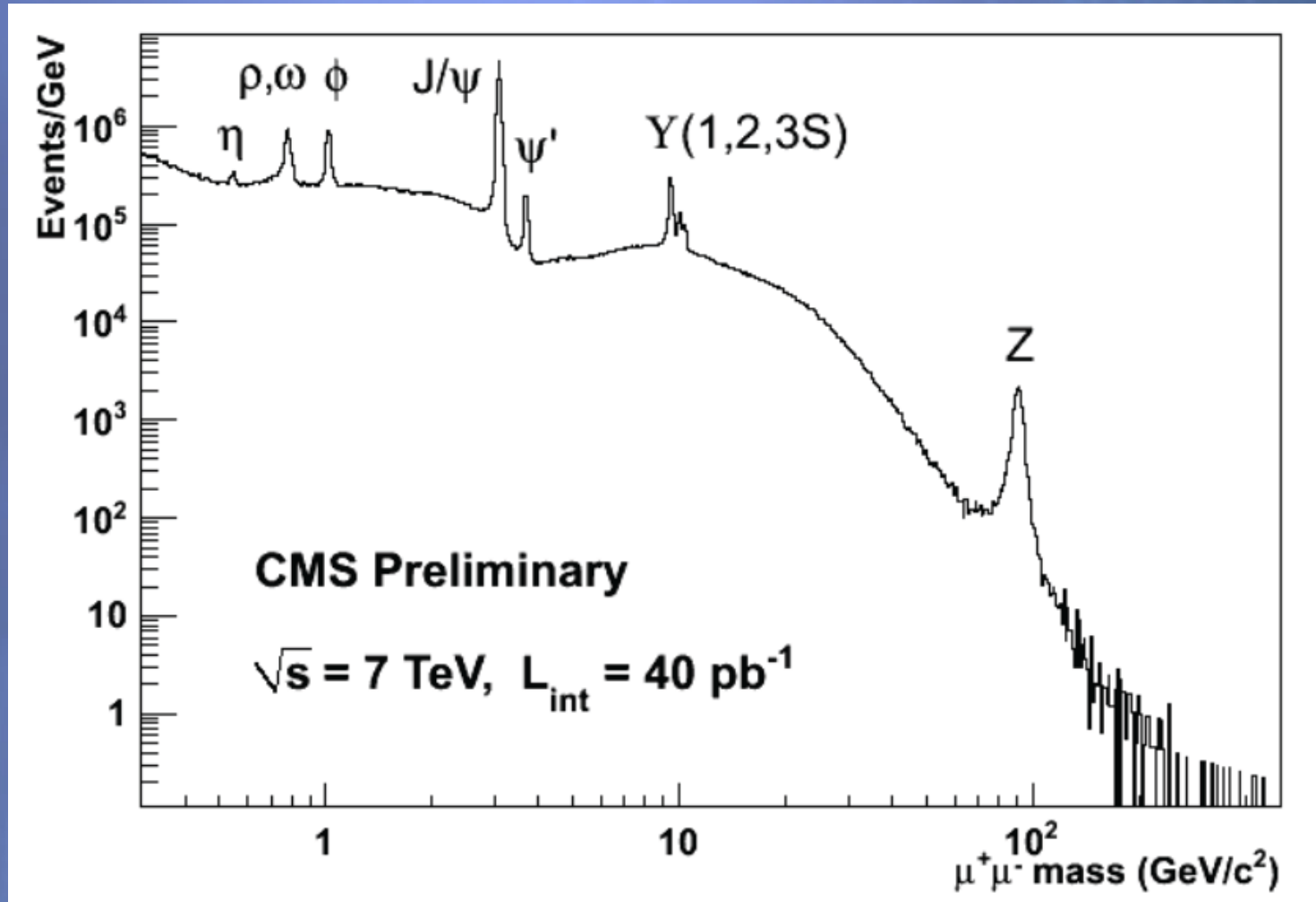
7(4) SPS(RHIC) expériences en 18 sous-détecteurs

37 pays, 151 instituts, ~1550 membres

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

# Le spectromètre à muons

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

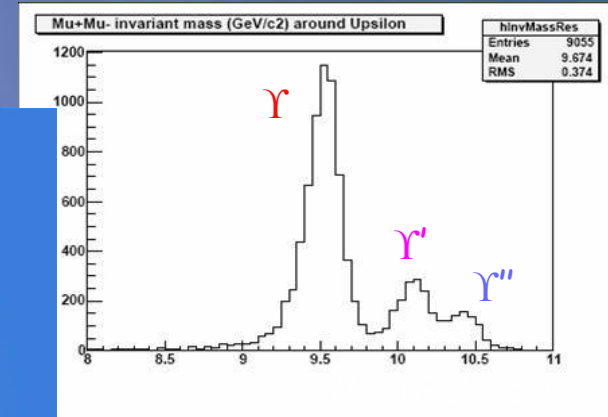
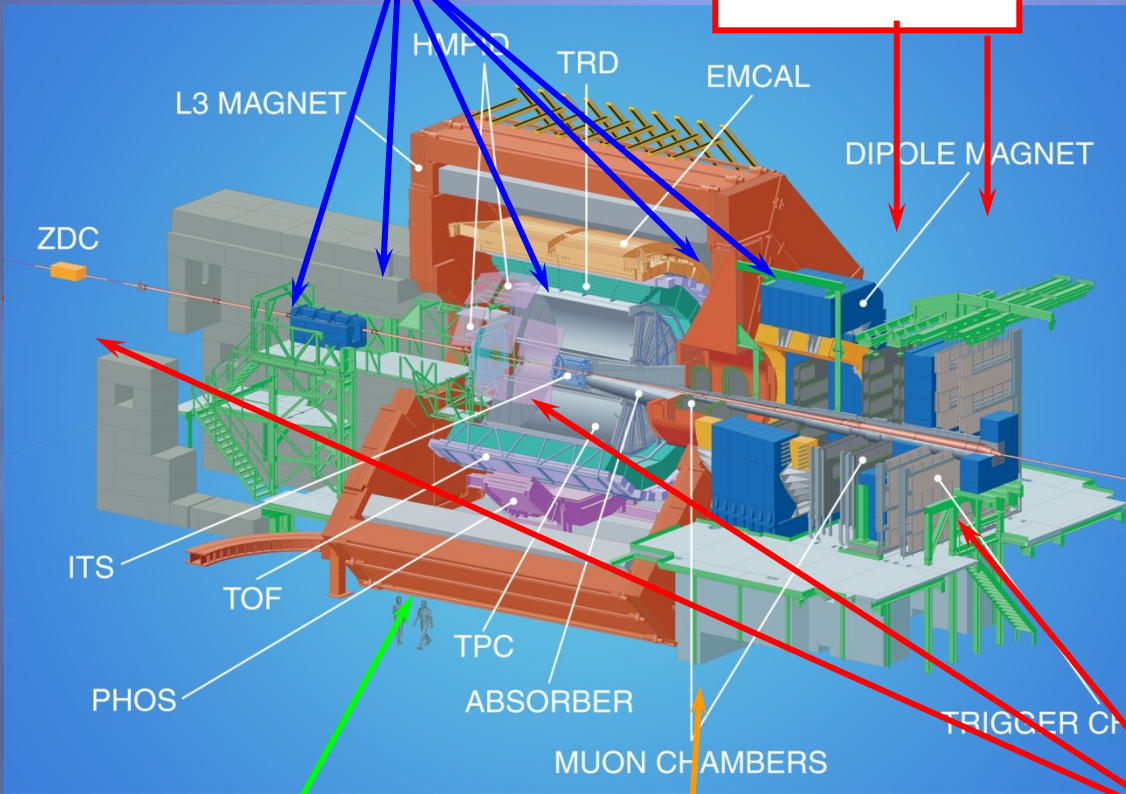




# Le spectromètre à muons

Stations de trajectographie

Stations de trigger

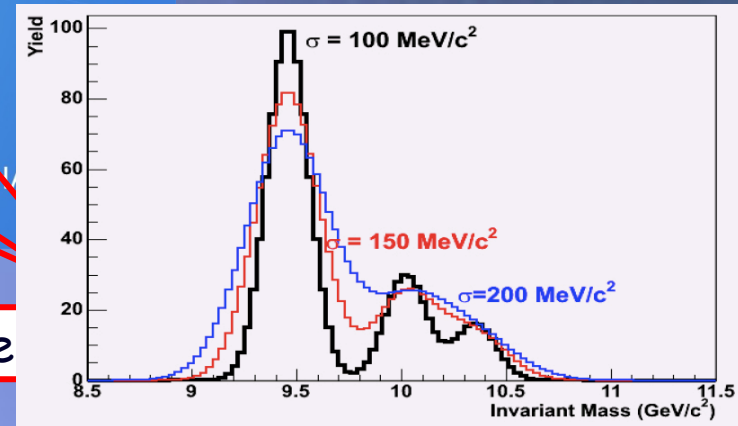


Spectromètre dédié à la mesure des (di)muons ( $2,5 < \eta < 4$ )

Aimant dipolaire

Filtre à muons

Absorbe



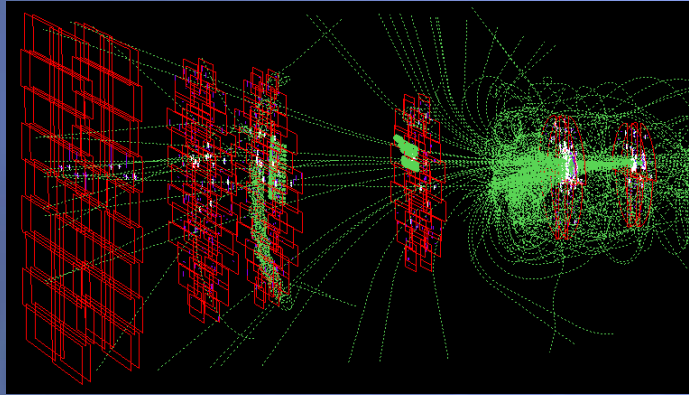
Pour simplifier, on se limitera ici uniquement à l'aspect trajectographie. On ne s'occupera pas du système de déclenchement mais une étude similaire peut être faite dessus.

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

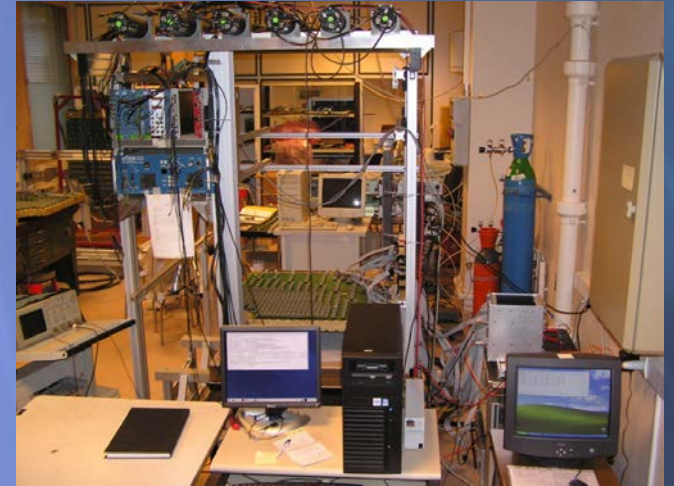
- ✓ La connaissance du champ magnétique -> cartographie du champ magnétique
- ✓ La composition de l'absorbeur frontal !
- ✓ La résolution intrinsèque des chambres de trajectographie
- ✓ La qualité de l'électronique de lecture de ces chambres
- ✓ La connaissance précise du positionnement des détecteurs
- ✓ Le software de reconstruction avec la cartographie de l'électronique

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

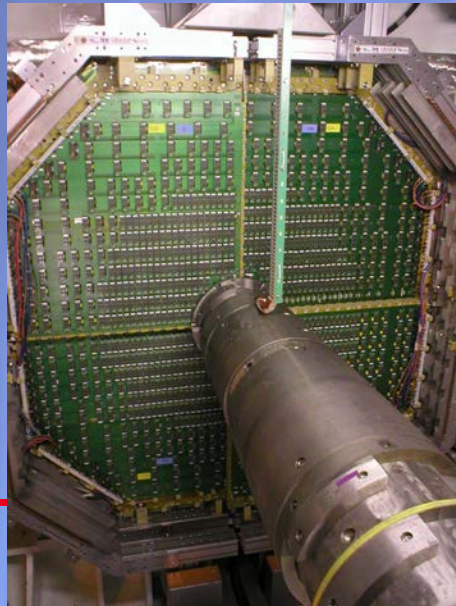
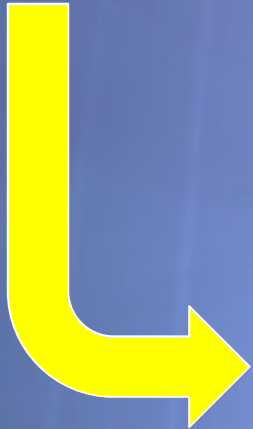
# Dialogue permanent entre simulations et expérience



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



Validation et vérification des performances par des tests expérimentaux

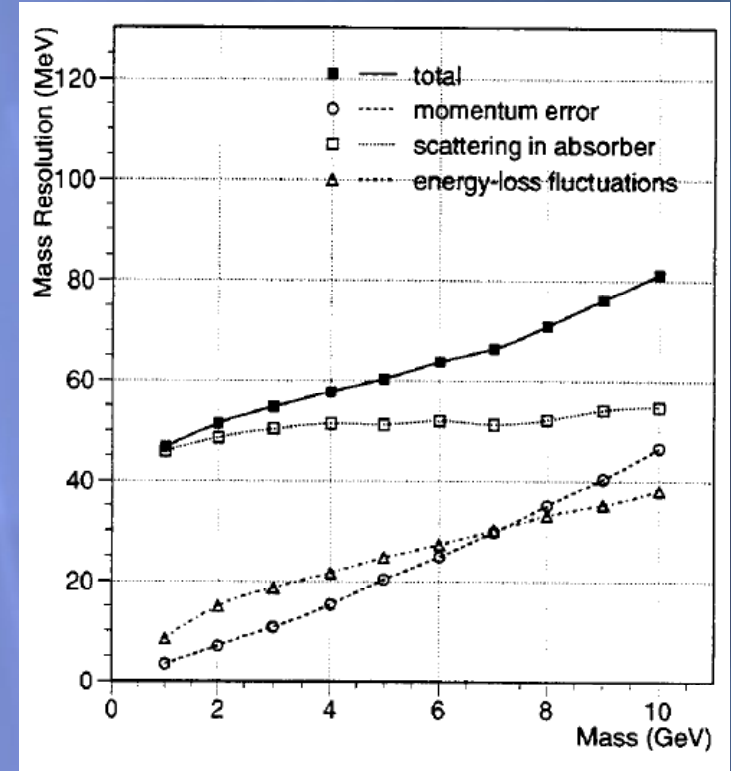
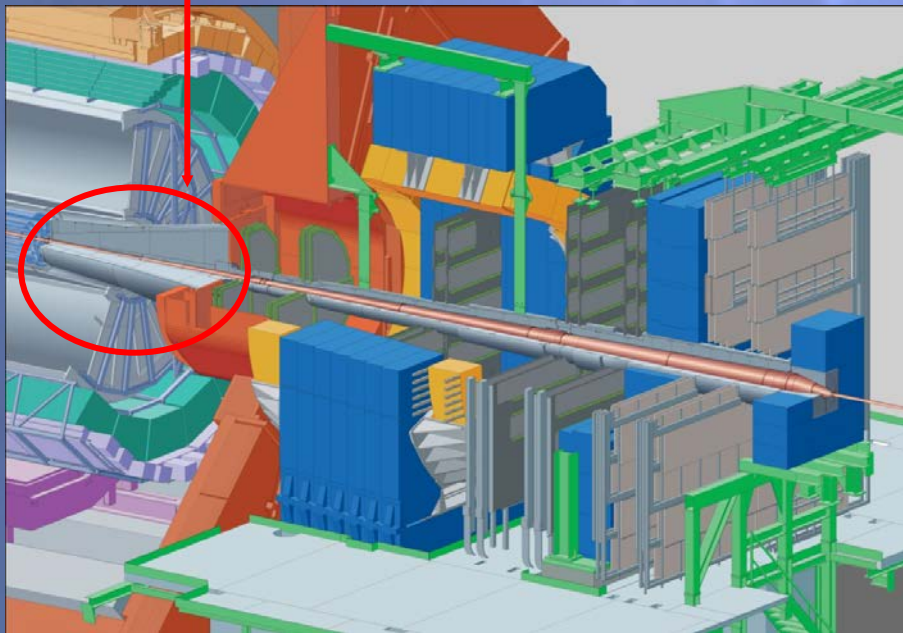
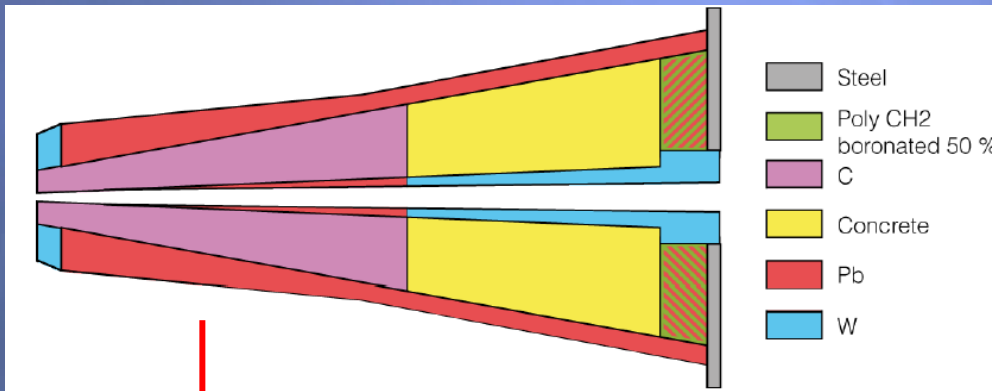


Construction du détecteur





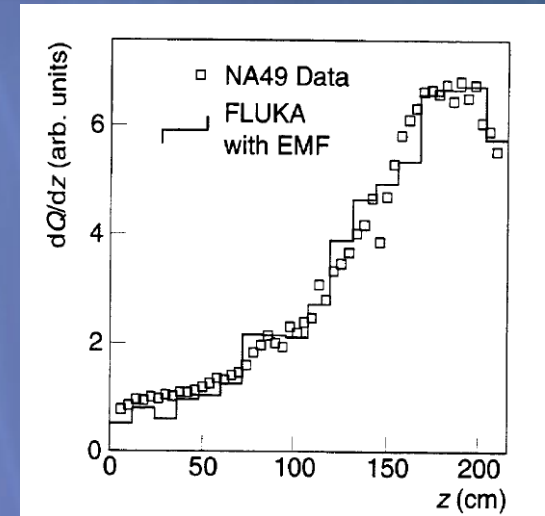
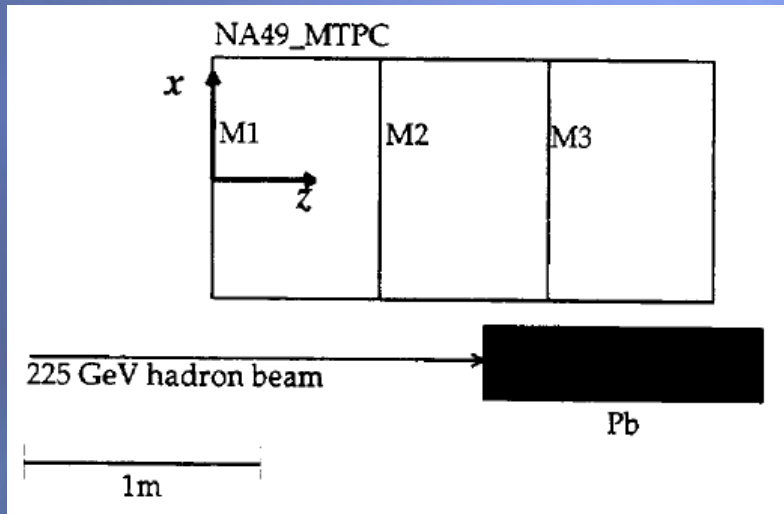
# L'absorbeur frontal



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  $\sim 60 X_0$

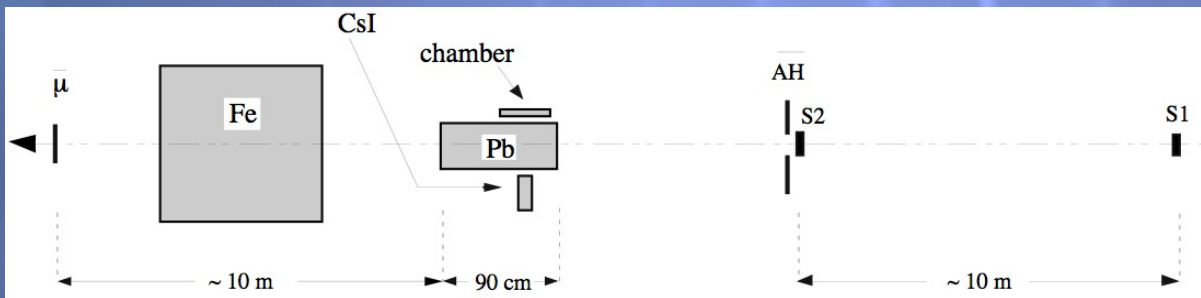
+ travail similaire pour l'absorbeur à petit angle

# L'absorbeur frontal

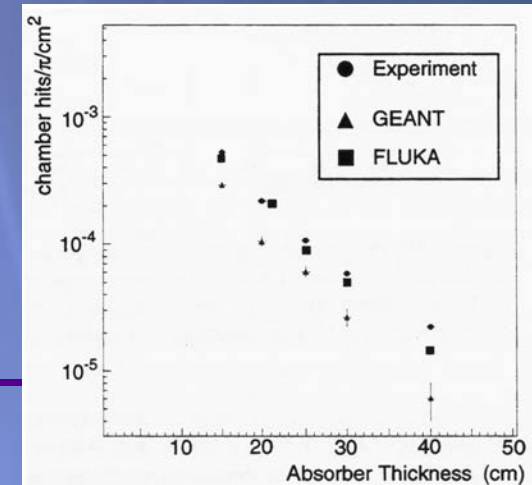


Test effet absorbeur frontal avec la TPC de NA49

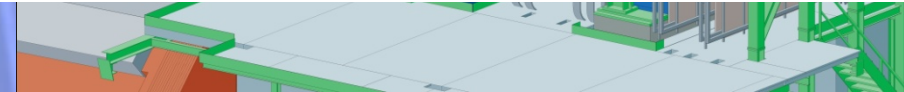
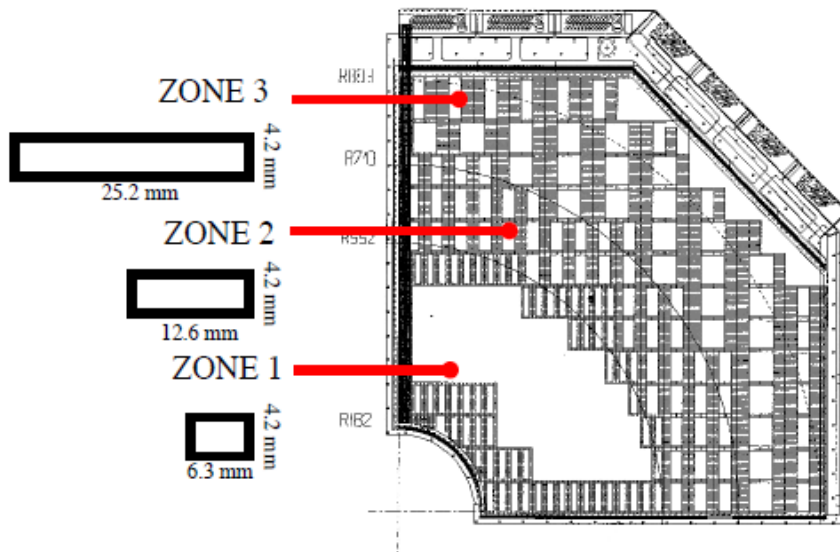
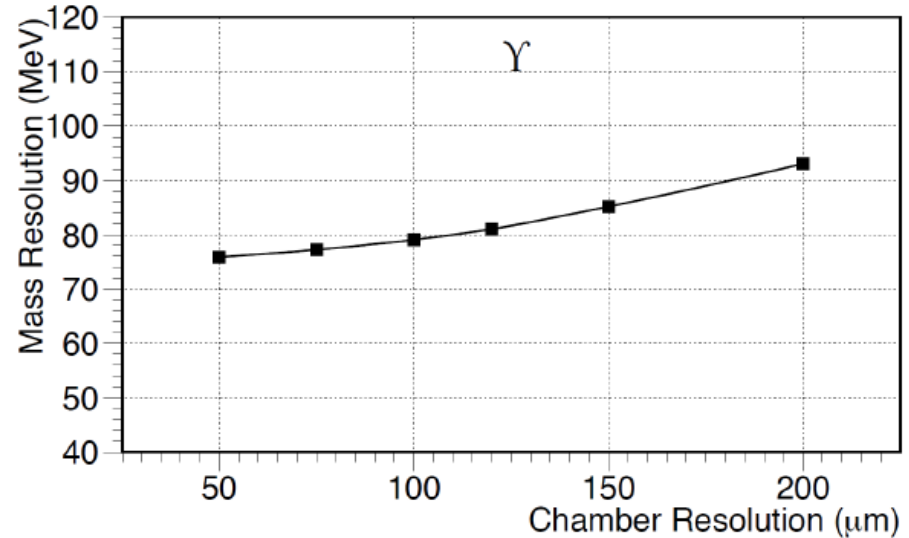
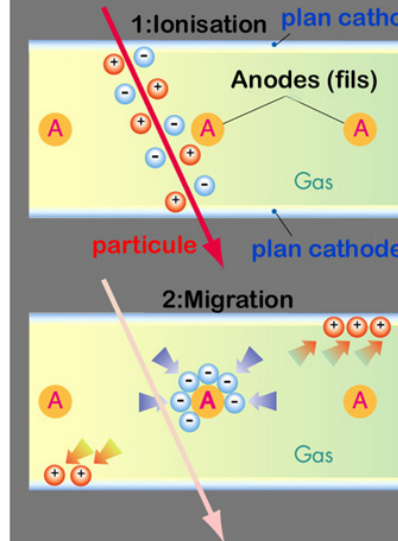
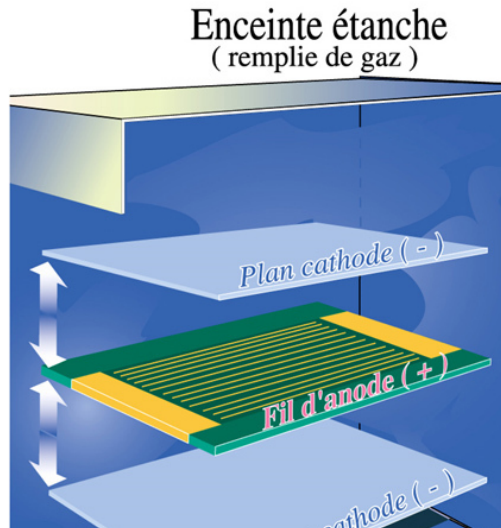
... et comparaison des résultats expérimentaux avec les simulations



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



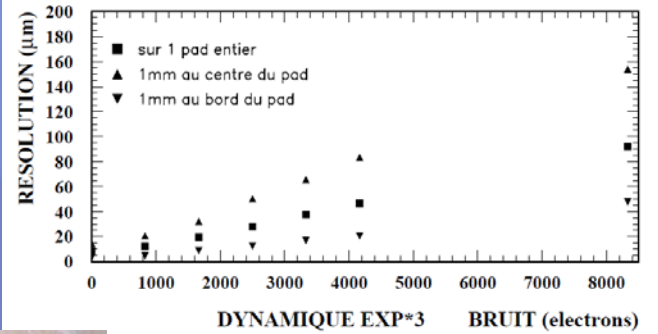
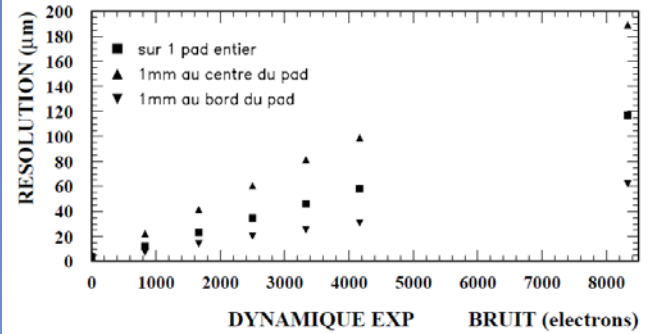
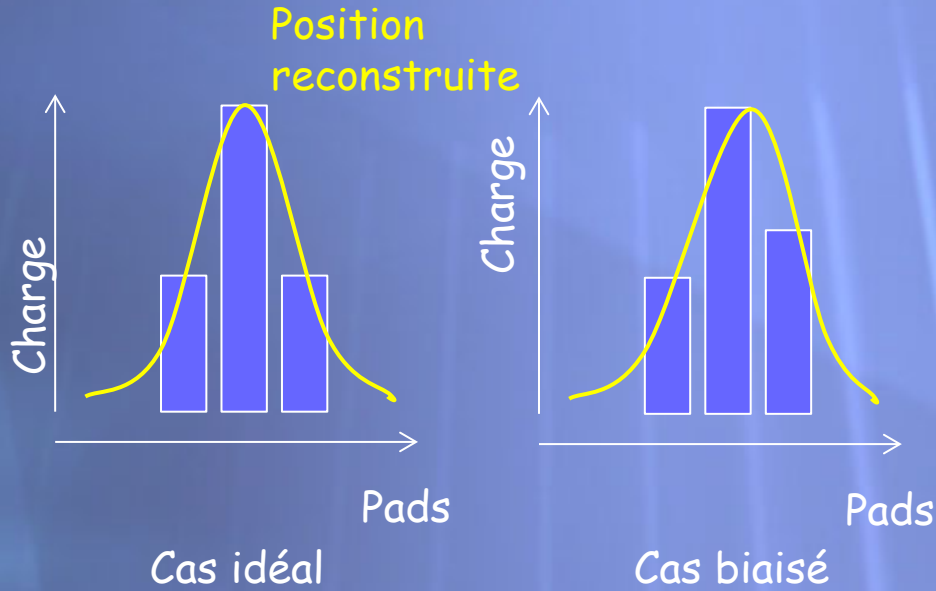
# Les chambres de trajectographie



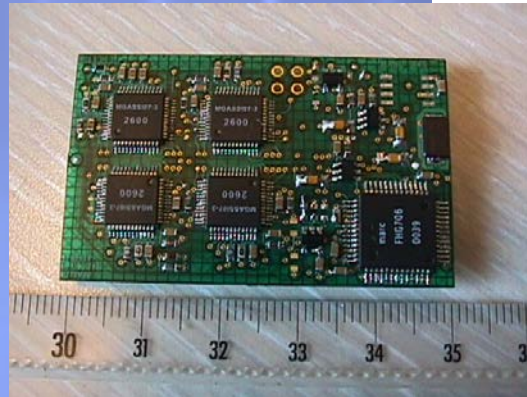
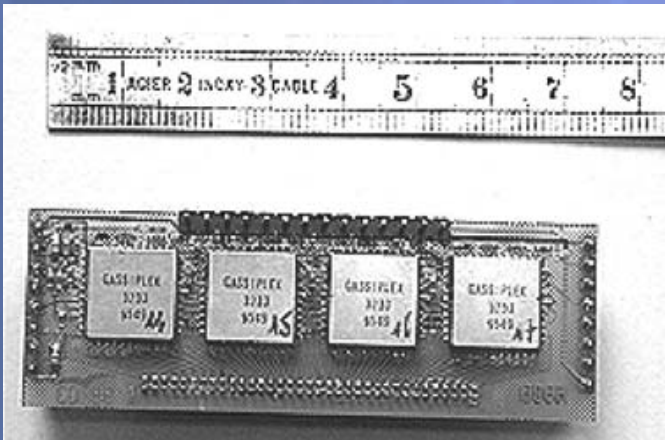
Résolution des chambres à fils (avec leur électronique) dans le plan de déviation doit être  $< 100 \mu\text{m}$ .  
 Taux d'occupation  $< 5\%$ .  
 Faibles longueurs de radiation  
 Très bonne efficacité.  
 Faible sensibilité aux neutrons et  $\gamma$



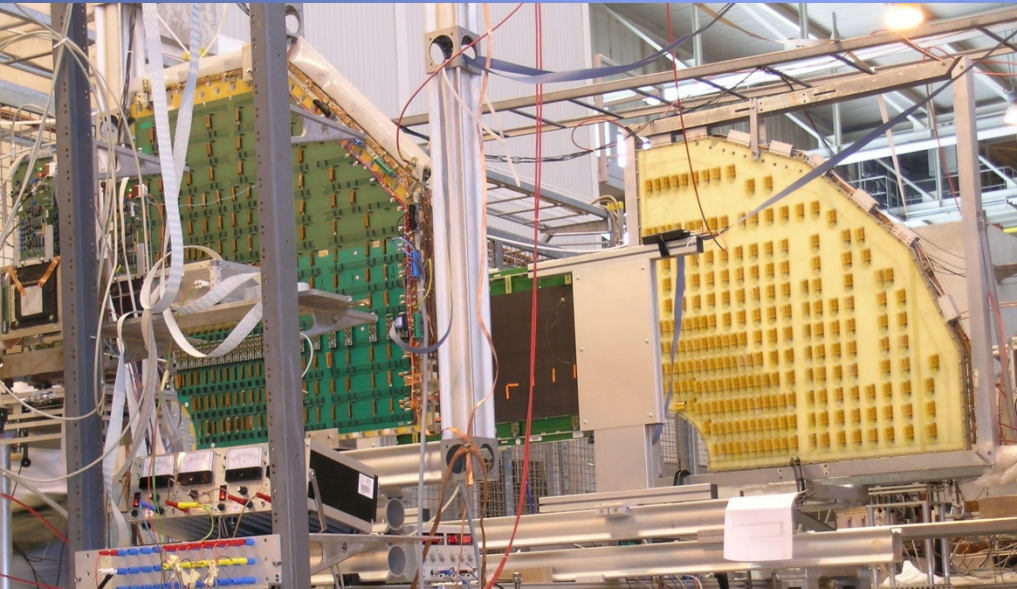
# L'électronique de lecture



Simulations

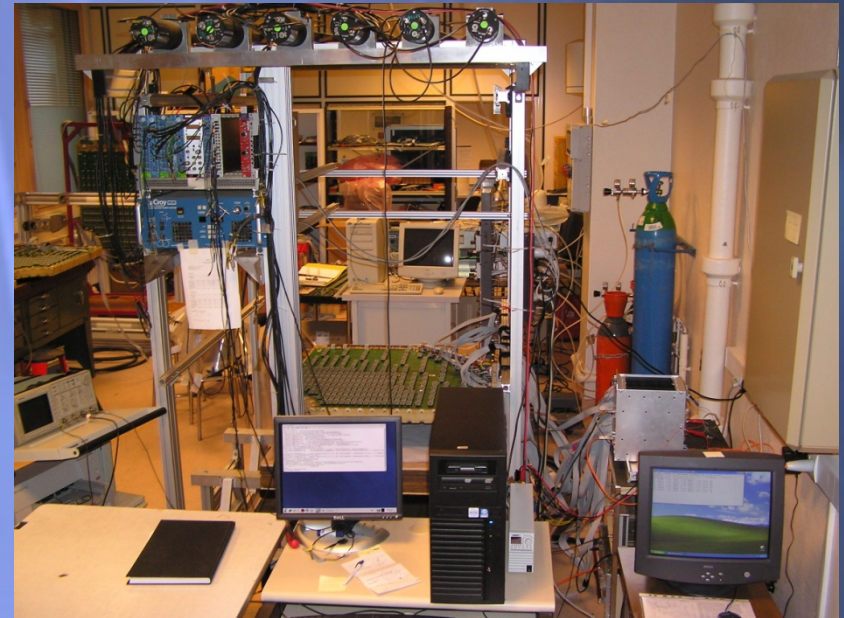


## Les chambres de trajectographie



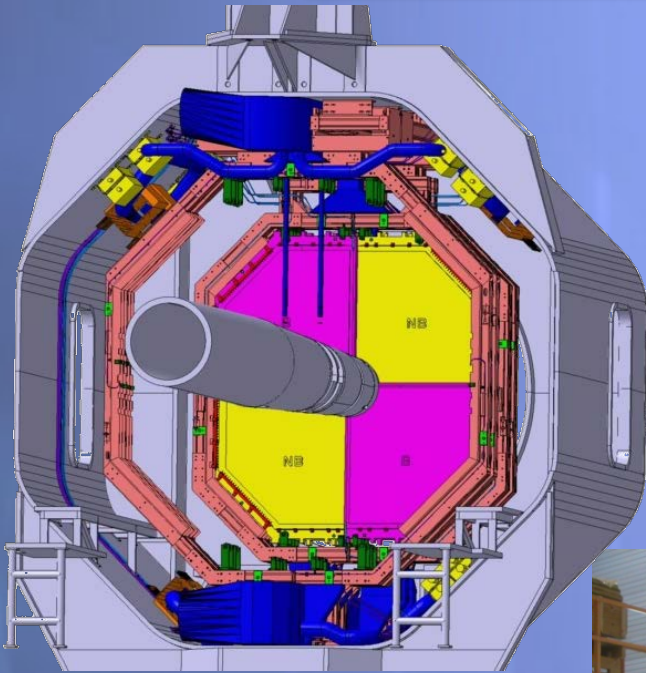
Tests en faisceau au CERN du prototype final de quadrant et de l'électronique

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



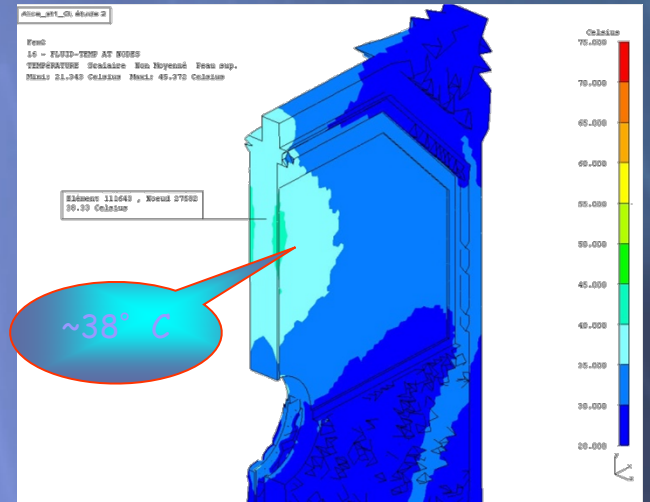


# Etude de l'intégration des détecteurs

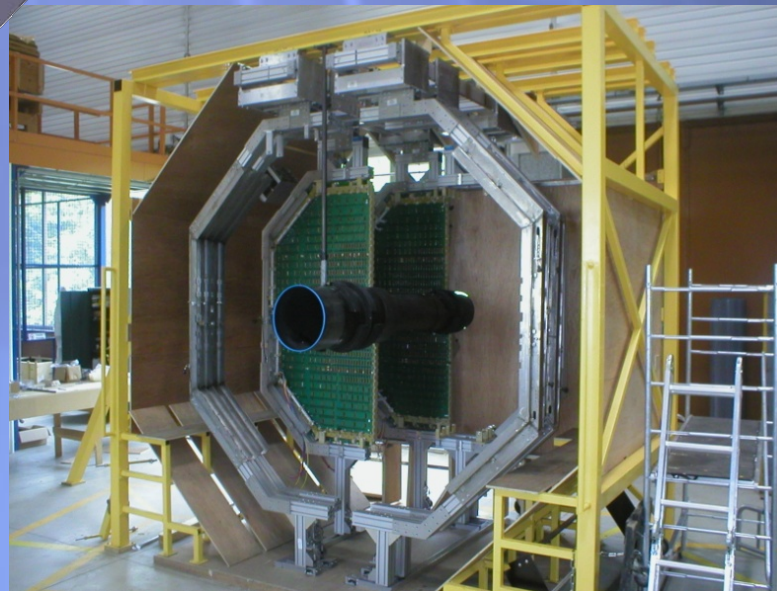


Modélisation

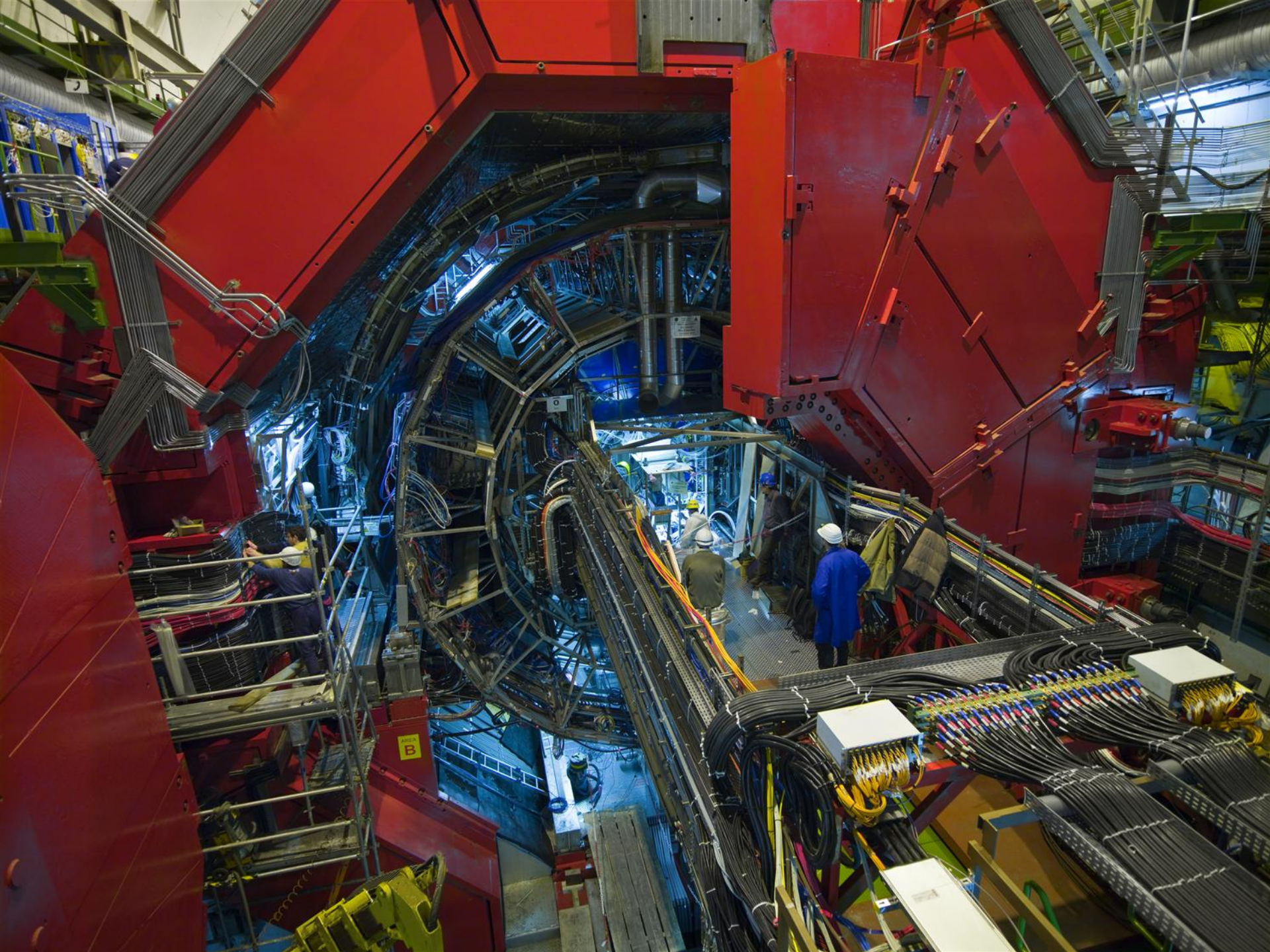
Réalisation  
d'une maquette  
à l'échelle 1



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

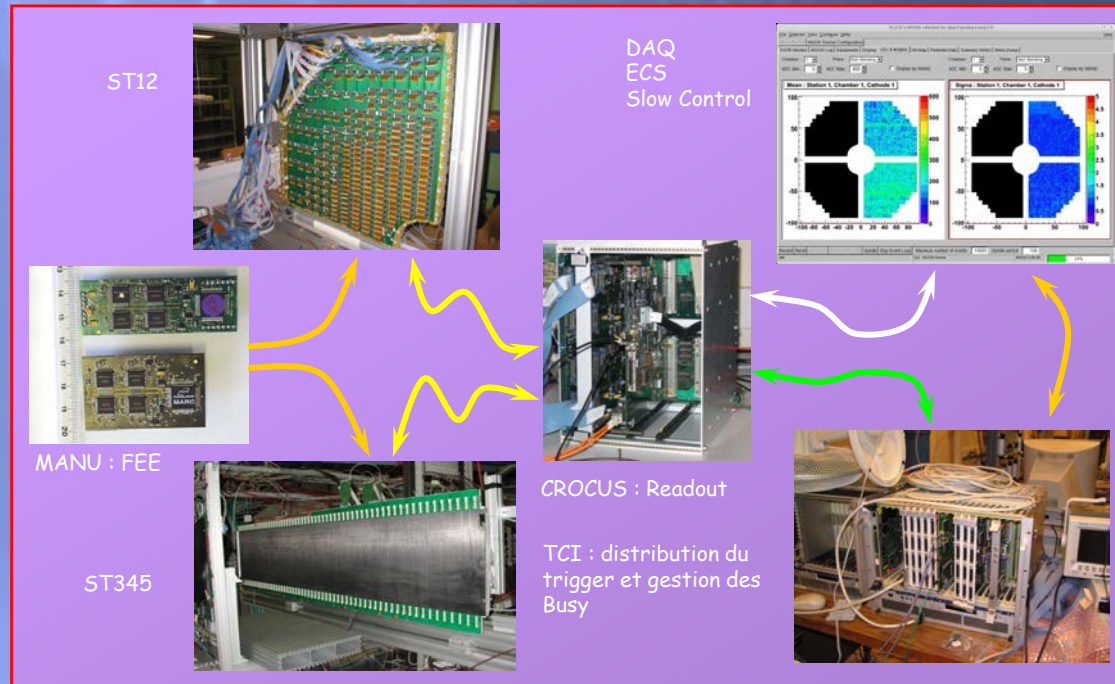
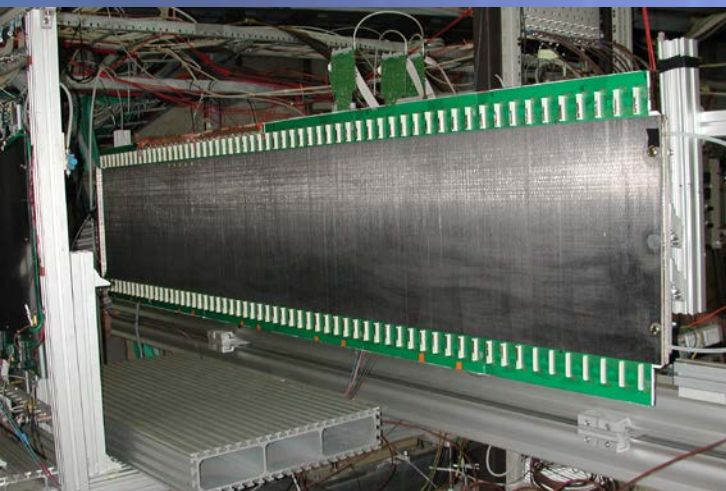




# Le système de trajectographie

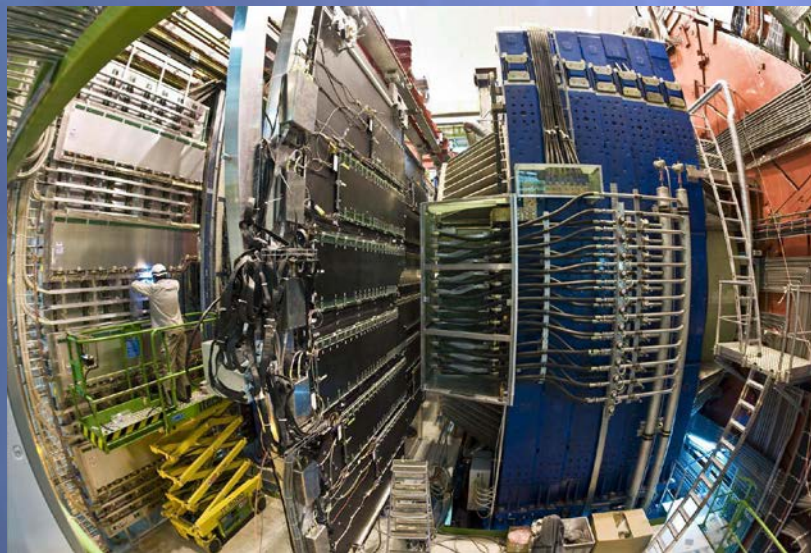
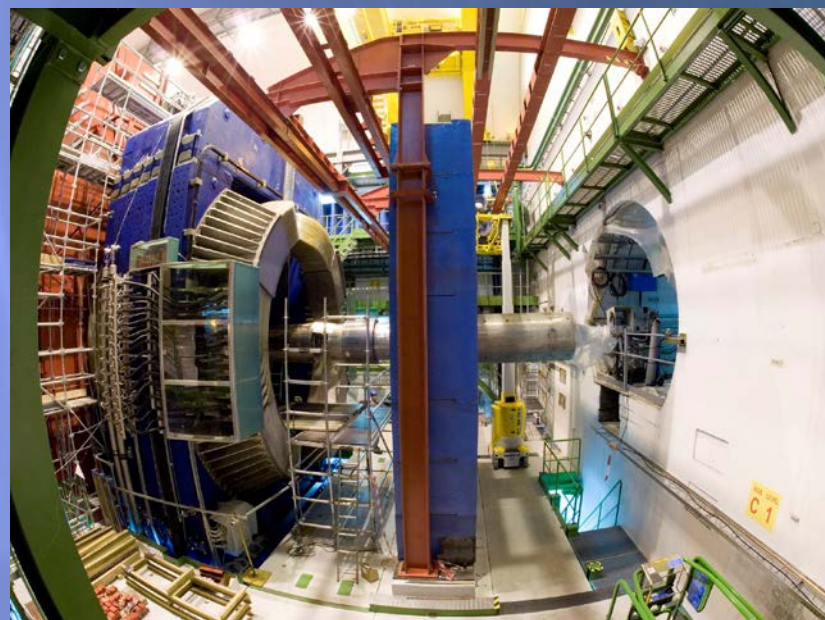
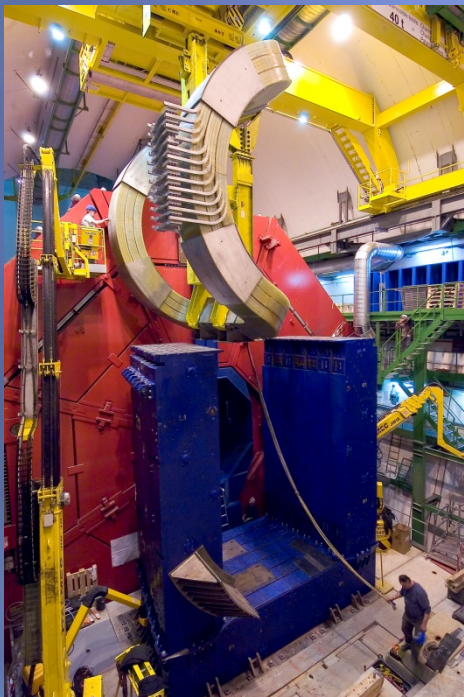


Chambres de trajectographie : chambres à fils à cathodes segmentées :  $1,1 \cdot 10^6$  pads à lire



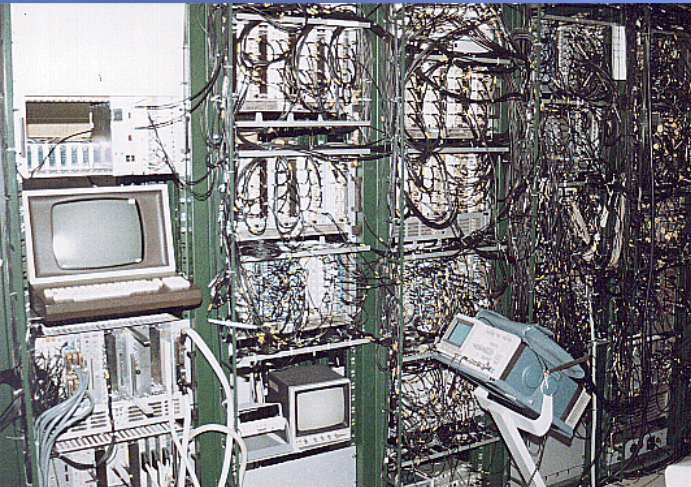
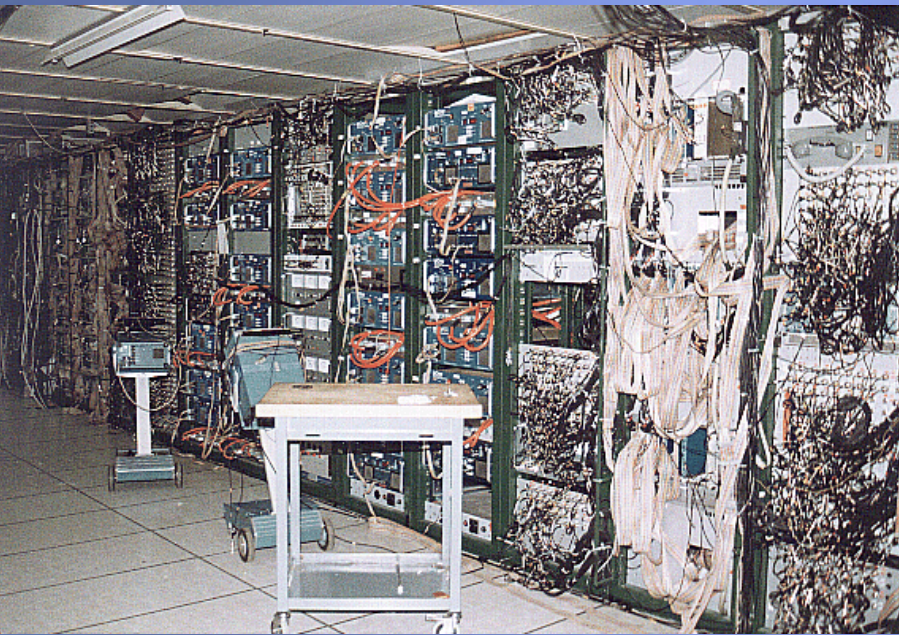
L'électronique du système de trajectographie.







## Salle de contrôle ...

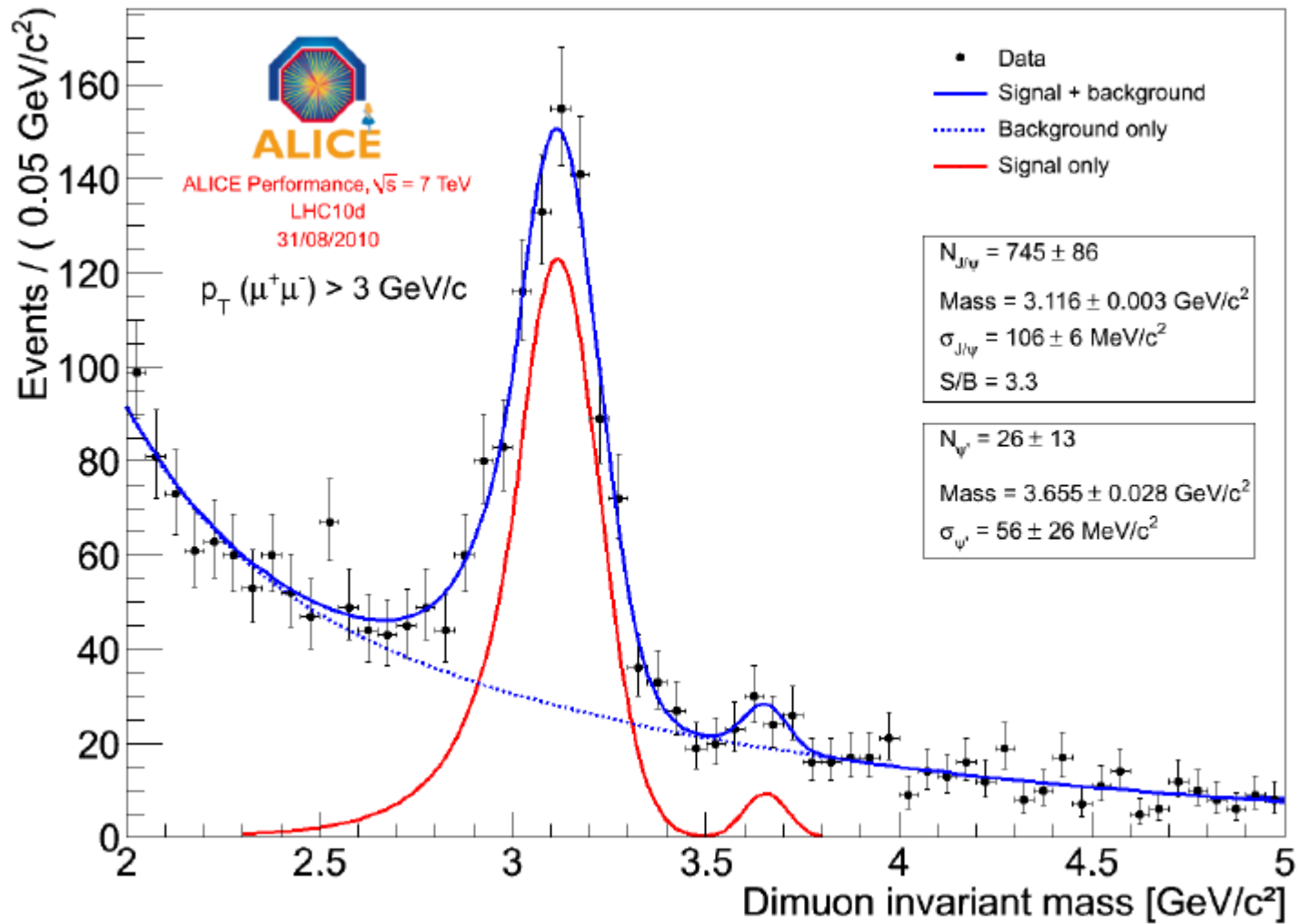


NA38



ALICE

Et enfin si tout marche bien ...

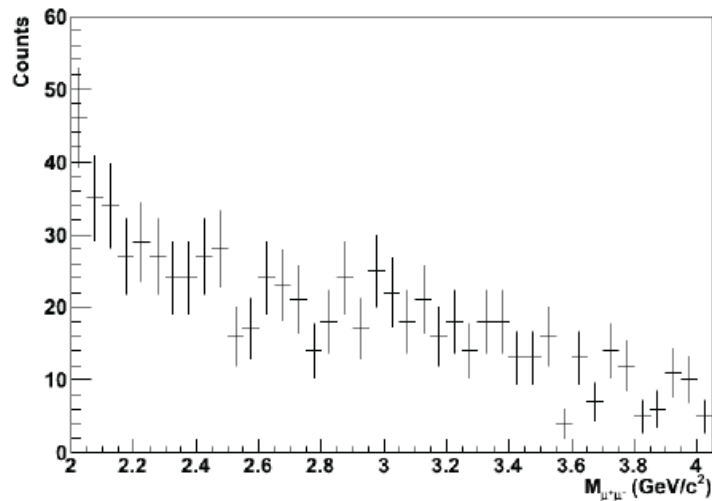


PWG3-MUON-011

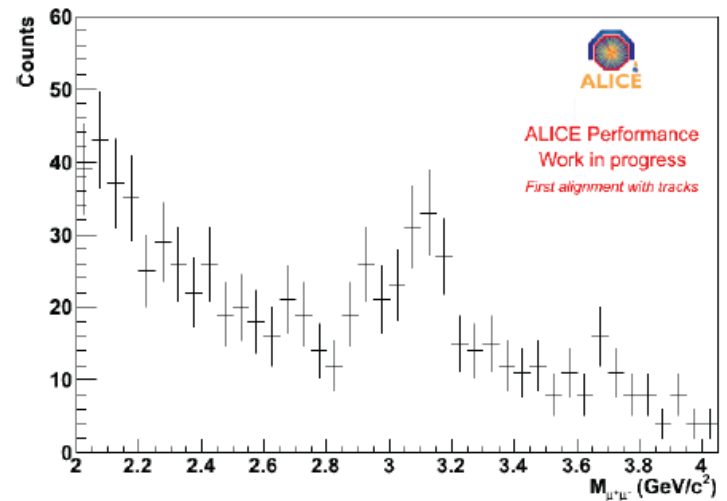
Bon il y a quand même un peu de travail avant !!!

Avec et sans alignement des chambres

Invariant mass without alignment

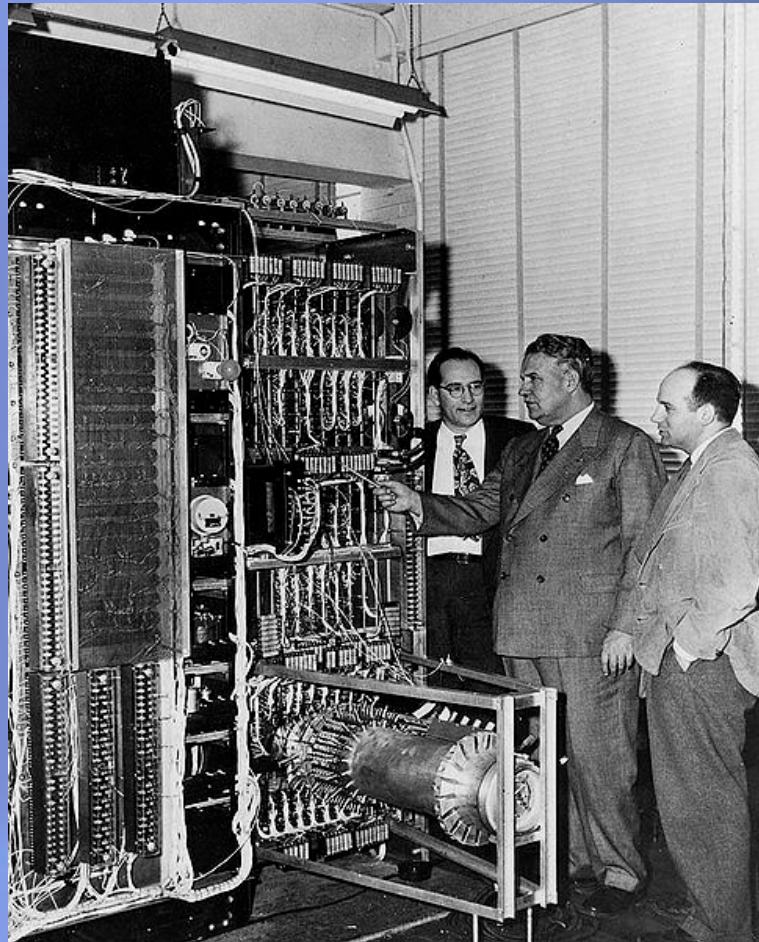


Invariant mass with first alignment





## 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 :

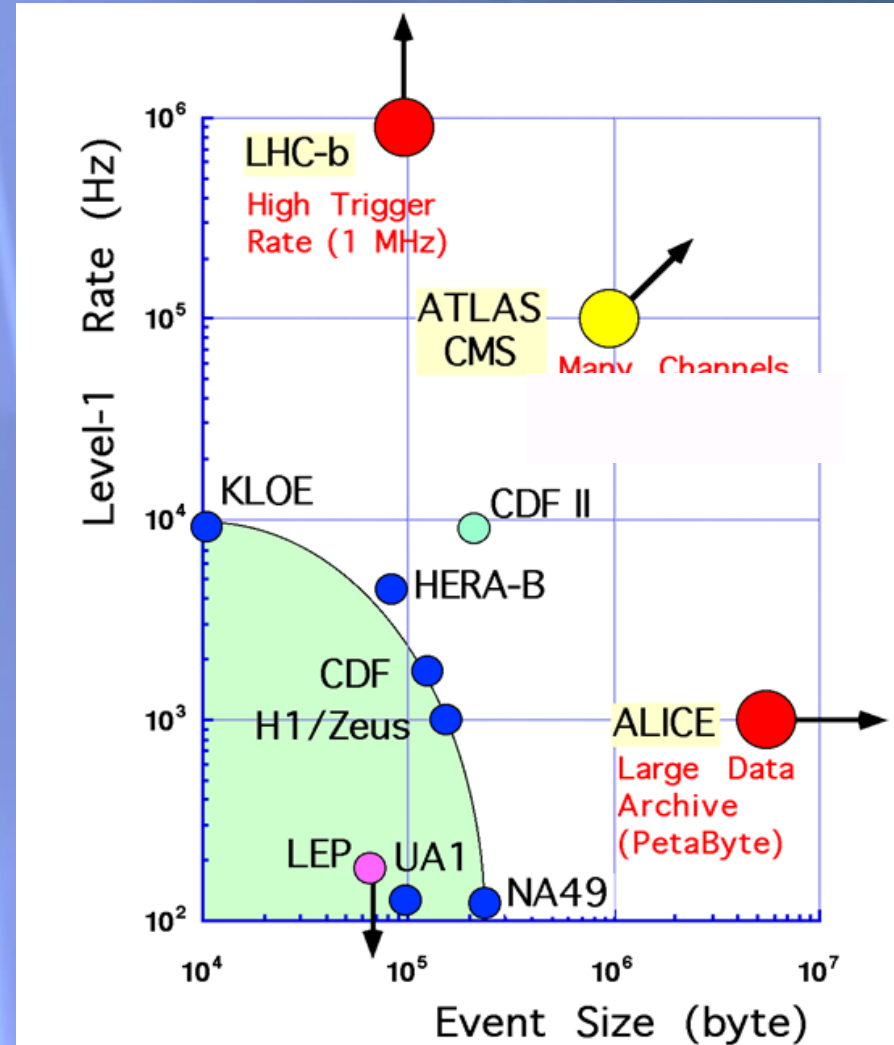
Online: jusqu'à 1.2 Gbyte/s

~ 10 x RHIC !

> 2 Pbyte/an raw data

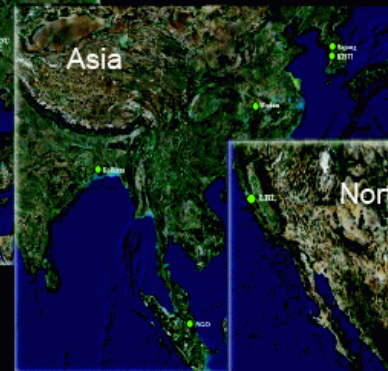
Offline: >35 MegaSI2000

> 10 x RHIC !!



## Software et grille de calculs.

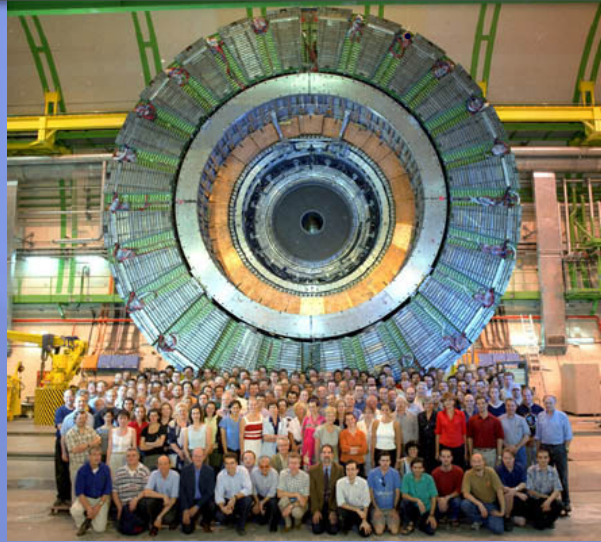
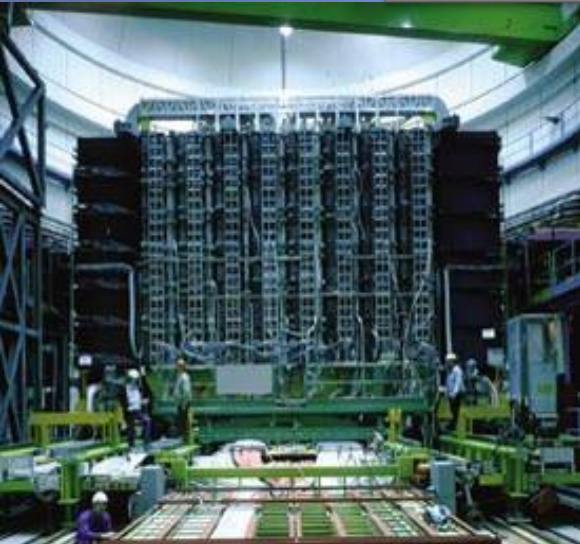
le stockage et l'analyse des données sont distribués sur la grille mondiale de calcul



La vie d'une expérience sur  
collisionneur.

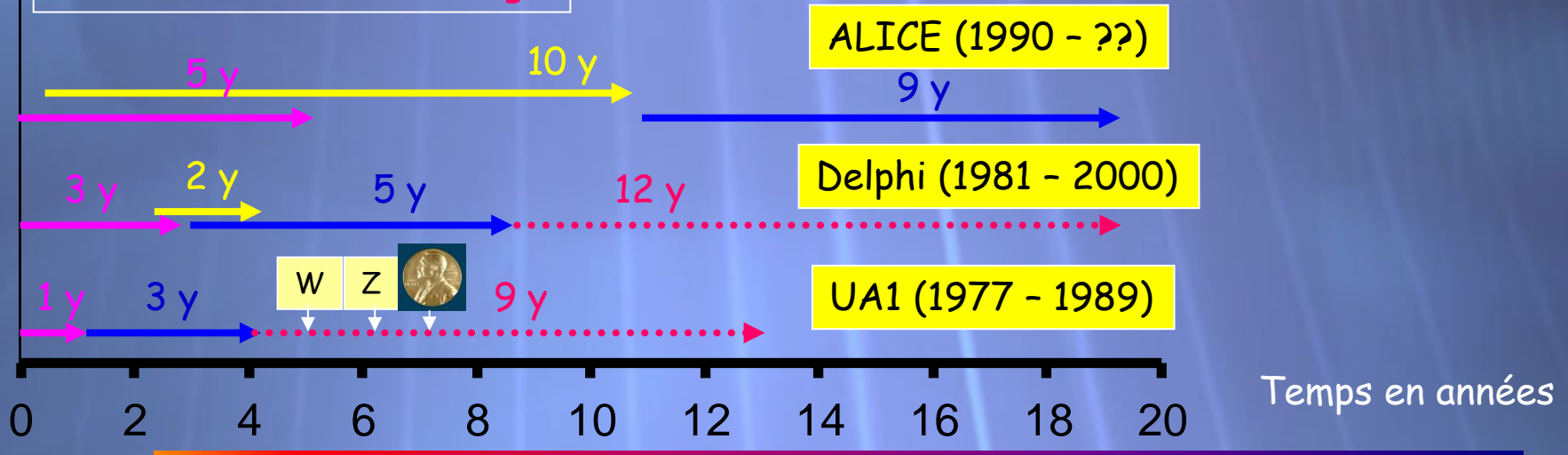


# La vie d'une expérience sur collisionneur.



Design  
Construction

R&D  
Running



# 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.

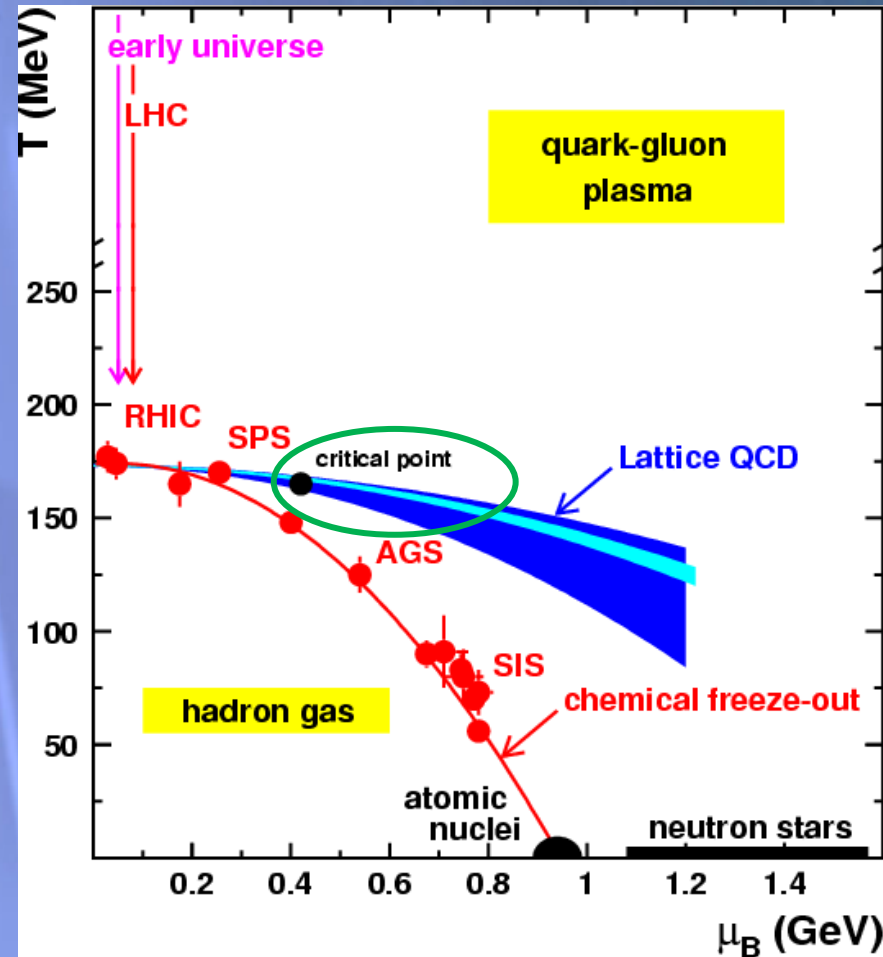
- STAR & PHENIX @ RHIC-II (BNL, Brookhaven, USA)
- NA61 @ SPS (CERN, Genève, Suisse)
- CBM @ FAIR (GSI, Darmstadt, Allemagne)
- MPD @ NICA (JINR, Dubna, Russie)

points communs :

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

Upgrade d'ALICE : 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...



June 1986

BNL-38344

## $J/\psi$ 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  $J/\psi$  radius calculated in charmonium models. The feasibility to detect this effect clearly in the dilepton mass spectrum is examined. We conclude that  $J/\psi$  suppression in nuclear collisions should provide an unambiguous signature of quark-gluon plasma formation.

# Suppression des quarkonia : le cas du $J/\psi$ ... encore !

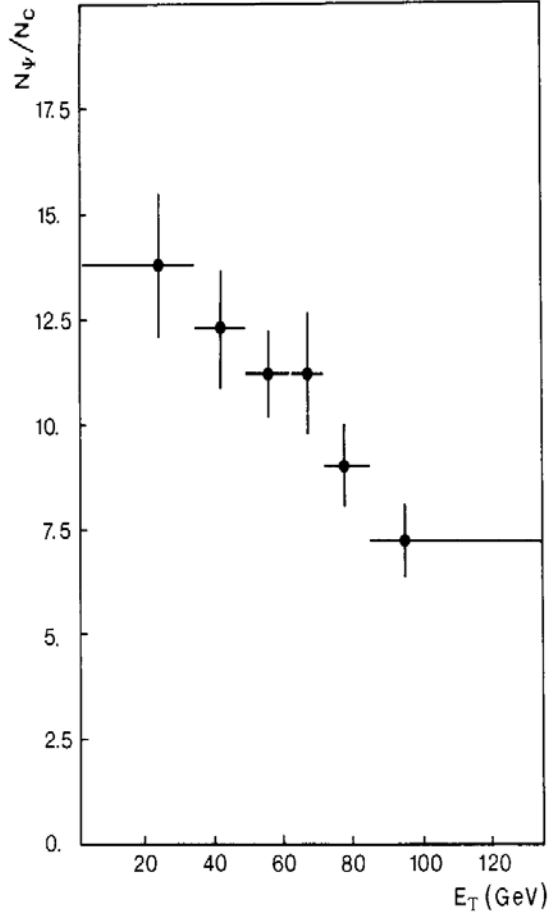
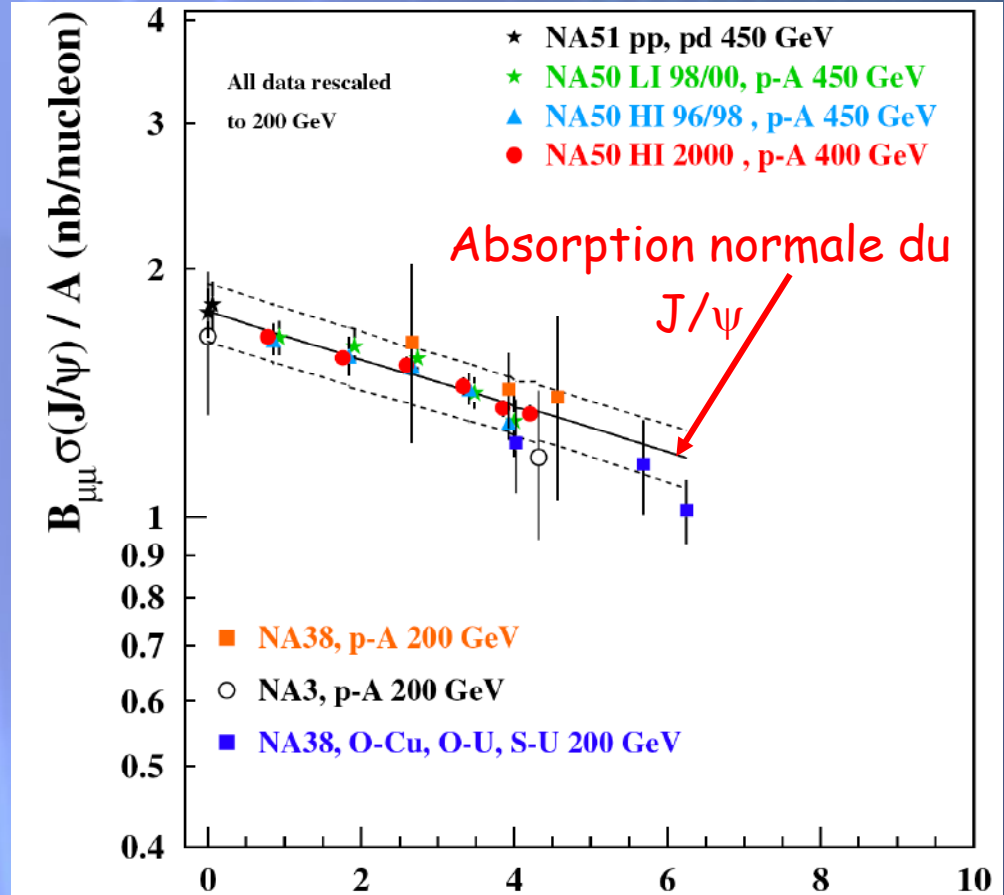


Fig. 6. The evolution of  $S = N_\psi / N_c$  as a function of  $E_T$ .

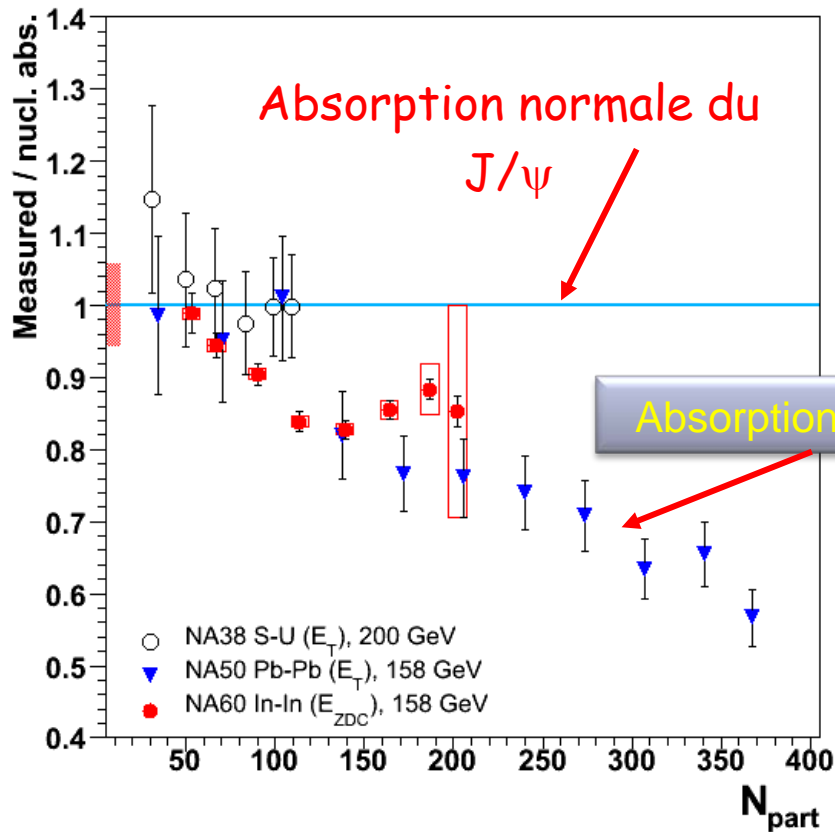
Suppression d'un facteur 2 ... mais incluant entre autre l'absorption nucléaire normale



1<sup>er</sup> résultats de NA38 : O+U à 200 GeV/c

L(fm)

# Suppression des quarkonia : le cas du $J/\psi$ ... encore !

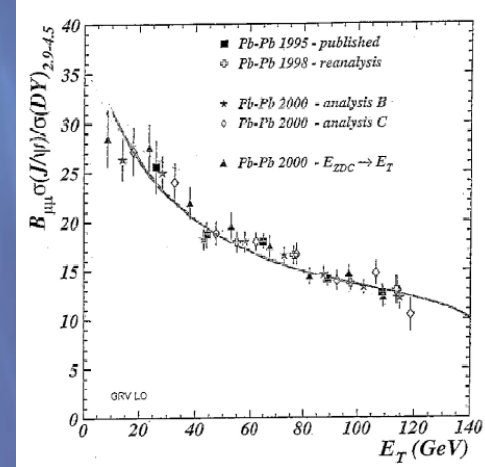
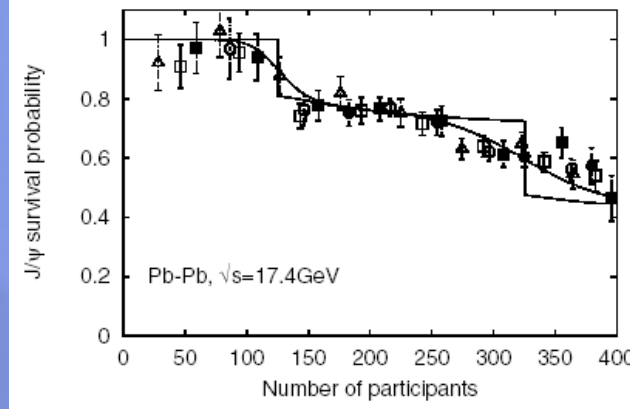
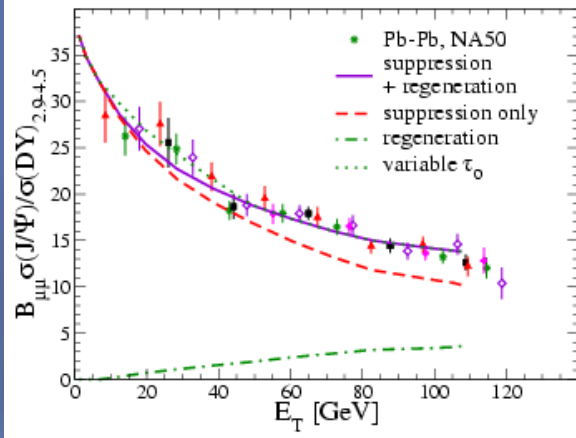


Etude avec un grand nombre de systèmes  
p-A absorption normale (effet nucléaire froid)  
Changement de régime seulement en Pb-Pb

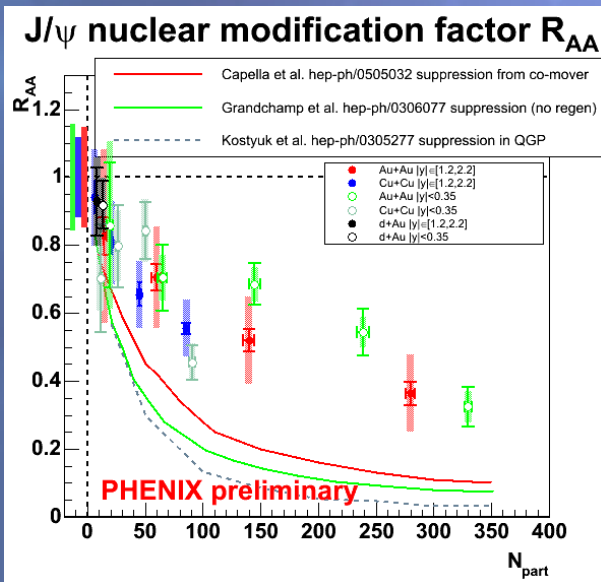
Bataille de modèles théoriques  
avec et sans QGP pour expliquer  
ces données...



# Suppression des quarkonia : le cas du $J/\psi$ ... 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  
 $J/\psi$  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<sup>ème</sup> cours.