

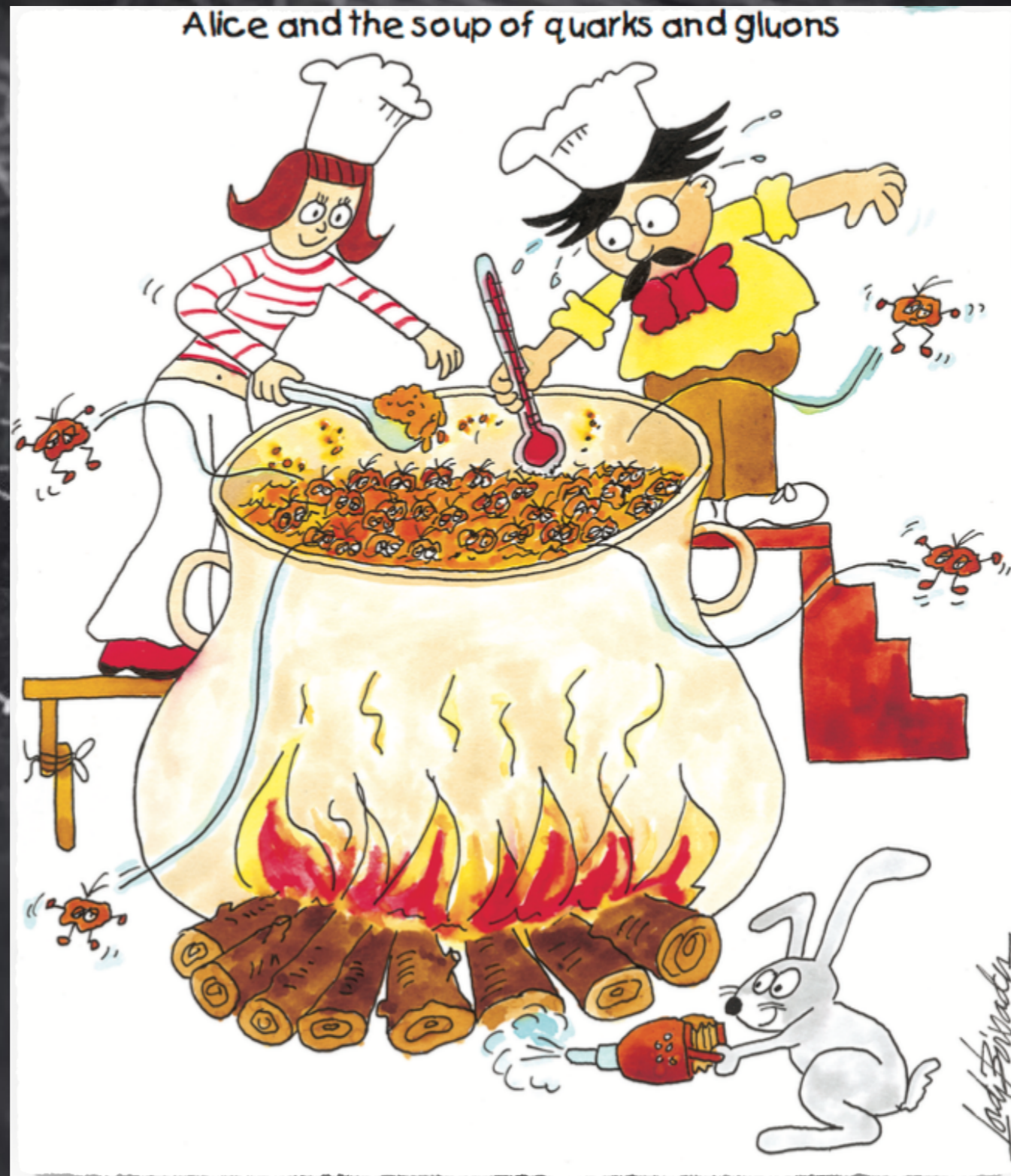
ALICE et la QCD: plongée dans le Big Bang

Zaida Conesa del Valle
IJCLab (CNRS/IN2P3, Université Paris-Saclay)
Masterclass ALICE, 31 mars 2022

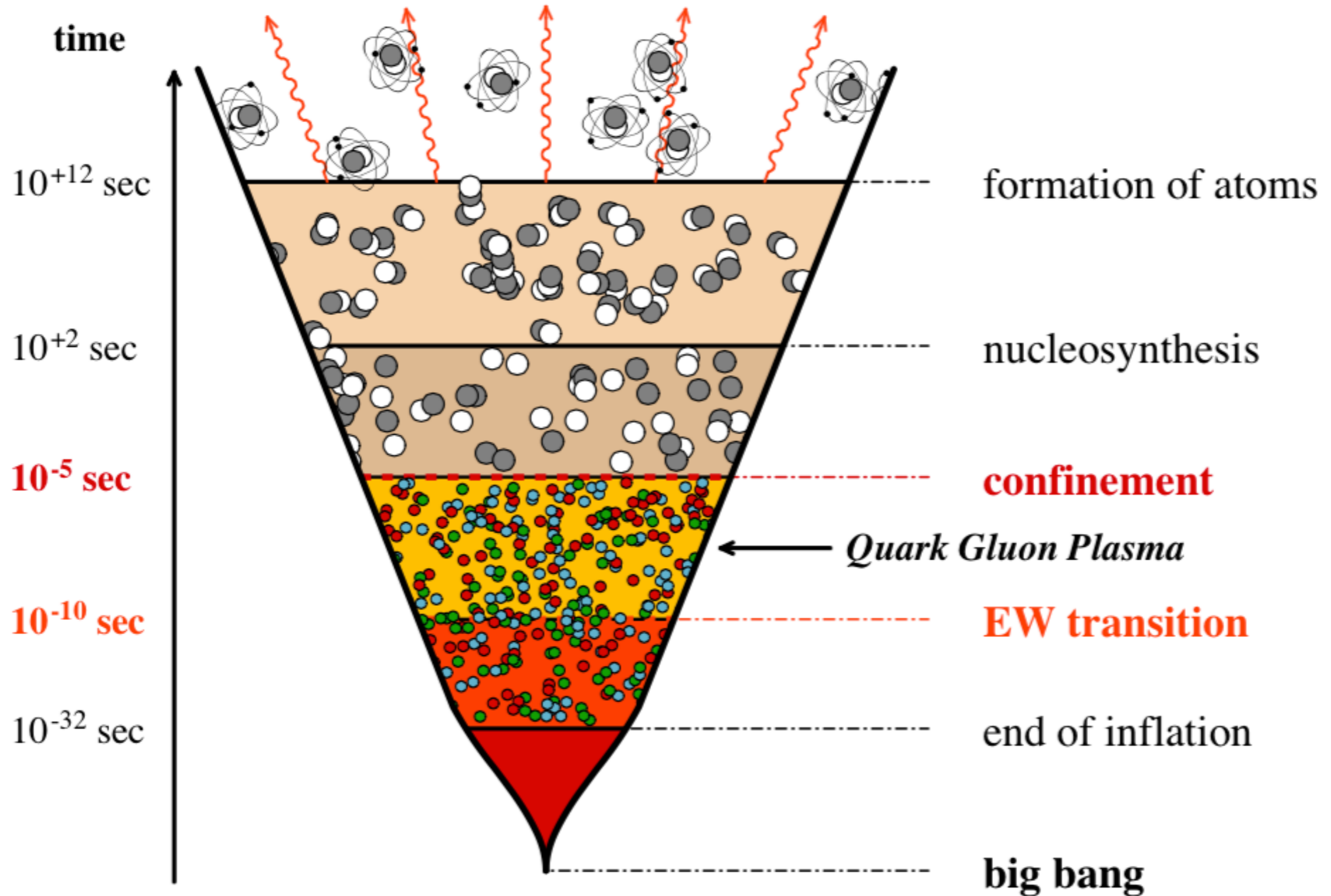


ALICE
ALICE

ALICE à la recherche du Plasma de Quarks et de Gluons (PQG)...



The QGP in the Big Bang



Et comment l'étudier en laboratoire?



Et comment l'étudier en laboratoire?

- Idée: étudier les constituants élémentaires de la matière, qui dans la nature sont confinés dans des hadrons.
- C.a.d. étudier le plasma de quarks et de gluons, à très **haute densité d'énergie et température**.



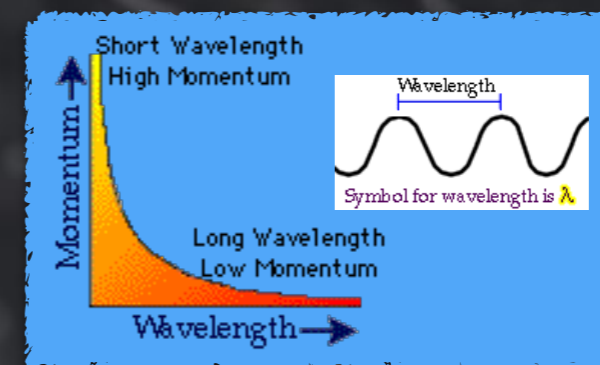
Et comment l'étudier en laboratoire?

- Idée: étudier les constituants élémentaires de la matière, qui dans la nature sont confinés dans des hadrons.
 - C.a.d. étudier le plasma de quarks et de gluons, à très **haute densité d'énergie et température**.
- Comment?
Des **collisions d'ions lourds ultra-relativistes**:
 - ions lourds: haute densité
 - ultra-relativistes: grande vitesse

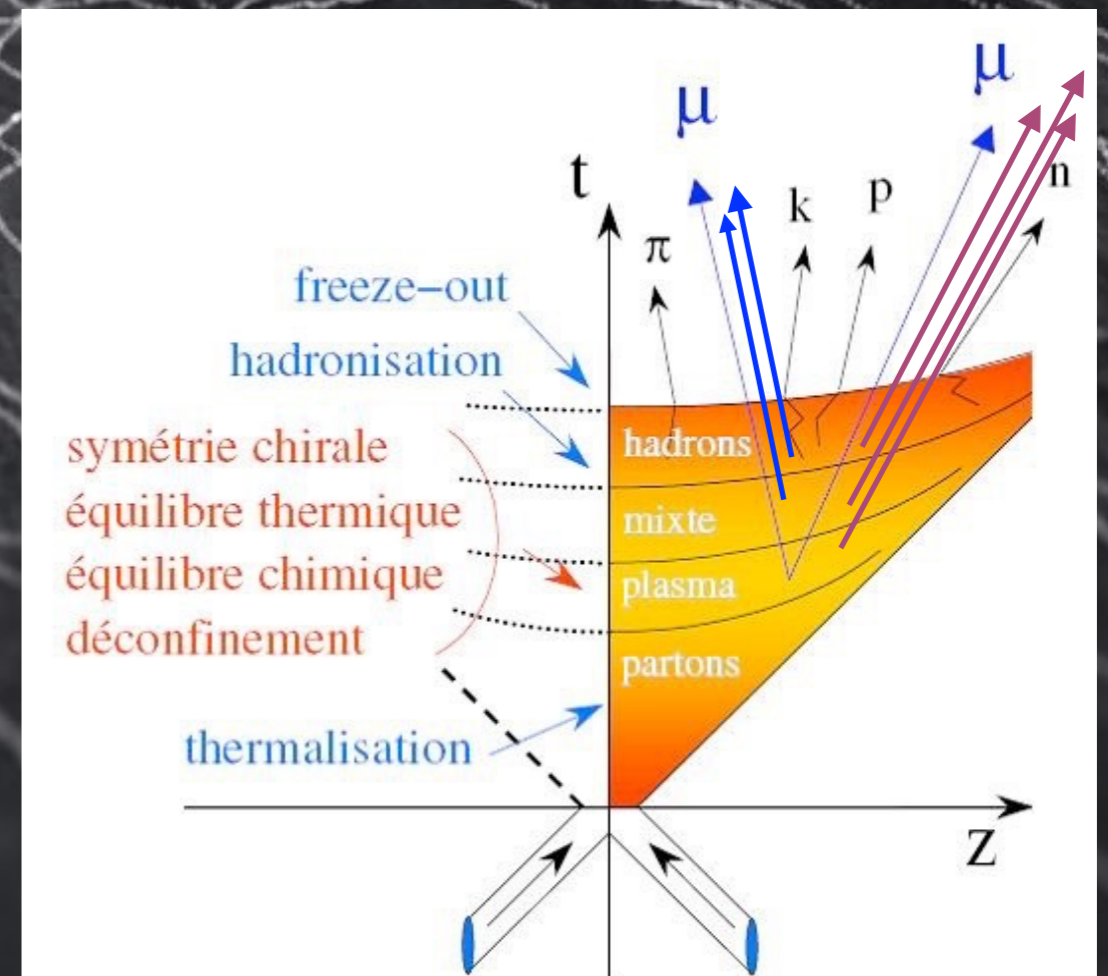
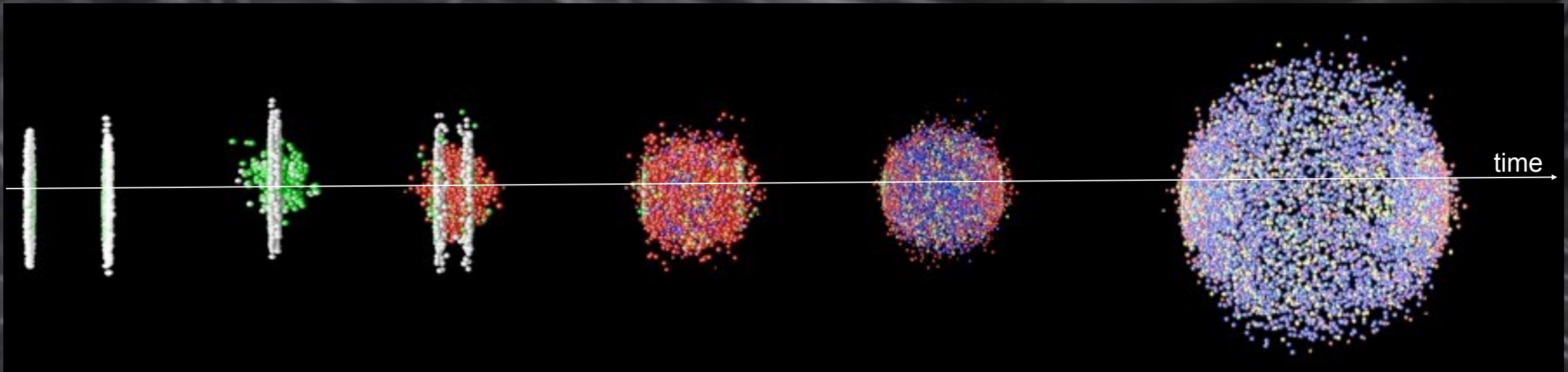


Et comment l'étudier en laboratoire?

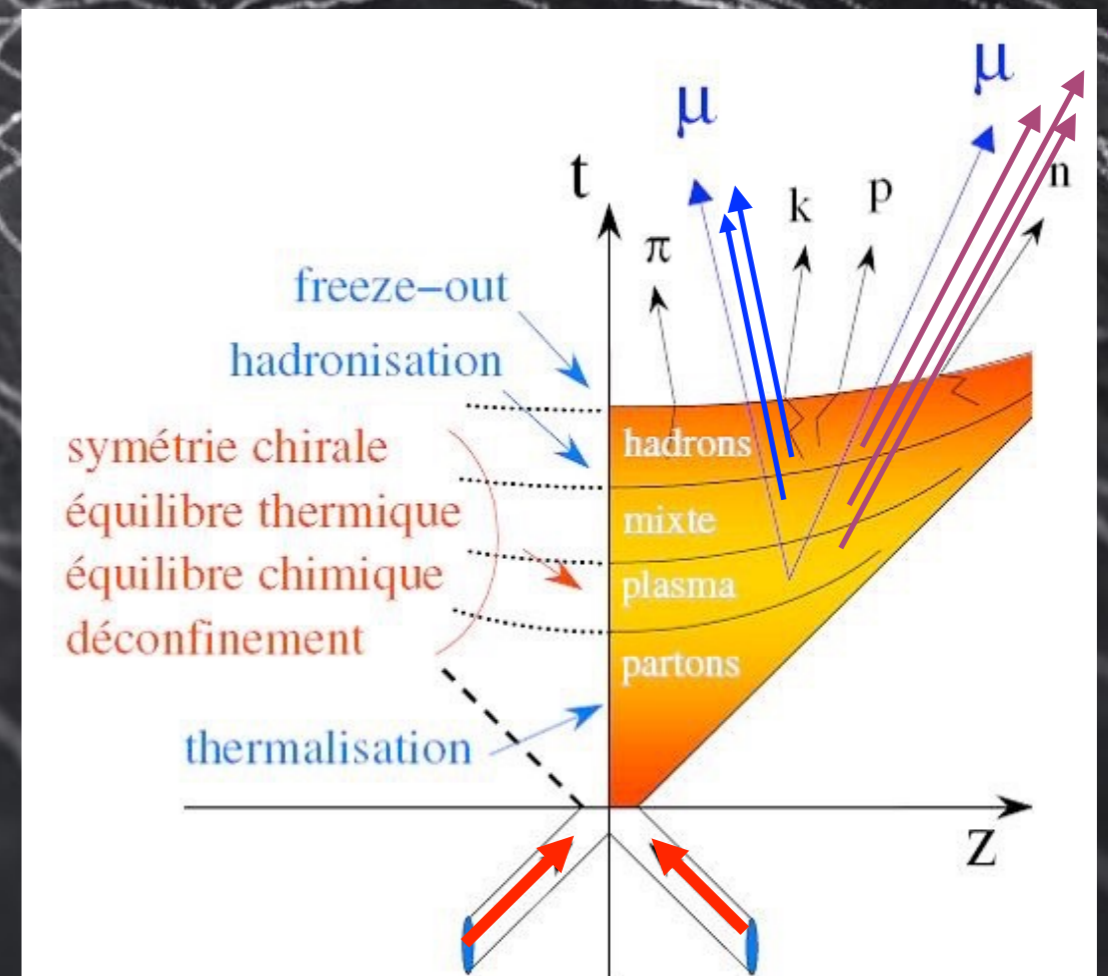
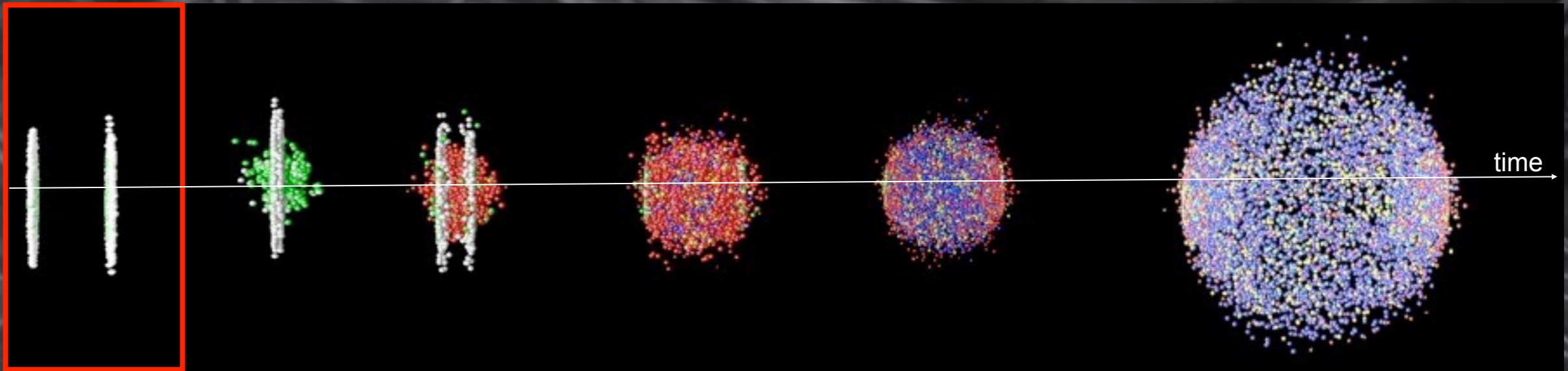
- Idée: étudier les constituants élémentaires de la matière, qui dans la nature sont confinés dans des hadrons.
 - C.a.d. étudier le plasma de quarks et de gluons, à très **haute densité d'énergie et température**.
- Comment?
Des **collisions d'ions lourds ultra-relativistes**:
 - ions lourds: haute densité
 - ultra-relativistes: grande vitesse
- **Accélérateur de particules**: un grand microscope
 - Variation de l'énergie de bombardement: contrôle l'énergie et la température déposées dans le système. Permet de naviguer dans le diagramme de phases.



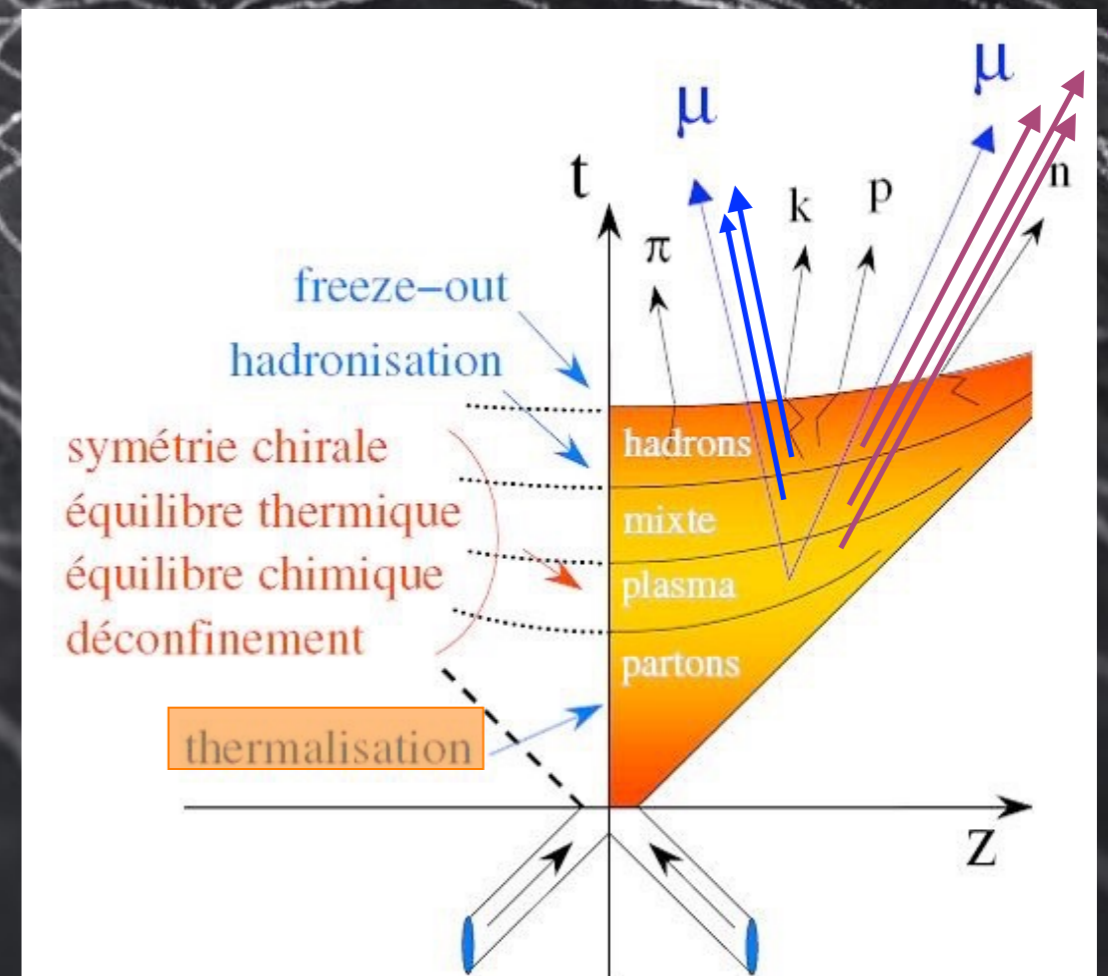
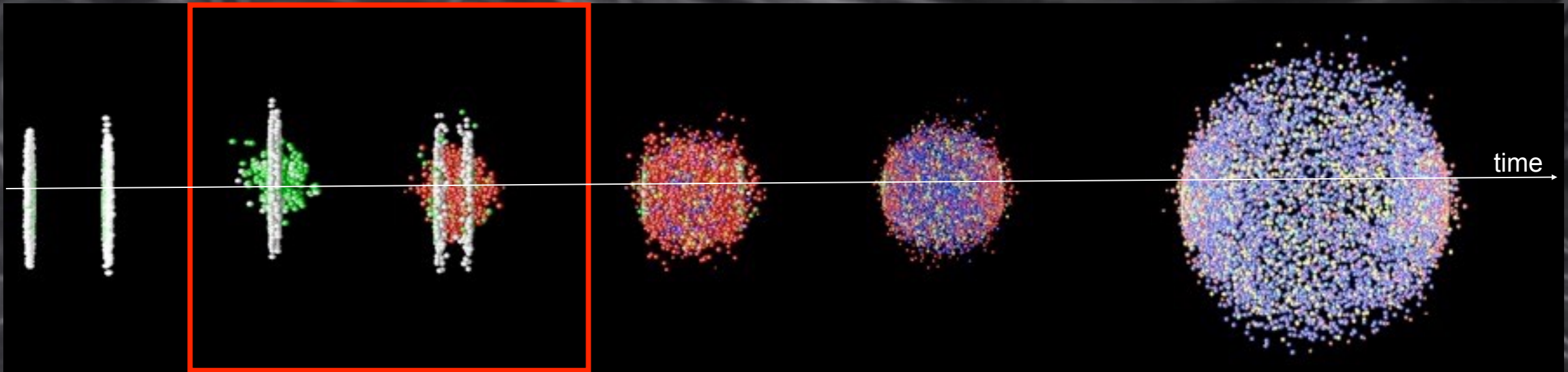
Collisions d'ions lourds



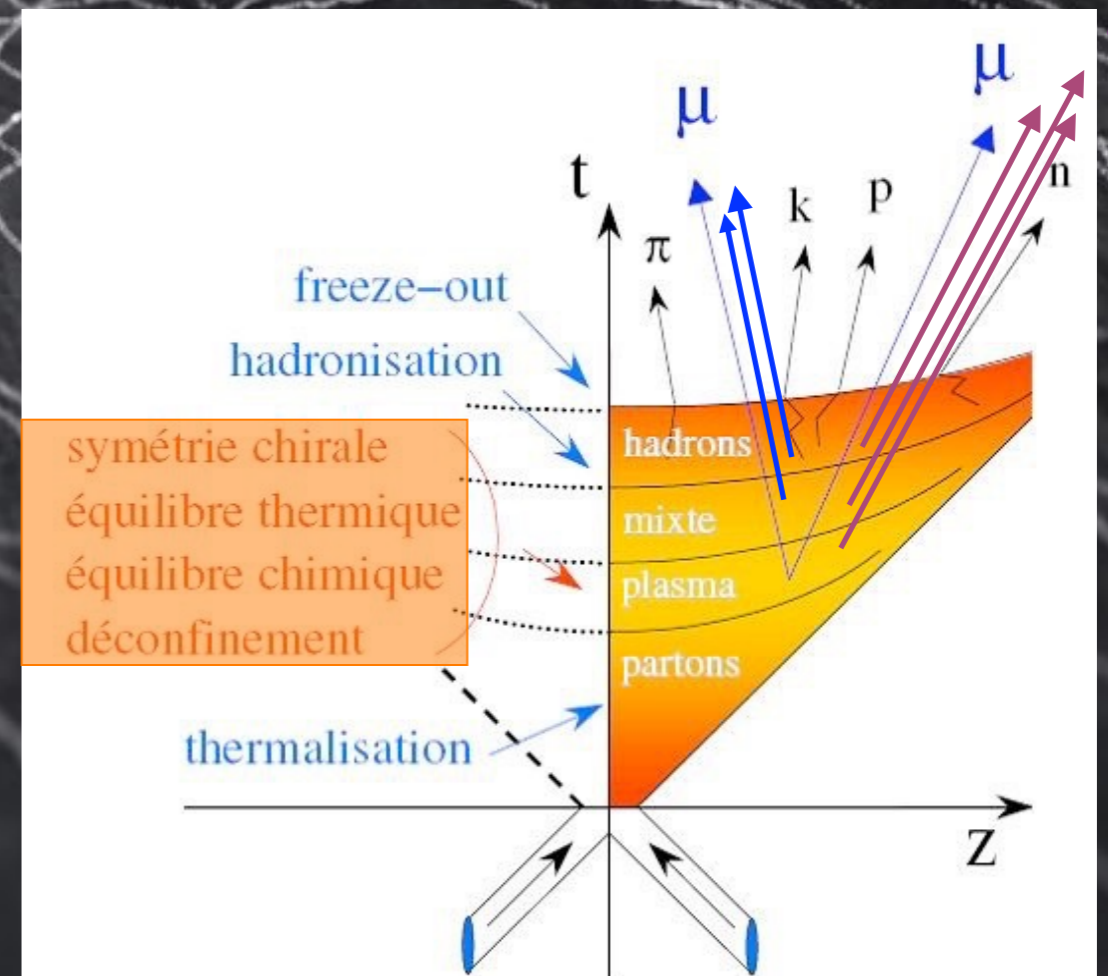
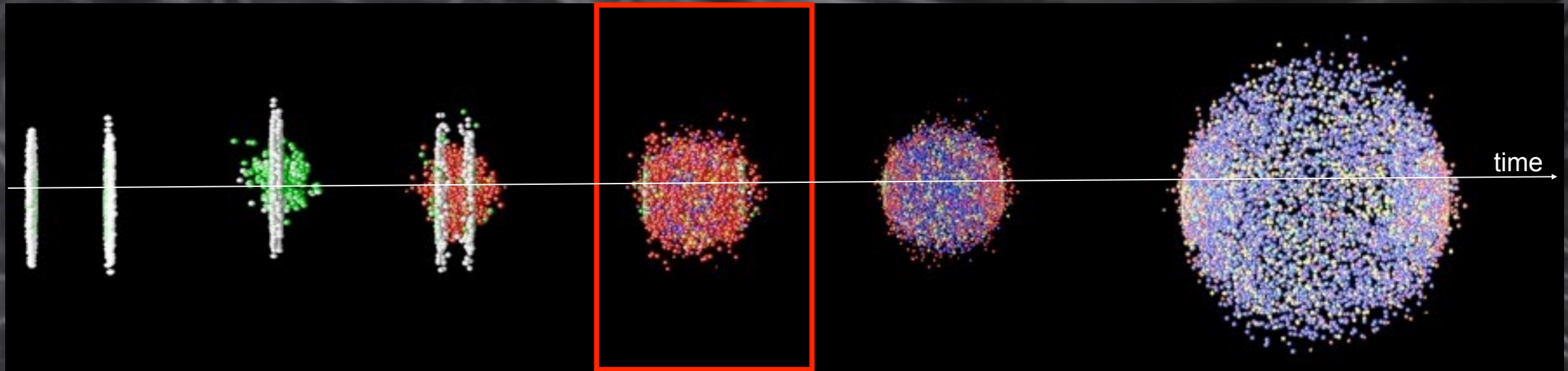
Collisions d'ions lourds



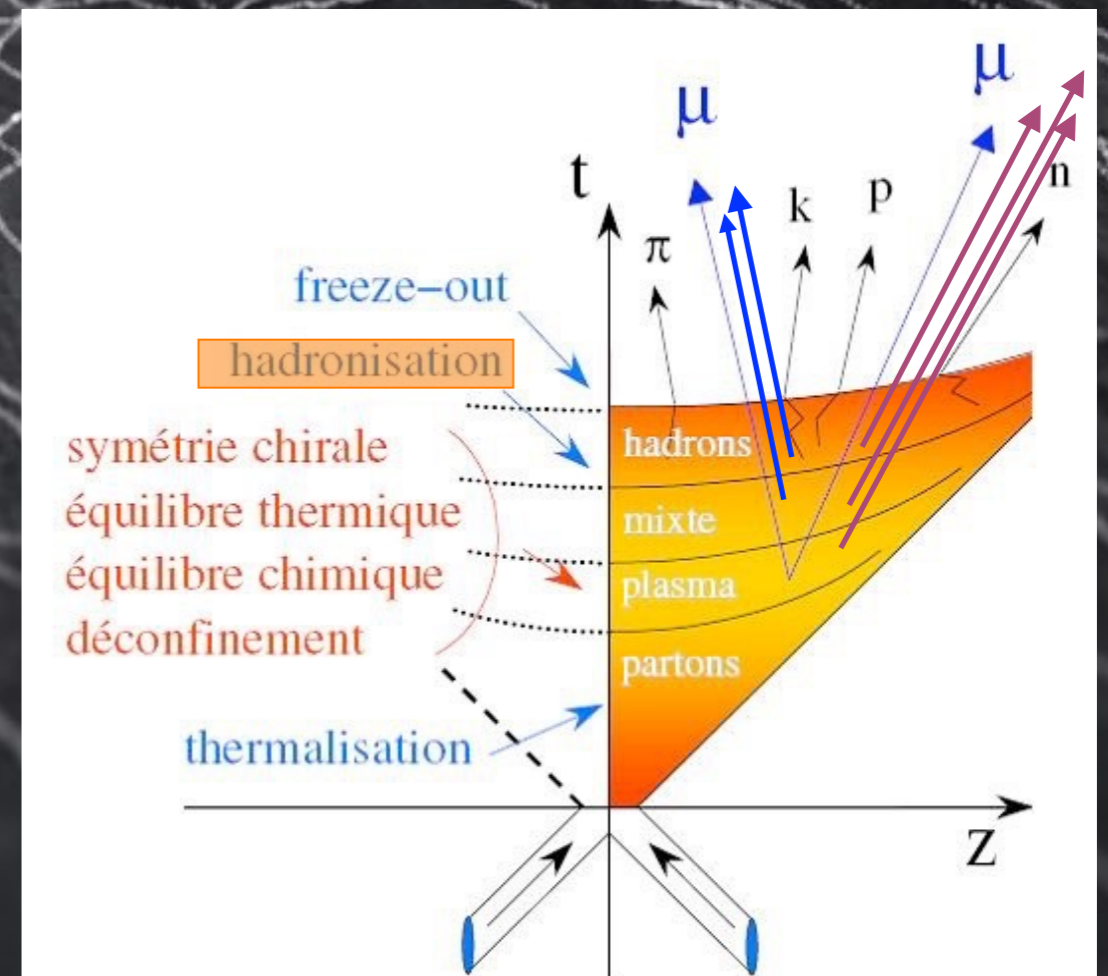
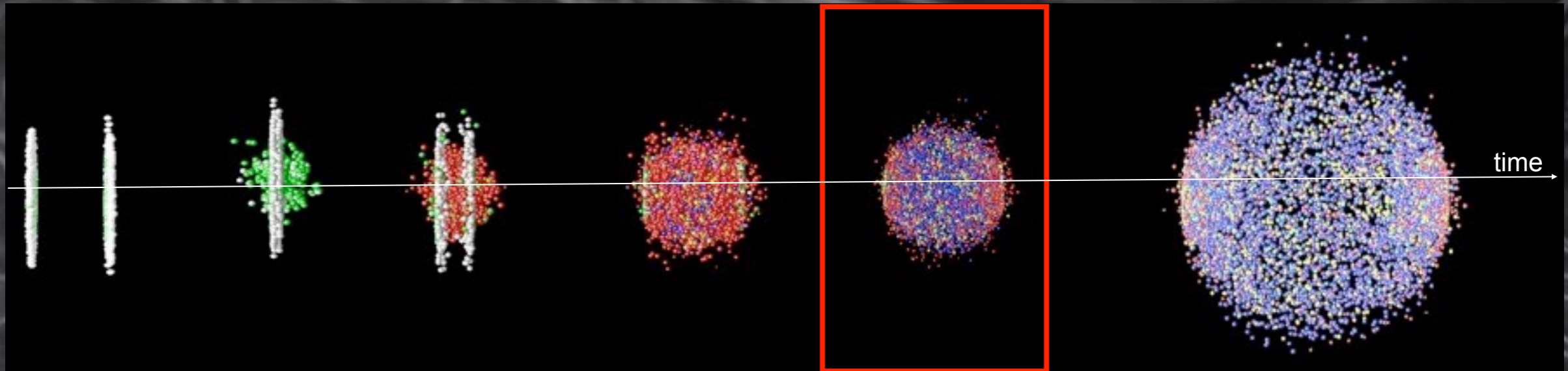
Collisions d'ions lourds



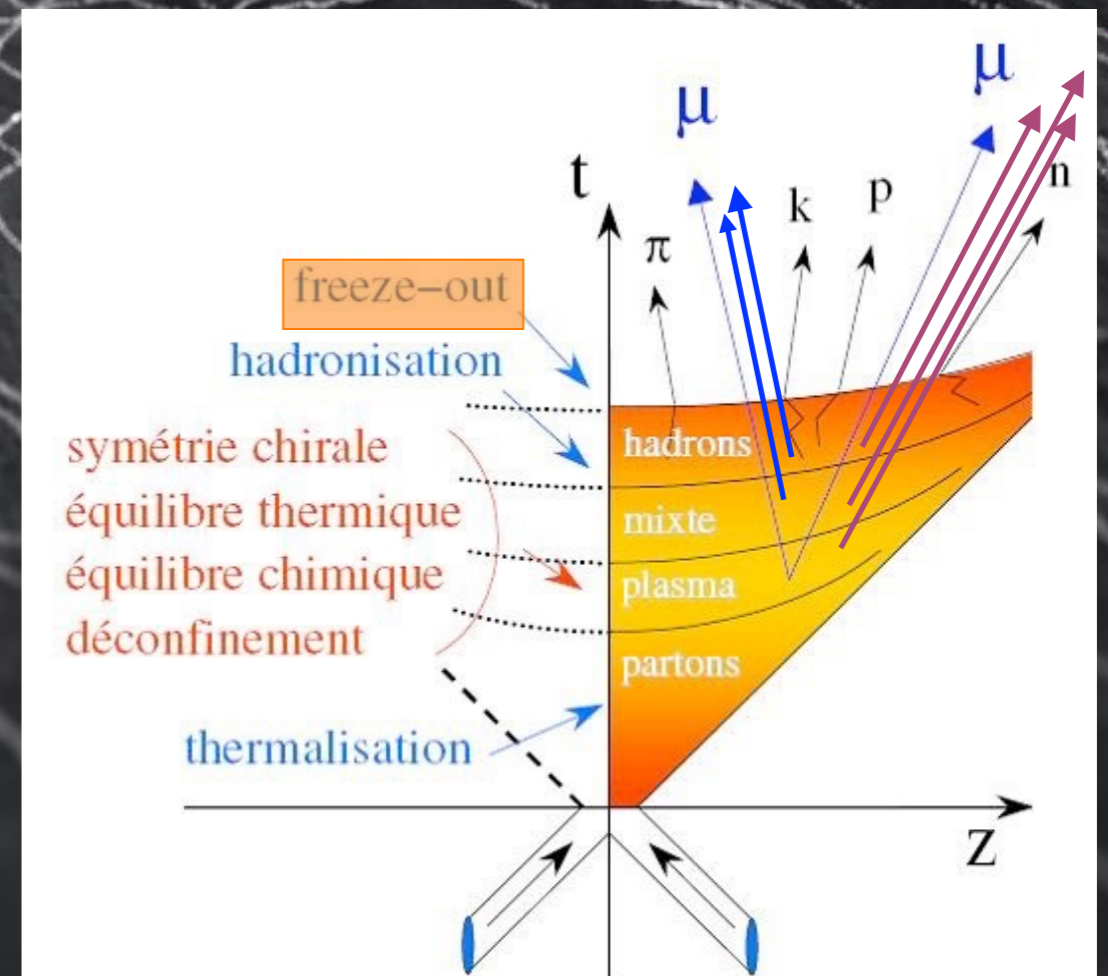
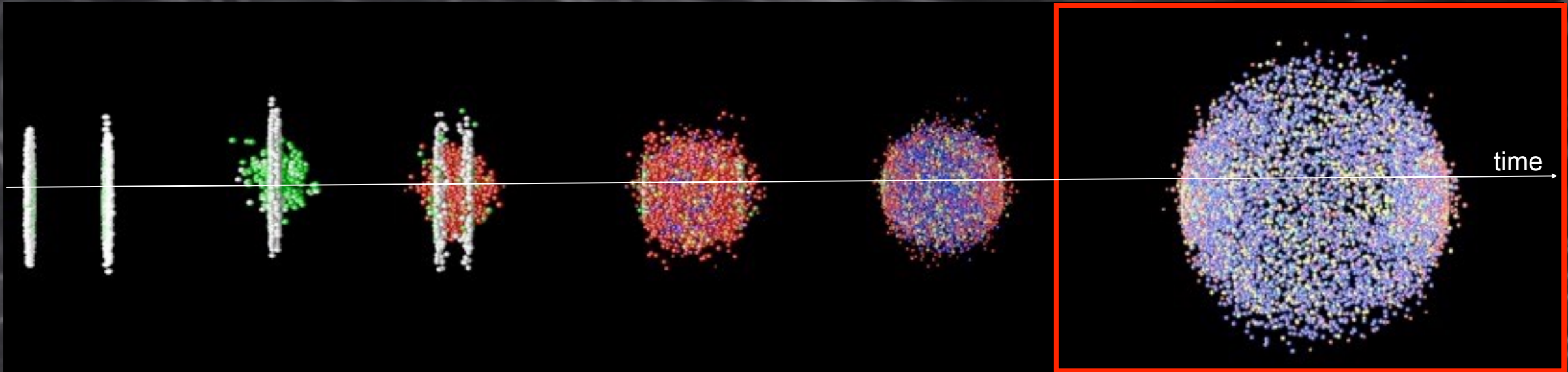
Collisions d'ions lourds



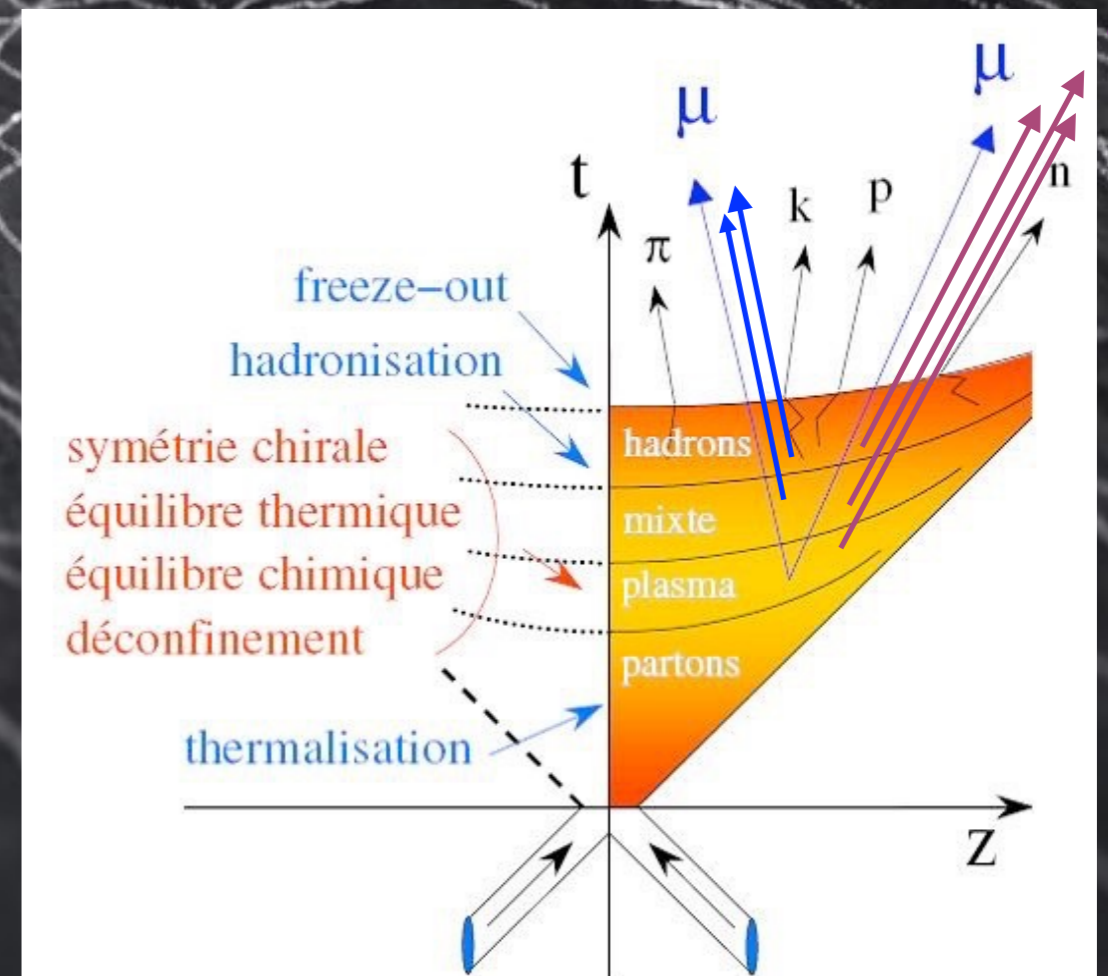
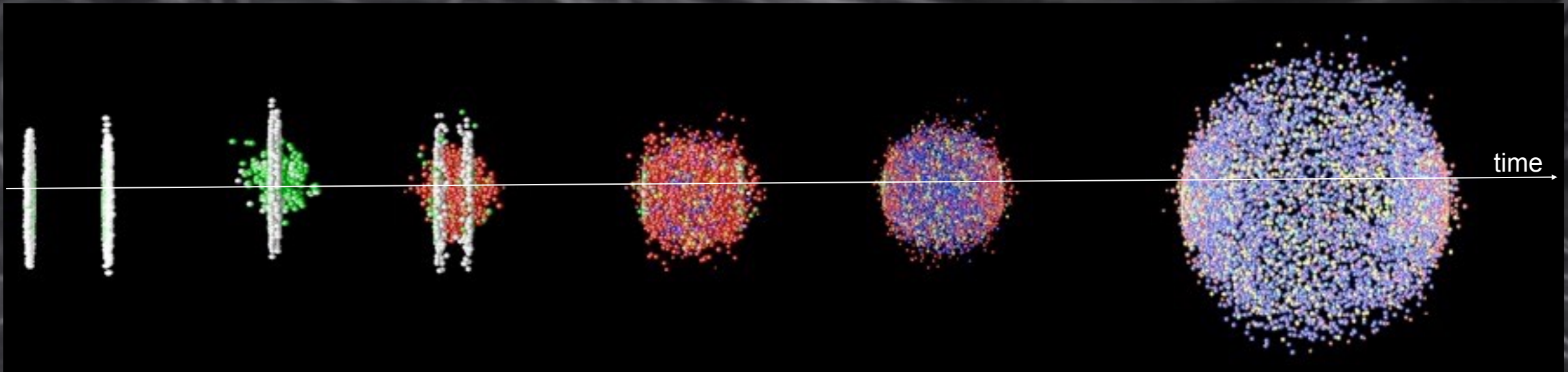
Collisions d'ions lourds



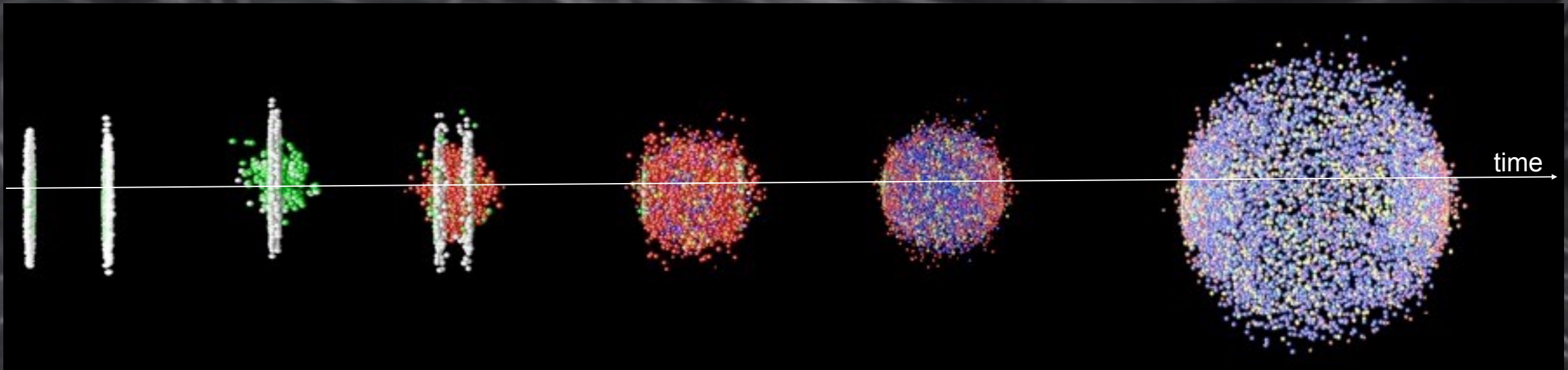
Collisions d'ions lourds



Collisions d'ions lourds

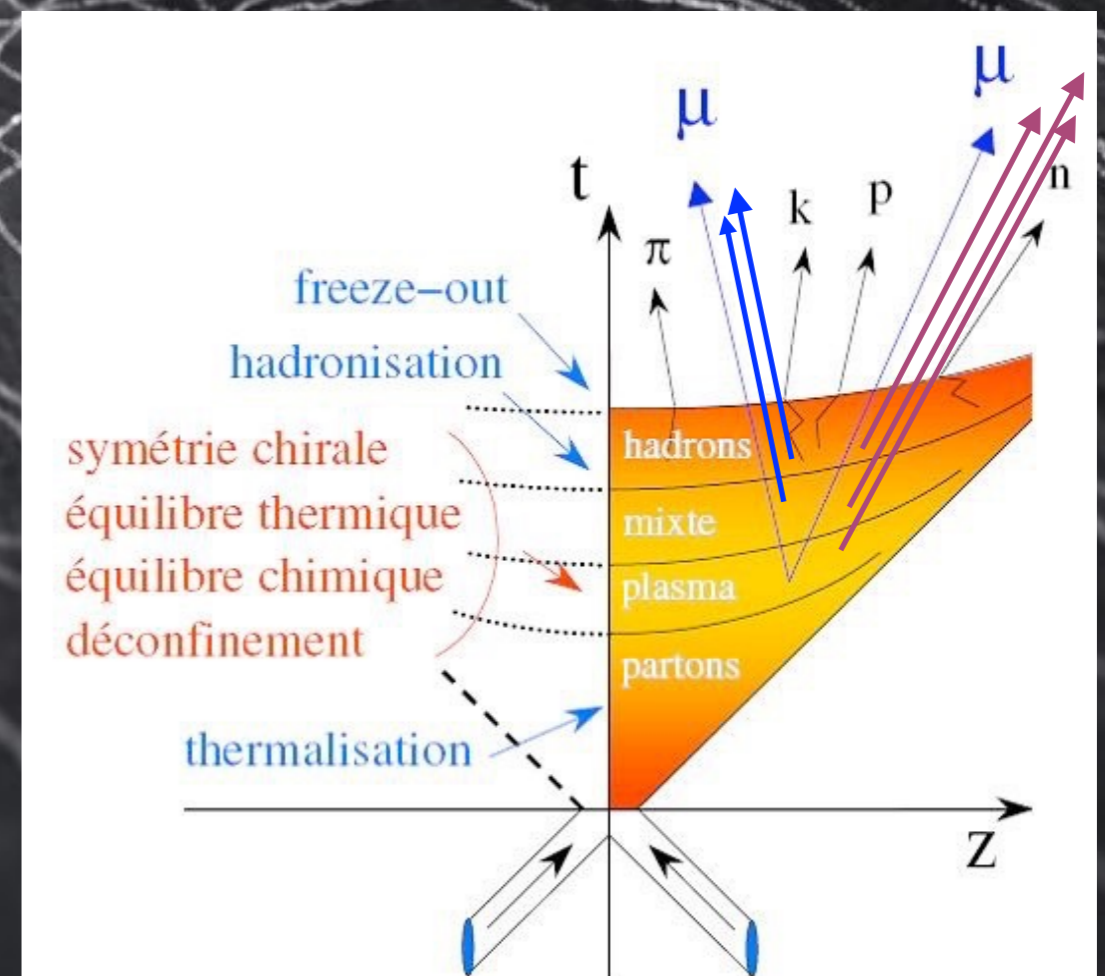


Collisions d'ions lourds

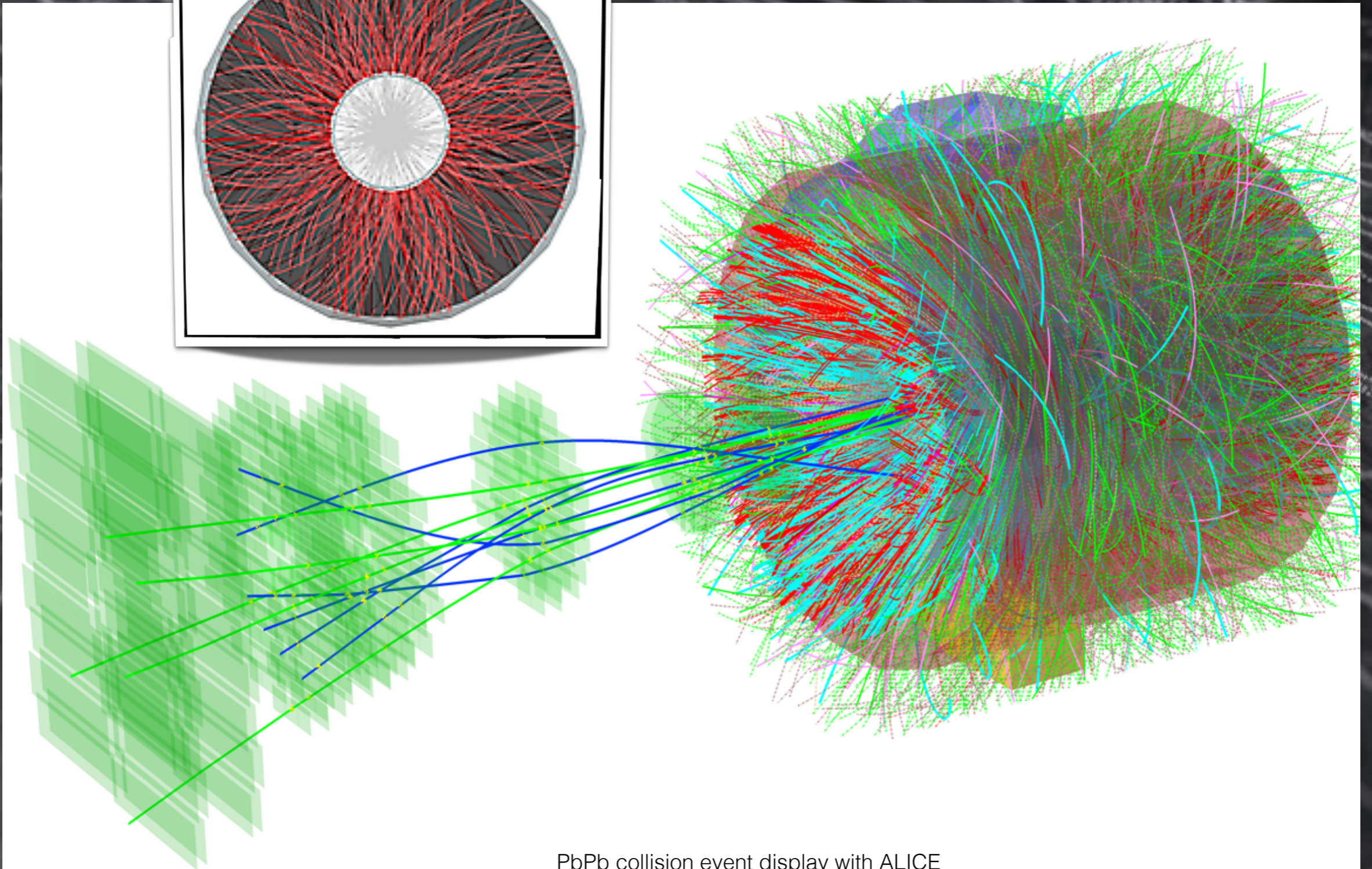
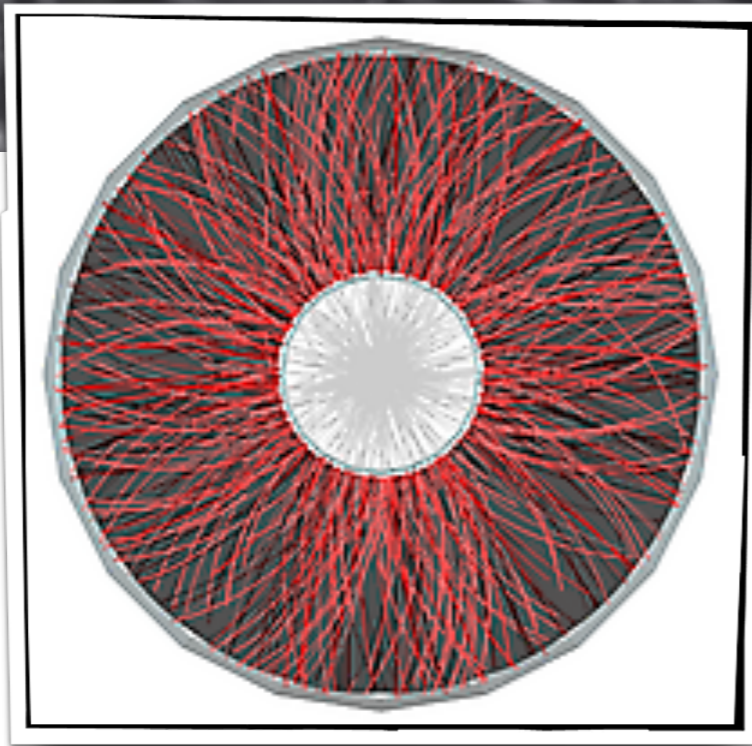


- **Observables: particules détectées**

- taux de particules produites,
- énergie transverse,
- décomposition chimique des particules produites (spectres des protons, neutrons,...),
- distribution spatiale des particules produites,
- ...



Visualisation d'une collision PbPb



PbPb collision event display with ALICE

Des collisions à la détection: cameras de haute qualité



	Tracking chamber	Electromagnetic calorimeter	Hadron calorimeter	Muon detector
Photons		✓		
Electrons or positrons		✓		
Muons				✓
Pions or protons			✓	
Neutrons			✓	



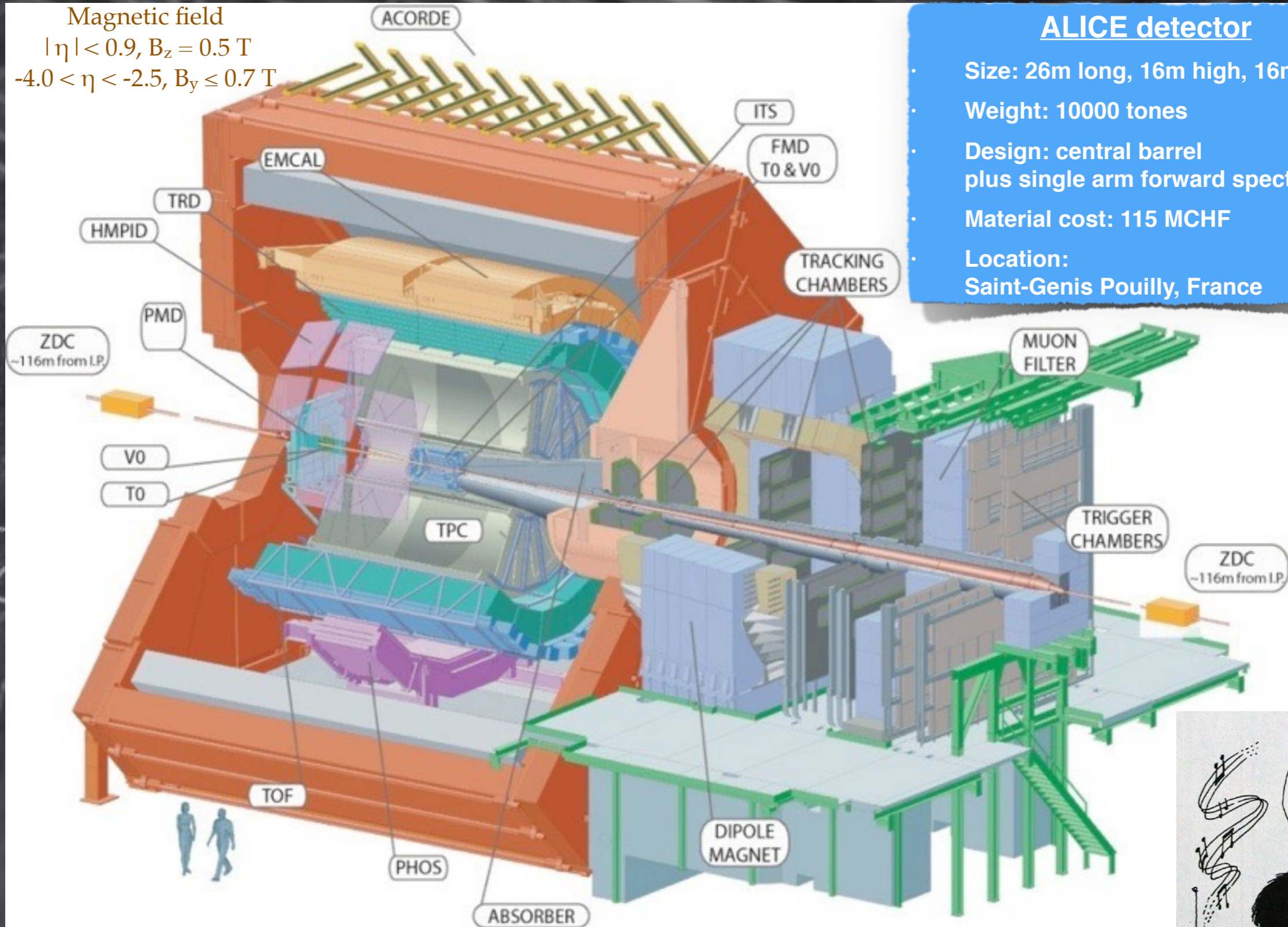
$$F = B q v$$

$$F = m a$$

- **Caractéristiques de la collision: grande multiplicité et grand taux d'interaction.** Phénomène fugace (10^{-24} s), localisé (10^{-15} m) et fréquent (1-100 ns).
→ **camera de haute précision et très rapide**
- **Caractéristiques du détecteur de particules:**
 - **Identification de particules:** différents types de particules traversent plus/moins de matière où des matériaux plus/moins denses.
→ **multi-component detector**
 - **Mesurer l'énergie déposée**
Les particules perdent de l'énergie en traversant la matière, qu'elles y déposent en interagissant.
→ **mesure précise du dépôt d'énergie**
 - **Reconstruire leur charge et impulsion (vitesse)**
→ **champ magnétique**

Le détecteur ALICE auprès du LHC

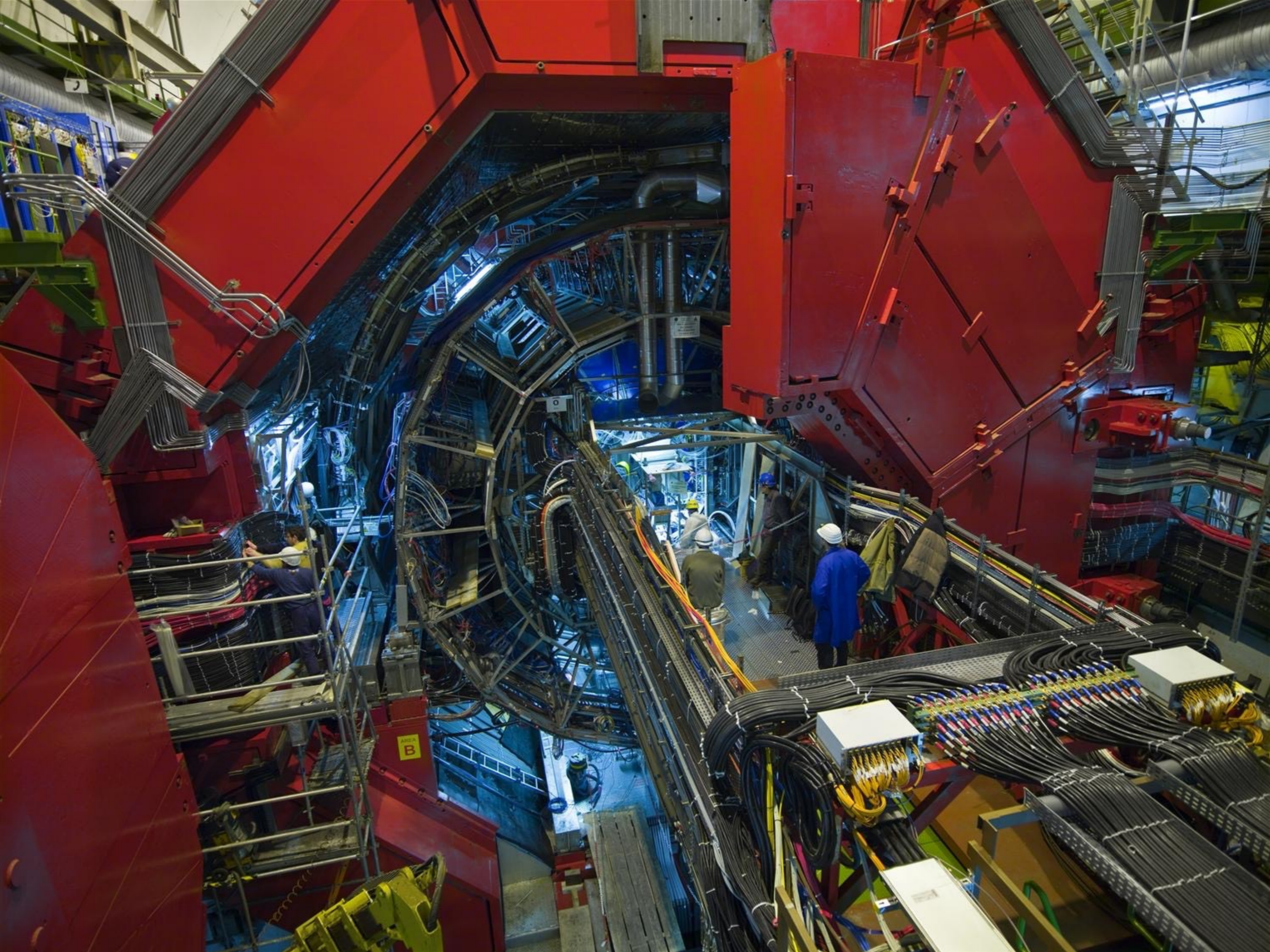
Magnetic field
 $|\eta| < 0.9, B_z = 0.5 \text{ T}$
 $-4.0 < \eta < -2.5, B_y \leq 0.7 \text{ T}$

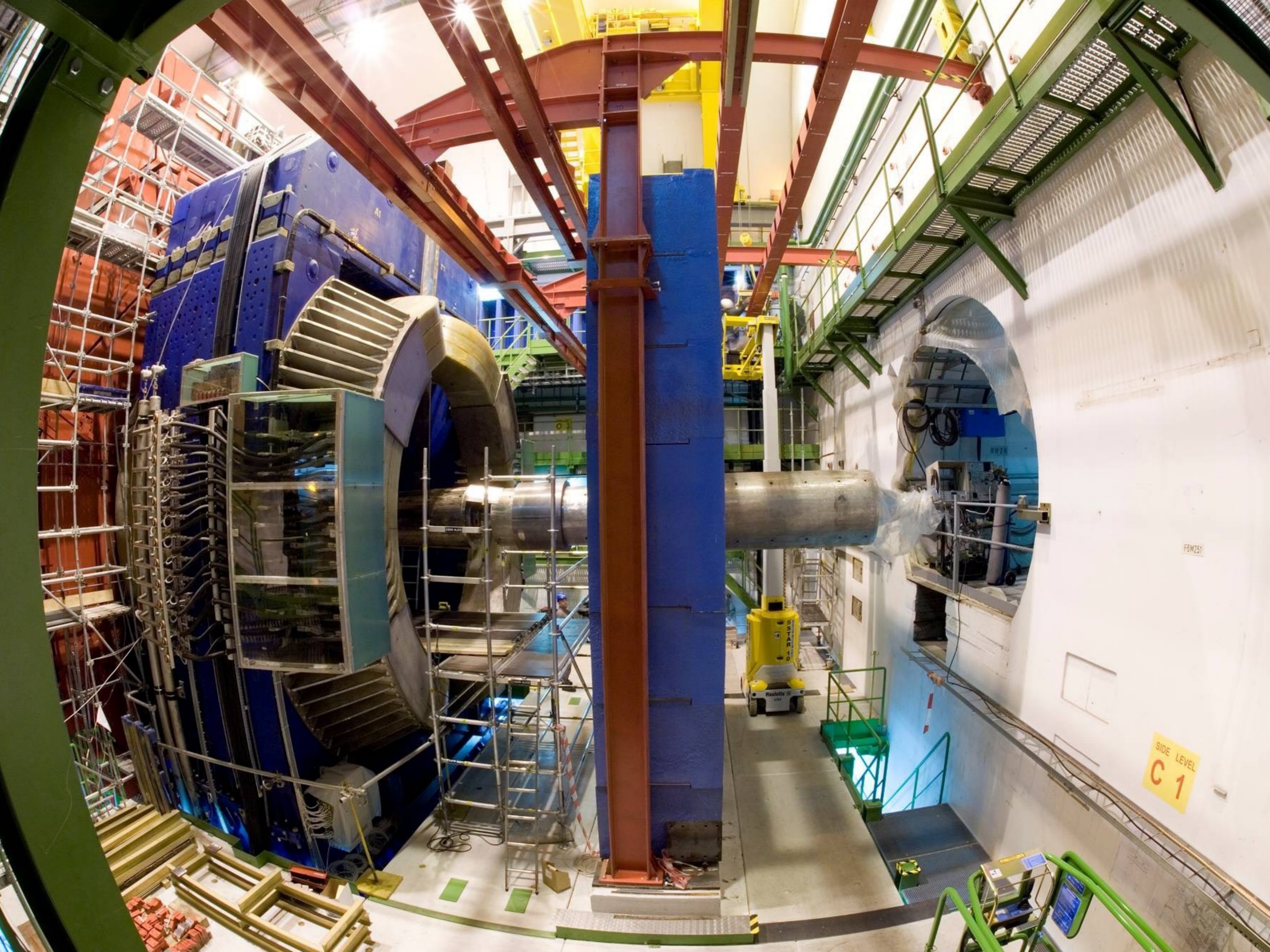


ALICE detector

- Size: 26m long, 16m high, 16m wide
- Weight: 10000 tones
- Design: central barrel plus single arm forward spectrometer
- Material cost: 115 MCHF
- Location: Saint-Genis Pouilly, France

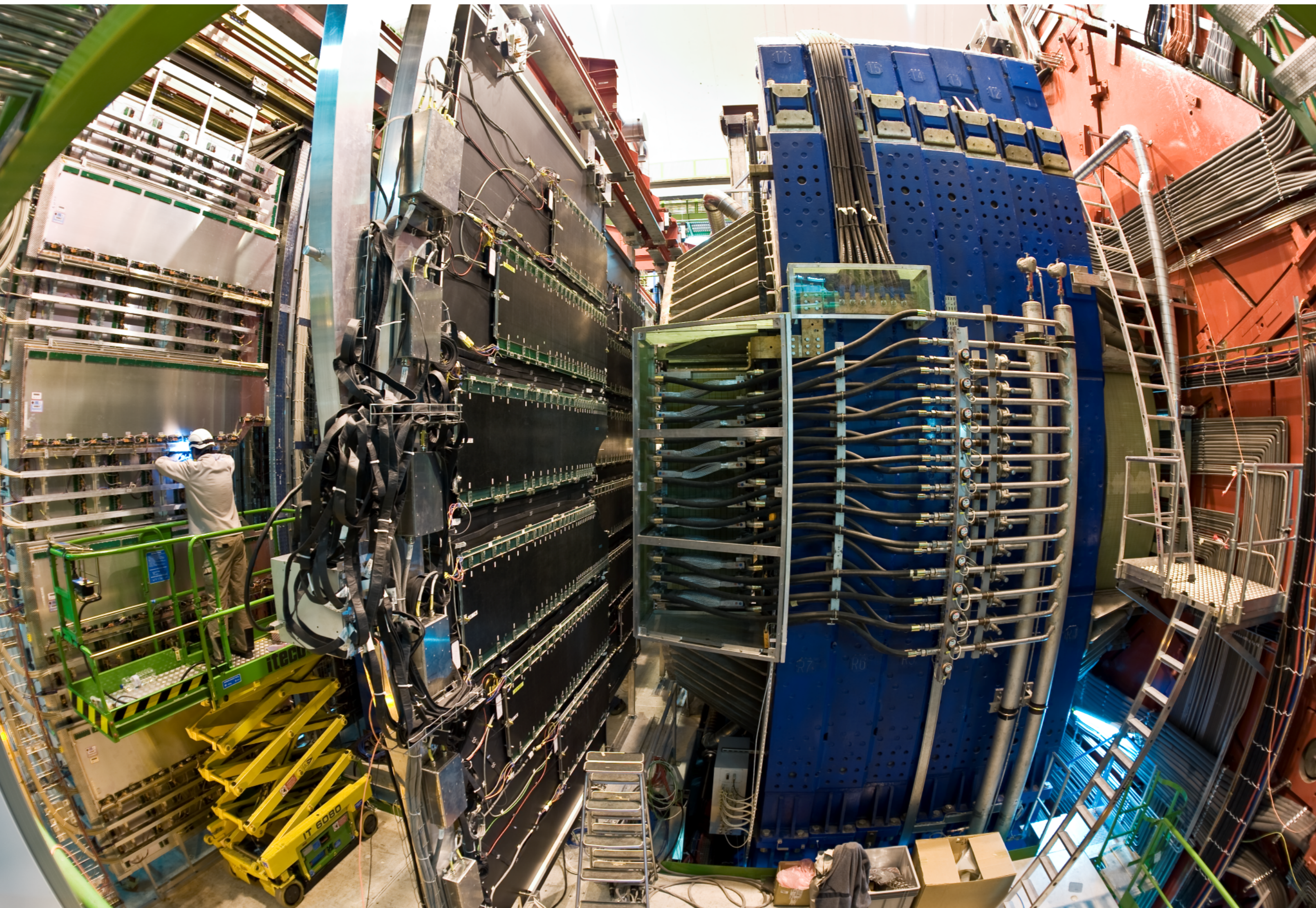




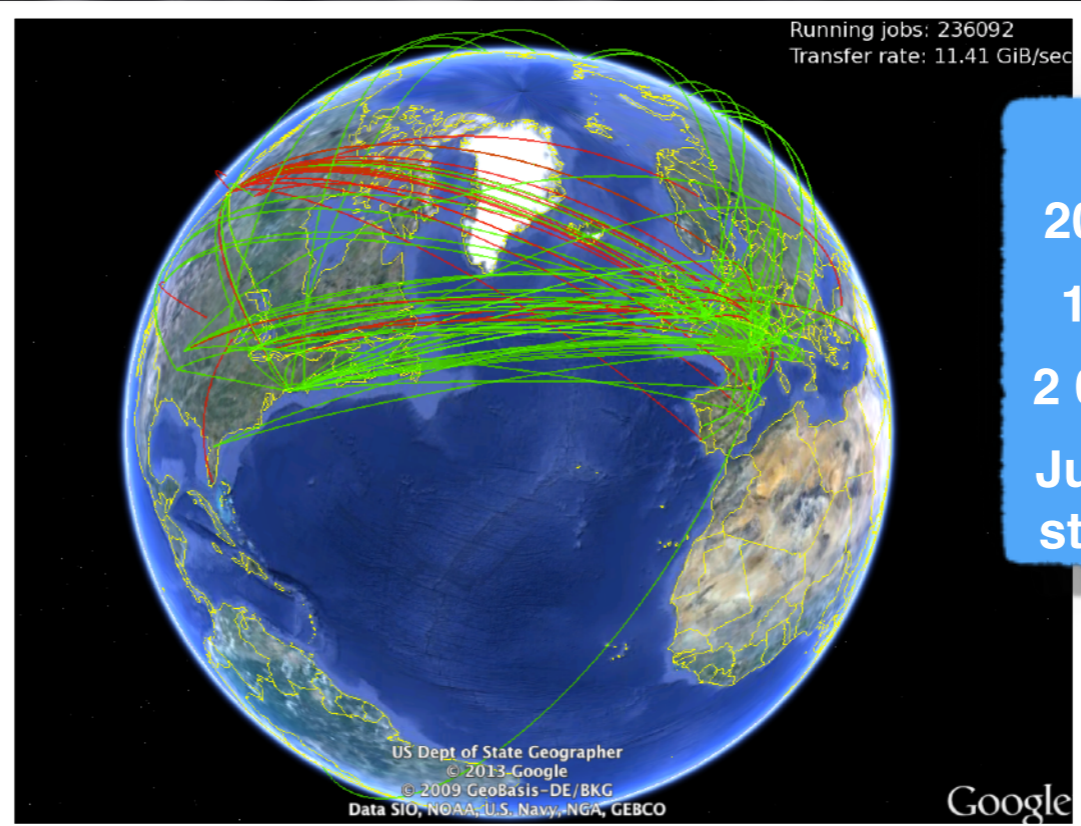


FRM251

SIDE LEVEL
C 1

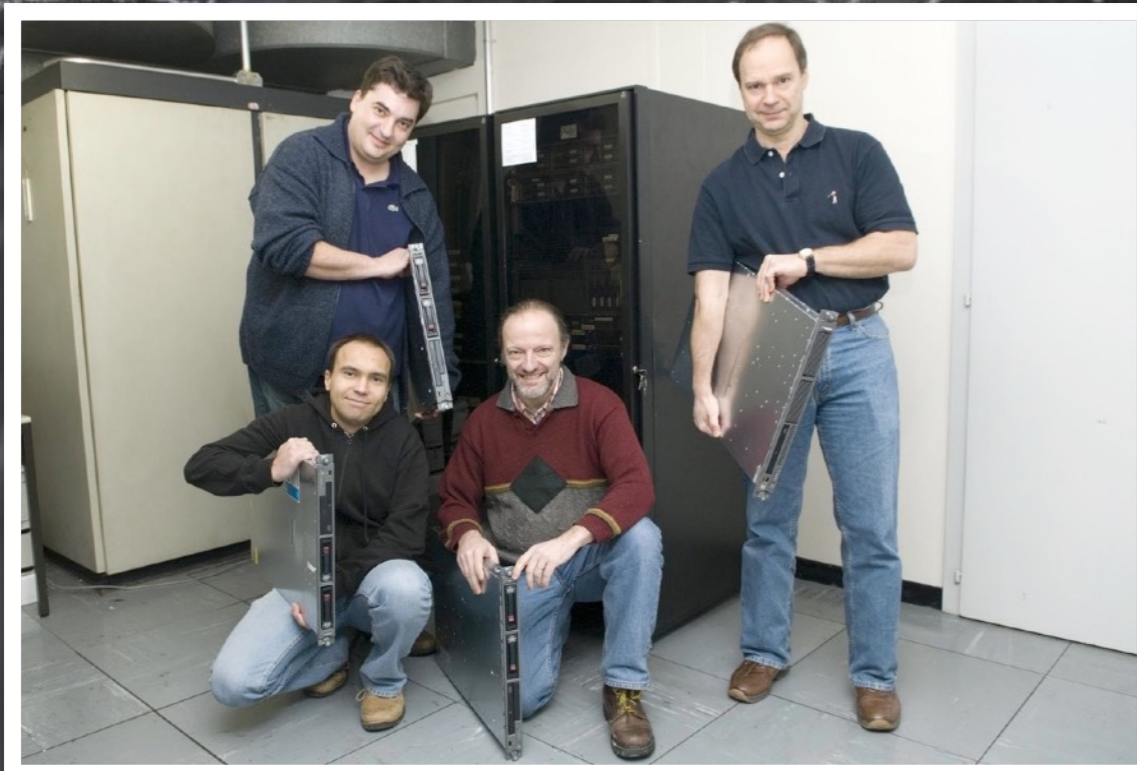


La grille de calcul

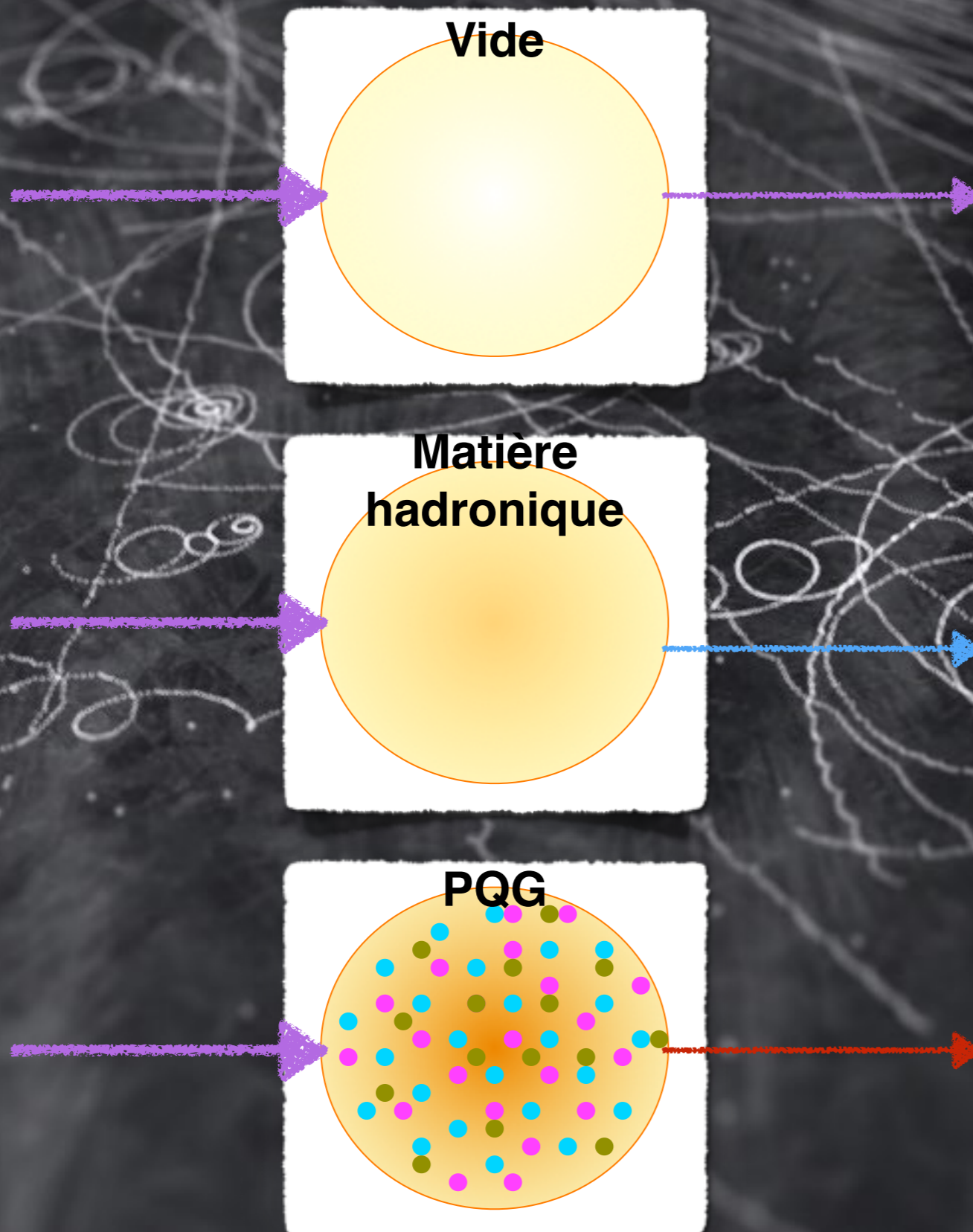


Some numbers

- 200 000 🖥️ (for big centers)
- 170 centers, 42 countries
- 2 000 000 calculations / day
- Just in 2015, 40 000 000 Go stored (~ 10 000 000 DVDs)



Comment sonder le PQG?



Une bonne sonde devrait être:

- bien comprise en collisions pp
- faiblement affectée par la matière hadronique et de manière bien comprise → collisions pA et AA périphériques.
- fortement affectée par le PQG → collisions AA centrales.

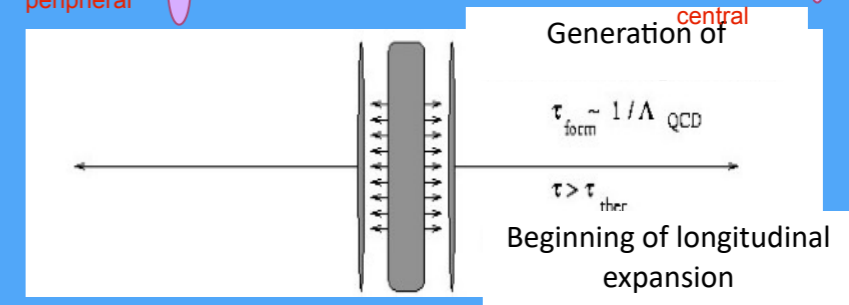
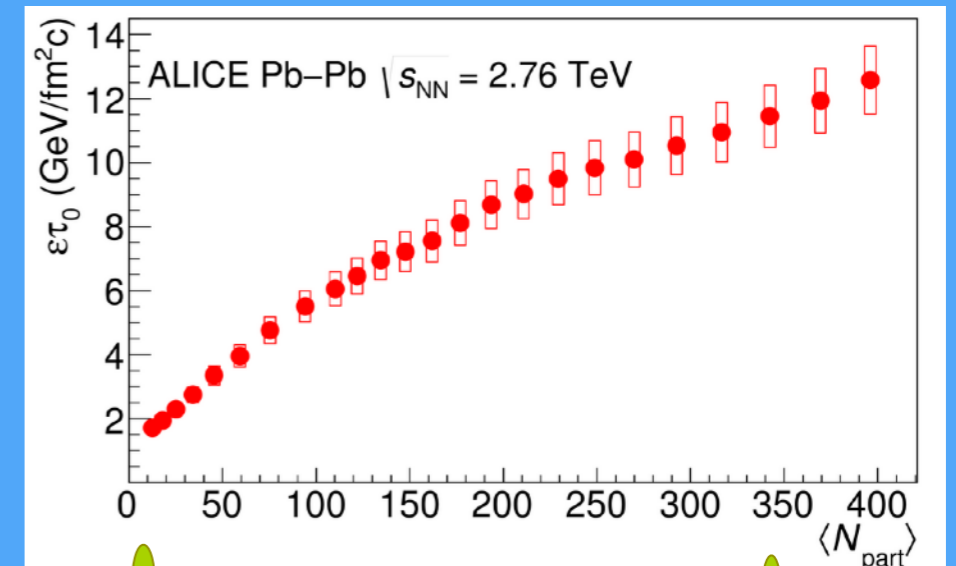
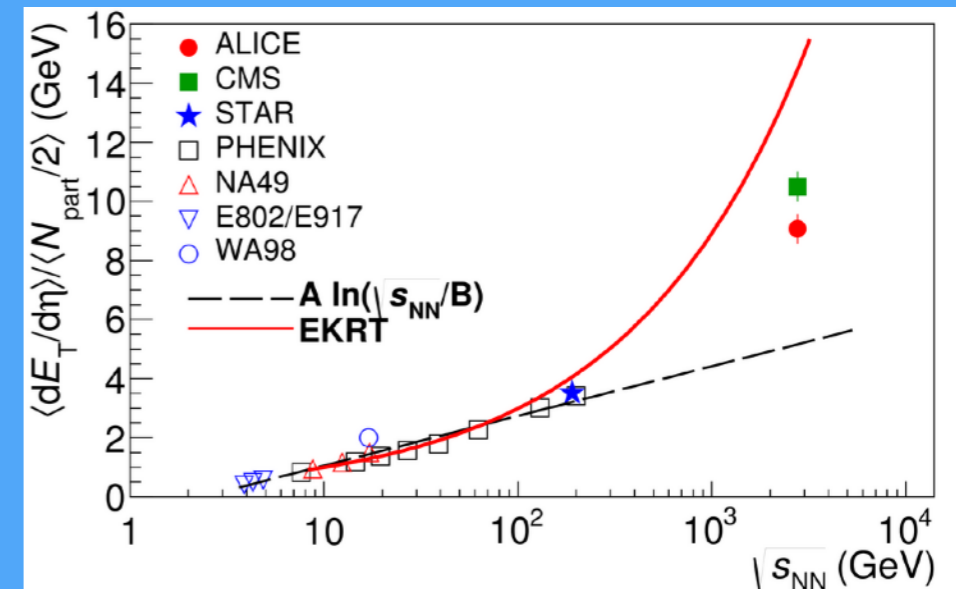
Sonde 1: particules chargées et énergie transverse

- **Mesure de la multiplicité de particules chargées et de l'énergie déposée**
- **information des conditions initiales et de la dynamique des collisions**
 - densité d'énergie
 - saturation des gluons...
- mécanismes de production des particules

• Les mesures pour des collisions Pb-Pb centrales à $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV:

- **$dN_{ch}/d\eta \sim 1600$**
1.9 x p-p ($\sqrt{s_{NN}} = 2.36$ TeV)
 \Rightarrow amplification nucléaire!

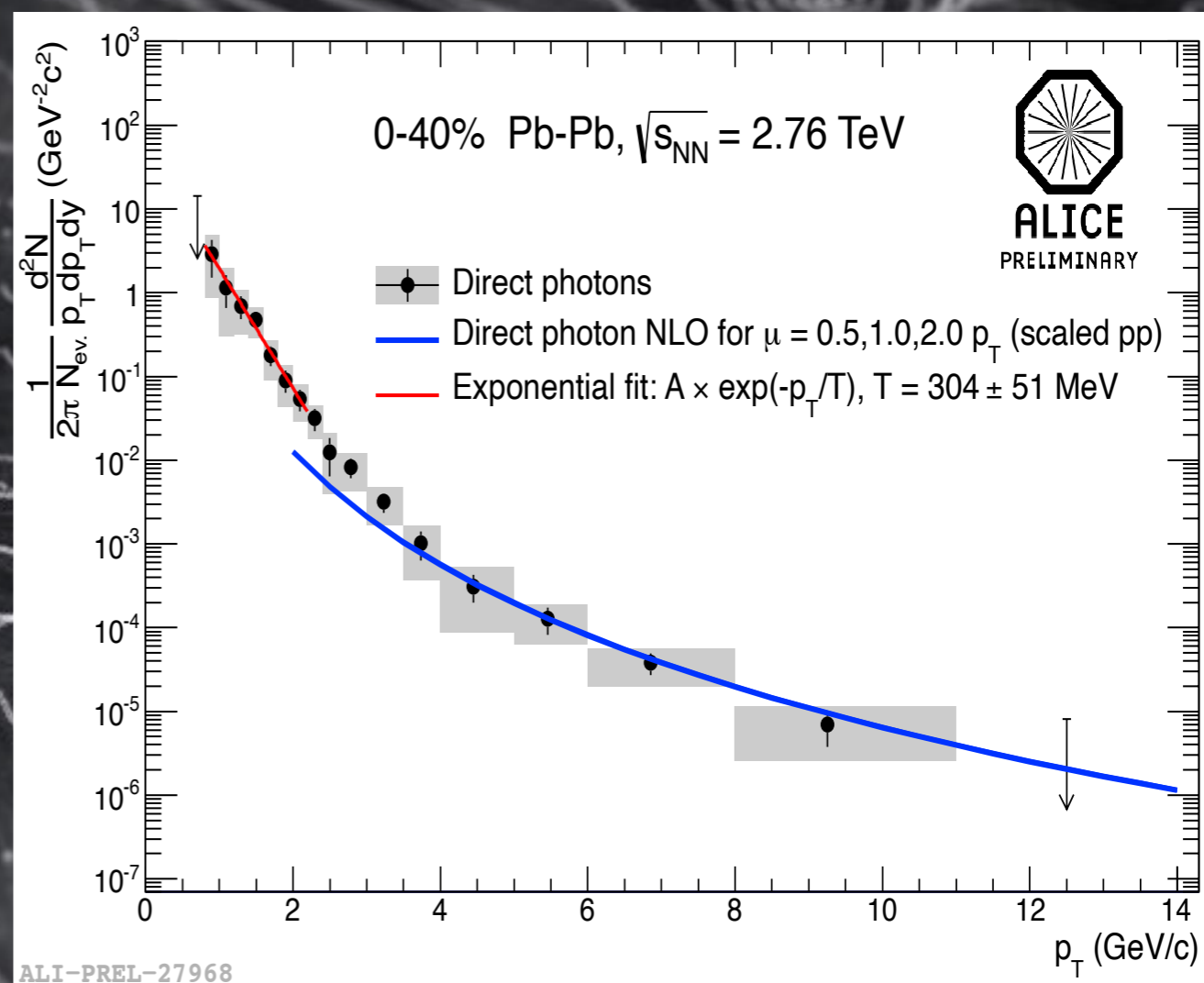
- **$\epsilon\tau \sim 15-30$ GeV/fm²c**
 \Rightarrow milieu très dense!



$$\epsilon = \frac{1}{\pi R^2 \tau} \frac{dE_t}{dy}, \quad R = 1.12 A^{1/3} \text{ fm}$$

Sonde 2: les photons thermiques

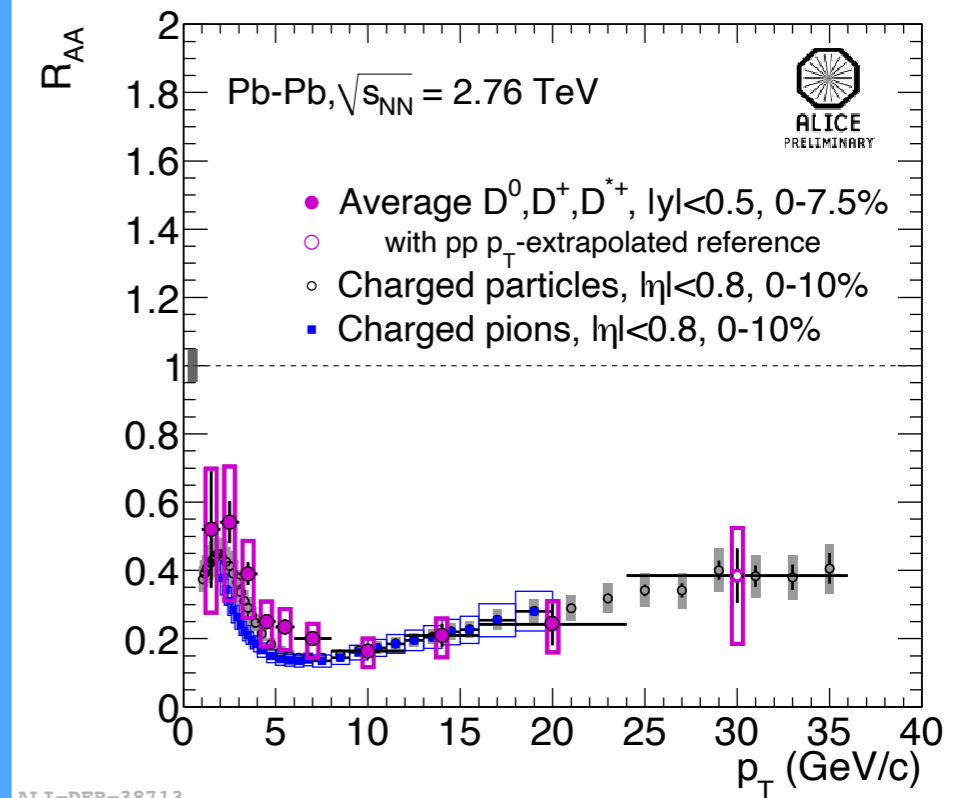
- Mesure des photons non issus des décroissances (photons directes).
- **La composante des photons thermiques permet de déterminer la température du milieu.**
 - **$T = 304 \pm 51$ MeV** pour des collisions Pb-Pb centrales à $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV.
 - ~ 3.4 trillion Kelvin.
 - $\sim 40x$ plus chaud que le coeur d'une supernova, $250000x$ plus chaud que le centre du soleil.
 - **\Rightarrow milieu très chaud (et dense)!**



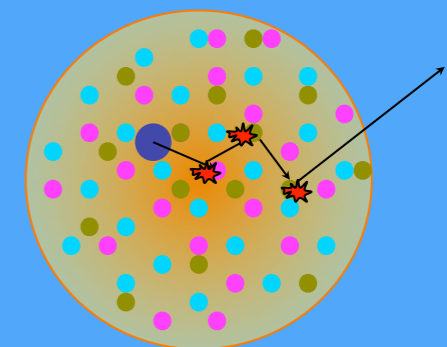
$$\gamma_{\text{direct}} = \left(1 - \frac{\gamma_{\text{decay}}}{\gamma_{\text{inclusive}}} \right) \gamma_{\text{inclusive}}$$

Sonde 3: les quarks lourds (charme et beauté)

- Compte tenu de leur masse
⇒ **outil pour tester de pQCD** en collisions pp
- En collisions d'ions lourds:
suppression de leur production en collisions centrales
⇒ **forte interaction des partons avec le milieu opaque/dense**
- Comparaison avec les modèles
⇒ extraction des **propriétés de transport** des partons dans le milieu
- Comparaison entre différentes particules
⇒ étude vs. **saveur et couleur** des partons
- Mesures de précision dans différentes énergies



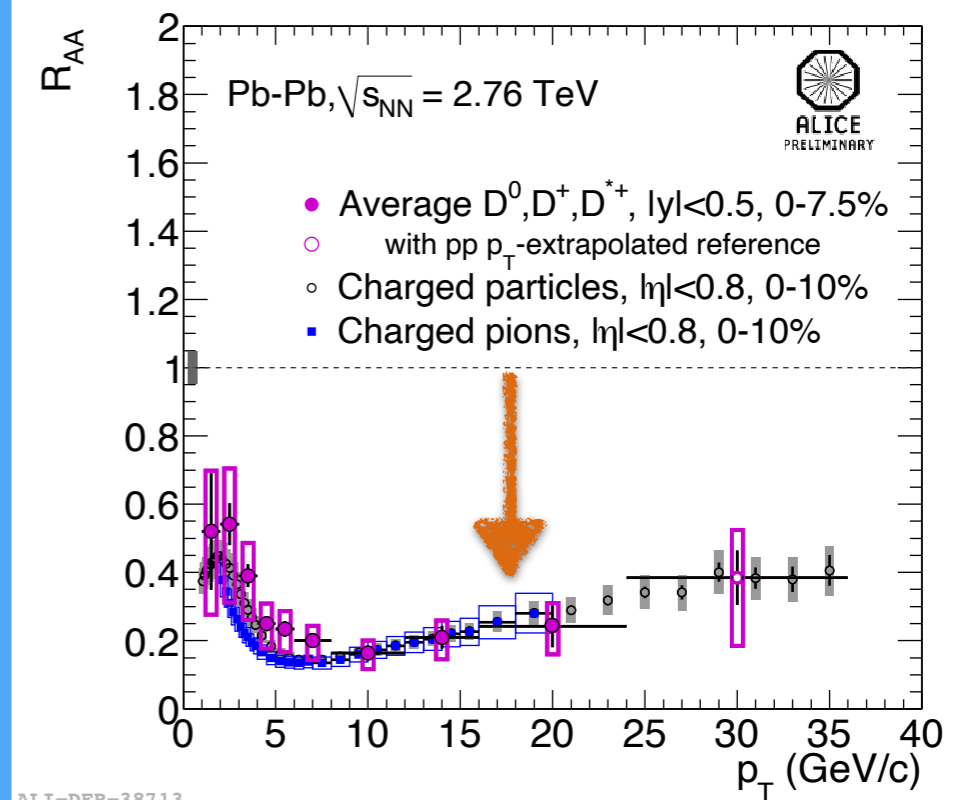
$$R_{AA} = \frac{(dN/dp_T)_{AA}}{\langle N_{coll} \rangle \times (dN/dp_T)_{pp}}$$



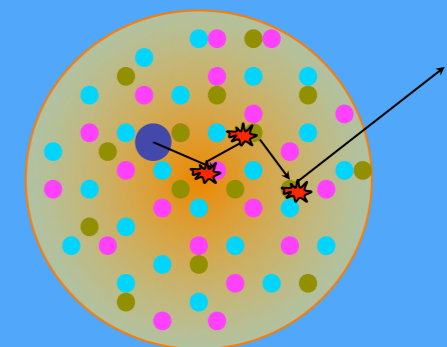
Cartoons just for illustration

Sonde 3: les quarks lourds (charme et beauté)

- Compte tenu de leur masse
⇒ **outil pour tester de pQCD** en collisions pp
- En collisions d'ions lourds:
suppression de leur production en collisions centrales
⇒ **forte interaction des partons avec le milieu opaque/dense**
- Comparaison avec les modèles
⇒ extraction des **propriétés de transport** des partons dans le milieu
- Comparaison entre différentes particules
⇒ étude vs. **saveur et couleur** des partons
- Mesures de précision dans différentes énergies



$$R_{AA} = \frac{(dN/dp_T)_{AA}}{\langle N_{coll} \rangle \times (dN/dp_T)_{pp}}$$



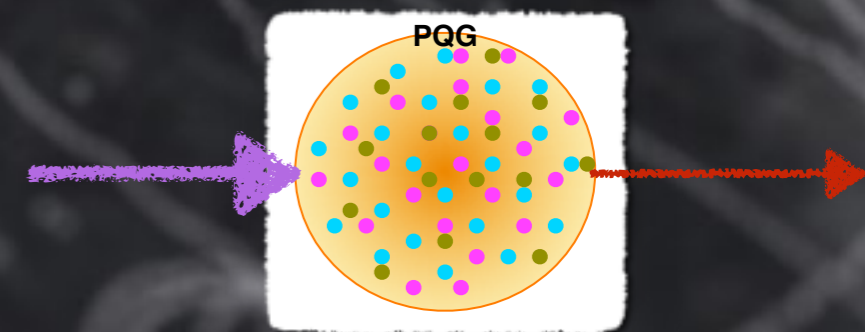
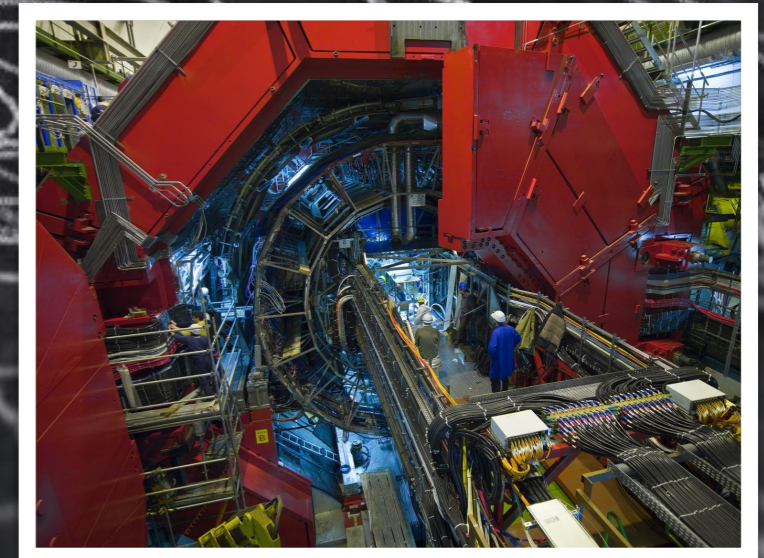
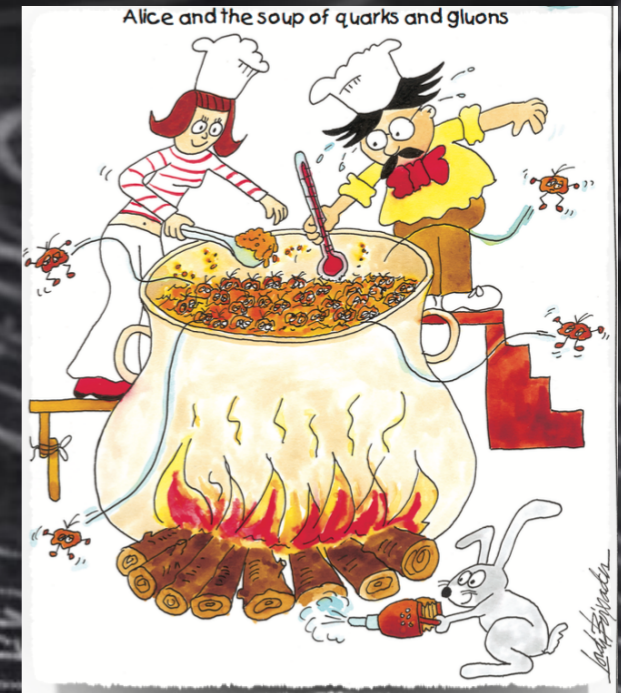
Conclusions

ALICE:

- Étude du **plasma de quarks et de gluons (QGP)** produit lors des **collisions d'ions lourds ultra-relativistes** (grande température et densité d'énergie) pour:
 - Étudier les propriétés de l'**interaction forte**: le confinement.
 - Étudier le **diagramme de phases de la matière**.
 - Comprendre les **premiers instants de l'évolution de l'Univers**.

Outils:

- le LHC,
 - grand détecteur de particules multi-composant,
 - la grille de calcul.
- Comment? Étude d'une sonde, bien comprise en collisions pp, qui soit affectée par le QGP. Confrontation des mesures en différents collisions et avec des modèles théoriques.



Merci de votre attention !
Questions?

