

Stratégies de détection en physique nucléaire de haute énergie

- Introduction
- Stratégies de détection
- Instruments de détection
- Conclusion

Ecole Internationale Joliot-Curie
Seignosse
Septembre 2008

Jerome Baudot
(baudot@in2p3.fr)



■ Pourquoi mesurer ?

- Comparaison théorie – expérience
- Utilité d'une mesure ~ précision

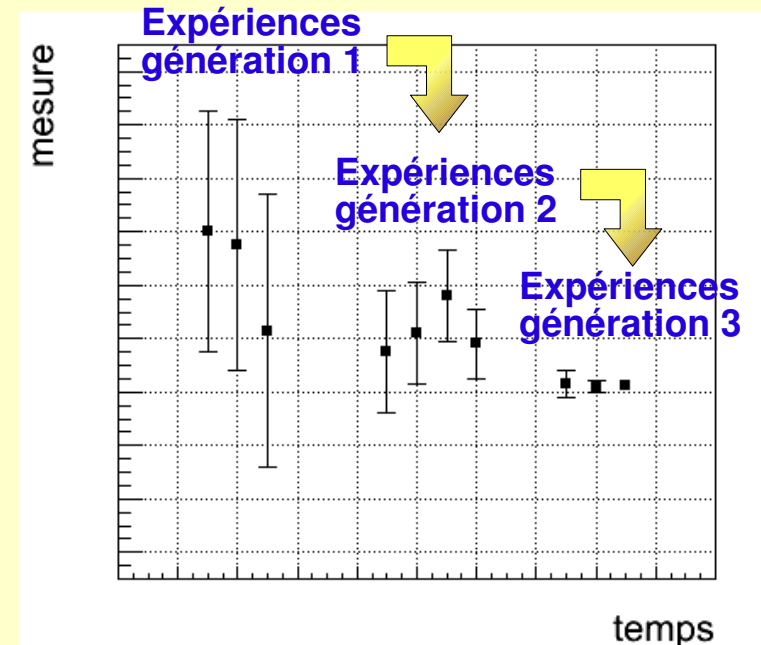
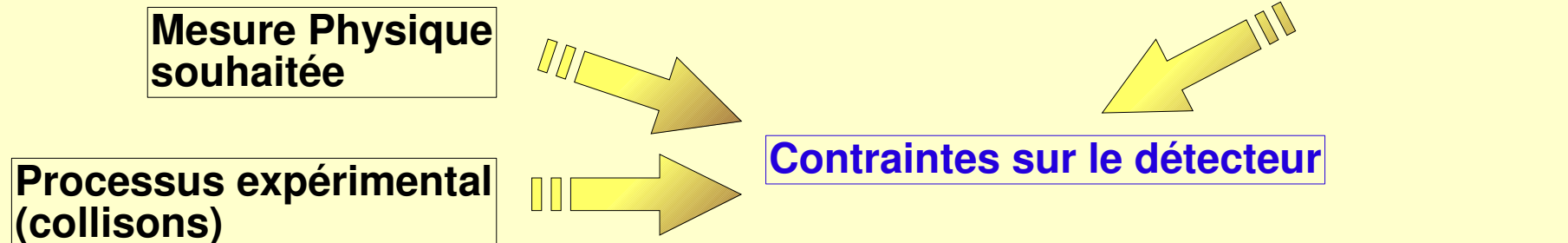
■ D'où vient l'imprécision d'une mesure ?

- Incertitude statistique
 - Quantité d'information recueillie
- Incertitudes systématiques
 - Qualité ET maîtrise de l'appareillage
 - Nature de la mesure

⇒ **IMPORTANTANCE DE LA CONCEPTION DES INSTRUMENTS**

■ Comment concevoir un instrument ?

- Rem : Spécificité physique subatomique



■ Le plan de ce cours

- **Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)**
 - **Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie**
 - **La structure des nucléons et des hadrons**
 - **Le plasma de quarks et de gluons**
 - **Synthèse des besoins**

- **Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)**
 - **La trajectométrie**
 - **L'identification des particules**
 - **La calorimétrie**
 - **Le déclenchement**
 - **Synthèse des performances**

- **Conclusion**

■ Quelques remarques sur cette présentation

- Exemples de mesures pas exhaustifs, plus représentatifs
- Pas de références voir cours rédigé

■ De quoi ne parlerons-nous pas ?

- L'interaction rayonnement – matière
- Les techniques des détecteurs (voir Joël Pouthas et Christophe De La Taille)
- L'analyse des données (voir Jérôme Giovinazzo et Laurent Apecetche)
- Les accélérateurs

■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
 - Motivations
 - Situations expérimentales
 - Caractéristiques expérimentales
- La structure des nucléons et des hadrons
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

- La trajectométrie
- L'identification des particules
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

Motivations

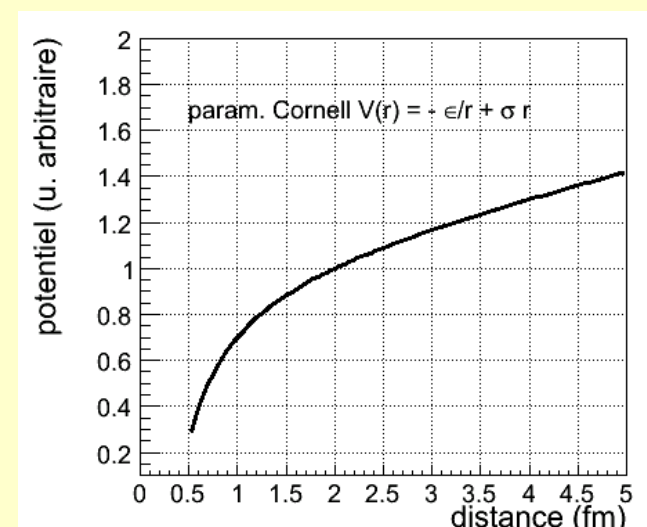
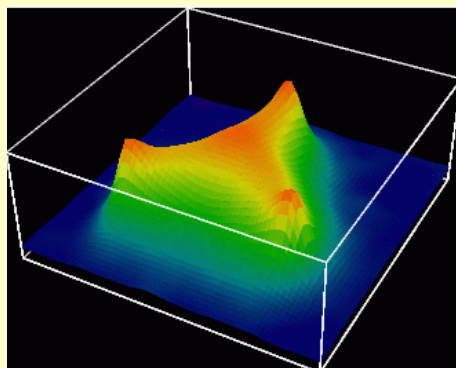
● Phys. Nucléaire : comprendre des systèmes complexes régis par l'interaction forte

→ Difficulté liée aux 2 régimes de la chromodynamique quantique (QCD)

- Régime perturbatif : courte distance
- Régime non-perturbatif : longue distance

→ Introduit naturellement une échelle d'énergie

$$\Lambda_{\text{QCD}} \sim 1 \text{ GeV}$$



● Haute énergie : présence systématique de **processus perturbatifs**

→ Apparition des degrés de liberté élémentaires de la théorie : **les partons** (quarks, gluons)

→ Structure profonde des objets (nucléons, hadrons, noyaux)

- Obtenir un modèle théorique
- Comprendre le confinement

→ Thermodynamique d'une matière partonique (plasma de quarks et de gluons)

- Mise en évidence
- propriétés

Les effets non-perturbatifs sont inévitables !

■ Situations expérimentales :

● Systèmes étudiés : ~ cibles

- Nucléons, hadrons = sac de partons
- Noyau ou superposition de noyaux = sac de nucléons ou de partons

● Collisions :

- lepton – hadron = e+p, e+h, μ +h @ CEBAF, HERA, SPS (eRHIC)
- hadron – hadron = p+p, h+h @ SPS, RHIC, LHC
- noyau – noyau = p+A, A+B @ SPS, RHIC, LHC

● Energie :

- **CEBAF** : cible-fixe e^- à 6 GeV, 12 GeV pour 200?
- **HERA** : cible-fixe e^\pm à 27,5 GeV
- **SPS** : cible fixe Pb à 158 GeV, μ 60-190 GeV, p à 450 GeV
- **RHIC** : collisionneur A+A à 200 GeV, p+p à 500 GeV
- **LHC** : collisionneur A+A à 5,5 TeV, p+P à 14 TeV

■ Caractéristiques expérimentales

● Collisions inélastiques

- **Nouvelles espèces** de particules
- Hadrons : des plus légers, ρ , η ... aux plus lourds p , Ω_b
- Leptons : e , μ , τ
- Photons (désintégration ou rayonnement)

● Haute énergie

- Spectre en impulsion très large : qq 10 MeV \rightarrow qq 10(0) GeV
- Cinématique particulière : exemple des jets

● Processus plus ou moins rares

- Sections efficaces faibles \rightarrow haute luminosité
- **Contraintes indirectes** (/ processus à mesurer)
 - Rapidité des détecteurs
 - Radio-résistance
 - Granularité ou taille

\Rightarrow Complexité des détecteurs assurées !

■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- **La structure des nucléons et des hadrons**
 - Motivations et principe
 - Diffusions profondément virtuelle
 - Hadrons exotiques
 - bilan
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

- La trajectométrie
- L'identification des particules
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

Motivations

- Décrire un système en interaction forte
 - Dynamique, spin, nature des constituants
- Comprendre le confinement

Le principe

- Une sonde – un objet cible
- Cinématique

→ Distance sondée $d \sim \frac{1}{Q} = \frac{1}{\sqrt{-q^2}}$

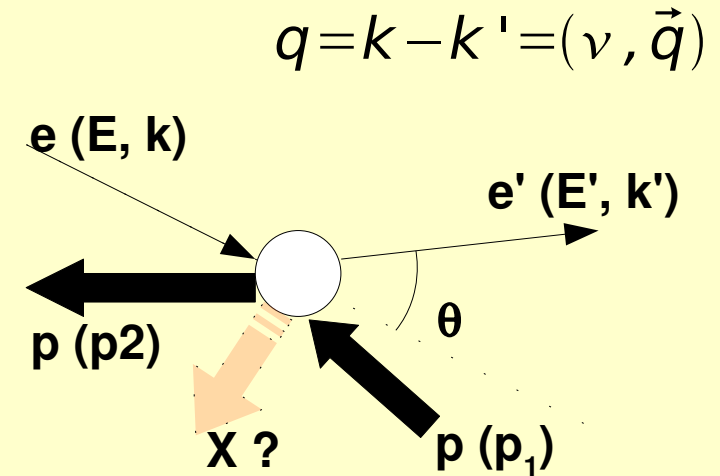
→ Fraction d'impulsion du parton sondé

→ Fraction d'énergie perdu par l'e- $\nu = E - E'$ $y = \frac{-\nu}{E} \in [0,1]$

→ Énergie totale du système $\gamma^* p$ $W^2 = (q + p_1)^2$

Section efficace

- Dépendent de x_B, Q^2, y
- Dépendent de $X \Leftrightarrow$ processus exclusif



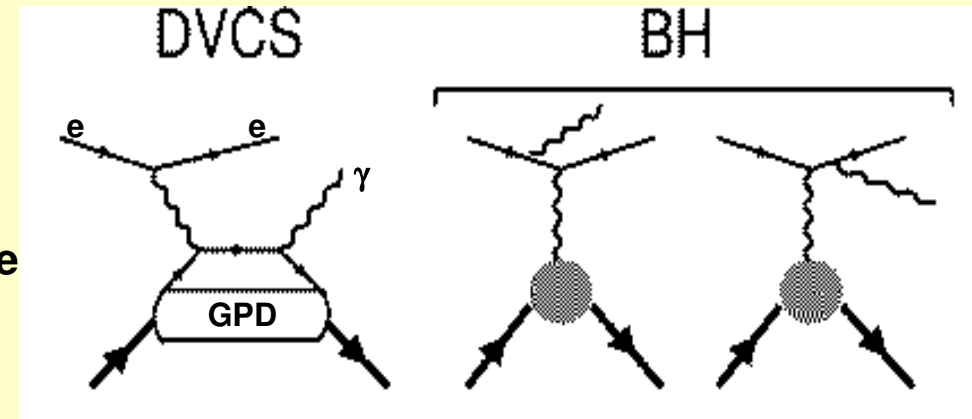
$$x_B = \frac{-q^2}{2M_N \nu} \in [0,1]$$

$$y = \frac{-\nu}{E} \in [0,1]$$

$$W^2 = (q + p_1)^2$$

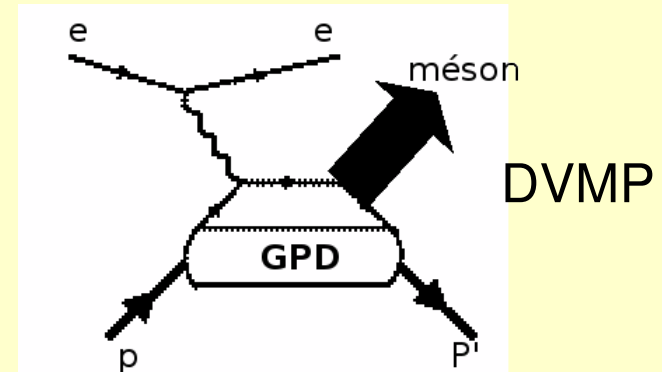
Mesure des GPD

- fonctions *Generalized Parton Distribution*
- Diffusion Compton profondément virtuelle
 $e + p \rightarrow e' + \gamma + p'$
- Production de méson profondément virtuelle
 $e + p \rightarrow e' + h + p'$



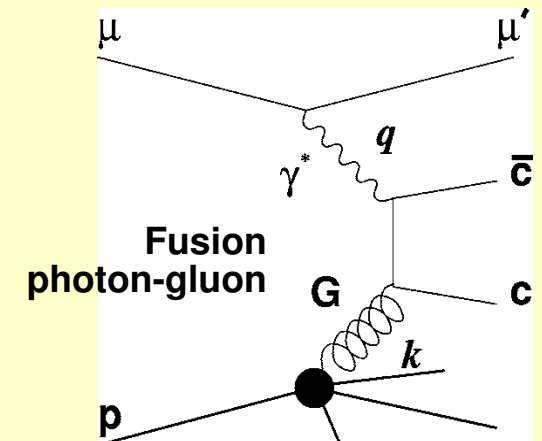
Mesure de ΔG

- polarisation des gluons
- En diffusion profondément inélastique
 $\mu + p \rightarrow \mu + D + X$



Etats finals expérimentaux

- lepton diffusé
- Une particule émise canal exclusif
- Proton diffusé
- Bruit physique pour DVCS : $e + p \rightarrow e' + \pi^0 + p' \rightarrow e' + \gamma\gamma + p'$ avec un des γ perdu
 - Hors acceptation géométrique
 - Énergie trop faible



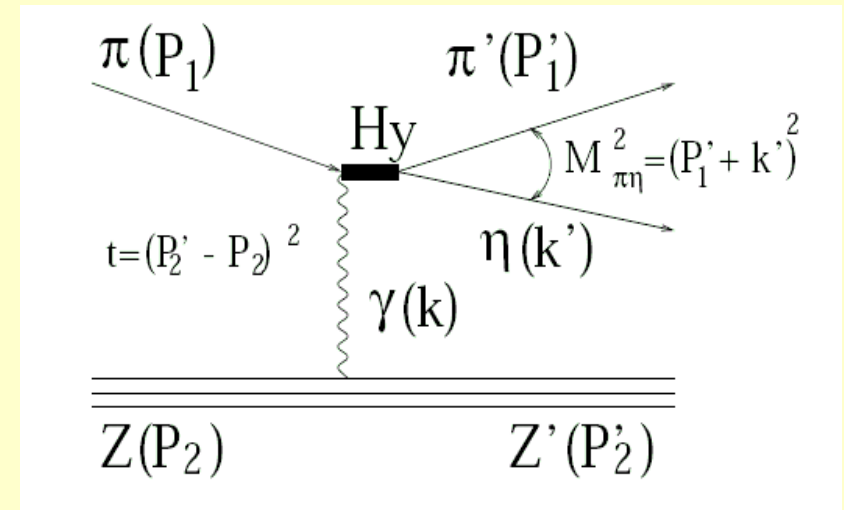
Recherches de nouveaux hadrons exotiques

Les hadrons connus sont-ils les seuls états possibles ?

- Mésons : $q\bar{q}$
- Hadrons : qqq $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Hadrons exotiques

- Prédits par QCD : $1,5 < \text{mass} < 2 \text{ GeV}/c^2$
- Boules de glue $J^{PC} = 0^{++}$
- Hadrons hybrides I $J^{PC} = 1^{-+}$

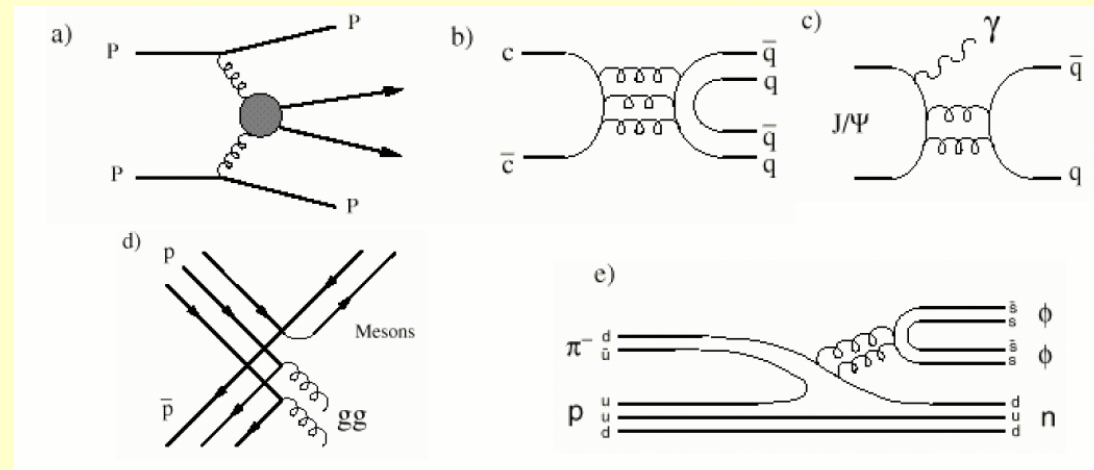


Principe

- Projectile = hadron @ 100-180 GeV

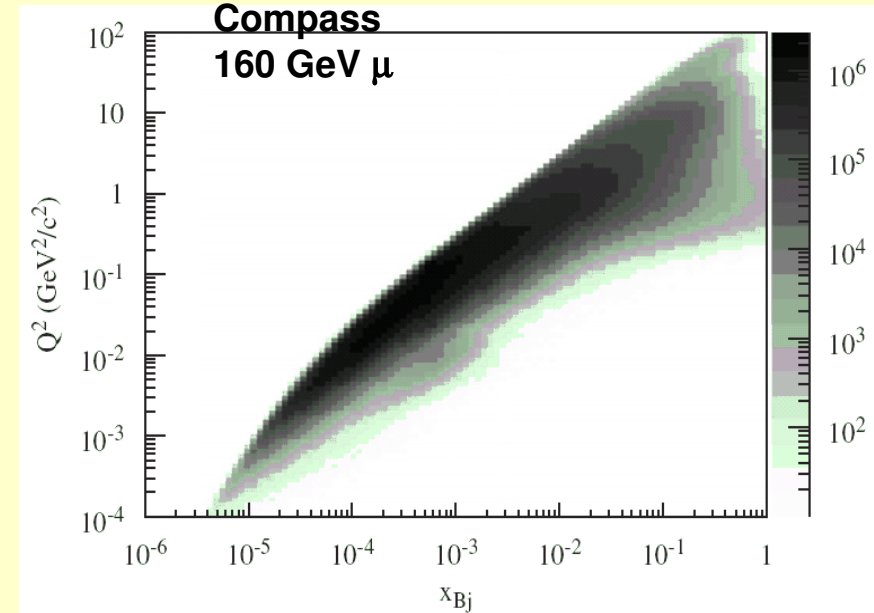
Etats finals expérimentaux

- Cible et projectile diffusés (lent, rapide)
- Produits de désintégration du hadron recherché
ex : $M \rightarrow \eta\eta \rightarrow \gamma\gamma\gamma\gamma$



■ Bilan

- **Mesure de la cinématique**
 - Trace de l'e- diffusé
 - Énergie du photon
 - Énergie du proton
- **Identification de l'état final (processus **exclusifs**)**
 - Hermiticité ~ grande acceptance géométrique
 - Traces des particules de désintégration
 - Masse invariante de particules de désintégration
- **Luminosité : 10^{32} à 10^{35} cm⁻² s⁻¹**
- **Energie :**
 - Permet d'atteindre domaine (x_B , Q^2) désirée
- **Cible fixe**
 - Il y a un faisceau à évacuer !
 - Cible ± épaisse
 - densité ponctuelle → 10^5 part. s⁻¹ mm⁻²



■ Expériences

- Hall A, B(CLAS), C, (D >200?) à CEBAF - JLab
- HERMES à HERA – DESY
- COMPASS au SPS – CERN
- PANDA à FAIR – GSI (>201?)

■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- La structure des nucléons et des hadrons
- **Le plasma de quarks et de gluons**
 - Motivations et principe
 - Caractéristiques globales
 - Sondes indirectes
 - Sondes directes
 - Bilan
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

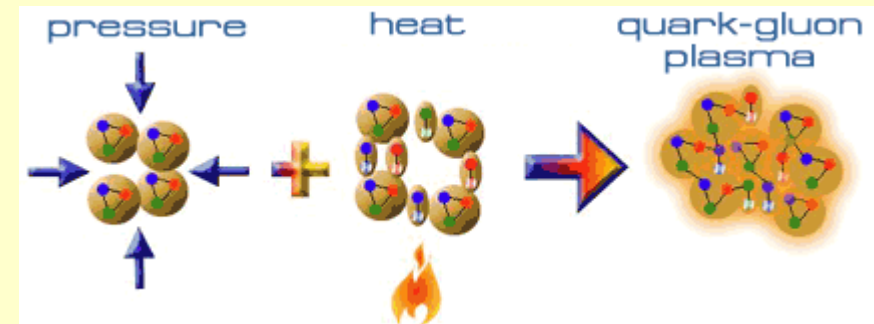
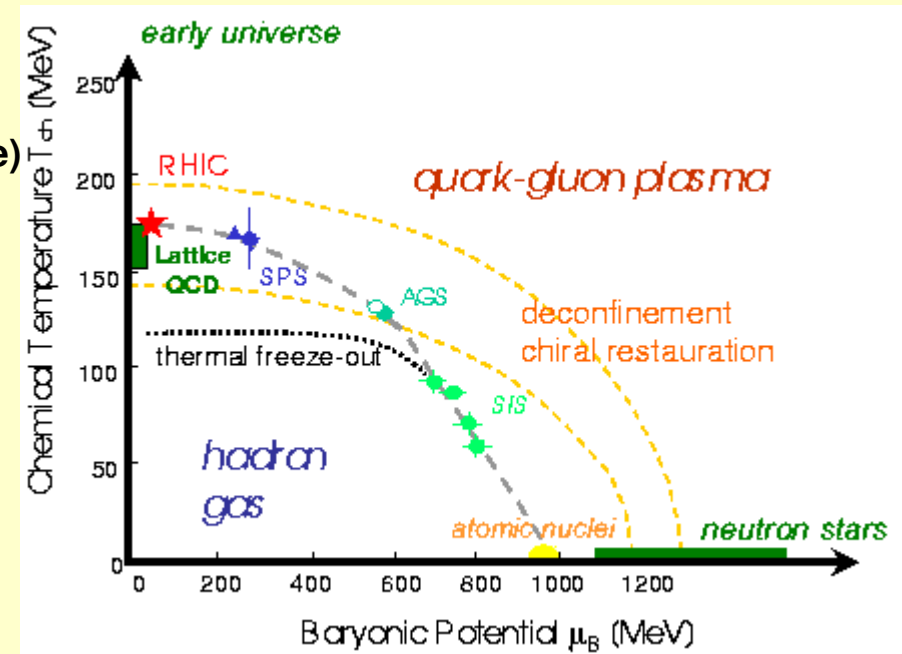
- La trajectométrie
- L'identification des particules
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

Motivations

- Etude d'une nouvelle matière
 - Partons déconfinés (plus d'enveloppe hadronique)
 - Restent en interaction (sQGP)
- Laboratoire particulier pour l'étude de QCD
 - α_s inchangé mais potentiel écranté
 - QCD à température finie

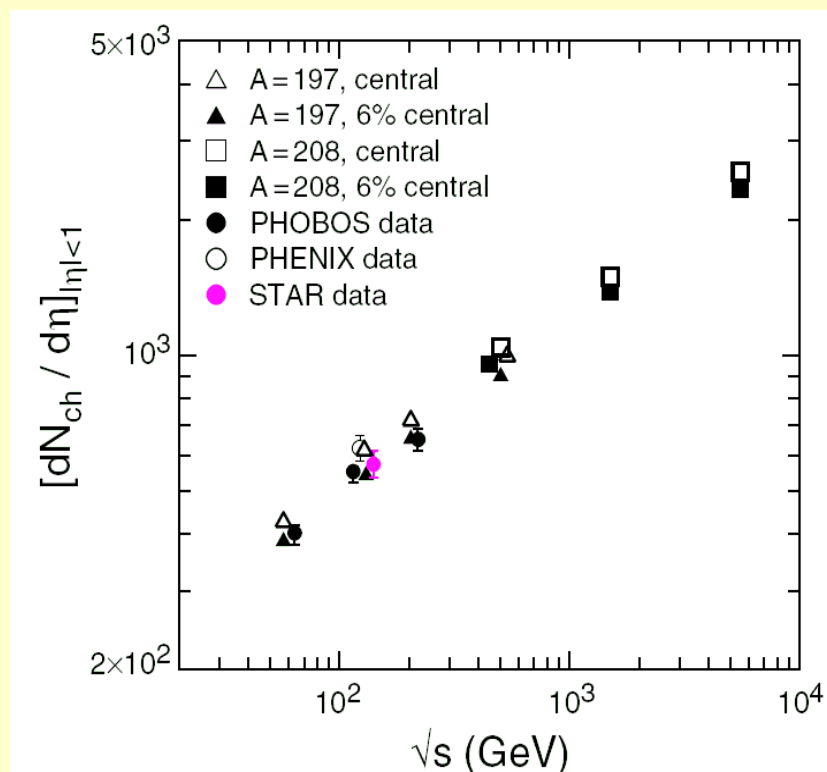
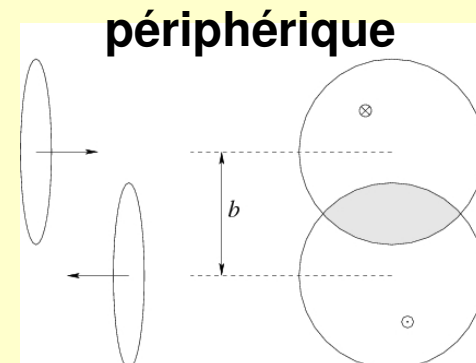
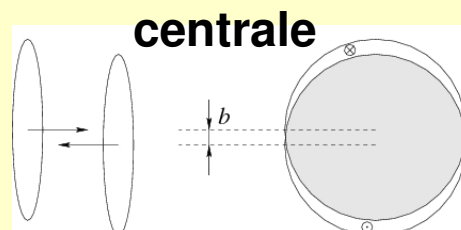
Principe

- Densité d'énergie \propto densité et température
- Collisions noyau-noyau (A+A) → densité ↗
Collision ultra-relativistes → température ↗
- Caractériser
 - le système initial
 - La phase déconfinée
 - Les phases finales
- Nécessité de comparer des systèmes différents
 - Manque de calculs non-perturbatifs fiables
 - Collisions p+p et p ou d+A



■ Caractéristiques globales

- **Centralité des collisions**
 - Gouverne densité d'énergie
- **Multiplicité importantes**
~ qq 1000 particules / événements
- **Spectre en impulsion très étalé**
 - qq 10 MeV/c – qq 10(0) GeV/c
- **Distribution dans l'espace**
 - **Homogène en asimuth**
 - Spécifique en polaire (y)
- **Grande variété de particules**
 - 99,99 % hadrons (tous les mésons, baryons, résonnances + exotiques)
 - Leptons issus désintégrations
 - Photons de radiation ou de désint.

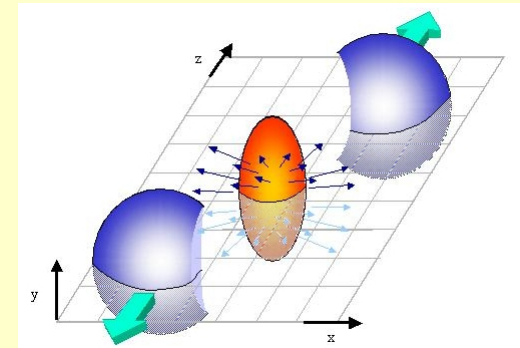
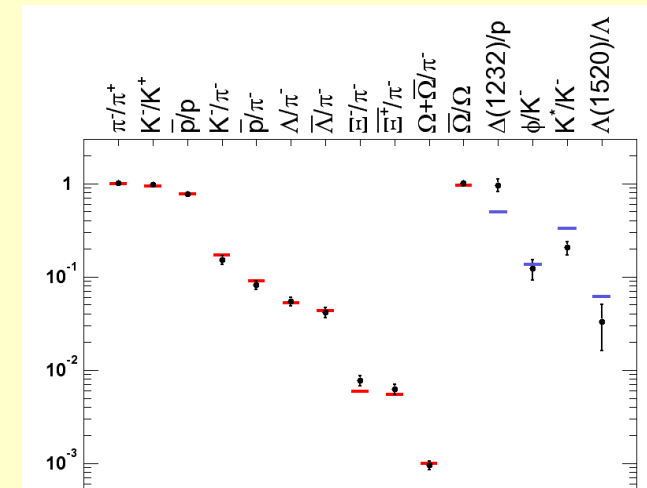


Multiplicité (/2) des particules primaires

Plasma de quarks et de gluons

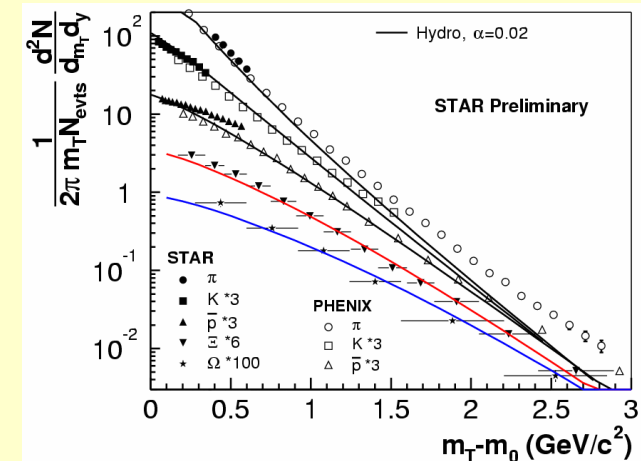
Sondes indirectes

- **Lidée : l'état déconfiné modifie l'évolution du système**
↔ l'état final reflète en partie les étapes ultérieures
- **Équilibre chimique,**
 - Concentration relative des particules
- **Équilibre thermique**
 - Spectre des particules
 - Dynamique : direction privilégiée d'émission
- **Hadronisation**
 - Dépend de l'état avant formation partonique ou non



Mesures expérimentales

- **Mesure de la multiplicité**
- **Identification de nombreuses espèces**
 - $\pi^{\pm 0}, K^{\pm 0}, K^*, p, \Lambda, \Xi^{\pm}, \Omega^{\pm}, D^{\pm 0}, \Lambda_c, B, \dots$
 - pour les désintégrations faibles
 - grande acceptance asimuthale
 - Séparation vertex secondaire (à $\sim 100 \mu\text{m}$)
- **Dépendance en centralité, rapidité (y), p_{\perp} , asimut**

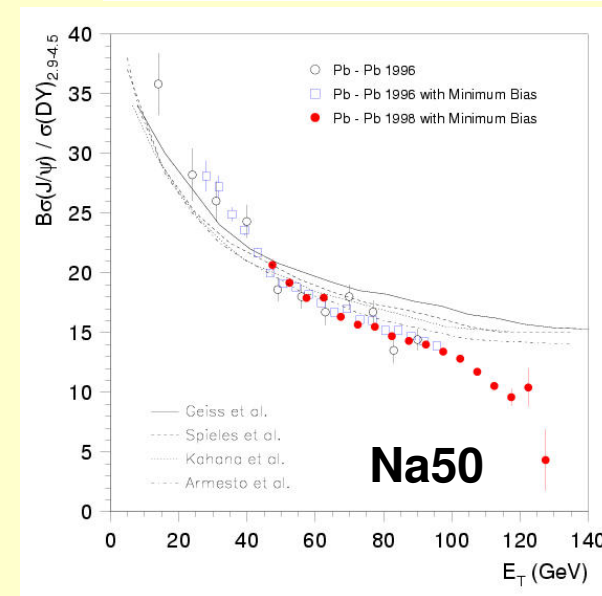
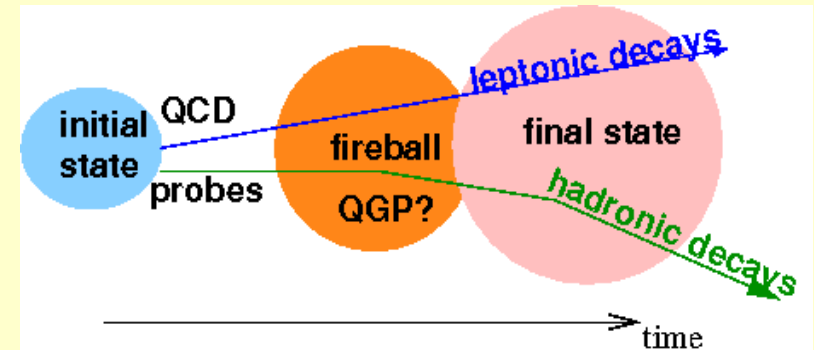


■ Sondes directes

- L'idée : **éviter les interactions dans l'état final**
↔ sonder la densité du milieu produit
- Production J/Ψ
 - Suppression par le QGP
 - Désintégration $\mu^+\mu^-$
- Fragmentation des partons à haut p_\perp
 - Alteration caractéristiques des jets
- Observation des γ thermiques
 - Rayonnement du "corps noir"

■ Mesures expérimentales

- Identification des leptons, photons
- Reconstruction des jets
 - énergie, taille (multiplicité)
 - Identifier leur saveur
- Dépendance en centralité, rapidité (y), p_\perp , asimut

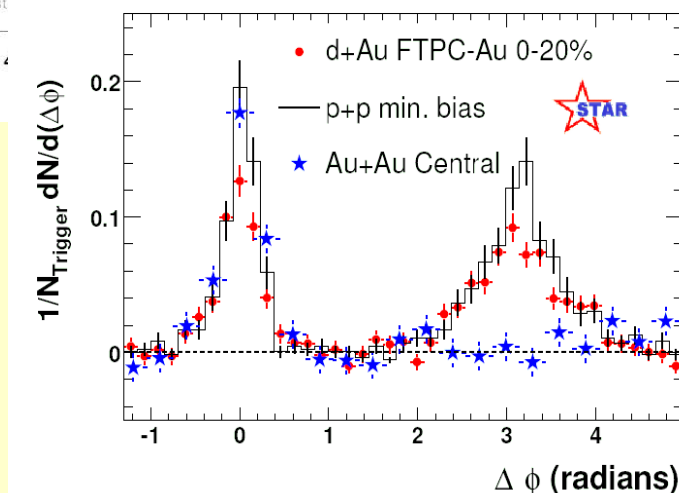
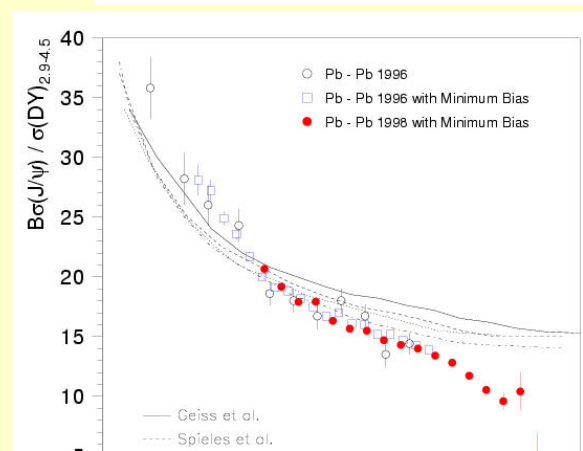
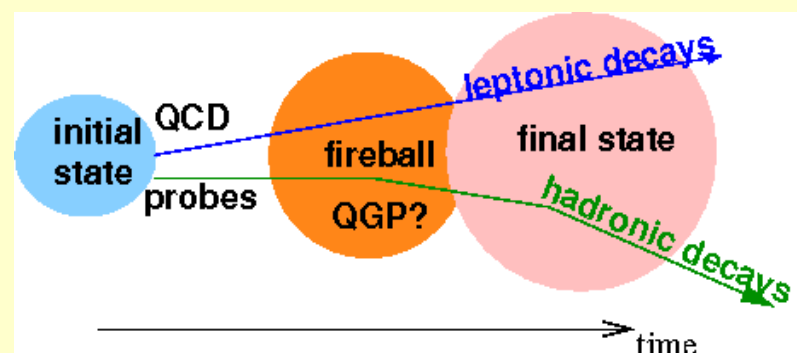


■ Sondes directes

- L'idée : **éviter les interactions dans l'état final**
↔ sonder la densité du milieu produit
- Production J/Ψ
 - Suppression par le QGP
 - Désintégration $\mu^+\mu^-$
- Fragmentation des partons à haut p_\perp
 - Alteration caractéristiques des jets
- Observation des γ thermiques
 - Rayonnement du "corps noir"

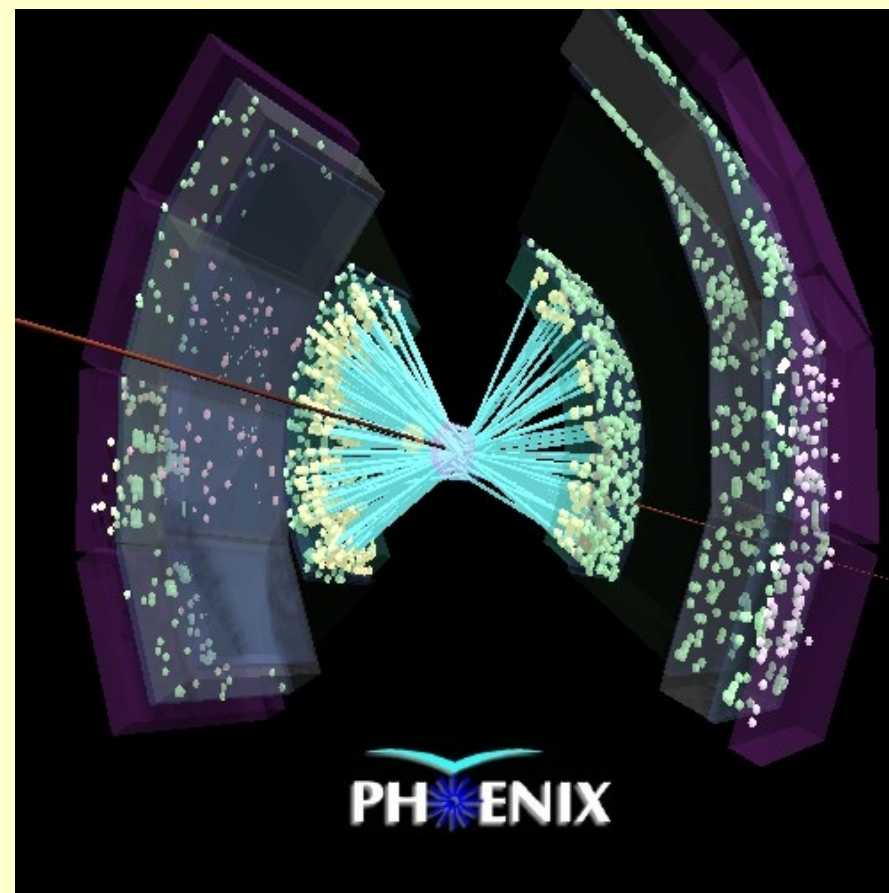
■ Mesures expérimentales

- Identification des leptons, photons
- Reconstruction des jets
 - énergie, taille (multiplicité)
 - Identifier leur saveur
- Dépendance en centralité, rapidité (y), p_\perp , asimut



Bilan

- Mesure de la centralité
 - Multiplicité par événement
 - Reste des nucléons spectateurs
- Parmi un **état final complexe**
 - Reconstruire des désintégrations
 - Reconstruire des jets
 - Identifier des particules (tous les types)
- Appréhender plusieurs types de collision
 - $p+p \rightarrow p+A \rightarrow A+A$
 - Luminosité $5 \cdot 10^{30} - 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

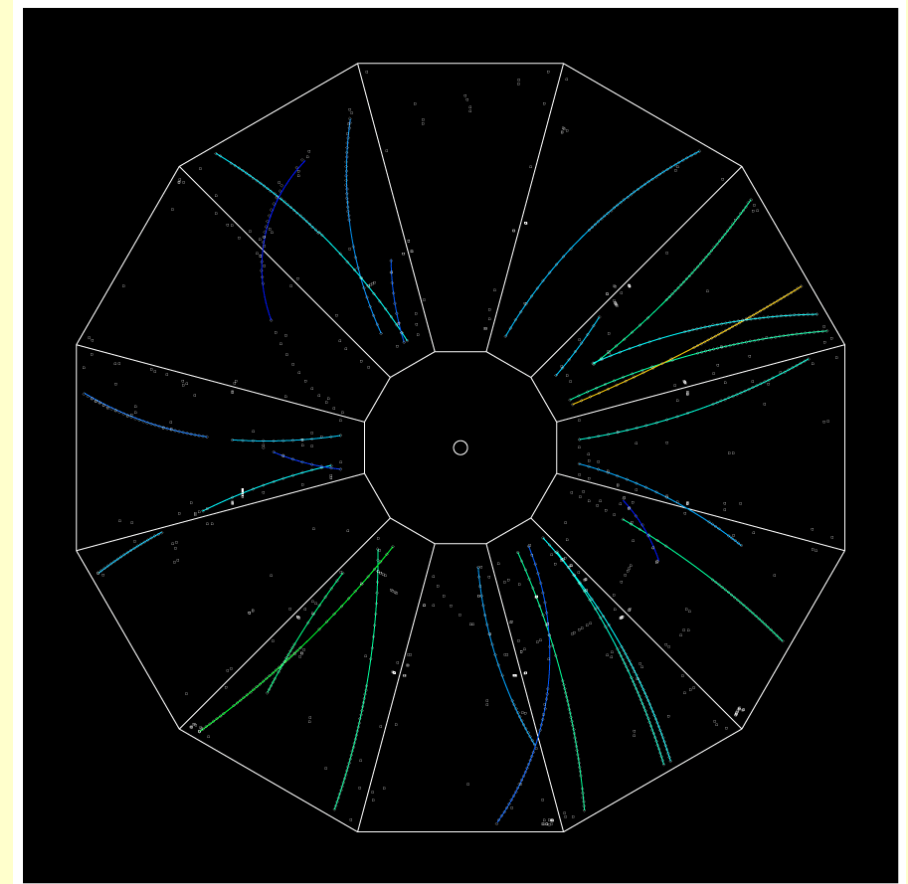


Expériences

- Nombreuses manipulations au SPS – CERN (1985 – 2000)
- PHENIX, STAR (PHOBOS, BRAHMS) au RHIC – BNL (>2000)
- ALICE (CMS, ATLAS) au LHC – CERN (>2008)
- CBM à FAIR – GSI (>201?)

■ Bilan

- **Mesure de la centralité**
 - Multiplicité par événement
 - Reste des nucléons spectateurs
- Parmi un **état final complexe**
 - Reconstruire des désintégrations
 - Reconstruire des jets
 - Identifier des particules (tous les types)
- **Appréhender plusieurs types de collision**
 - $p+p \rightarrow p+A \rightarrow A+A$
 - Luminosité $5 \cdot 10^{30} - 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



■ Expériences

- Nombreuses manipulations au SPS – CERN (1985 – 2000)
- PHENIX, STAR (PHOBOS, BRAHMS) au RHIC – BNL (>2000)
- ALICE (CMS, ATLAS) au LHC – CERN (>2008)
- CBM à FAIR – GSI (>201?)

■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- La structure des nucléons et des hadrons
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

- La trajectométrie
- L'identification des particules
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

■ Reconnaître les particules

- Identifier la présence d'une trajectoire
- Mesure de la quantité de mouvement (3D)
- Identifier la nature de la particule
- Mesurer l'énergie de certaines particules

■ Identifier les événements intéressants

- Parmi des luminosités très élevées
- → Stratégie de choix : déclenchement

■ Quelques contraintes

- Acceptance géométrique ± importante
- Granularité liée à la densité (10^6 part. $s^{-1} cm^{-2}$ pour les col.d'ions lourds)
- Radio-tolérance
 - Grandement dépendente de la localisation du détecteur
 - Cas limite : qq 100 Mrad + 10^{12} neutrons/cm²

■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- La structure des nucléons et des hadrons
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

- La trajectométrie
 - Objectifs
 - Détecteurs
 - L'intégration ?
 - Quelques choix expérimentaux
- L'identification des particules
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

Plusieurs objectifs

- Identification des trajectoires
- Mesure des propriétés
 - impulsion
- Identification du ou des vertex

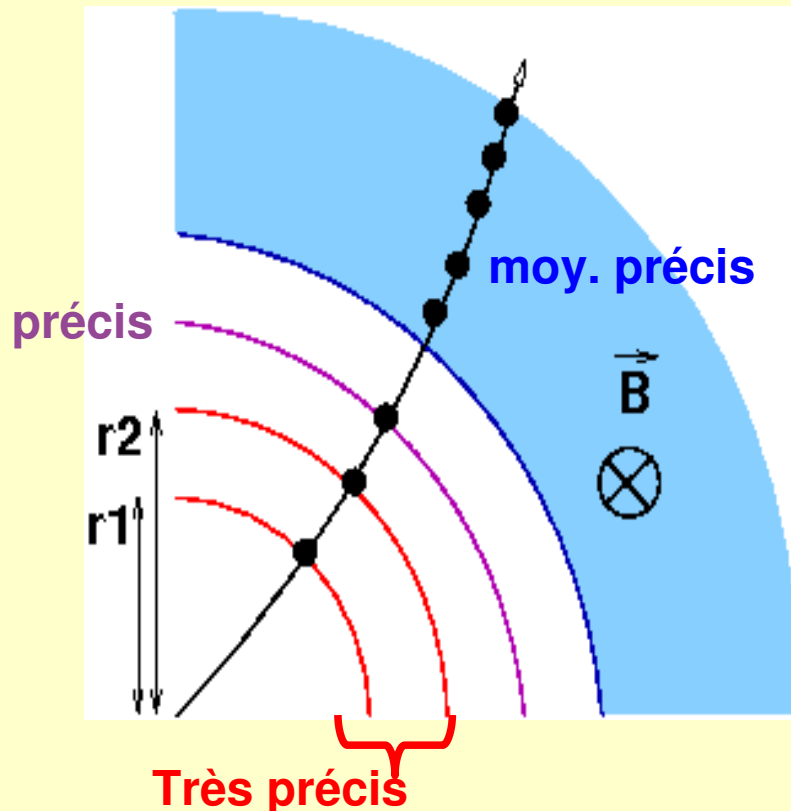
Les ingrédients

- Plusieurs points sur une distance L
- Champ magnétique
 - $\rho_c(m^{-1}) \quad p(GeV/c) \cos \lambda = 0.3 z B(T)$
- Quelques points de grande résolution spatiale

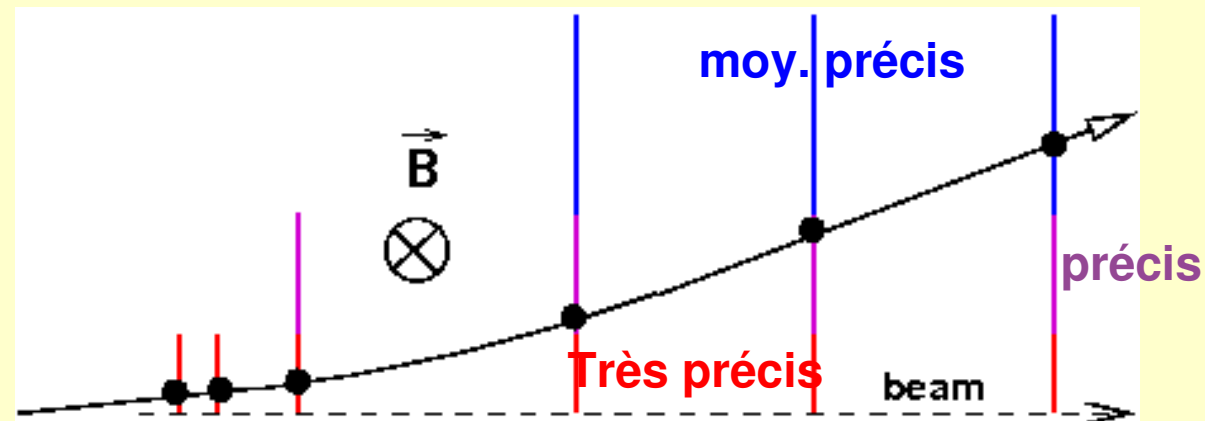
$$\rightarrow \sigma_{extrapol}^2 \approx \frac{\sigma_1^2 r_1^2 + \sigma_2^2 r_2^2}{(r_2 - r_1)^2} + \frac{\theta_{d.m.}^2 r_1^2}{\sin^2 \theta}$$

$$\sigma_{extrapol} \approx c + \frac{a}{p \sin^{3/2} \theta}$$

Collisionneur

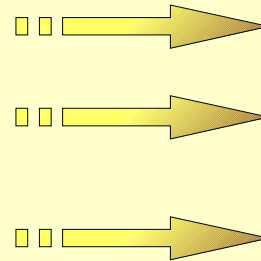


Cible fixe



Plusieurs objectifs

- Identification des trajectoires
- Mesure des propriétés
 - impulsion
- Identification du ou des vertex



Les ingrédients

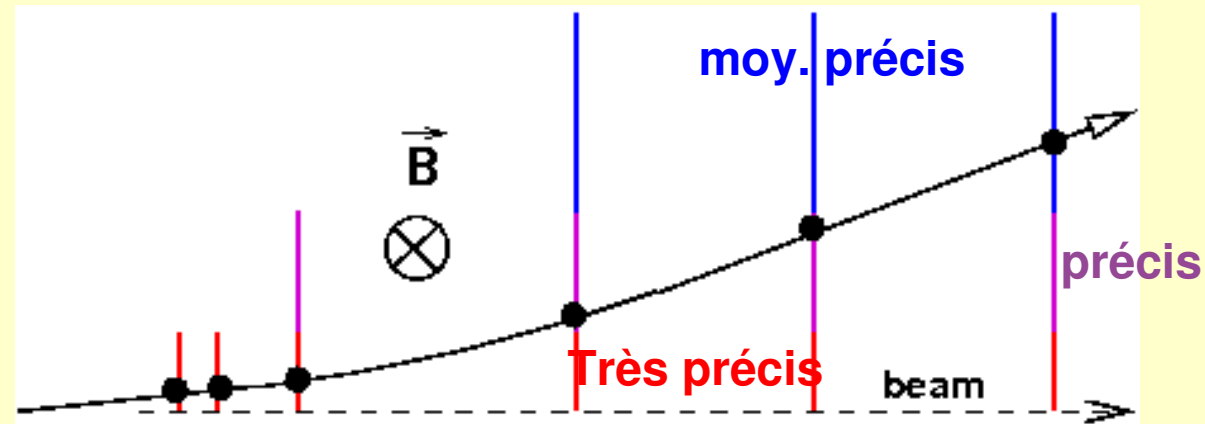
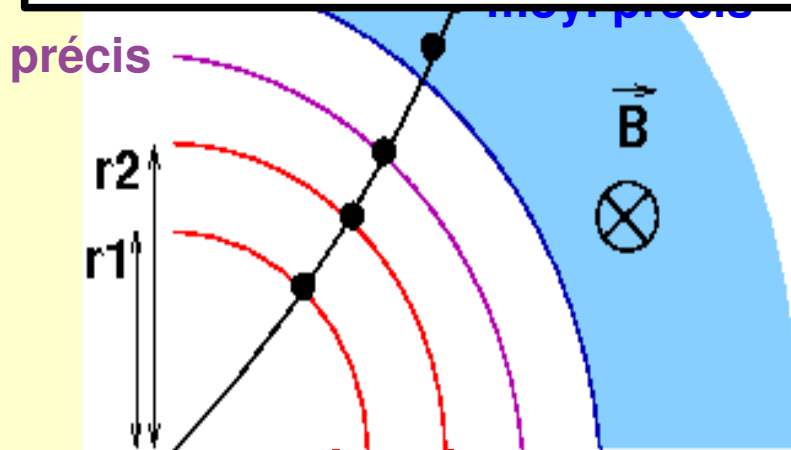
- Plusieurs points sur une distance L
- Champ magnétique
 - $\rho_c(m^{-1}) \quad p(\text{GeV}/c) \cos \lambda = 0.3 z B(T)$
- Quelques points de grande résolution spatiale

$$\sigma_{extrapol}^2 \approx \frac{\sigma_1^2 r_1^2 + \sigma_2^2 r_2^2}{(r_2 - r_1)^2} + \frac{\theta_{d.m.}^2 r_1^2}{\sin^2 \theta}$$

$$\sigma_{extrapol} \approx c + \frac{a}{p \sin^{3/2} \theta}$$

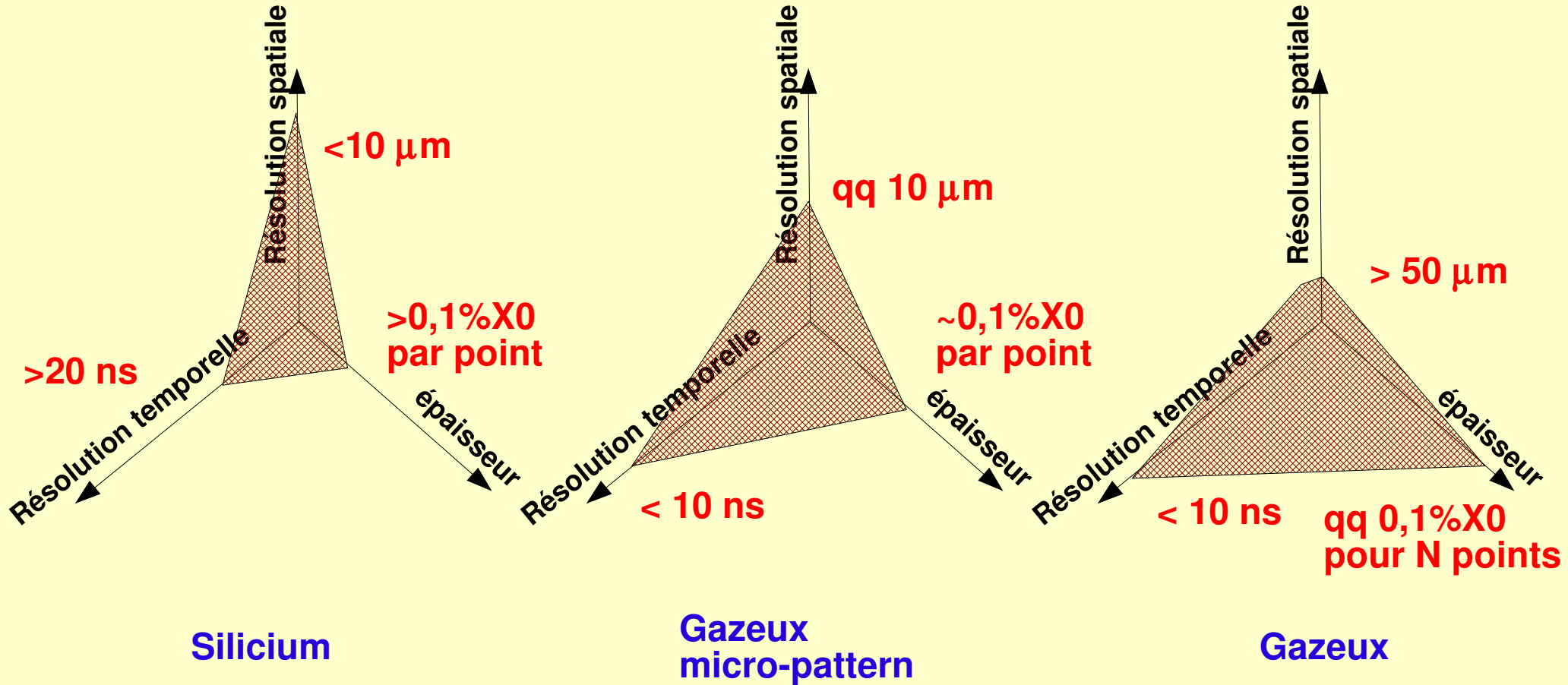
$$\sigma_{\rho_c} = \sqrt{\sigma_{res}^2 + \sigma_{d.m.}^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{d.m.} \approx \frac{0.016(\text{GeV}/c)}{L p \beta \cos^2 \lambda} \sqrt{\frac{L}{X_0}} \\ \sigma_{res} \approx \frac{\sigma_{point}}{L_{trans}} \sqrt{\frac{k}{N_{points} + 4}} \end{array} \right.$$

Cible fixe



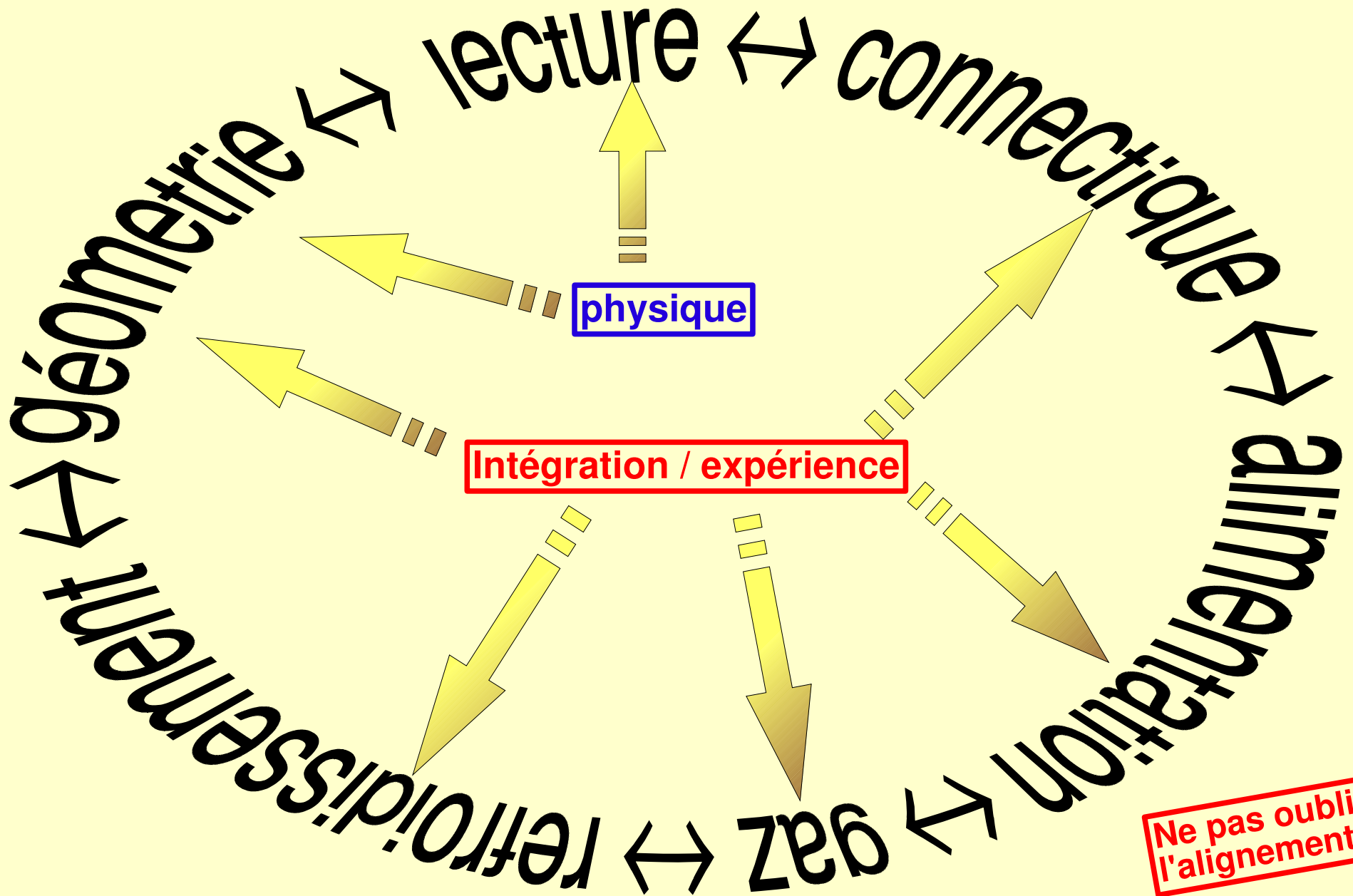
Très précis

■ Différents types de détecteur

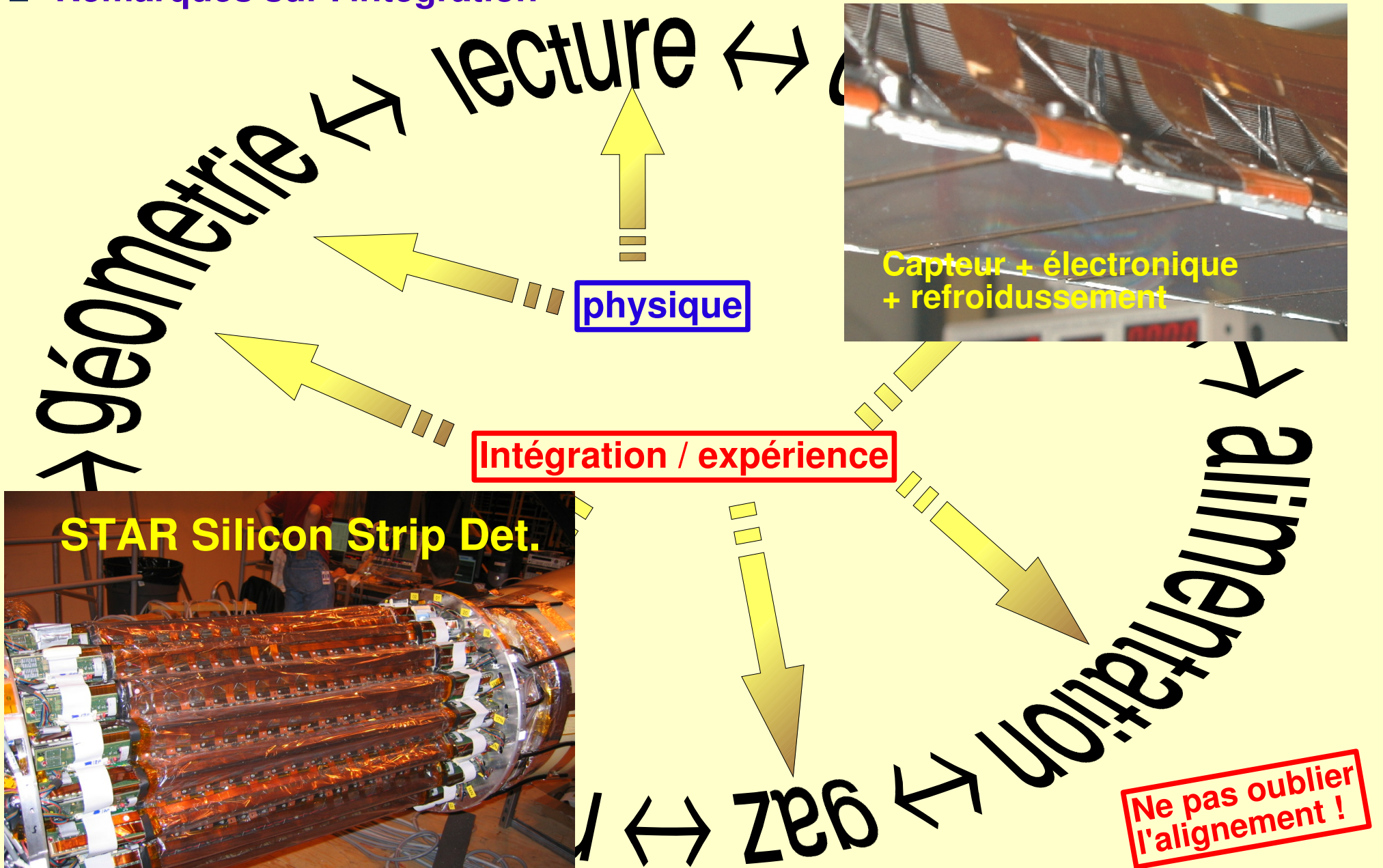


Rem: $\sigma_x < 1 \mu\text{m}$ possible
mais #pixels $\sigma_t > 20 \mu\text{s}$

■ Remarques sur l'intégration

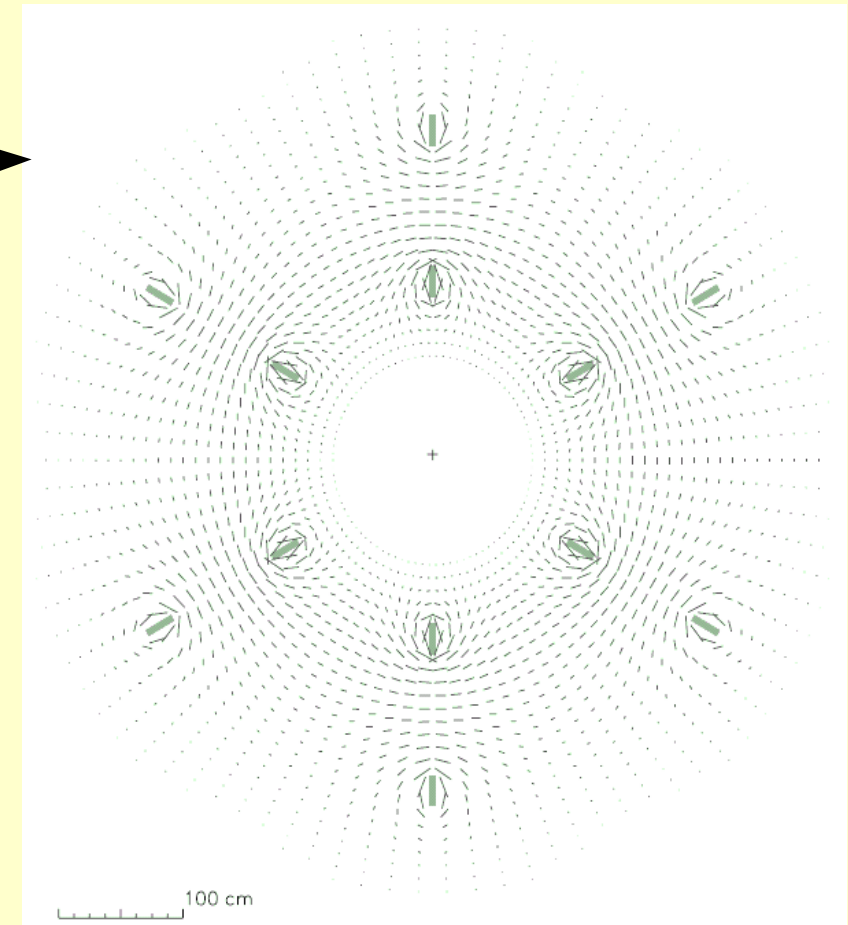
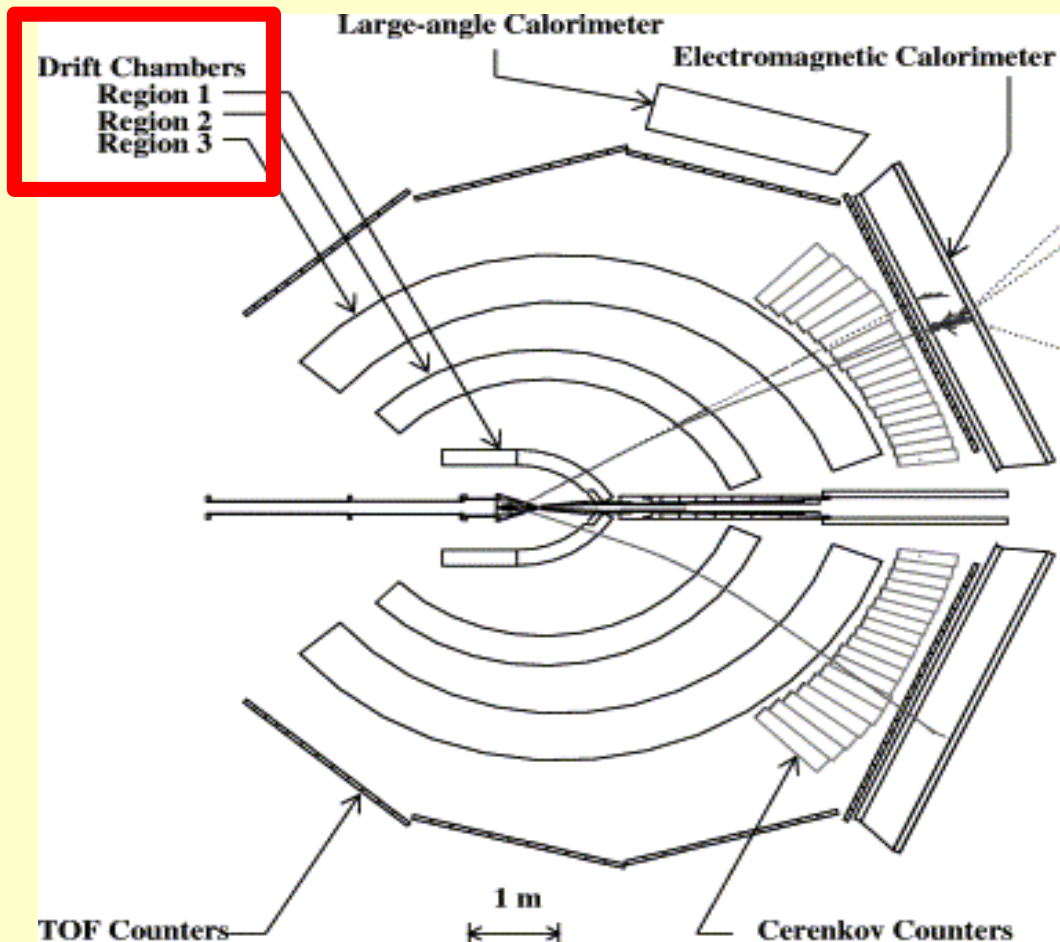


Remarques sur l'intégration



Le choix de CLAS

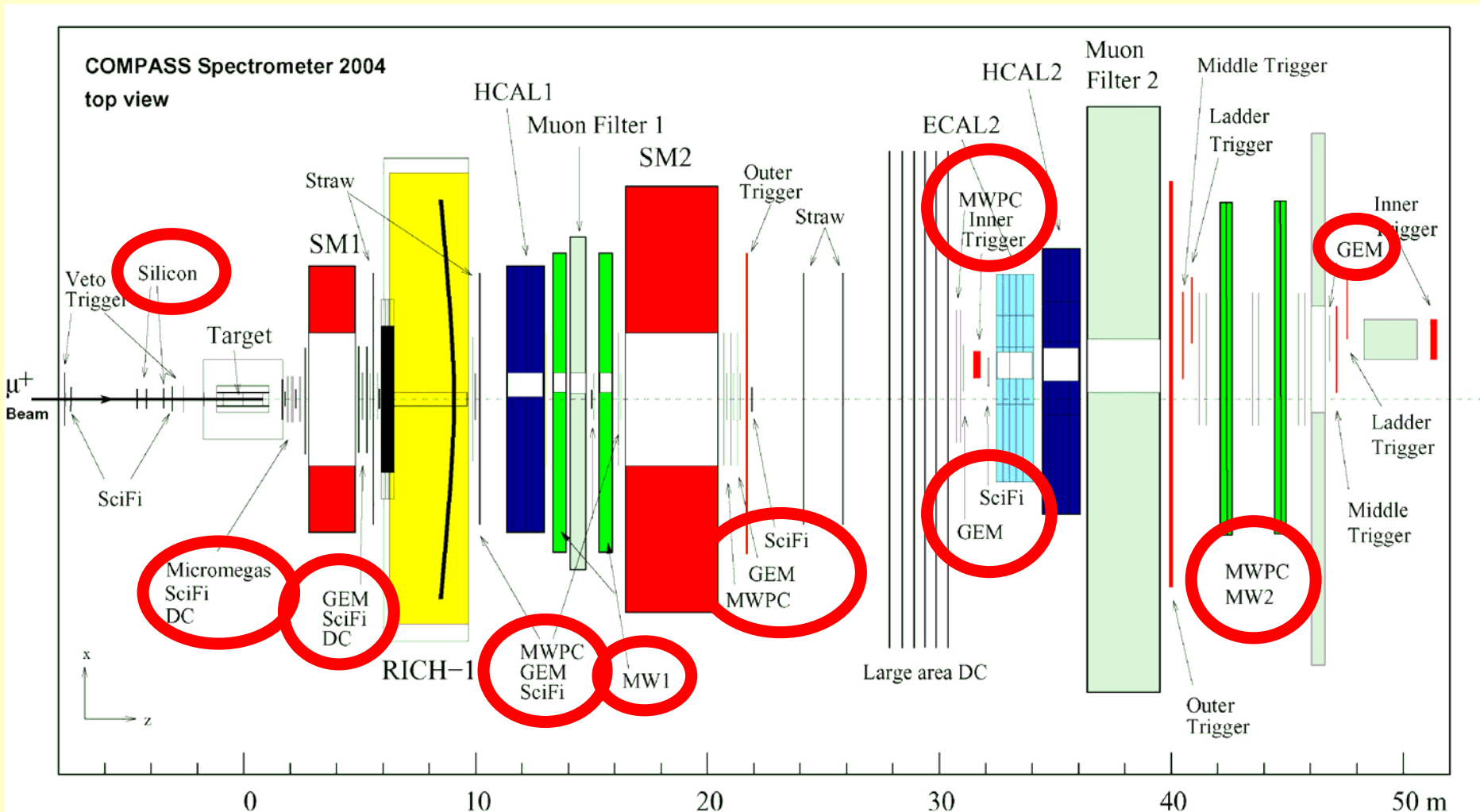
- Chambres à dérives rapides
- Champ magnétique toroidal
- Grande couverture angulaire



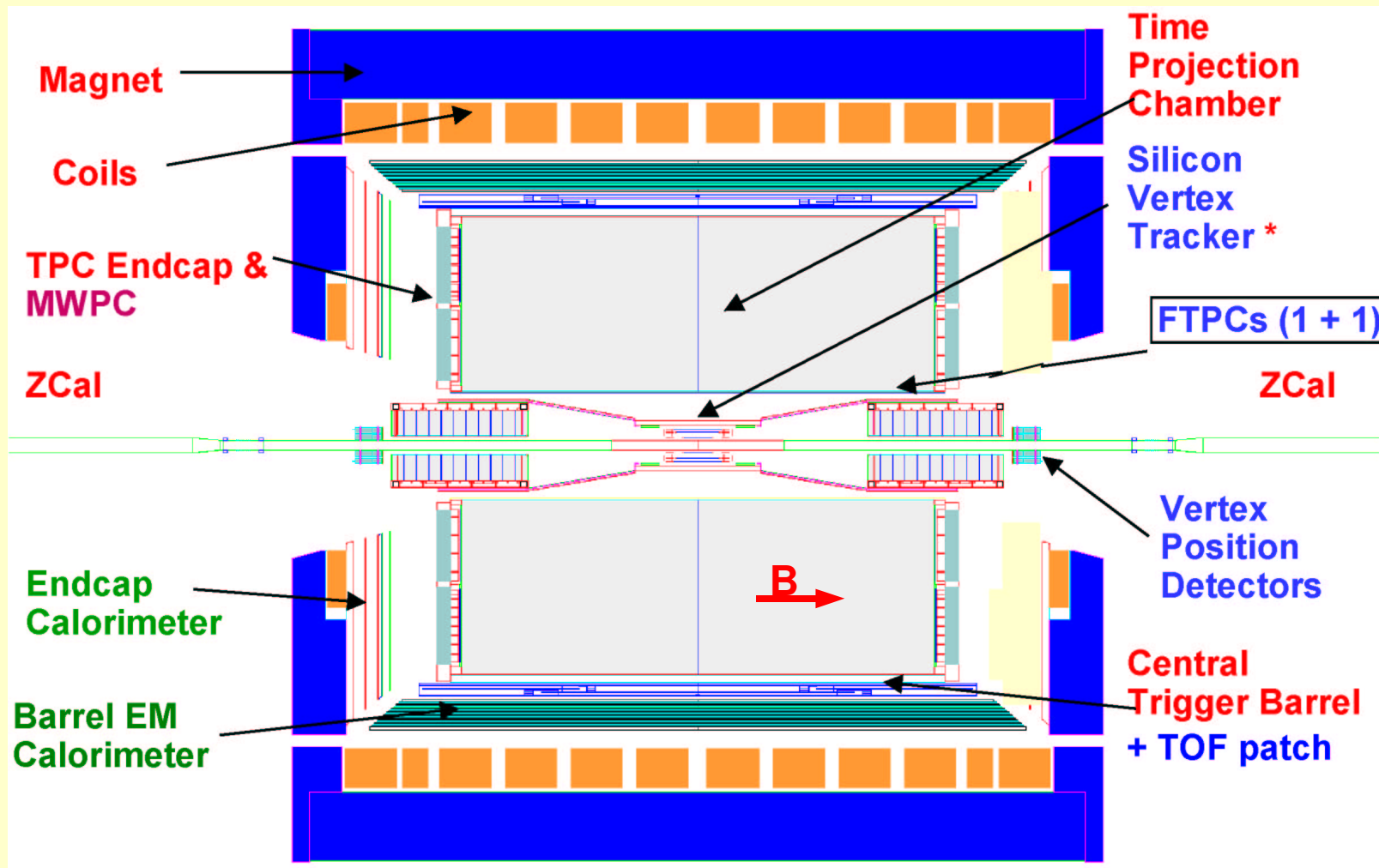
$$\frac{\sigma_p}{p} = \frac{3375 A}{l} \sqrt{\left(\frac{0,3 \text{ GeV}/c}{p}\right)^2 + \left(\frac{0,18}{\beta}\right)^2}$$

Le choix de COMPASS

- Projectile à $\sim 100\text{GeV}$ \Rightarrow beaucoup d'impulsion vers l'avant, grande multiplicité près du faisceau
- Combinaison de technologies (1ère MICROMEAS et GEM)



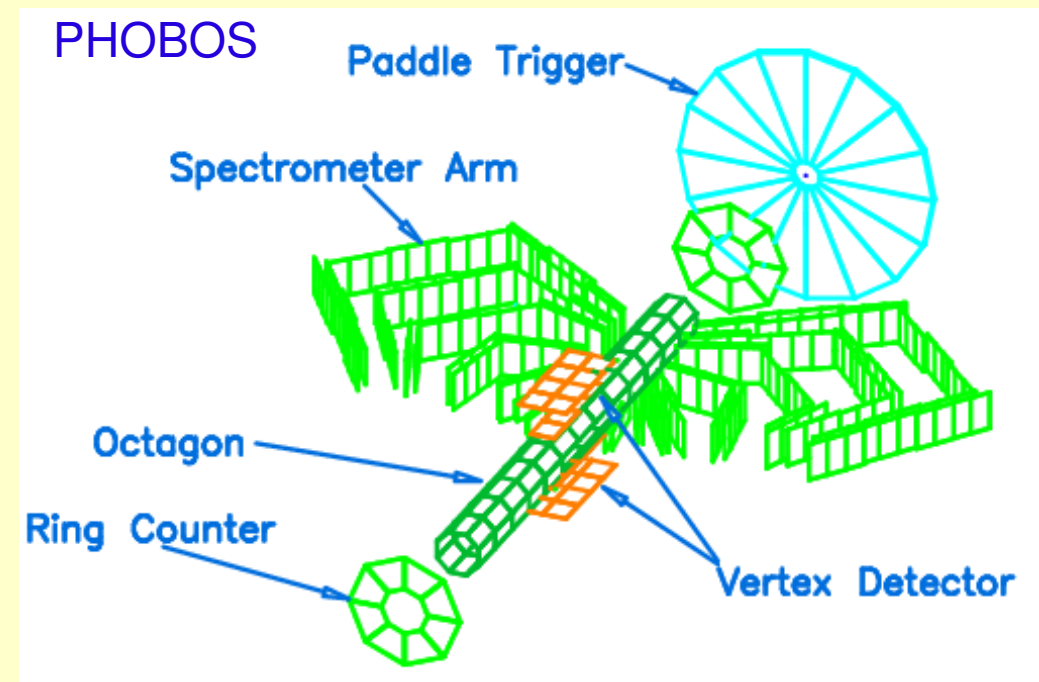
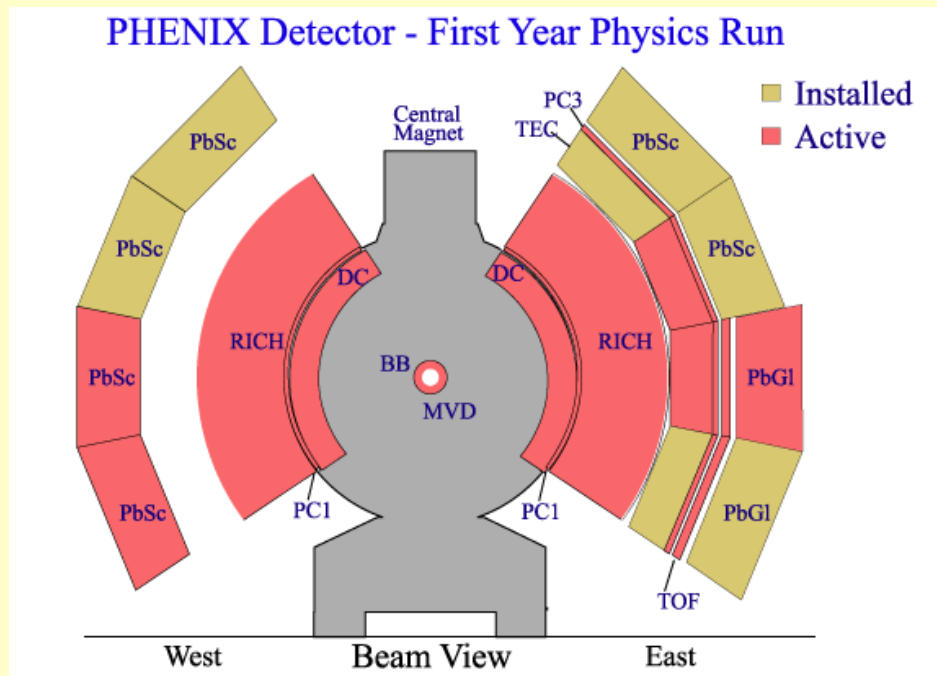
- Le choix de NA49, STAR, ALICE : une TPC dans la partie centrale
 - couverture angulaire asimutale totale
 - Champ magnétique axial



■ Le choix de PHENIX, PHOBOS

● “petite” couverture asimuthale

- Suffisante pour sonder la multiplicité
- “Sacrifie” cascades des désintégrations faibles



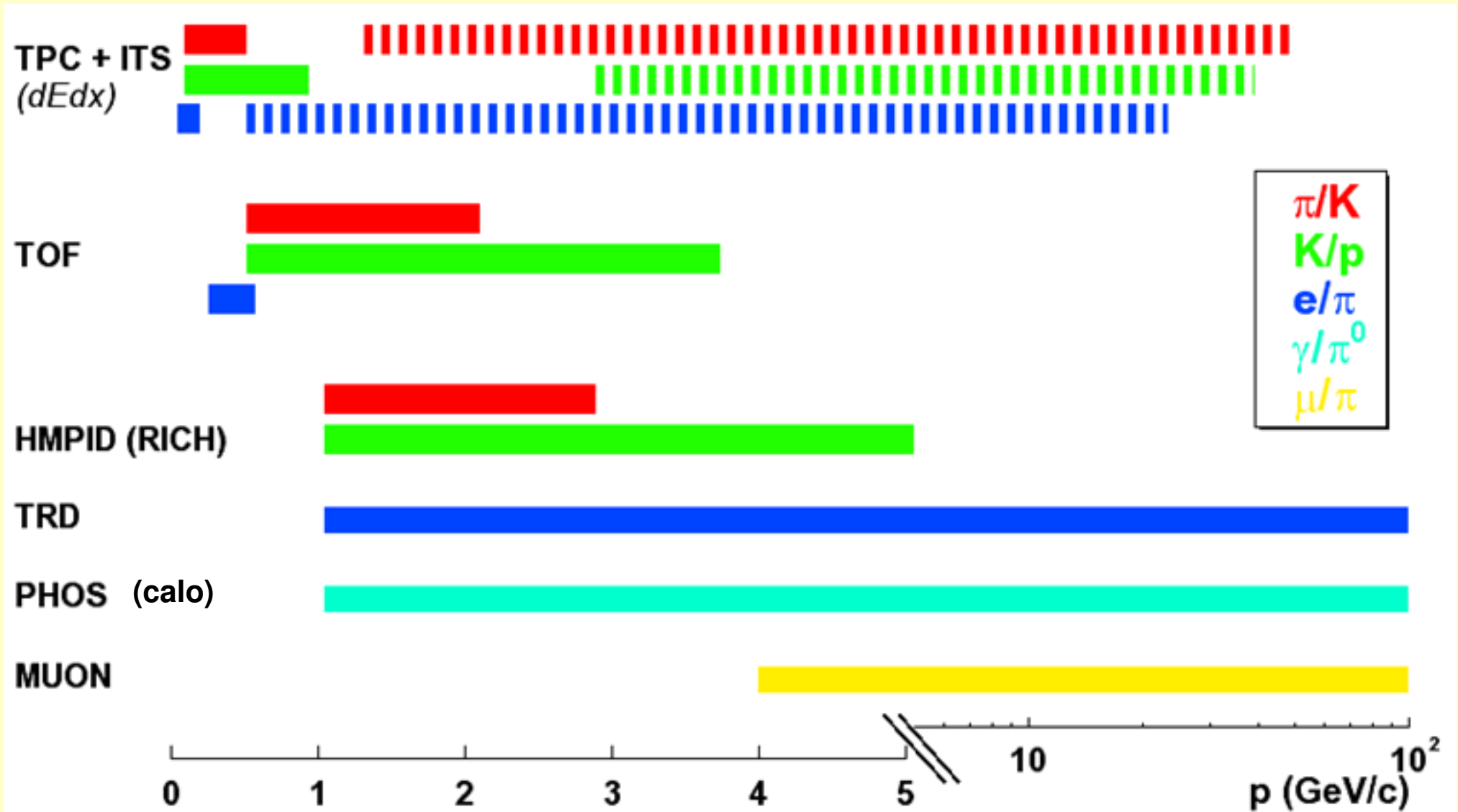
■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- La structure des nucléons et des hadrons
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

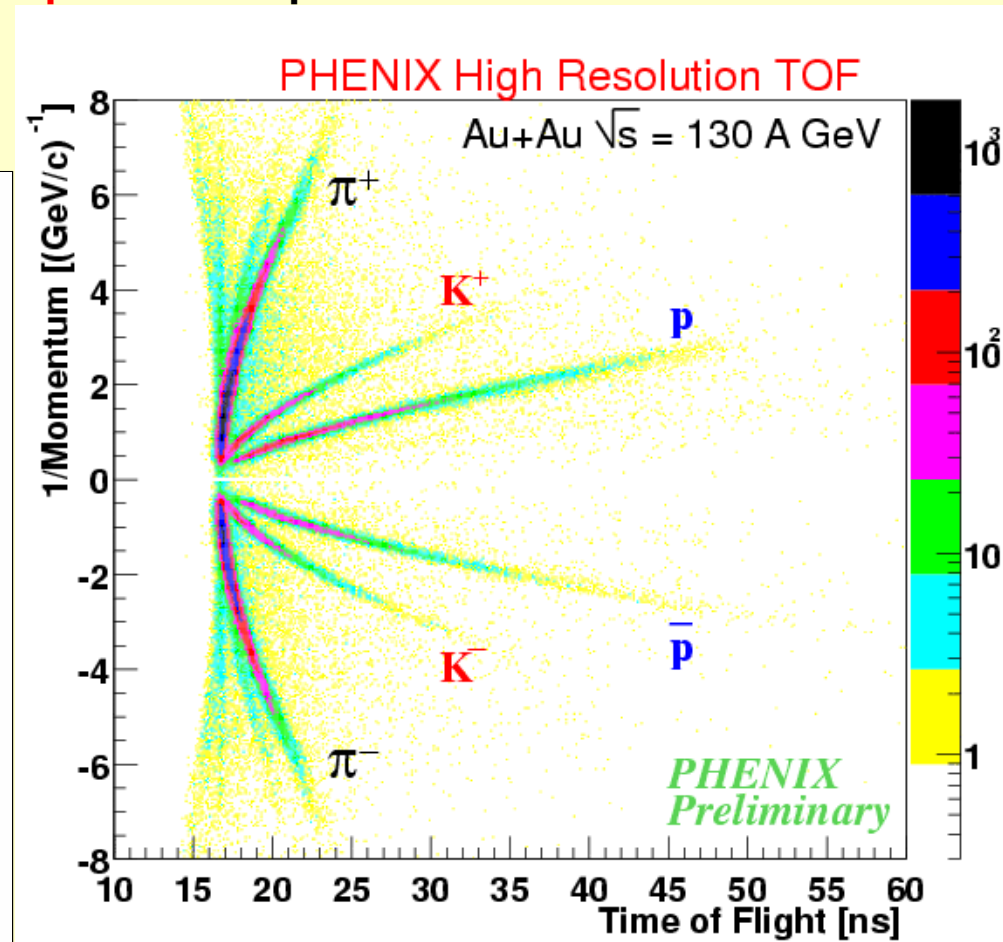
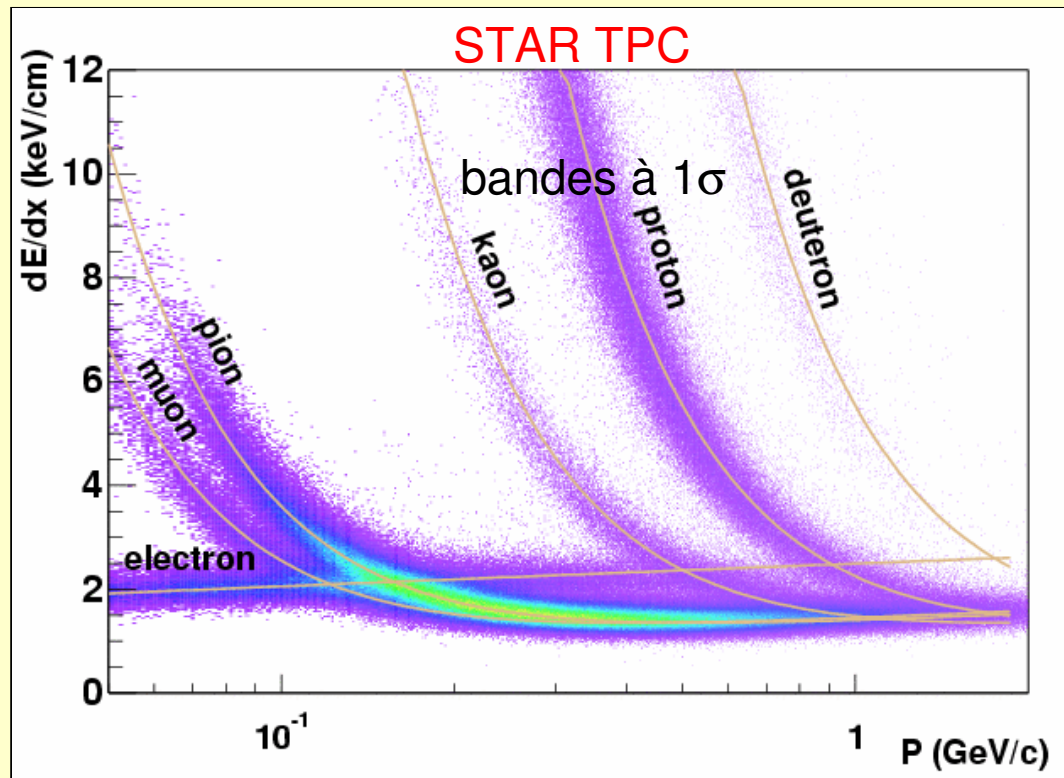
- La trajectométrie
- L'identification des particules
 - Plusieurs particules → plusieurs techniques
 - Hadrons
 - Leptons et neutres
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

■ Les capacités d'ALICE (un bon résumé des techniques)



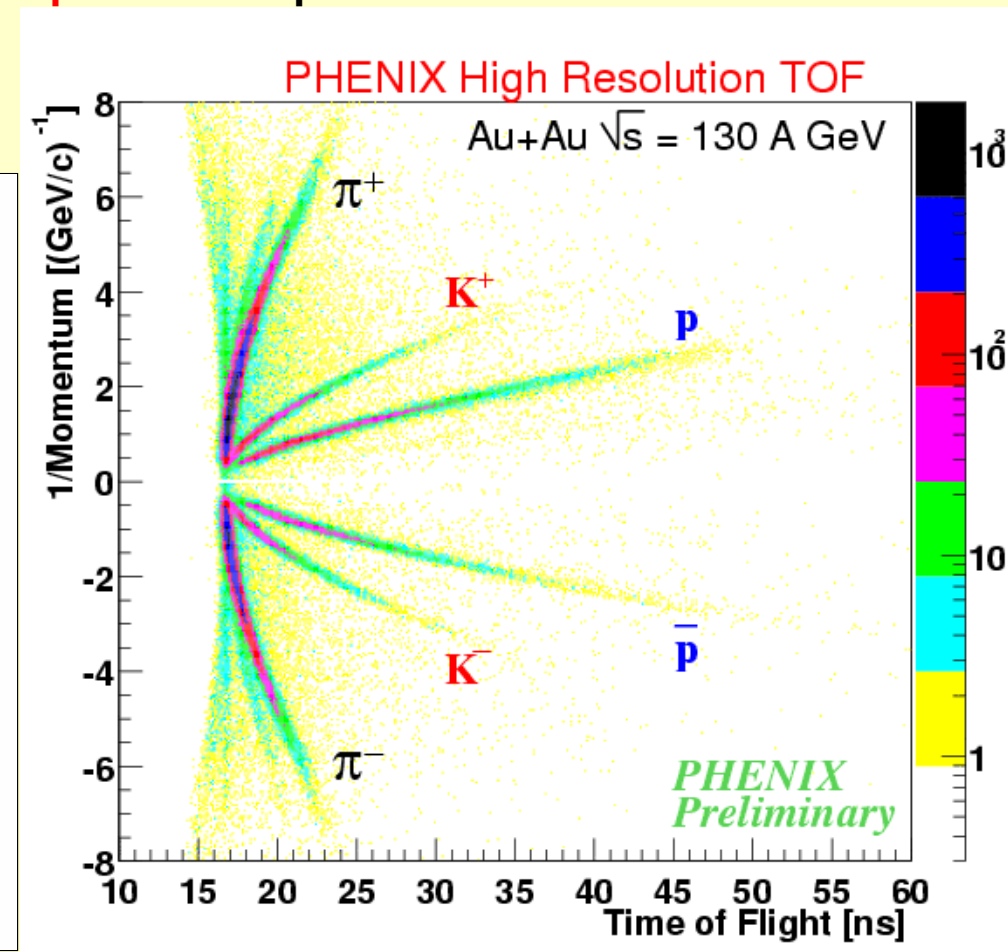
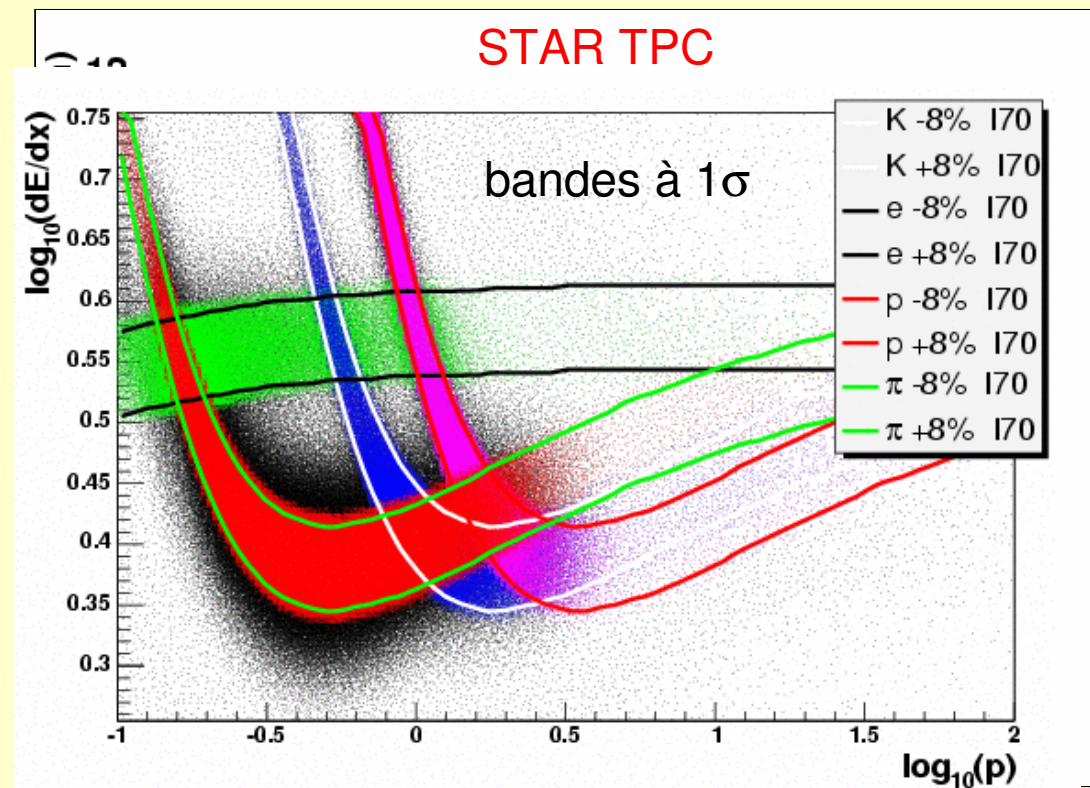
■ Perte linéique d'énergie (dE/dx) vs temps de vol (TOF)

- Pour les hadrons
- STAR TPC : $\sigma(dE/dx) \sim 8\%$ dépend pression gaz, nbre de points (45), correspond à moyenne tronquée à 70%
- TOF de Phenix mesure une vitesse : $\sigma(t) \sim 100$ ps avec couple scintillateur+PMT
 - TOF d'ALICE : $\sigma(t) \sim 40$ ps avec MRPC



■ Perte linéique d'énergie (dE/dx) vs temps de vol (TOF)

- Pour les hadrons
- **STAR TPC** : $\sigma(dE/dx) \sim 8\%$ dépend pression gaz, nbre de points (45), correspond à moyenne tronquée à 70%
- **TOF de Phenix** mesure une vitesse : $\sigma(t) \sim 100$ ps avec couple scintillateur+PMT
 - TOF d'ALICE : $\sigma(t) \sim 40$ ps avec MRPC



■ L'effet Čerenkov

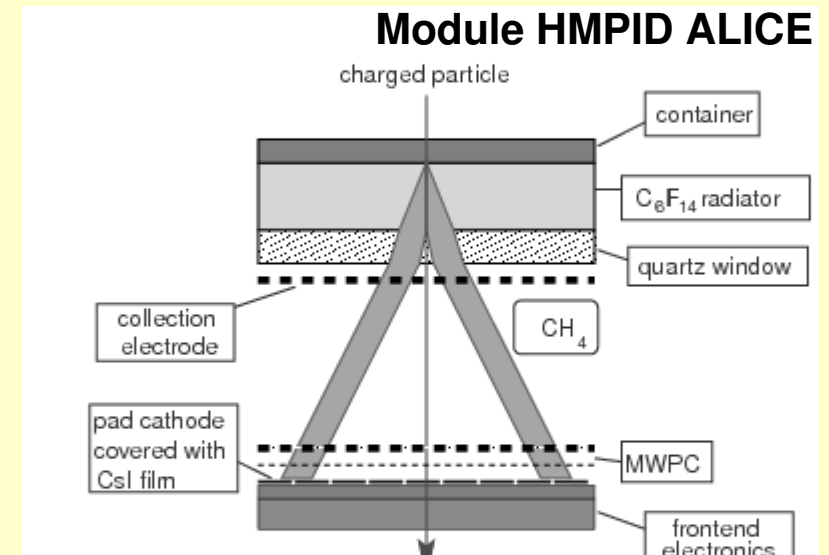
- Basé sur la vitesse dans un milieu mais ne la mesure pas !
 - distingue **électrons** (léger) des hadrons
 - Distingue les hadrons p/K et K/p à des impulsions au delà de la résolution temporelle des TOF
 - Fonctionne en mode veto ou continu (mesure angle d'ouverture)

■ Les neutres

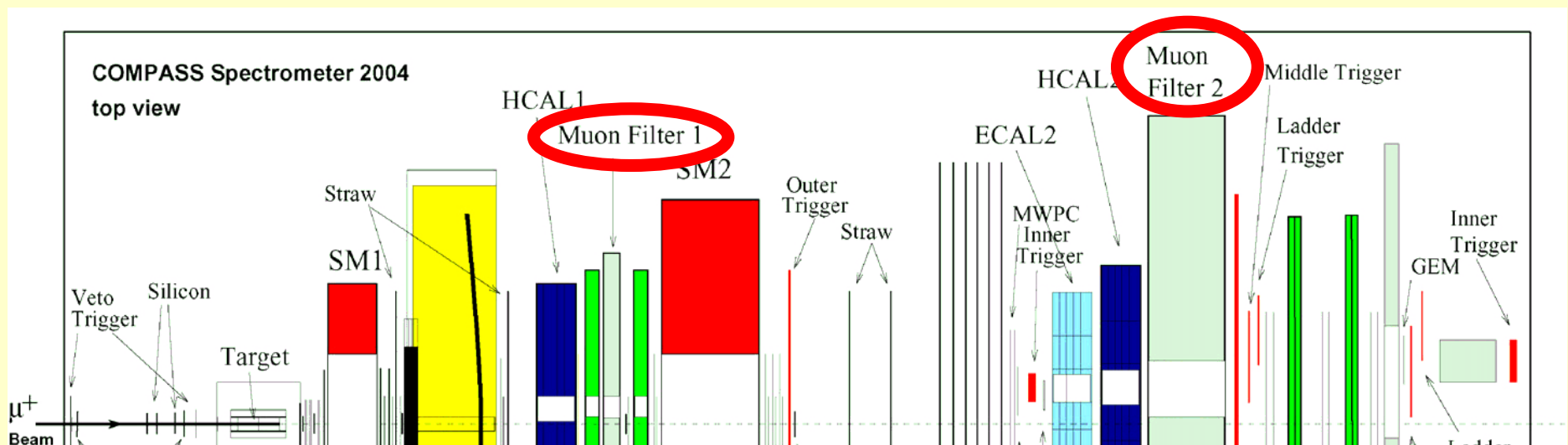
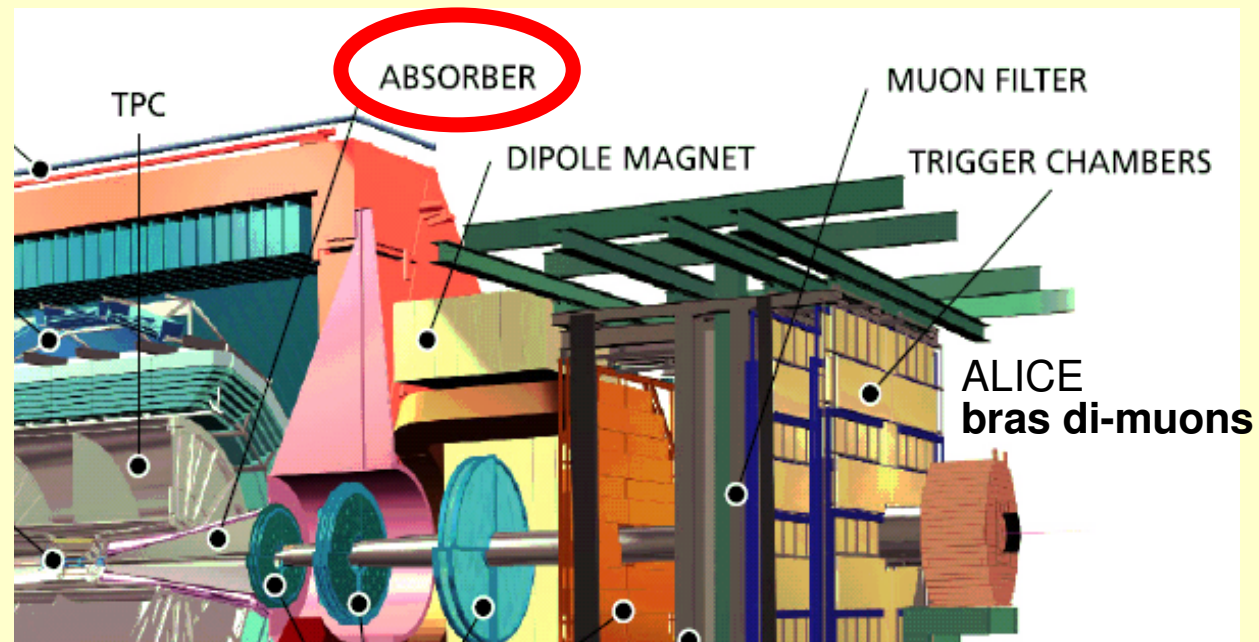
- Voir calorimétrie

■ Les leptons

- électrons : voir RICH, calorimètre électromagnétique
- Muons : stratégie de détection qui tire partie de la faible section efficace ($m_\mu \gg m_e$)
 - **absorbeurs** de COMPASS, PHENIX et ALICE
 - exige un système de déclenchement sur une grande surface



■ Les muons (démonstration)



■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

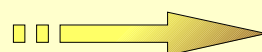
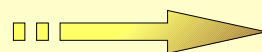
- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- La structure des nucléons et des hadrons
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

- La trajectométrie
- L'identification des particules
- **La calorimétrie**
 - Objectifs
 - Exemples de dispositifs
 - Quelques choix
- Le déclenchement
- Synthèse des performances

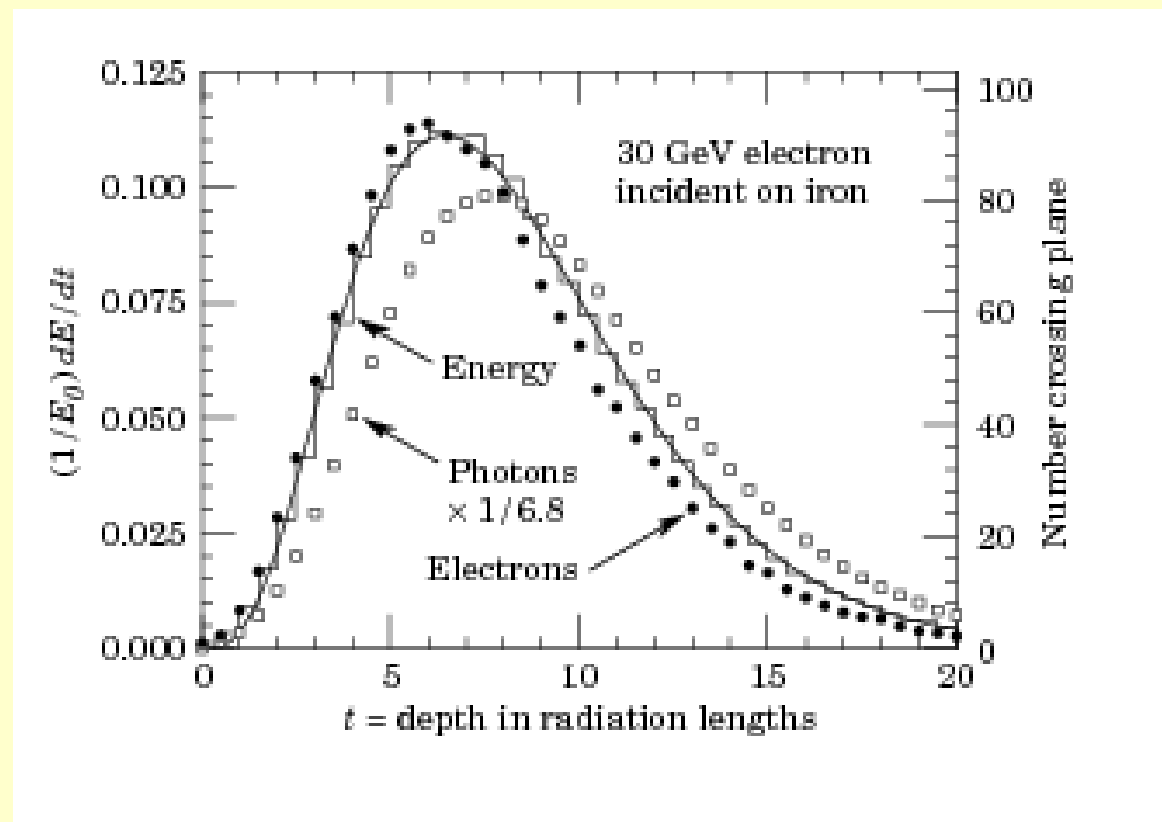
■ Les objectifs

- Recueillir **tout l'énergie** d'une particule
- avec **localisant** du dépôt
- avec **identification** de la forme de la gerbe



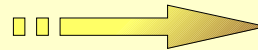
■ Les ingrédients

- Épaisseur en
 - Longueur de radiation X_0 : électrons, γ
 - Longueur d'interaction nucl. λ : hadrons
- Segmentation transverse "grossière"
- Segmentation transverse fine



■ Les objectifs

- Recueillir **tout l'énergie** d'une particule
- avec **localisant** du dépôt
- avec **identification** de la forme de la gerbe



■ Les ingrédients

- Épaisseur en
 - Longueur de radiation X_0 : électrons, γ
 - Longueur d'interaction nucl. λ : hadrons
- Segmentation transverse "grossière"
- Segmentation transverse fine

■ Résolutions

- Dépend milieu scintillant + collection lumière
 - a: fluctuations nbre de g ~ statistique
 - cst : systématique (étalonnage, fuites, non-uniformité)
 - b : bruit électronique, gestion des amas

$$\frac{\sigma_E(E)}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} + cst + \frac{b}{E}$$

$$\sigma_{pos}(E) = \frac{\alpha}{\sqrt{E}} + cste$$

Calorimètres de COMPASS

Hadronique

- Échantillonnage
- $r(\text{Pb}/\text{Scint}) = 4$
- $4,8 \times \lambda$

Electromagnétique

- Čerenkov (verre au plomb)
- $16 \times X_0$
- $\sigma/E = 5,5\%/\sqrt{E} + 1,5\%$

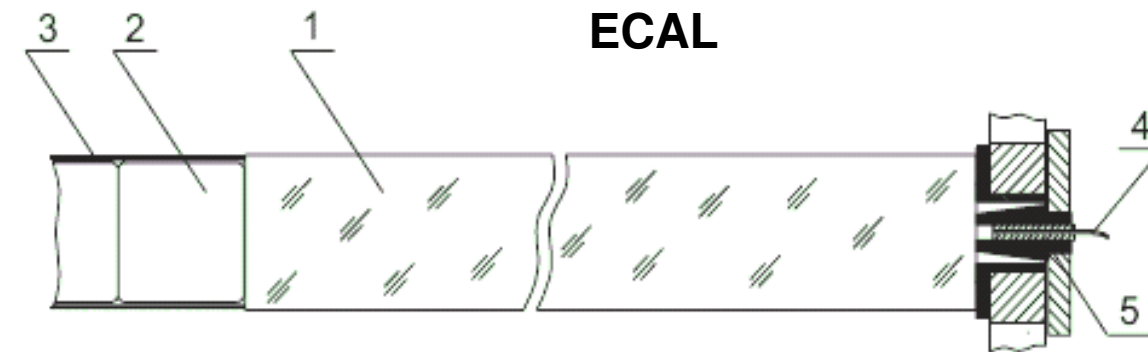
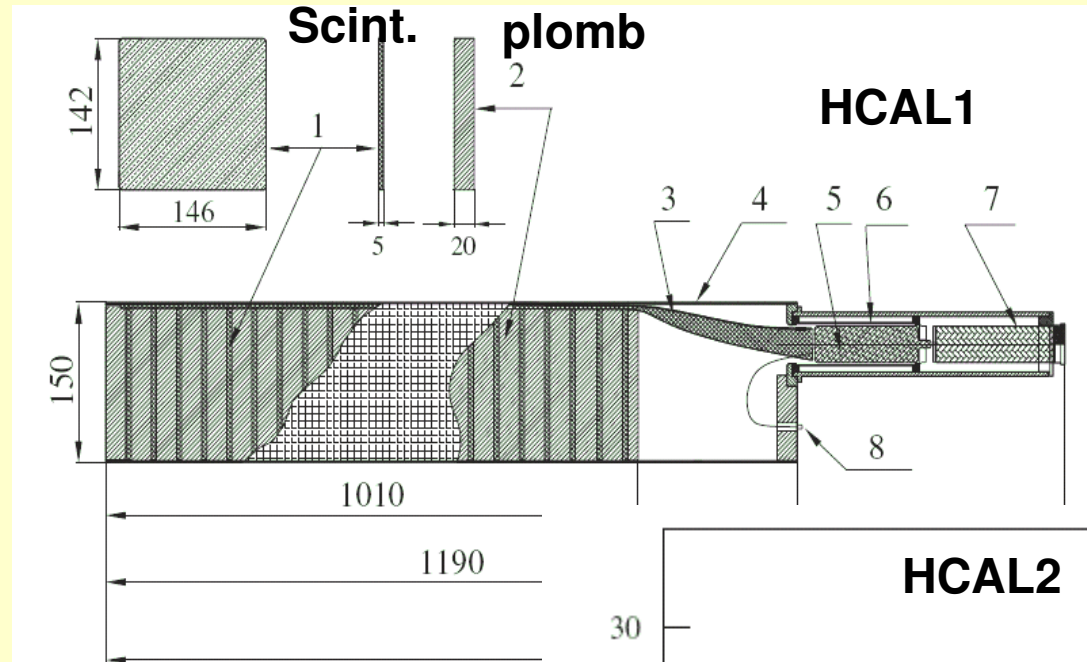
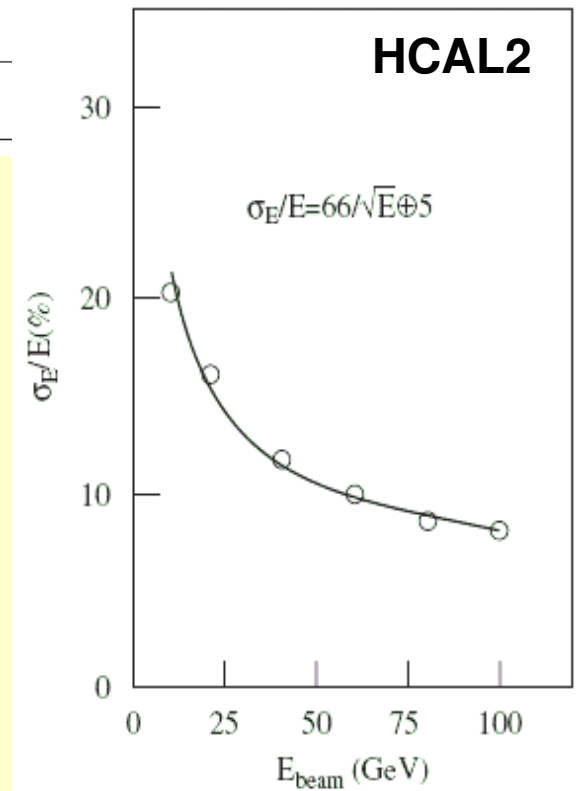


Fig. 52. A counter of the ECAL2 calorimeter: (1) TF1-000 lead glass radiator, (2) FEU-84-3 PMT, (3) permalloy magnetic screen, (4) quartz fibre to distribute the light pulse of the monitoring system, (5) light guide connector.



■ Échantillonnage Shashlik

● (futur) Calorimètre d'ALICE

→ $r(\text{Pb}/\text{Scint}) = 0,8$

● Calorimètre PHENIX

→ $r(\text{Pb}/\text{Scint}) = 0,4$

→ 18 X0 mais 0,85 λ

→ $\sigma/E = 8,1\%/\sqrt{E} + 2,1\%$

→ $\sigma_x/E = 5,7\text{mm}/\sqrt{E} + 1,55\text{mm}$
+ X0 sin θ

→ $\sigma_t \sim 100 \text{ ps}$

Containment: 88 parts

- 1) Back (holes: 144 thru for fibers + springs + mech. support), 1
- 2) Compression (holes: 144 thru for fibers + springs), 1
- 3) Front Plate (holes: 144 thru for fibers + springs + mech. support), 1
- 4) 5) Plungers (10)
- 6) Bellville washers (75)

Tensioning and Insulation: 40 parts

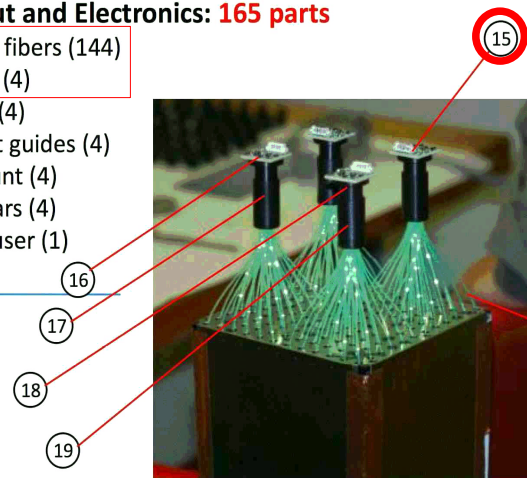
- 7) Stainless steel straps (4)
- 8) Screws (24)
- 9) Flanges (8)
- 10) Light tight stickers (4)

Sandwich: 538 parts

- 11) Lead tiles (76)
- 12) Scintillator tiles (308)
- 13) Bond paper sheets (154)

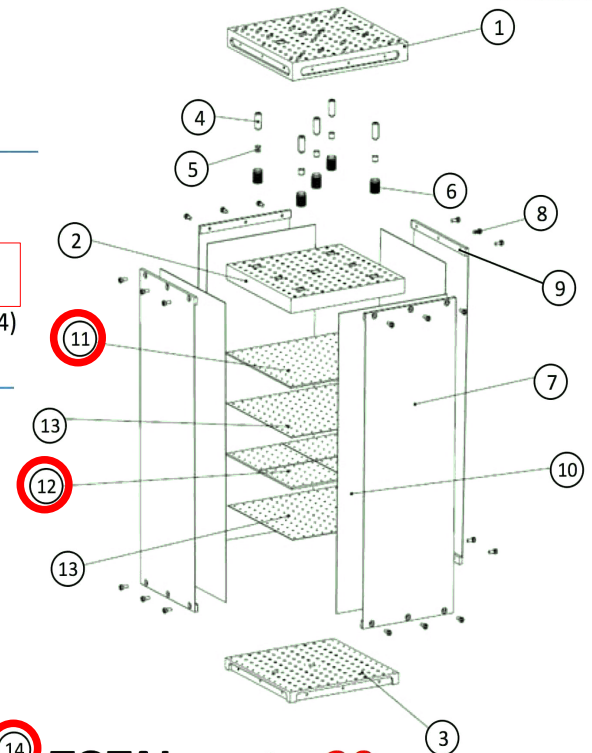
Readout and Electronics: 165 parts

- 14) WLS fibers (144)
- 15) APD (4)
- 16) CSP (4)
- 17) Light guides (4)
- 18) Mount (4)
- 19) Collars (4)
- 20) Diffuser (1)



ALICE THE EMCAL Module Components

F. Ronchetti



TOTAL parts: 20

TOTAL components: 831

Plus cabling, GMS and mech. supports

■ Choix particulier de Phenix

- 2 technologies différentes

■ Choix de CLAS

- Positionnement aux angles stratégiques

■ Remarques

● Intégration

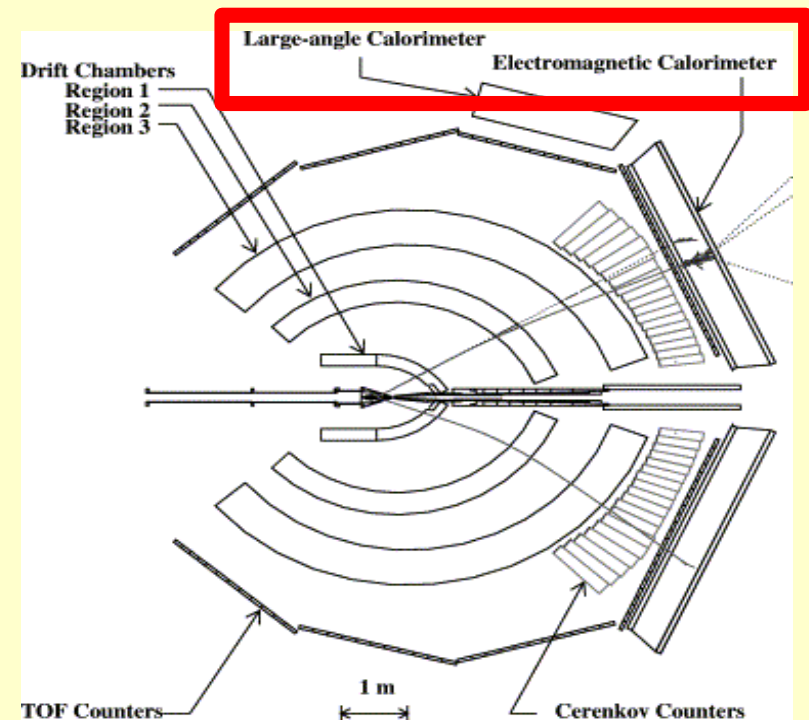
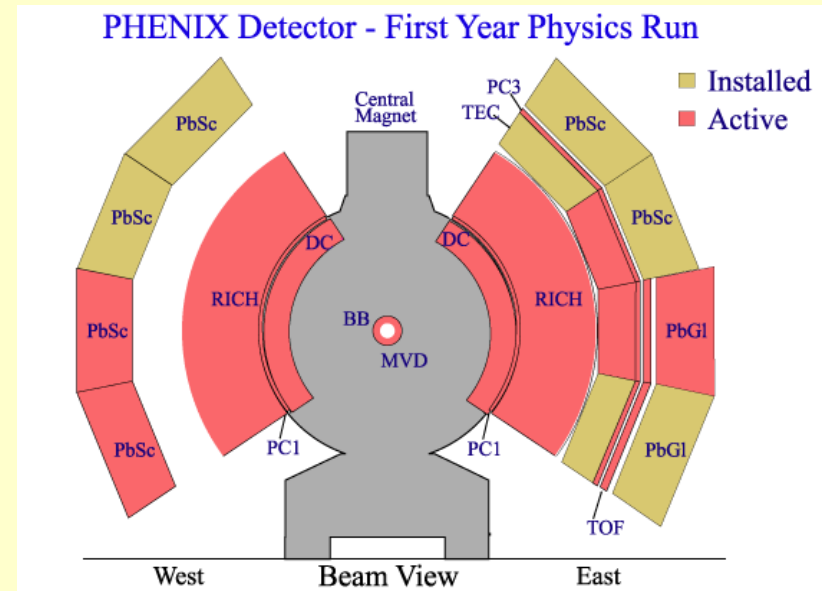
- Très lourd !
- PMT n'aiment pas B

● Etalonnage

- Dans l'appareillage
- Utilise LED, laser

● Excellente résolution temporelle

- 100 à qq 100 ps
- Utilisation / déclenchement



■ Le plan de ce cours

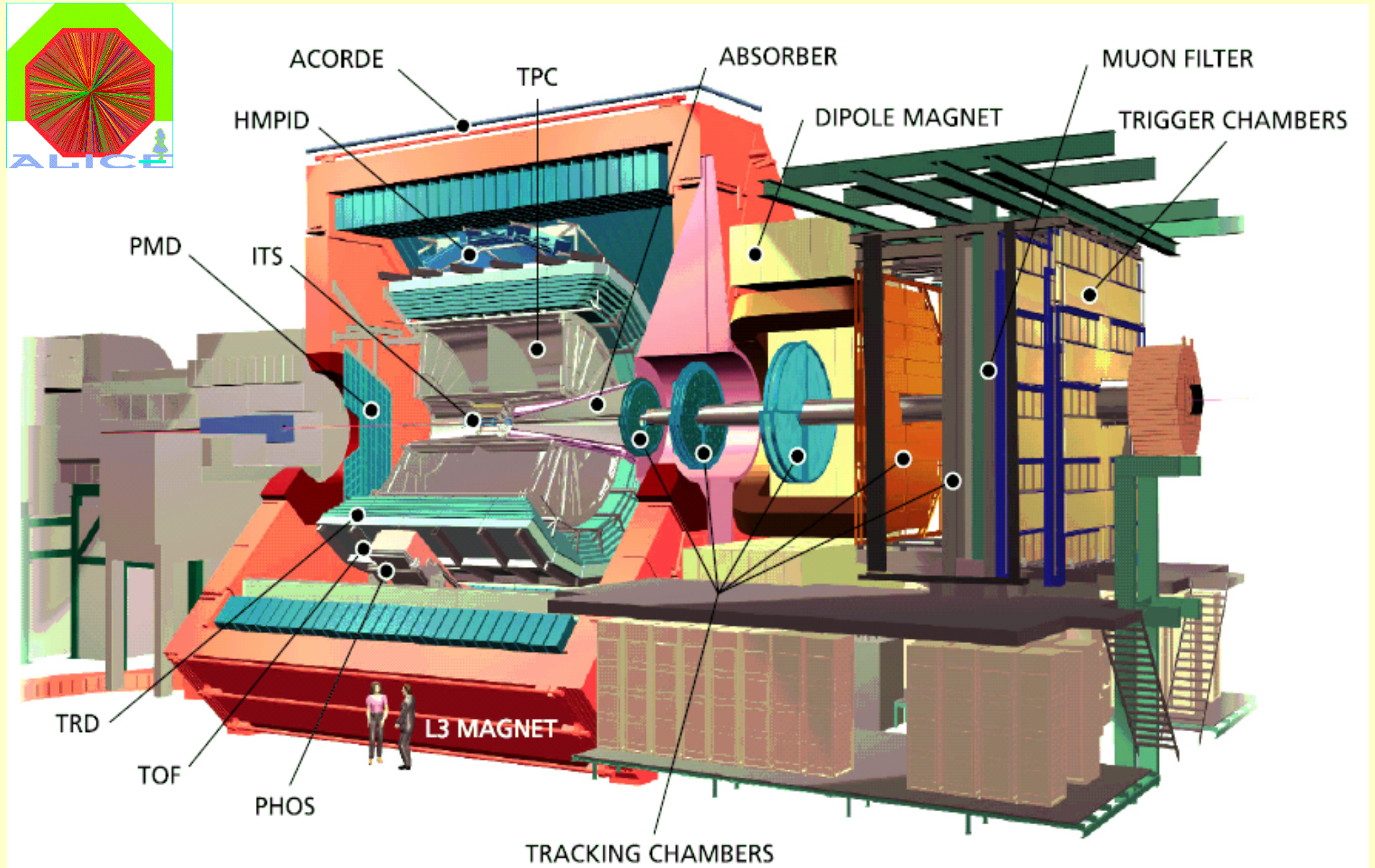
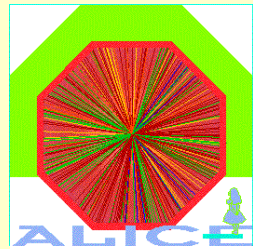
- **Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)**
 - **Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie**
 - **La structure des nucléons et des hadrons**
 - **Le plasma de quarks et de gluons**
 - **Synthèse des besoins**
- **Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)**
 - **La trajectométrie**
 - **L'identification des particules**
 - **La calorimétrie**
 - **Le déclenchement**
 - **Synthèse des performances**

■ Stratégie de détection (de quoi avons-nous besoin ?)

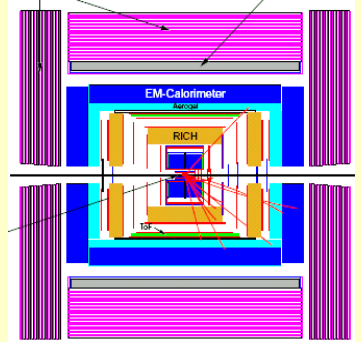
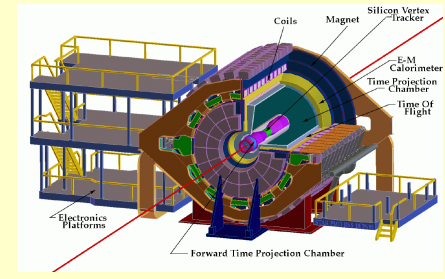
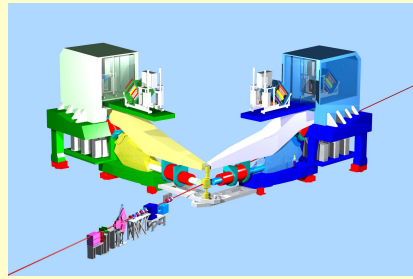
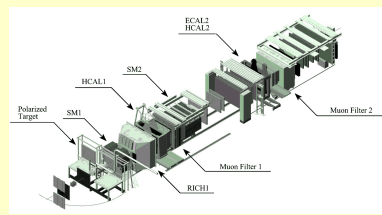
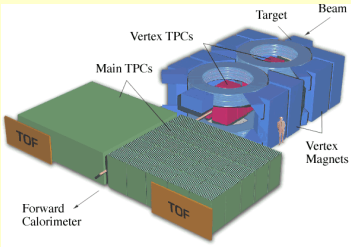
- Caractéristiques spécifiques de la physique nucléaire de haute énergie
- La structure des nucléons et des hadrons
- Le plasma de quarks et de gluons
- Synthèse des besoins

■ Instruments de détection (comment répondons-nous à ces besoins ?)

- La trajectométrie
- L'identification des particules
- La calorimétrie
- Le déclenchement
- Synthèse des performances



~ 1,25 Goctets / seconde



Les grands principes

- Physique \Rightarrow choix d'une technologie ou développement d'une nouvelle
- MAIS, il y a souvent **plusieurs chemins** pour des résultats similaires
 - \rightarrow autres considérations (budget, mise en oeuvre, ...)

Utilisez l'esprit de ce cours pour

- Rédiger des chapitres "détecteur" vivant pour votre thèse
- Inventez autre chose !

