

Prospectives IN2P3/IRFU 2012-2022

Photons, jets, hadrons charmés et beaux

Magali Estienne

pour le groupe Plasma Quarks-Gluons

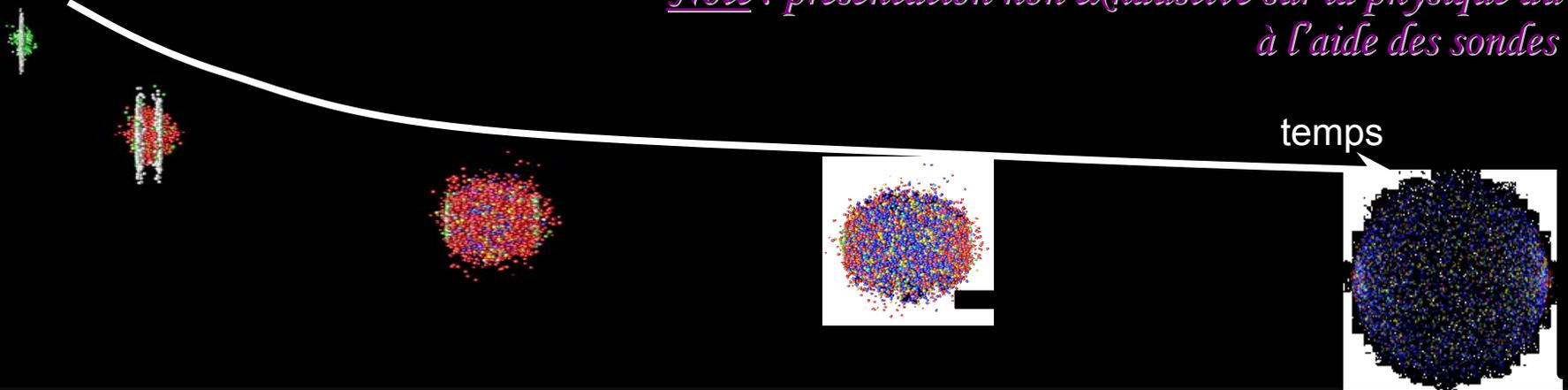


Giens, 2 avril 2012



Cette présentation

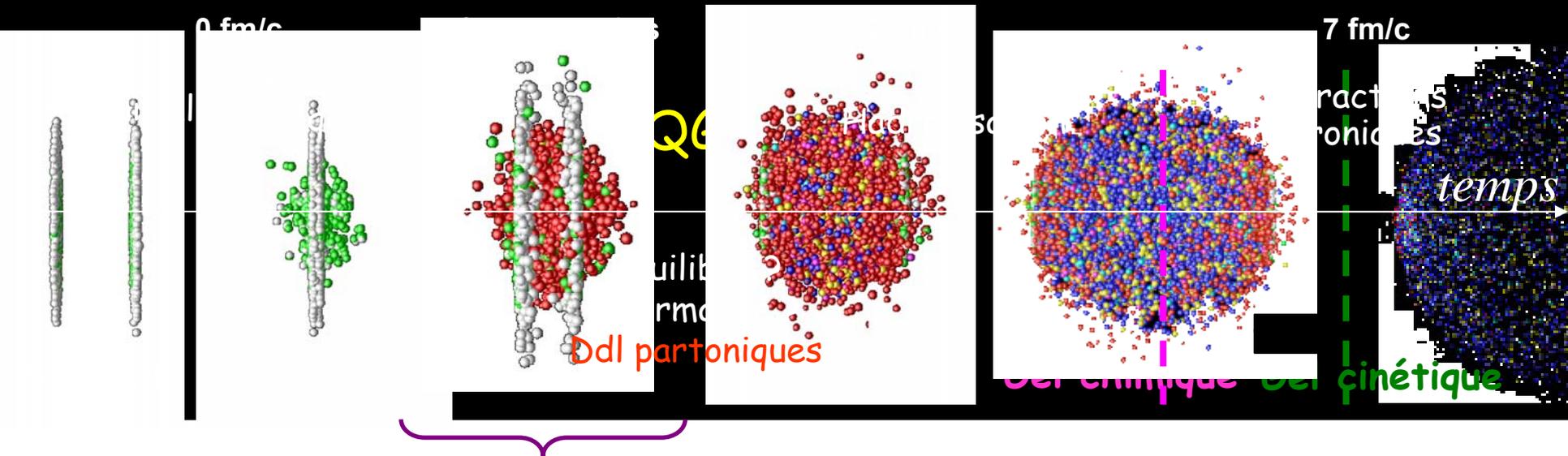
Note : présentation non exhaustive sur la physique du QGP à l'aide des sondes dures



- ❑ Motivations pour l'étude des photons, des jets et des hadrons charmés et beaux
- ❑ Premières analyses de physique au LHC et prochaines étapes d'analyse
- ❑ Les projets d'upgrade français :
 - ALICE-France
 - Upgrade du trajectographe interne, ITS
 - Upgrades du calorimètre
 - CBM : Diagramme de phase et point critique

Motivations pour l'étude des saveurs lourdes ouvertes, des photons et des jets

Les sondes dures pour caractériser le plasma



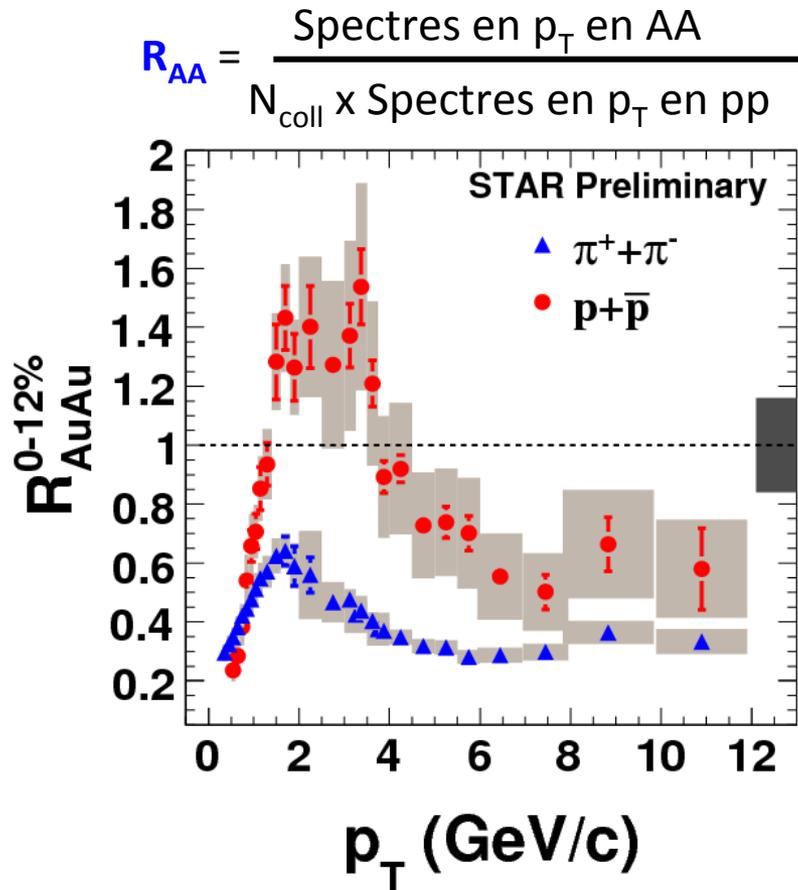
Les sondes dures produites tôt :

- $m_b > m_c \gg \Lambda_{\text{QCD}}$, jets et photons issus de processus durs de grande énergie
- Glauber scaling $\propto N_{\text{coll}}$
- Modifiées ensuite dans le plasma
- Conditions initiales de formation
- Propriétés du milieu dense
- Degré de thermalisation

Emergence à RHIC en 2003/2004, priorité pour RHIC II (> 2013)

Sondes privilégiées au LHC → 2022, qui s'imposent et motivent les upgrades

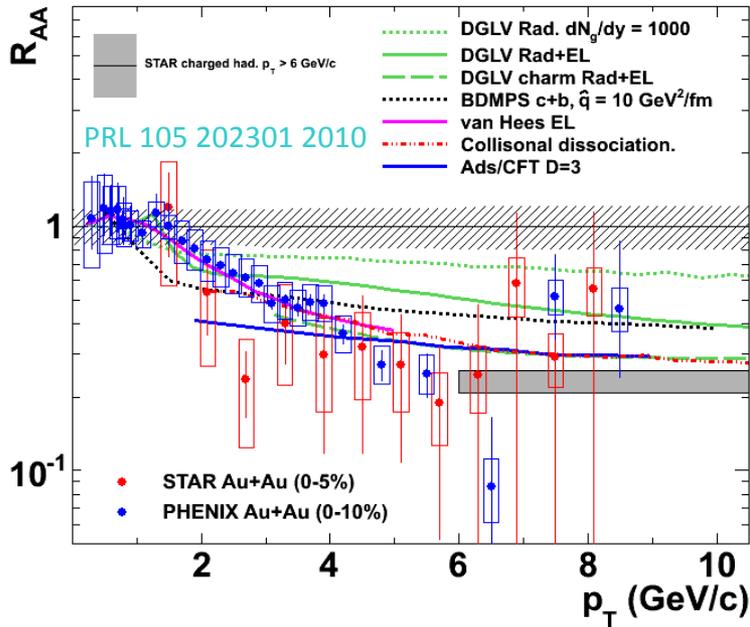
Sonder l'état final avec le R_{AA}



- Production thermique à bas p_T
- Séparation baryon / méson à p_T intermédiaire
- Forte suppression à grand p_T
 - Y a-t-il une différence significative entre baryon et méson ?
- Même comportement observé dans le secteur de l'étrangeté

A poursuivre dans le secteur des saveurs lourdes...

Hadrons lourds, photons et jets



□ Mesures indirectes via décroissances semi-leptoniques

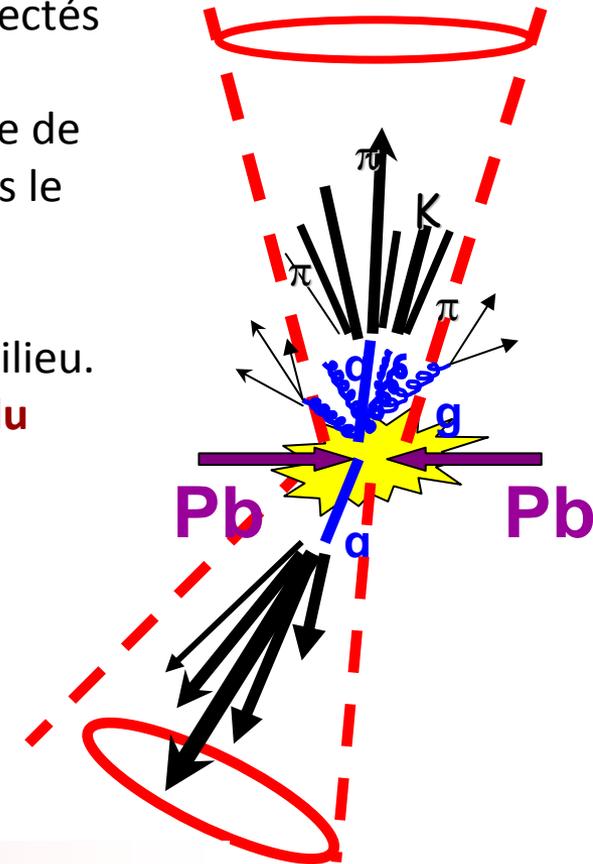
➤ Anomalie de suppression ?

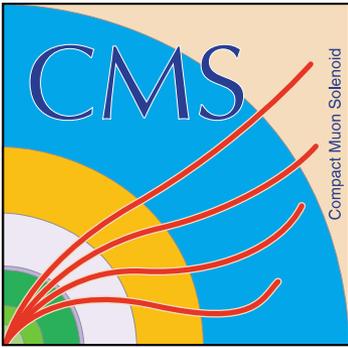
LHC et upgrades

Nécessité de mesures directes des mésons D par canal hadronique
 Discrimination non modèle dépendante charme / beauté et rapport Λ_c/D
 Mesures de précision, corrélations X-jet (X= γ , jet, b, Z) et interactions jet milieu

□ Motivations pour les jets et les photons

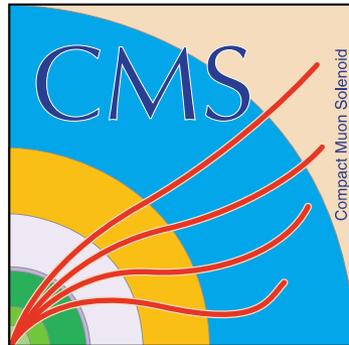
- **Photons** : non affectés par le milieu dense
- **Jets** : bon contrôle de leur production dans le vide. Leurs forme et composition sont modifiées dans le milieu.
- **Mesure globale du quenching !**

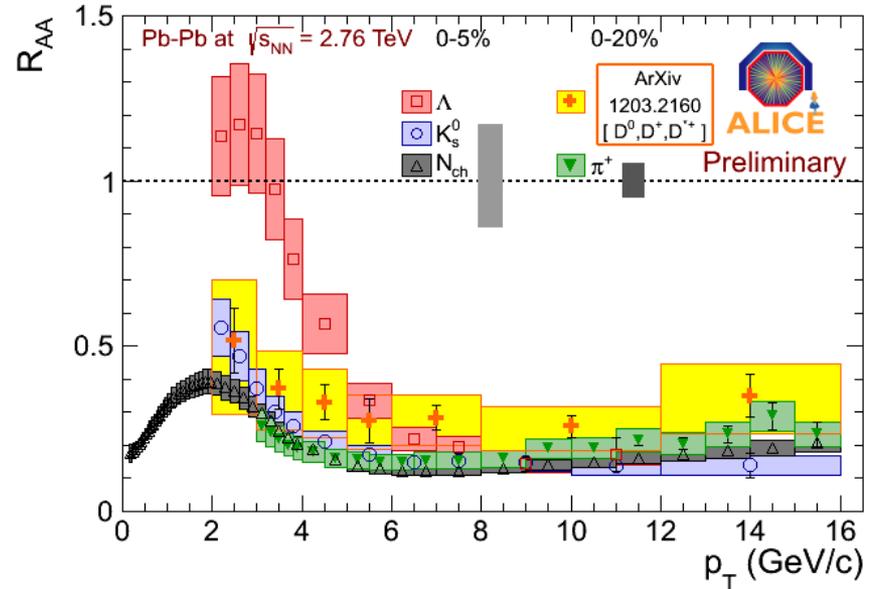
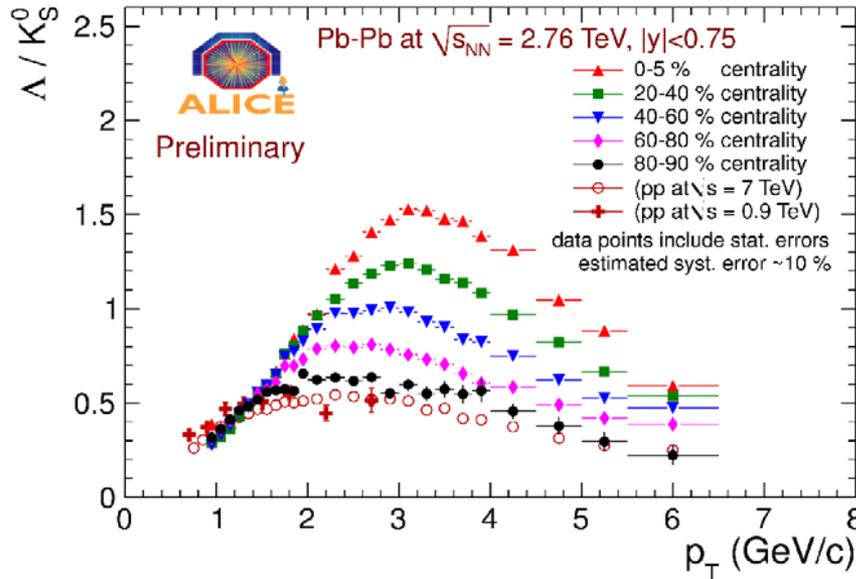




Premières analyses de physique au LHC et prochaines étapes d'analyse

Premières analyses de physique dans les secteurs du charme et des jets pour ALICE et CMS





- ❑ Anomalie du rapport Λ/K_s^0 au LHC
- ❑ En PbPb, l'amplitude augmente avec la **centralité** et avec \sqrt{s} en comparant RHIC et LHC
- ❑ Tendance confirmée au LHC par la combinaison coalescence/fragmentation ?

- ❑ Mesures D par canal hadronique, $S/B \sim 1/10$
- ❑ R_{AA} même constat qu'à RHIC :
 - mésons \sim particules chargées
 - baryons compétition augmentation p_T intermédiaire et suppression à grands p_T ,
 - **pas de dépendance flagrante avec la saveur et la masse à grands p_T**
 - **Que dire du Glauber scaling à bas p_T ?**

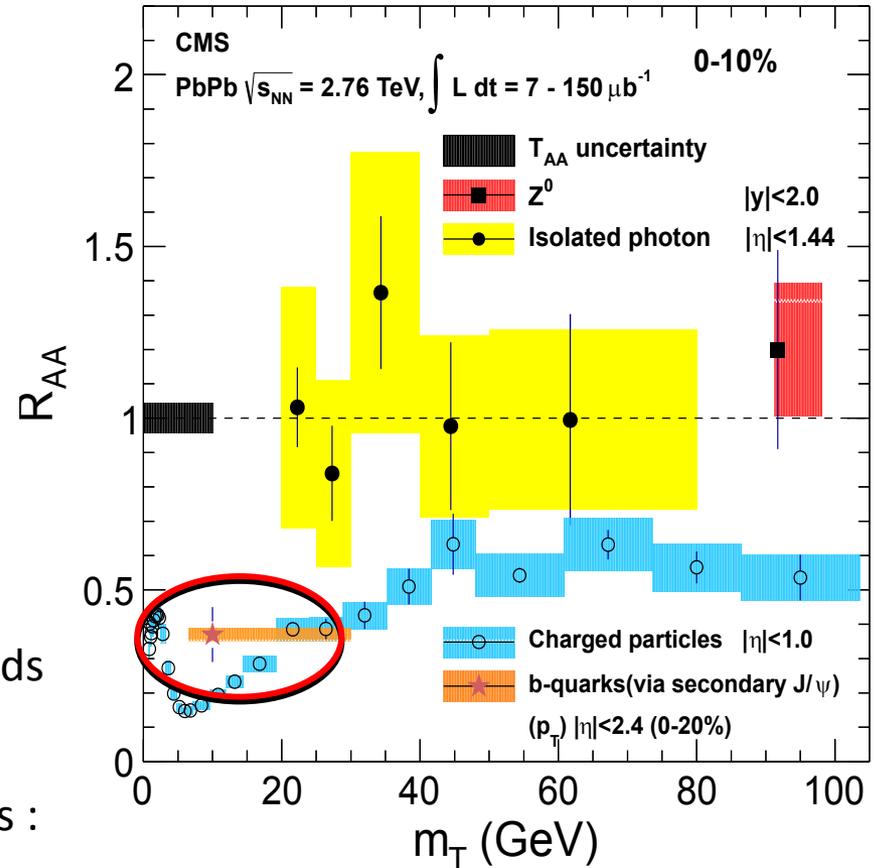
Mésons B supprimés et photons isolés



Première mesure des mésons B par CMS :

- ❑ $B \rightarrow J/\psi$ mesuré par vertex déplacé
- ❑ Première mesure de la suppression des quarks b !
- ❑ Suppression quasiment équivalente aux hadrons chargés inclusifs
- ❑ Perte d'énergie prédite plus petite du fait de l'effet de "cône mort"

[arXiv:1201.5069](https://arxiv.org/abs/1201.5069)



Sondes de référence : Glauber scaling

- ❑ Données 2010 ($6.8 \mu\text{b}^{-1}$), mesures de photons directs isolés par CMS en ions lourds
- ❑ Premières mesures de bosons $Z^0 \rightarrow \mu\mu$ compatibles avec les prédictions théoriques :

[PRL106 \(2011\) 212301](https://arxiv.org/abs/1011.2123)

Premières mesures de jets « chargés » en 2010

❑ Données PbPb 2010 ($\sim 3\mu\text{b}^{-1}$), spectres en p_T
→ 100 GeV/c dominés par les fluctuations du bruit de fond pour $p_T < 60/70$ GeV/c.

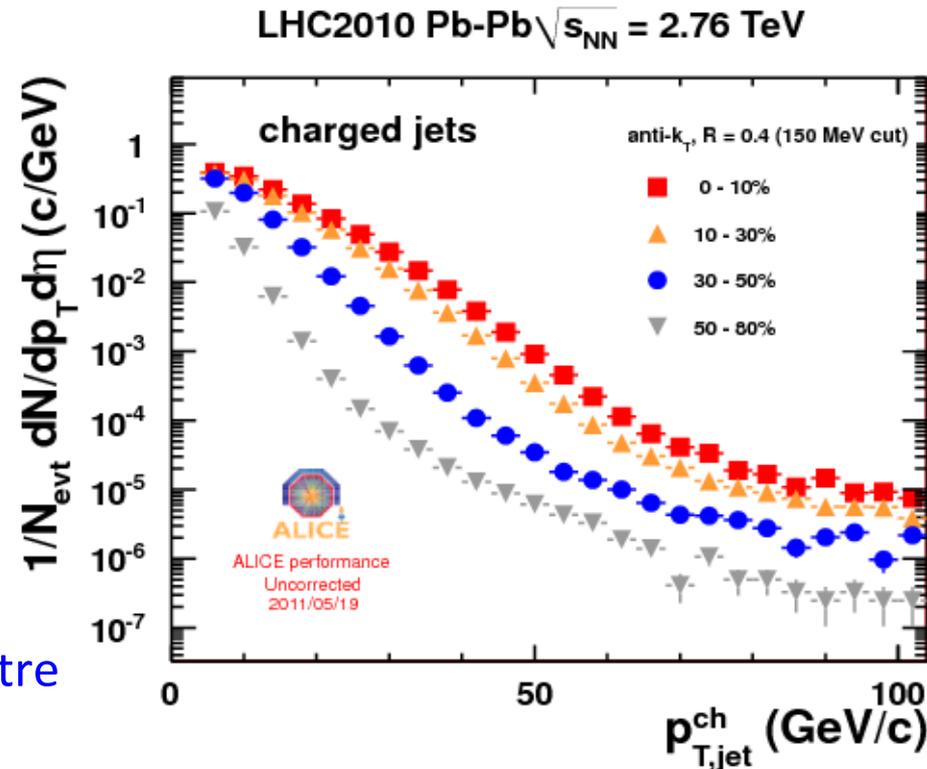
❑ Caractérisation du bruit de fond et de ses fluctuations en laboratoire

❑ Influence du flot : Shift important de l'échelle en énergie des jets en fonction de l'orientation au plan de la réaction

2011, premières mesures avec le calorimètre

❑ Calorimètre d'acceptance suffisante pour accéder à la reconstruction des jets « chargés+neutres » avec une bonne résolution

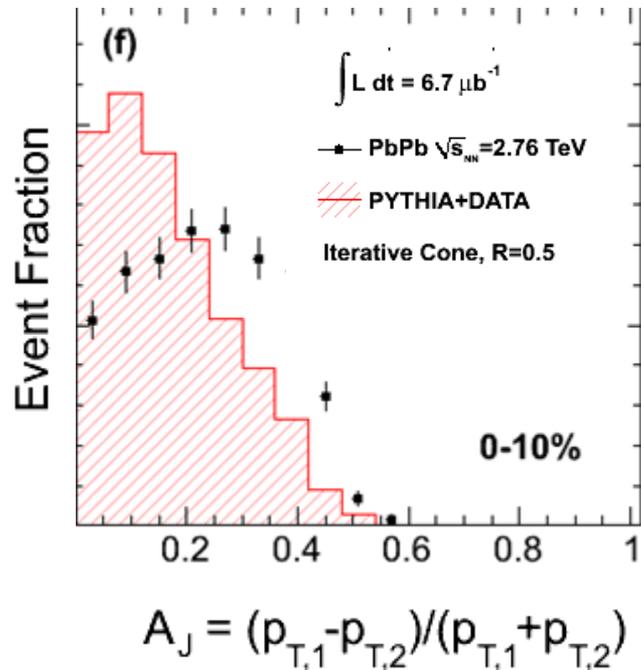
❑ Exploitation du trigger EMCAL
➤ facteur de réjection en pp de ~ 1000



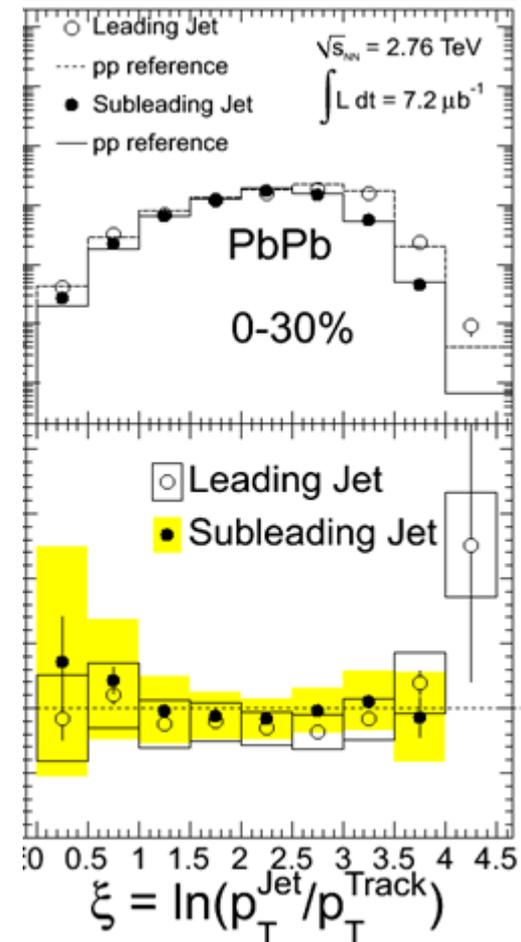
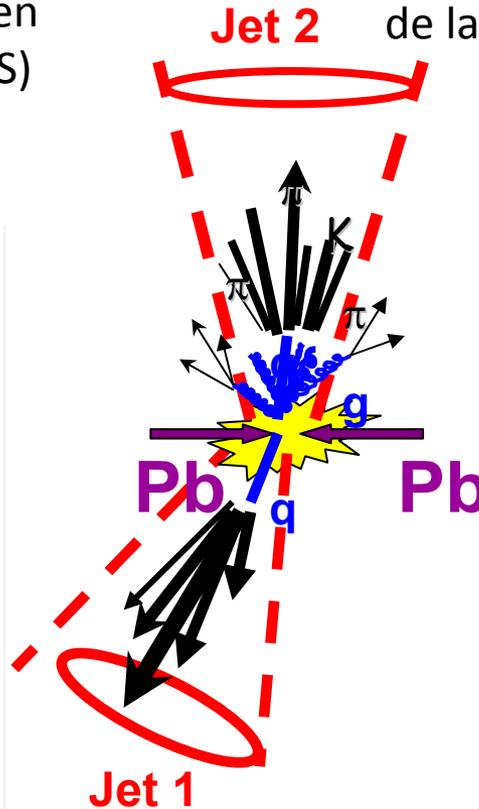
Caractérisation du quenching via les jets

1) Observation d'une **asymétrie** en dijet (d'abord montrée par ATLAS)

[Phys Rev C 84, 024906 \(2011\)](#)

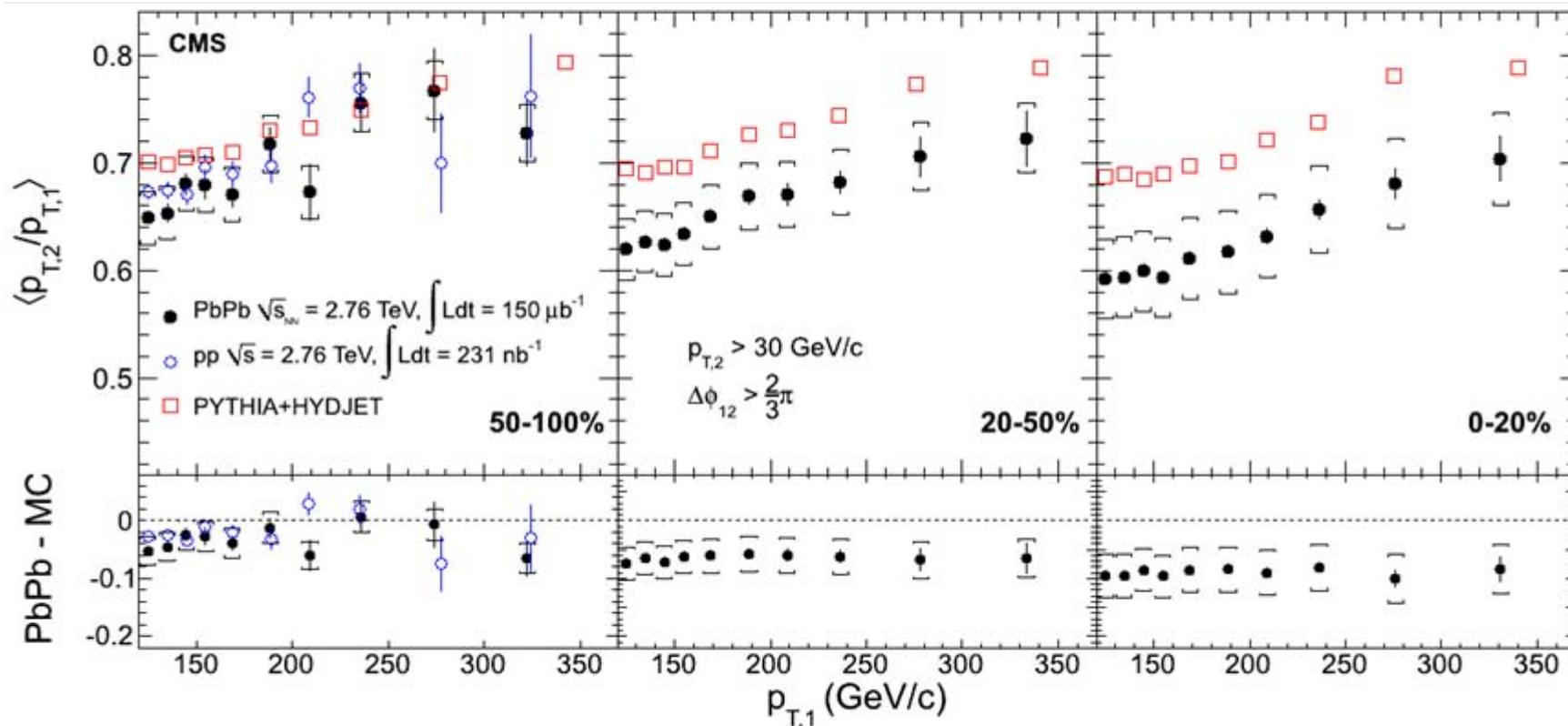


2) Comportement **comme dans le vide** de la partie à grand p_T des fonctions de fragmentation des jets



3) Un rayonnement mou émis à l'extérieur du cône de façon isotrope

[arXiv:1202.5022](https://arxiv.org/abs/1202.5022)



La suppression persiste jusqu'aux plus grands p_T de jet trigger

Prochaines étapes d'analyse : deux approches différentes pour ALICE et CMS

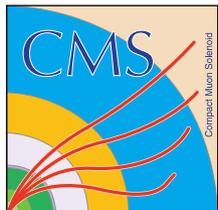
❑ Face à l'augmentation en luminosité au LHC :



ALICE

Nécessité d'upgrades pour ALICE
Prospectives d'analyse de physique à moyens termes

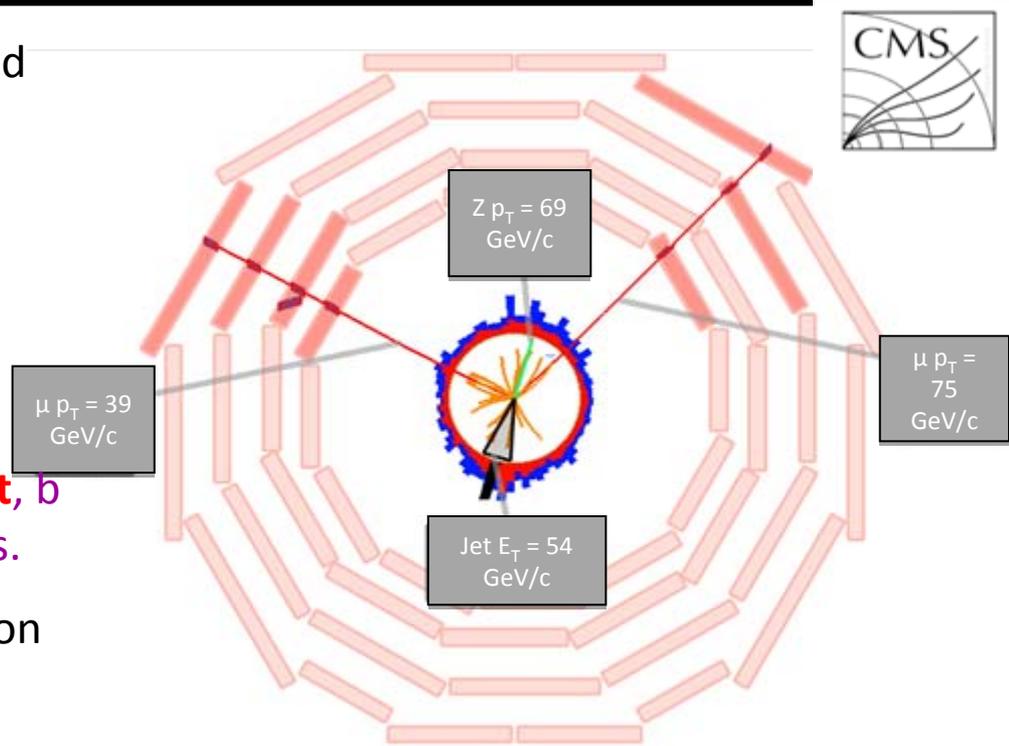
Trois laboratoires en France, 14 physiciens



Un système de détection autosuffisant
Concentration sur les analyses de physique jusqu'en 2022

Un laboratoire en France, 6 physiciens

- ❑ Poursuivre les analyses actuelles au grand potentiel avec plus de statistique.
- ❑ Données PbPb 2011 et au-delà :
 - ALICE : charme
 - CMS : beauté
 - Mesures de perte d'énergie différentielles : jet shapes, jet R_{AA} , etc.
 - 1^{ères} mesures de jets identifiés : γ -jet, b tagged jets (CMS), événements à 3 jets.
- ❑ 2012 pPb : Sections efficaces Jet et Photon
→ sensibles au nPDF des gluons
- ❑ Après premier shutdown : collisions symétriques d'ions plus légers.
- ❑ **Au-delà pour CMS** : large acceptance et large bande passante, des spécificités adaptées à l'augmentation de luminosité.
 - grande statistique γ +jet, b-jets, première mesure de Z+jet.
- ❑ **Au-delà pour ALICE** : upgrades de l'ITS et du calorimètre nécessaires



Un événement Z+jet en PbPb

Les projets d'upgrades français

❑ Face à l'augmentation en luminosité au LHC :



ALICE

Adaptée aux mesures de grande multiplicité et PID, upgrade du read-out des détecteurs principaux d'ALICE et de la DAQ

Vers des études de processus rares où ALICE est unique :

- Upgrade de l'ITS (upgrade global partie centrale)
- Upgrade du calorimètre

❑ Exploration diagramme des phases haute densité baryonique



Projet d'upgrade du trajectographe interne d'ALICE : ITS

- Un projet acté par la collaboration ALICE



ALICE

Hadrons charmés et beaux et très bas p_T
Perte d'énergie, hadronisation et thermalisation

1 laboratoire, 5 physiciens, 2 M€

Les ingrédients de l'upgrade de l'ITS

- ❑ σ_T du $\Lambda_c \sim 60 \mu\text{m}$ < résolution sur le paramètre d'impact de l'ITS actuel
- ❑ Solutions pour améliorer la résolution sur le dca des traces chargées :
 - introduction de couches de pixels plus proches possible de l'axe du faisceau
 - upgrade du beam pipe → couche la plus interne de l'ITS plus proche du point d'impact
 - pixels plus petits, budget de matière réduit (0.3% X_0) → meilleure résolution en position et impulsion



ALICE



Solutions:

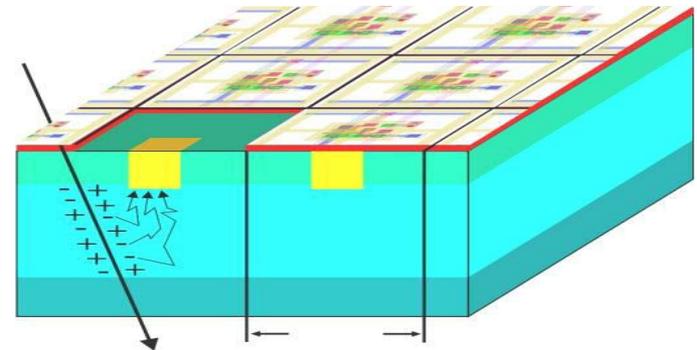
Deux configurations (pixels/strips) à l'étude:

- 1) 7 couches de Si-pixels ($4 \times 4 \mu\text{m}^2$)
- 2) 3 couches de Si-pixels ($4 \times 4 \mu\text{m}^2$) les plus internes + 4 couches de Si-strips ($20 \times 830 \mu\text{m}^2$) externes

Différents types de pixels à l'étude:

- 1) Pixels hybrides
 - 2) Pixels monolithiques
- « Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS) » - CMOS

La bonne technologie à la bonne place!
(fonction des conditions de taux de radiations,
résolution, vitesse de lecture et surface (prix))



- Pixels CMOS minces ($50 \mu\text{m}$) en technologie $0.18 \mu\text{m}$
- Résolution spatiale = $4 \mu\text{m}$ dans les 2 dimensions
- Temps de lecture $< 7 \mu\text{s}$
- Tolérance aux radiations de qq MRad et $> 2 \times 10^{13} n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$

Résolution sur le « pointing angle » :
 $100 \times 200 \mu\text{m}^2 \rightarrow 40 \times 40 \mu\text{m}^2$

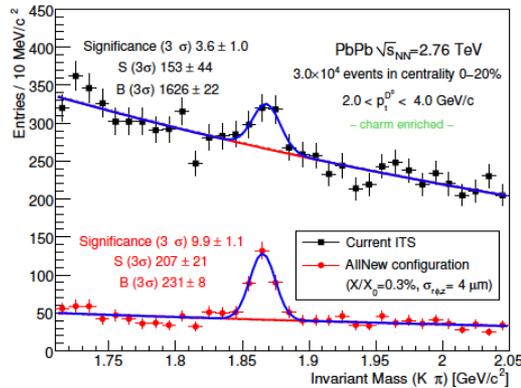
Une des technologies MAPS proposée par l'IPHC à ALICE
Collaboration groupes ALICE et PICSEL de l'IPHC

2 à 3 ans de R&D puis production (2015-16), installation et commissioning d'ici 2018

Mésons D à bas p_T et baryons charmés

Mésons $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$:

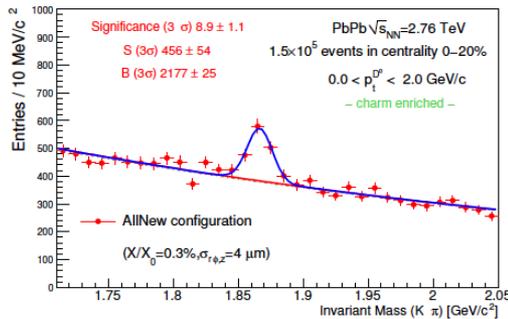
□ $2 < p_T < 4 \text{ GeV}/c$: Amélioration significative



$S/B \sim 1/10$
Sig = 3.6

↓
 $S/B \sim 1$
Sig = 10

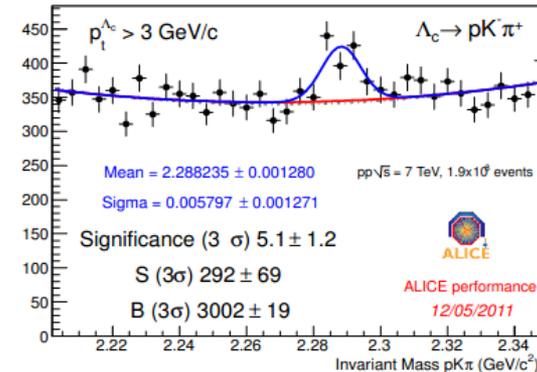
□ $0 < p_T < 2 \text{ GeV}/c$: non accessible ITS actuel



$S/B \sim 1/5$
Sig = 9

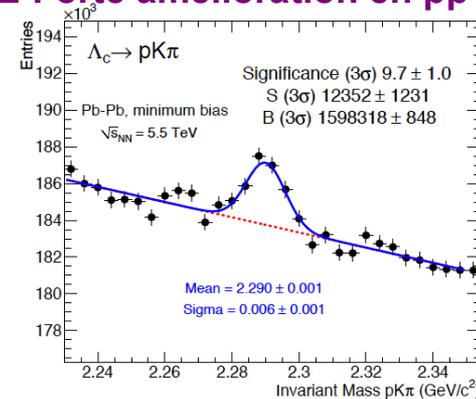
Baryon $\Lambda_c \rightarrow p K^- \pi^+$:

□ Données réelles pp !, $p_T > 3 \text{ GeV}/c$!



$S/B \sim 1/10$
Sig = 5

□ Forte amélioration en pp et accès à Pb-Pb



$S/B \sim 1/100$
Sig = 10



ALICE



IPHC

Institut Pluridisciplinaire
Hubert Curie
STRASBOURG



Projets d'upgrade du calorimètre d'ALICE

- **Un projet en cours de discussion dans ALICE**



ALICE

Corrélations, PID dans les jets, interactions soft/hard
Perte d'énergie, hadronisation

2 laboratoires, 9 physiciens, 0.5 M€ (0.8 M€, personnel)

Un calorimètre récent dans ALICE

❑ Non conçu à l'origine pour les jets, ALICE s'équipe en conséquence depuis 2010 :



ALICE

- 2005, premier « upgrade » : un calorimètre (EMCal) acté
- EMCal en 3 étapes : 2010 = 4 SuperModules (SM), 2011 = 10SM, 2012 = 10+2/3 de SM
- 2010, première extension actée : projet DCal pour les corrélations back-to-back.

❑ Jalons en 2 phases à venir dans le projet d'upgrade du calorimètre

- 1) Au prochain long shutdown de 2013-2014 : installation de DCal et son extension.
 - ⇒ Consolidation française humaine mais pas financière
- 2) Au deuxième long shutdown de 2018 : projet d'upgrade du calorimètre
 - ⇒ Souhait d'implications françaises financière et humaine

❑ 3 points de physique à l'étude :



1) Gerbe partonique :

- Dans le vide (pQCD) et dans le milieu (perte d'énergie). Interactions douces et dures dans le milieu dense
 - ⇒ Mesures de précision, corrélations jets

2) Fragmentation :

- Pas bien comprise, ni contrainte
- Composition hadrochimique des jets modifiée
 - ⇒ PID dans les jets

3) Etat initial et PDF :

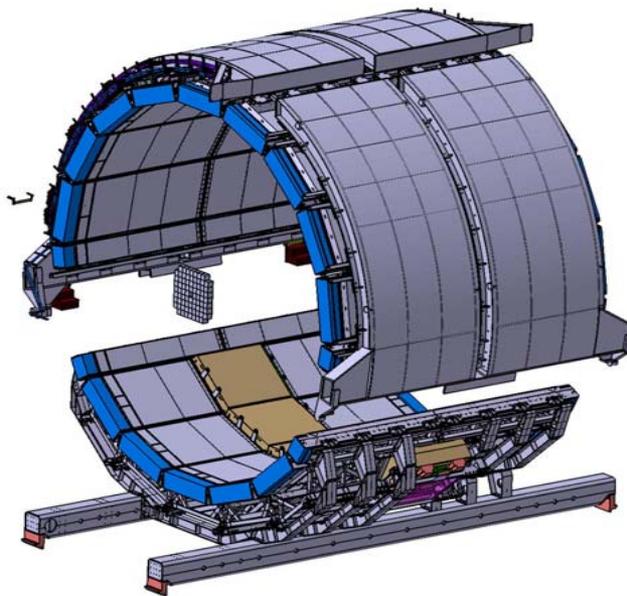
- Physique à petit x , $|\eta| > 3$ en pA et AA, photon/pion discrémiation

Simulations en cours...

Les projets d'upgrade envisagés

□ Comment ?

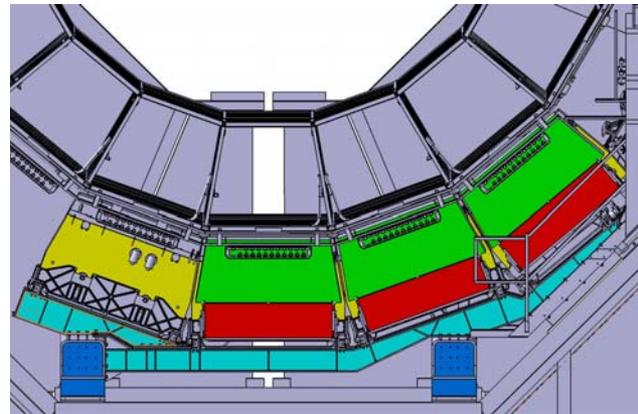
- Trois projets potentiels autour d'une conistance dans ALICE :
 - Exploitation région de mi-rapacité (excellent tracking et PID, contrôle de l'UE)
 - Très bien positionné dans la région des bas p_T pour caractériser la structure des jets
 - Interaction soft medium / hard processes (Terra incognita)
- Un choix parmi :



FullCal-phi

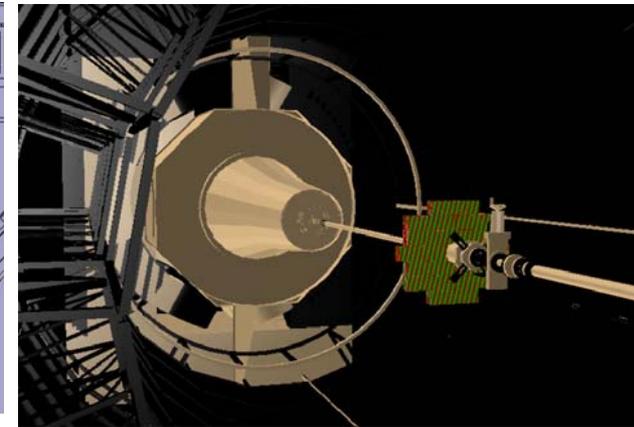
Techno : calorimètre à échantillonnage de type schashlik

But : Extension en phi pour mesures de précision, jet et corrélations



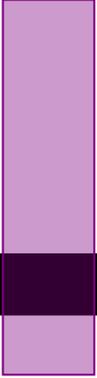
DCal-VHMPID

Techno : Couplage EMCal + cerenkov
But : mesure du PID dans les jets à grands p_T



FoCal

Techno : Calorimètre vers l'avant (capteur CMOS = 1 option technologique)
But : accès aux petits-x et mesure des PDFs



L'expérience CBM à FAIR

□ Un projet complémentaire au LHC :



Charmonium, charme ouvert et mésons vecteurs
Transition de phase, équation d'état à grand ρ_B

1 laboratoire, 2 physiciens, 0.3 M€

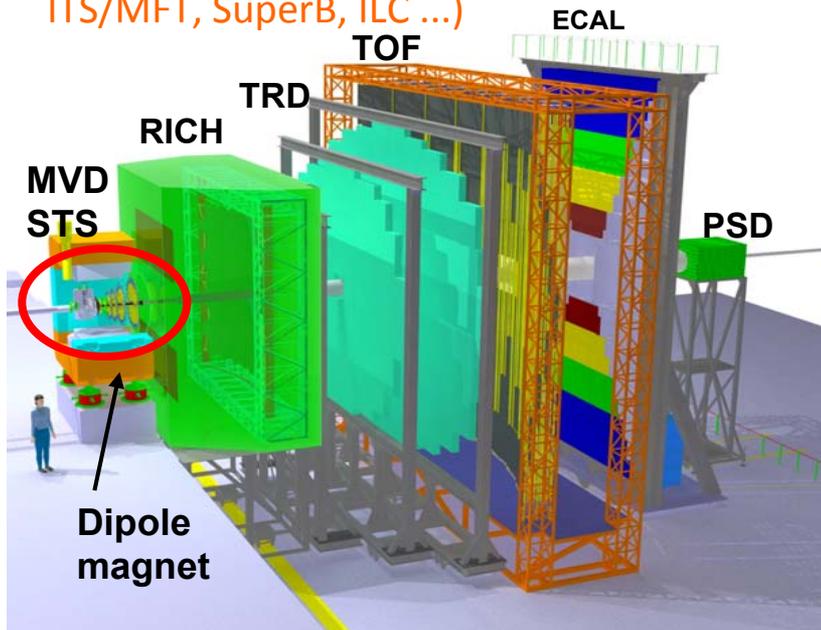
Expérience CBM : sonder transition et point critique

CBM : Compressed Baryonic Matter experiment

- Une des expériences majeures de FAIR
- FAIR (GSI-Darmstadt) : en cours de construction, démarrage en 2018

- ❑ Coll. Internationale : 400 membres, 15 pays
- ❑ **IPHC (équipe PICSEL)** est impliqué dans le détecteur de vertex (MVD)

- Développement de capteurs à pixels CMOS (CPS) adaptés au MVD
- Synergie entre différents projets (ALICE-ITS/MFT, SuperB, ILC ...)



❑ Exploration diagramme de phases, région de hautes densités baryoniques nettes

- Point critique et au delà
- Restauration de la symétrie chirale
- Equation d'état à haute densité baryonique

❑ Quelles observables, comment ?

- Sondes rares sensibles aux effets de haut ρ_B et à la transition : **charmonium, charme ouvert, mésons vecteurs légers en pp et AA de 2 à 45 AGeV ($\sqrt{s_{NN}} < 10$ GeV)**
- **Faisceaux d'IL de haute intensité**, disponibles plusieurs mois/an
- **Détecteurs de nouvelle génération** : très rapides, radio-résistants

❑ Première phase du projet

- **2012 – 2015 : R&D**
 - Durée de lecture des capteurs (x3)
 - Tolérance aux radiations (x7)
- **2016 – 2018 : Construction du détecteur**
- **> 2018 : Prises de données**

Conclusion

- ❑ Très forte augmentation de la section efficace dure au LHC
- ❑ Sondes privilégiées :
 - Saveurs lourdes
 - Photons et jets
- ❑ D'ores et déjà de nombreux résultats remarquables de physique au LHC
- ❑ CMS : pas d'upgrade, perspectives d'analyse de physique jusqu'en 2022
- ❑ Projets d'upgrade en France :

- **ALICE-ITS :**

- Acté par ALICE (upgrade global) pour mésons/baryons lourds et mesure de très bas p_T
- 1 laboratoire, 5 physiciens, 2 M€

- **ALICE-EMCal :**

- Projet plus récent en cours de discussion dans la collaboration essentiel pour le PID dans les jets et les interactions jets/milieu.
- 2 laboratoires, 9 physiciens, 0.5 M€

⇒ Une complémentarité certaine entre les deux upgrades à exploiter à l'avenir

- **CBM-MVD :**

- Autour du diagramme des phases à grand ρ_B
- 1 laboratoire, 2 physiciens, 0.3 M €