

# Un Collisionneur Electrons-Ions pour le futur : EIC

F. Sabatié – CEA Saclay

- Introduction
- Les gluons: l'ultime frontière
- Le projet EIC aux Etats-Unis
- La science en e-p et e-A
- Résultats récents du NSAC
- Conclusion

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

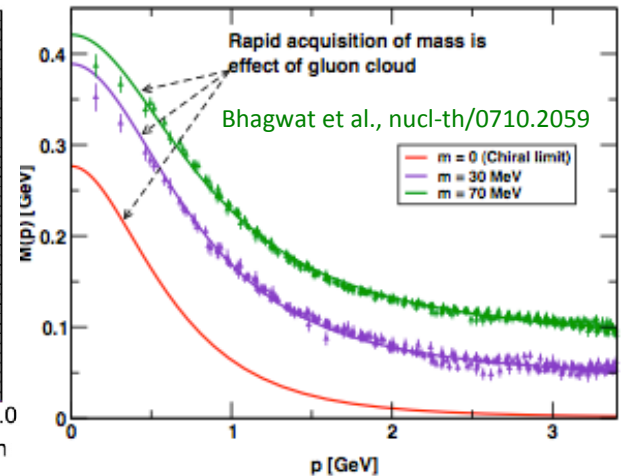
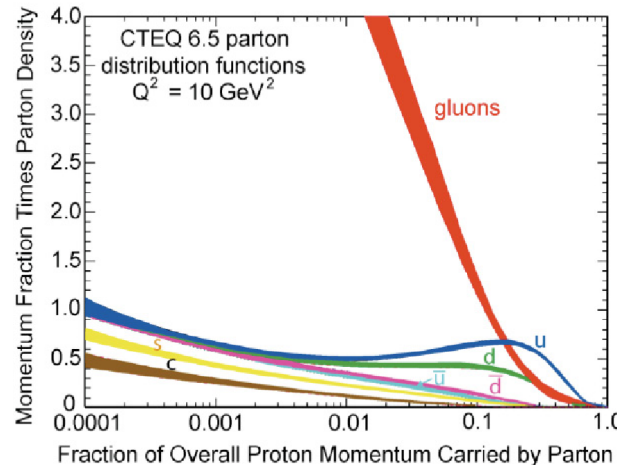
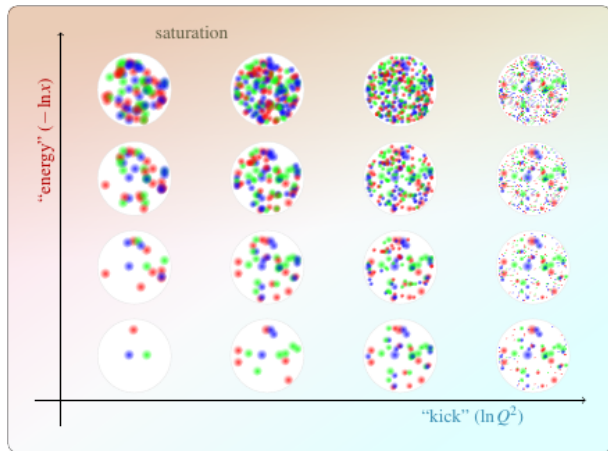
cea



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

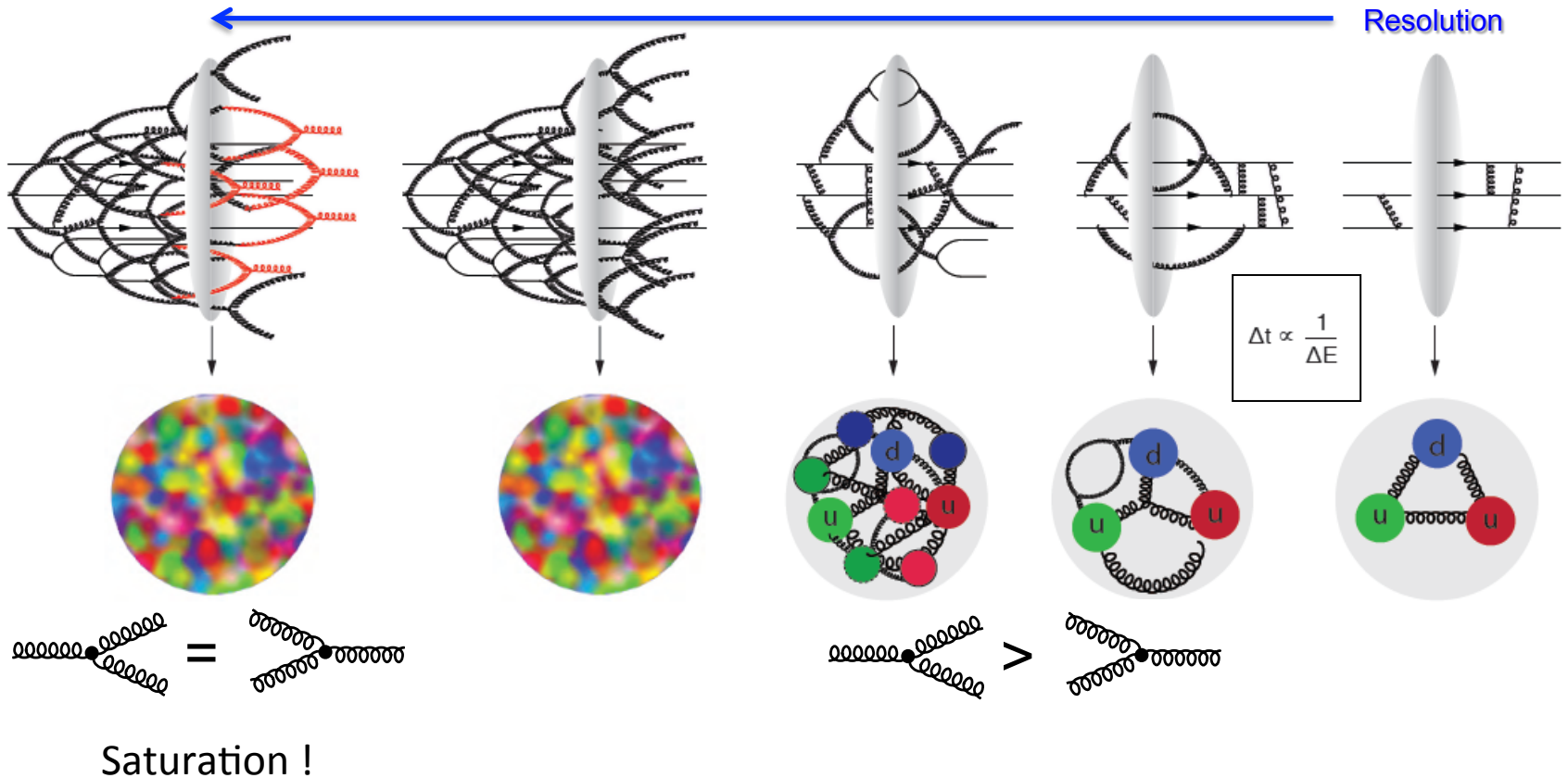


Modèle naïf des quarks: proton = uud (quarks de valence)  
**QCD:** proton = uud +  $u\bar{u}$  +  $d\bar{d}$  +  $s\bar{s}$  + ...  
 la mer de quarks est non-triviale:  $\bar{u} \neq \bar{d}$   
 & les gluons sont très abondants



❑ Le proton est **bien plus** que sa structure de 3 quarks de valence

❑ Gluon  $\neq$  Photon: Radiation et recombinaison :





Scientific American  
May 2015

PARTICLE PHYSICS

# the glue that binds us

Physicists have known for decades that particles called gluons keep protons and neutrons intact—and thereby hold the universe together. Yet the details of how gluons function remain surprisingly mysterious

*By Rolf Ent, Thomas Ulbrich and Raju Venugopalan*



### Collisions e-p avec l'EIC:

- ✓ Faisceaux polarisés: e, p, d/<sup>3</sup>He
- ✓ Faisceau d'e<sup>-</sup> : 3-10(20) GeV
- ✓ Luminosité  $L_{ep} \sim 10^{33-34} \text{ cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$   
100-1000 x HERA
- ✓  $E_{\text{cdm}} = 20-100 (140) \text{ GeV}$

### Collisions e-A avec l'EIC:

- ✓ Grand choix de noyaux
- ✓ Luminosité par nucléon idem e-p
- ✓ Energie variable dans le cdm

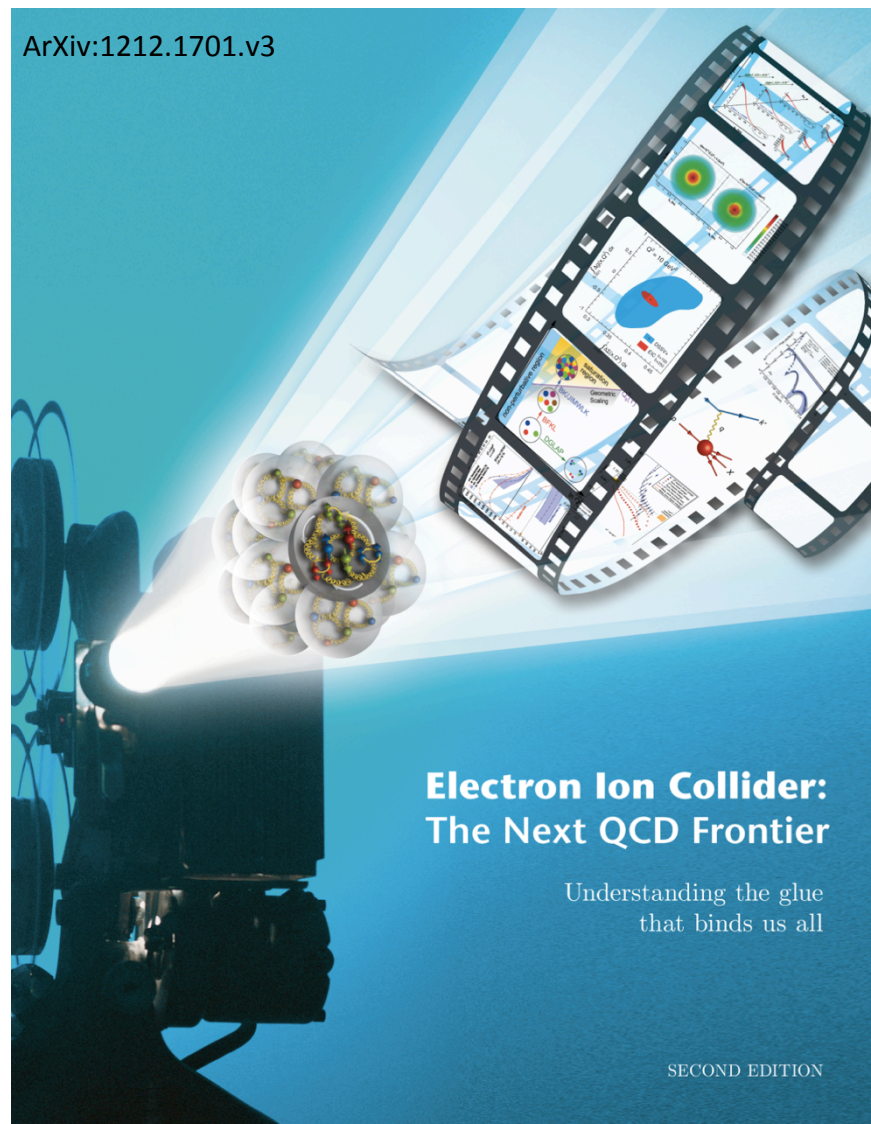
### Le premier collisionneur au monde

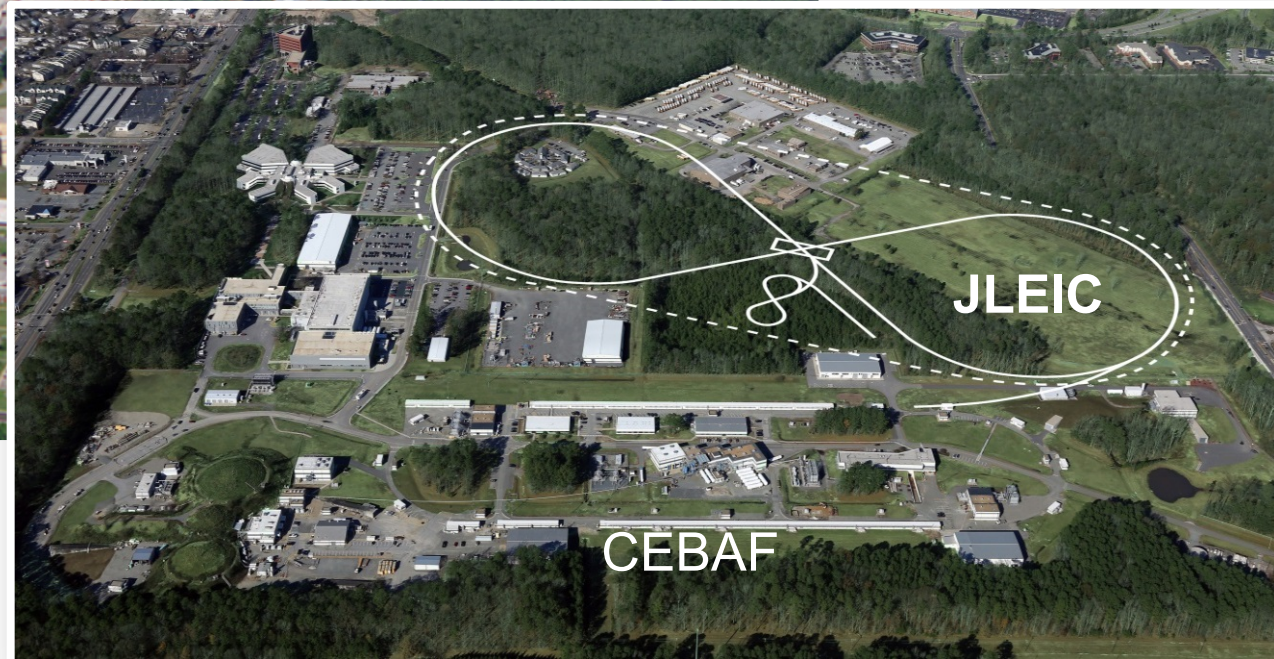
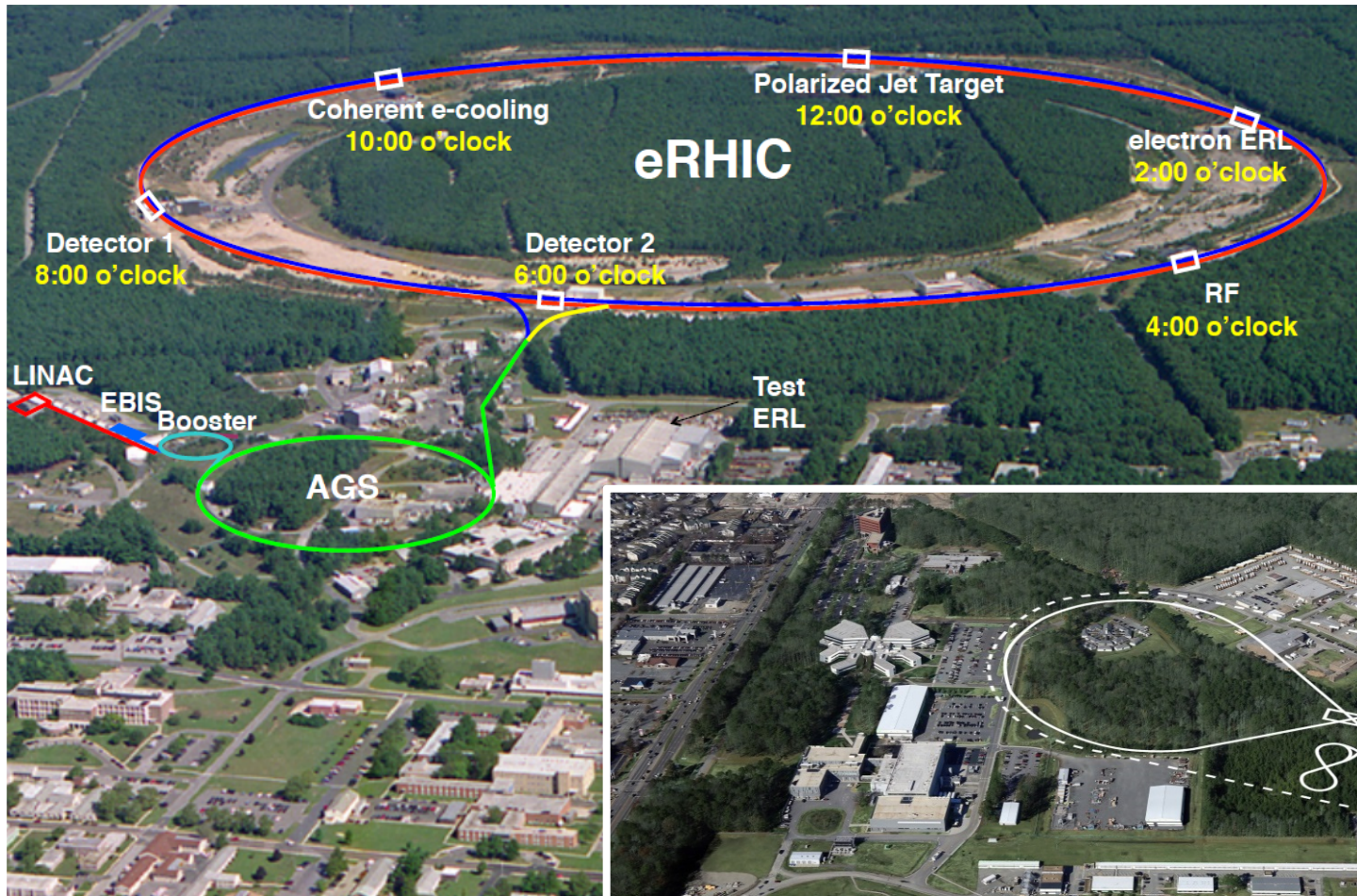
En mode électron-proton/noyau léger

Et aussi en mode électron-noyau

Deux propositions pour la réalisation  
qui utilisent toutes deux des  
infrastructures existantes:

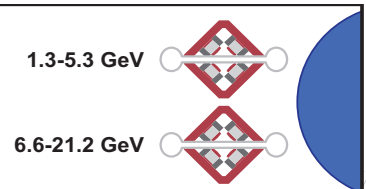
**Brookhaven et Jefferson Lab**





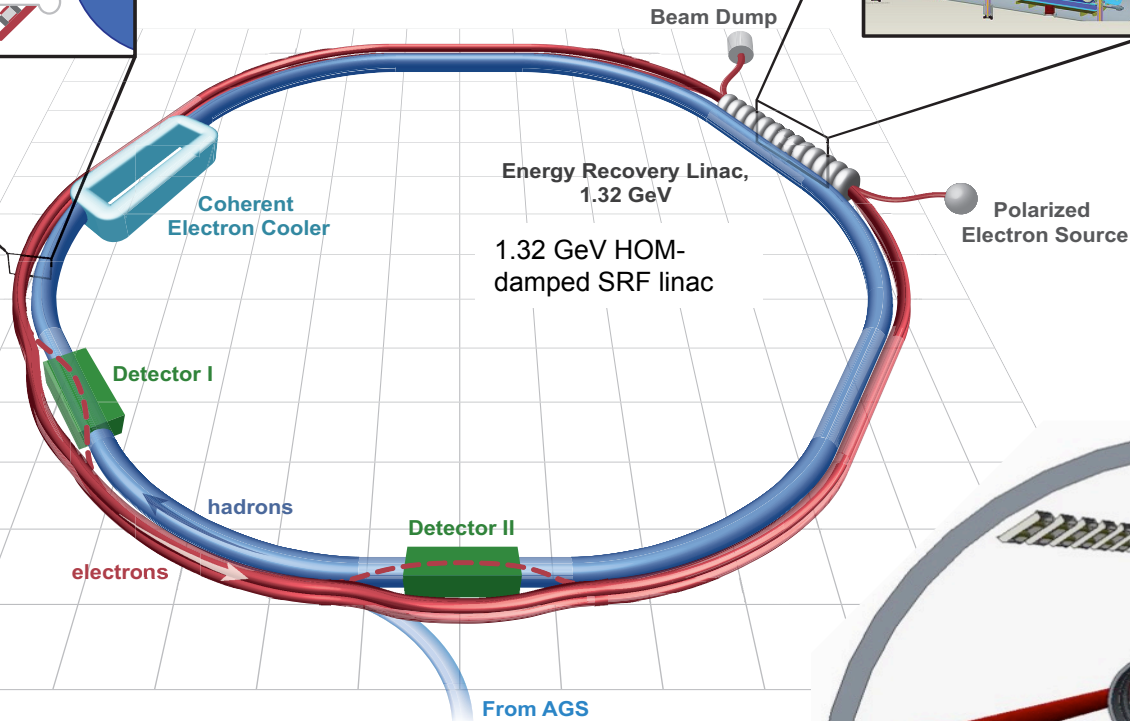
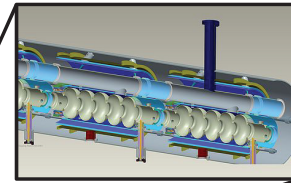


FFAG arcs

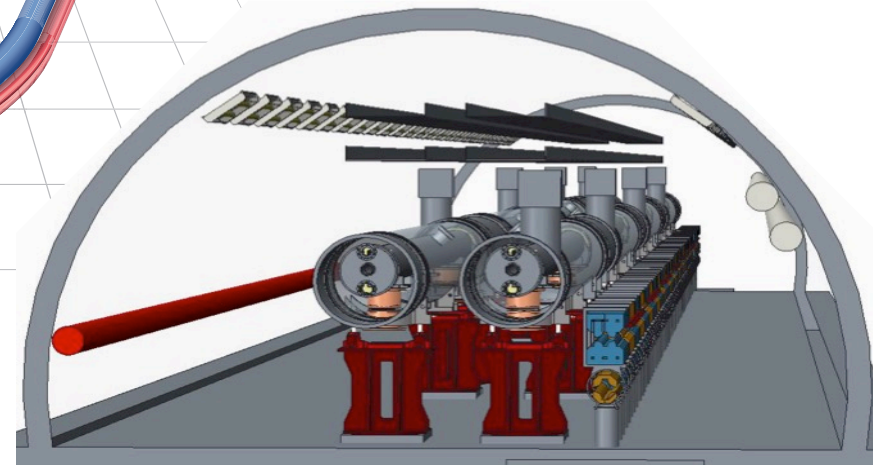


Highly advanced and energy efficient accelerator

ERL Cryomodules



arXiv:1409.1633



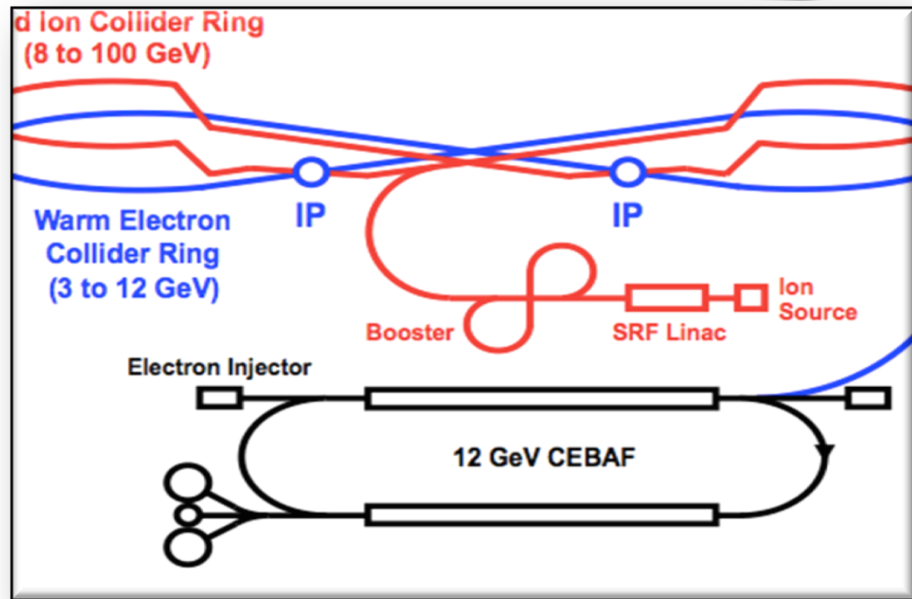
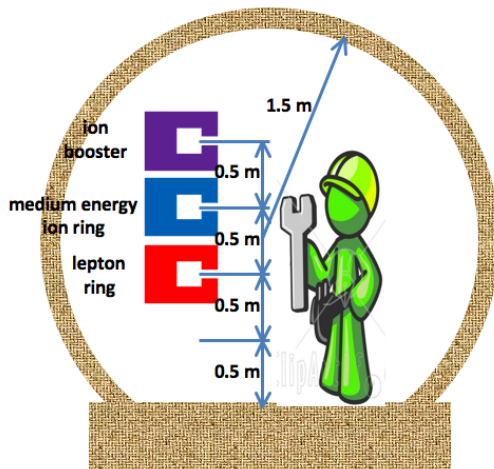
- Solution à relatif bas coût mais ...
- Haut risque technique

Luminosité:  $4.1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  for  $\sqrt{s} = 126 \text{ GeV}$  (15.9 GeV  $e^\uparrow$  on 250 GeV  $p^\uparrow$ )



arXiv:1504.07961

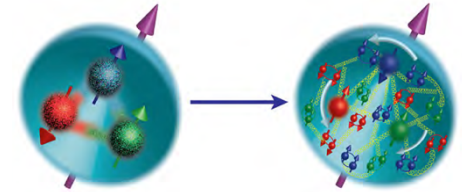
- Anneau du collisionneur de ~2100 m
- Réutilisation des aimants de PEP-II pour la ligne d'électrons
- Aimant super-ferriques pour la ligne d'ions
- Le booster utilise également des aimants super-ferriques
- Linac des ions à cavité radiofréquence supra (SRF)
- Solution à coût élevé mais ...
- Risque technique modéré



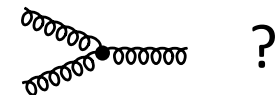




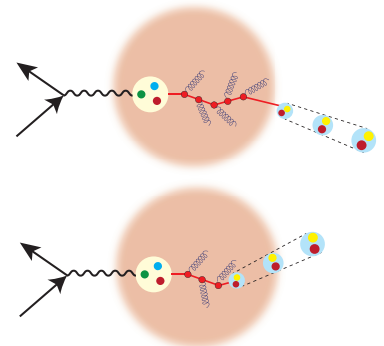
Comment les gluons et quarks de la mer ainsi que leur spin sont distribués en position et impulsion dans le nucléon ?  
Rôle du moment angulaire orbital ?



Comment se comporte la densité de gluons dans les noyaux à haute énergie ?  
Y a-t-il saturation dans une forme de matière gluonique aux propriétés universelles ?

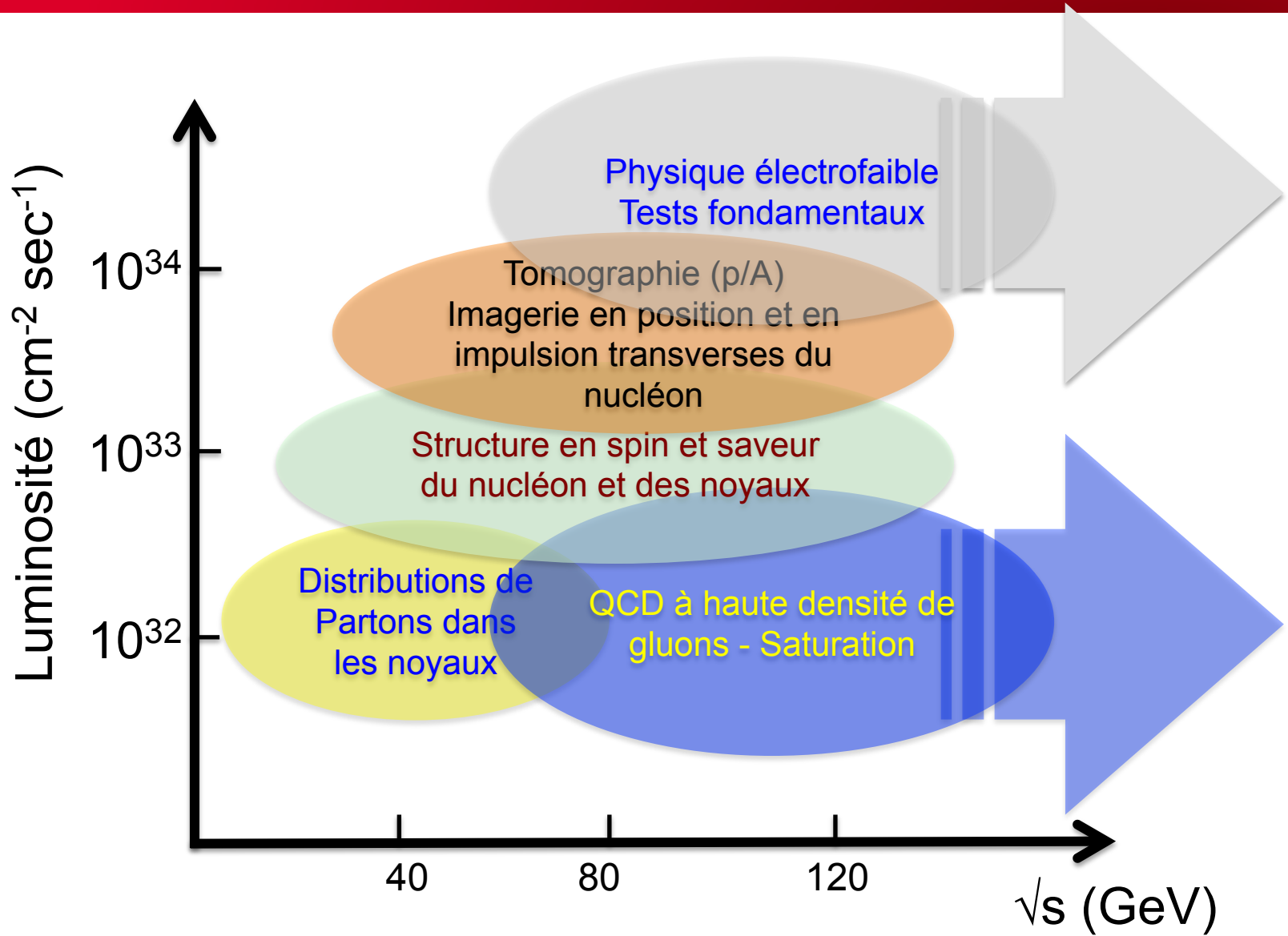


Comment les gluons et quarks de la mer contribuent à la force nucléon-nucléon ?



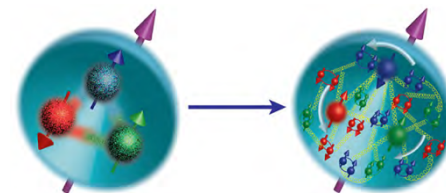
Comment la matière nucléaire répond au passage d'une charge colorée qui la traverse rapidement ?

Comment la matière nucléaire affecte les distributions de quarks et gluons et leur interaction dans les noyaux





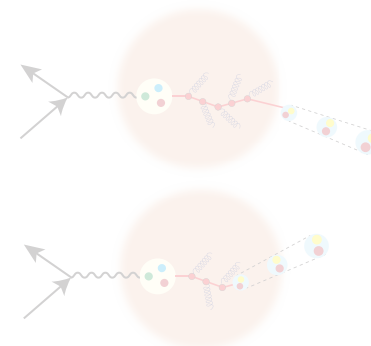
Comment les gluons et quarks de la mer ainsi que leur spin sont distribués en position et impulsion dans le nucléon ?  
Rôle du moment angulaire orbital ?



Comment se comporte la densité de gluons dans les noyaux à haute énergie ?  
Y a-t-il saturation dans une forme de matière gluonique aux propriétés universelles ?



Comment les gluons et quarks de la mer contribuent à la force nucléon-nucléon ?



Comment la matière nucléaire répond au passage d'une charge colorée qui la traverse rapidement ?

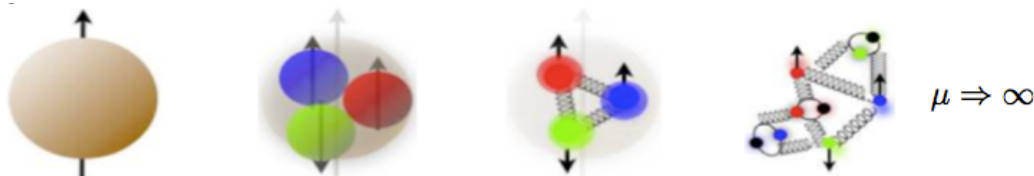
Comment la matière nucléaire affecte les distributions de quarks et gluons et leur interaction dans les noyaux



Des collisions d'électrons **polarisés** sur des protons et noyaux légers **polarisés**:

## Imagerie tri-dimensionnelle du Nucléon

- ✓ Comment les gluons et quarks de la mer ainsi que leur spin sont distribués en position et impulsion dans le nucléon ? Rôle du moment angulaire orbital ?
- ✓ Comment se comporte la densité de gluons dans les noyaux à haute énergie? Y a-t-il saturation dans une forme de matière gluonique aux propriétés universelles ?
- ✓ Comment les gluons et quarks de la mer contribuent à la force nucléon-nucléon?



$$\frac{1}{2} = \left[ \frac{1}{2} \Delta \Sigma + L_Q \right] + [\Delta g + L_G]$$

$\Delta \Sigma / 2$  = Contribution des quarks au spin du proton

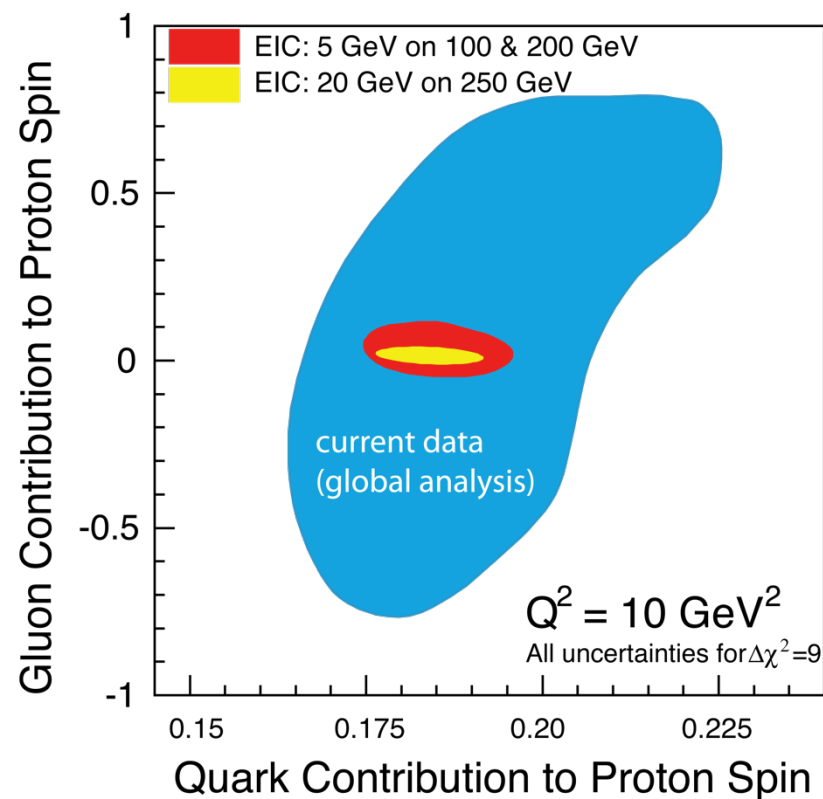
$L_Q$  = Moment Angulaire Orbital des quarks

$\Delta g$  = Contribution des gluons au spin du proton

$L_G$  = Moment Angulaire Orbital des gluons

Mesure du spin des gluons  
via la violation de scaling de  $g_1$

$$\frac{dg_1}{d \log(Q^2)} \propto -\Delta g(x, Q^2)$$

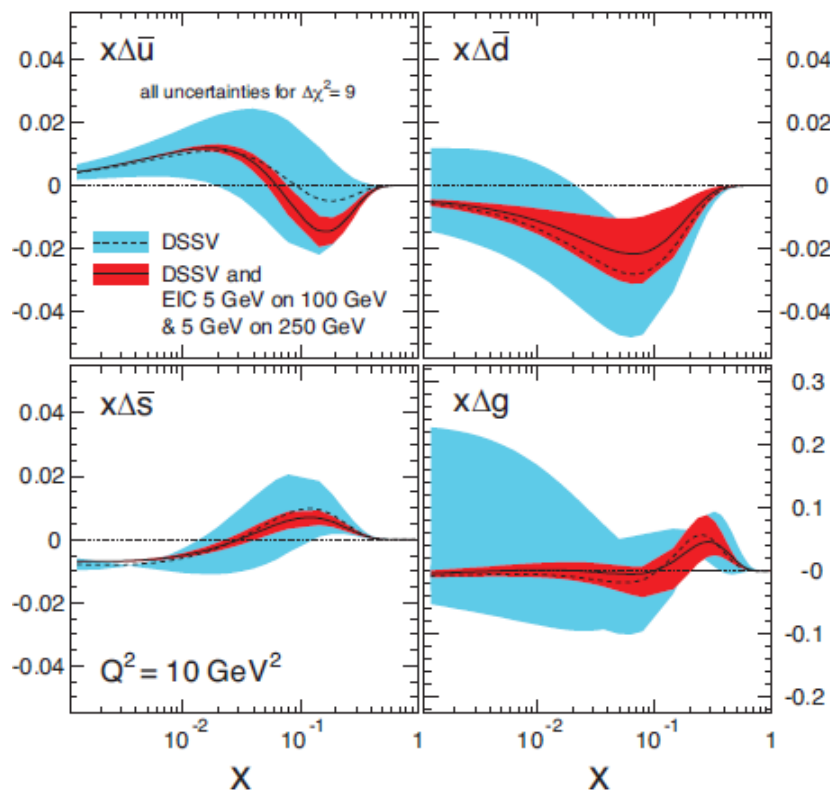




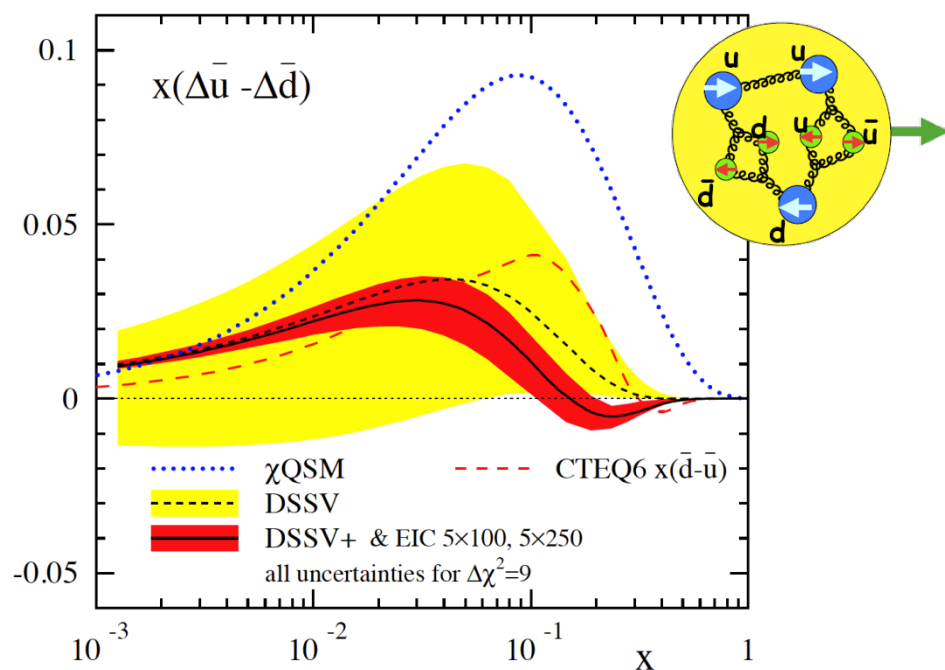
L'EIC polarisé permettra:

- Une révolution pour la mesure de  $x\Delta g(x)$
- Une amélioration notable de  $\Delta\Sigma$
- Une décomposition en saveur de la mer de quarks légers

$\sqrt{s}$  de 45 à 70 GeV



$\sqrt{s}$  de 30 à 70 GeV et haute luminosité





Espace des Impulsions

Espace des Coordonnées

$$W(x, b_T, k_T)$$

$$\int d^2 b_T$$

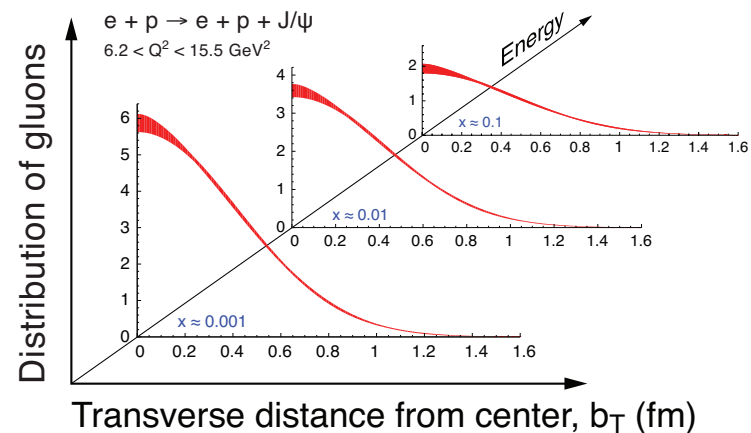
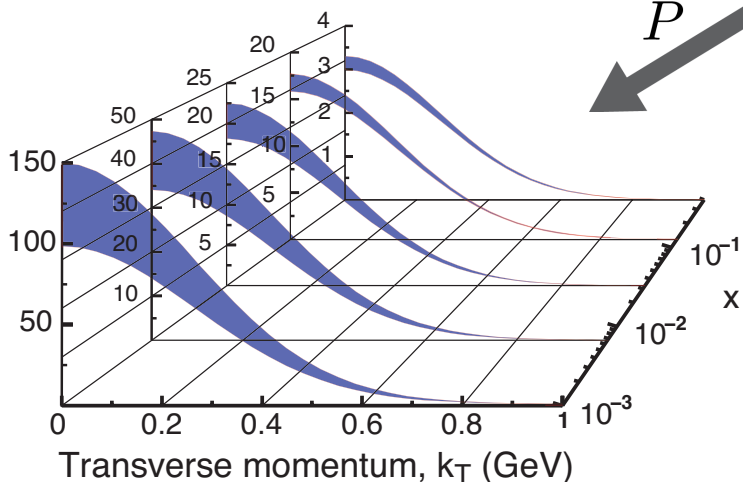
$$\int d^2 k_T$$

Quarks

Gluons

$$f(x, k_T)$$

$$f(x, b_T)$$



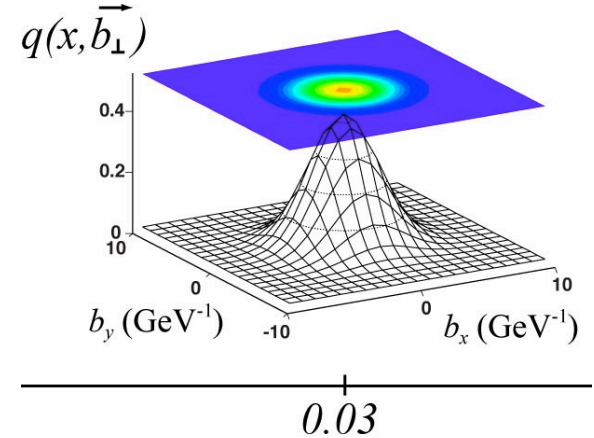
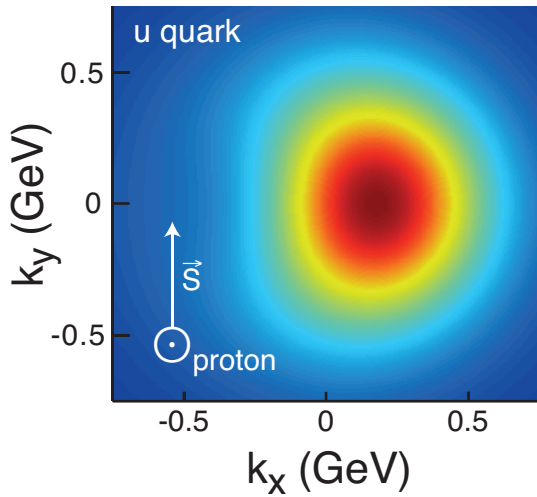
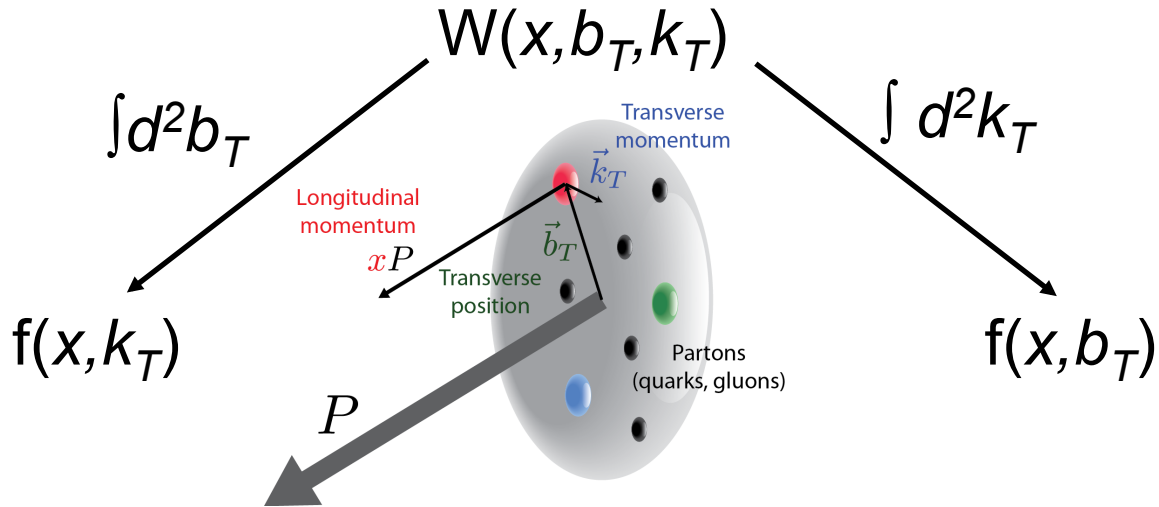
Imagerie tridimensionnelle *en impulsion transverse* avec la diffusion semi-inclusive

Imagerie tridimensionnelle *en position transverse* avec les réactions exclusives (DVCS, DVMP)



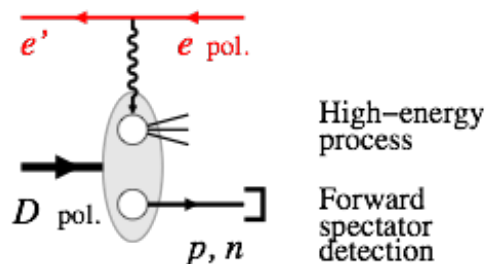
Espace des Impulsions

Espace des Coordonnées

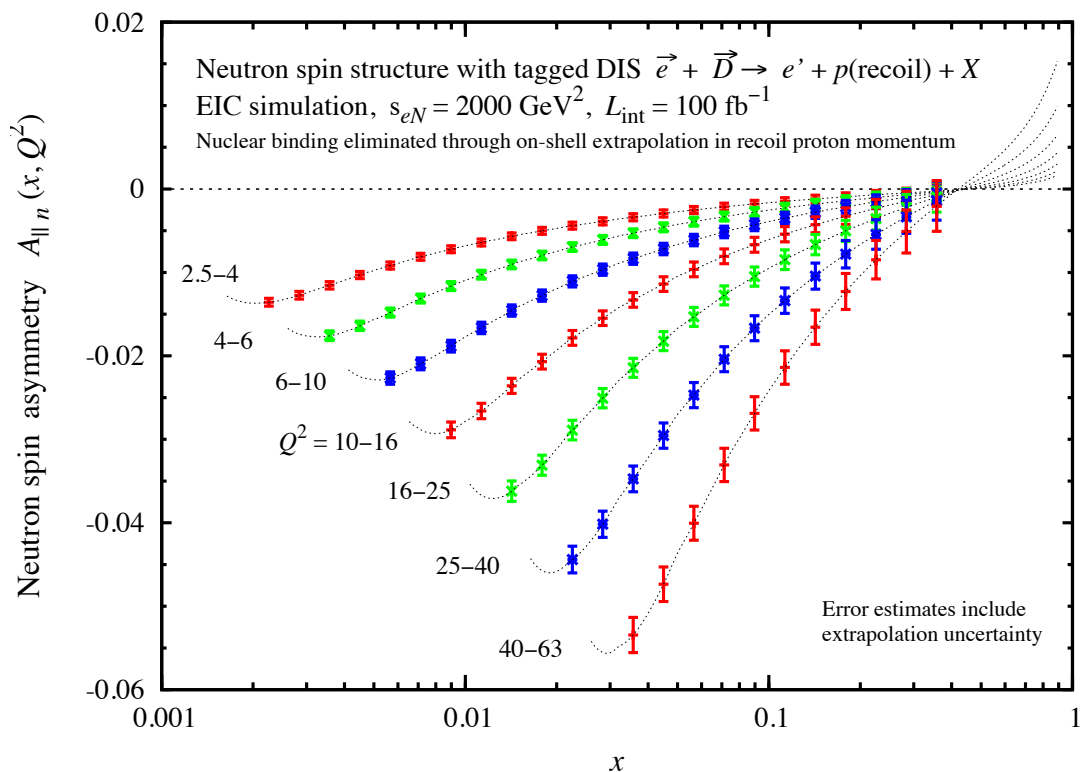


Position  $r \wedge$  Impulsion  $p \rightarrow$  Mouvement Orbital des Partons





**Détection du proton de recul:**  
 Etude de la structure du  
 neutrons en quarks et gluons.  
*(possible avec d'autres noyaux)*



La mesure de la cinématique du nucléon spectateur donne une  
 fenêtre sur la force et la nature de sa liaison avec les autres nucléons:

→ **Origine de la liaison nucléaire en terme de quarks et de gluons !**



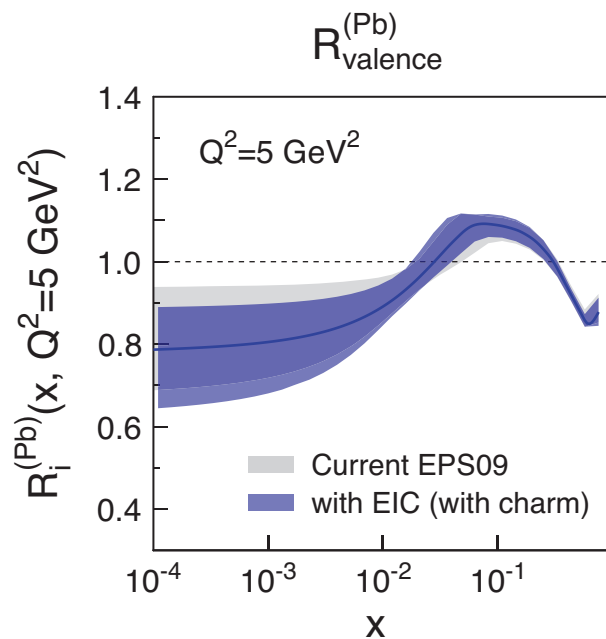
# Des collisions d'électrons **polarisés** sur des noyaux jusqu'à l'**Au**

## **Le Noyau: Un laboratoire pour QCD**

- ✓ Que sait-on des gluons dans les noyaux ? Quasiment rien !
- ✓ Est-ce que la densité de gluons sature ?
- ✓ Si c'est le cas, produit-on un état unique et universel de QCD ?



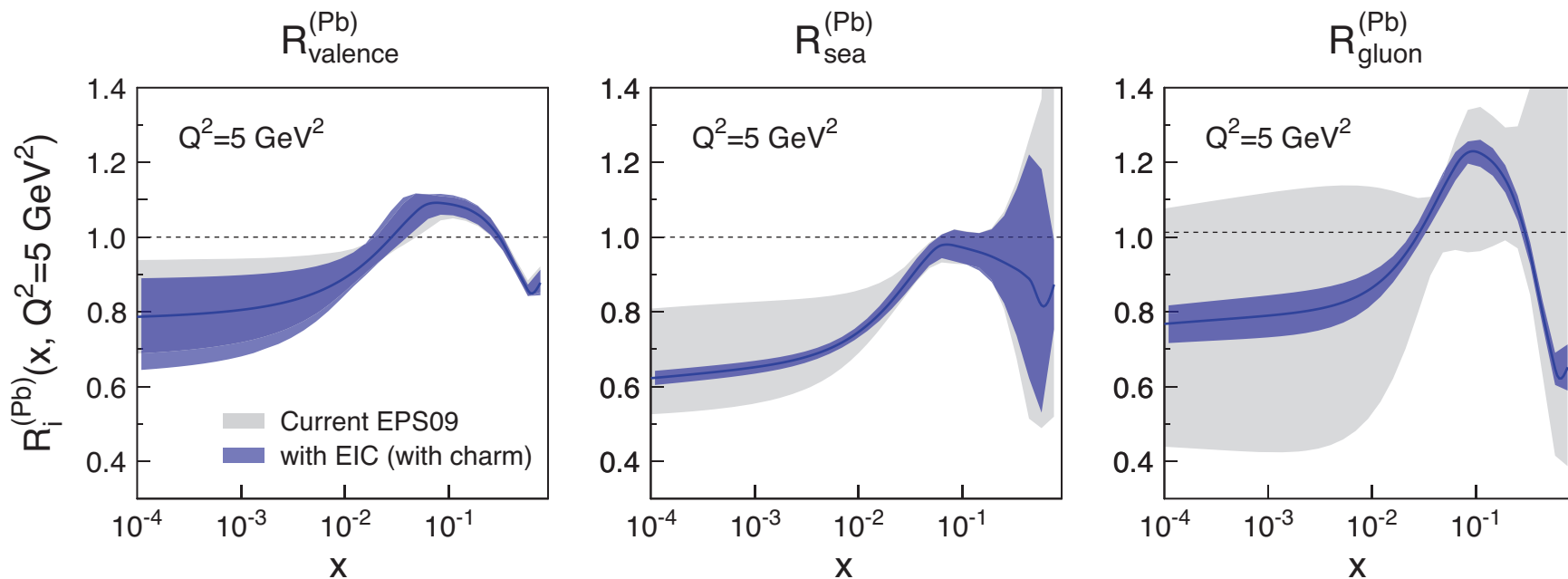
nPDF “relativement” bien mesurés pour la valence



**Ratio de PDF Pb / Proton**

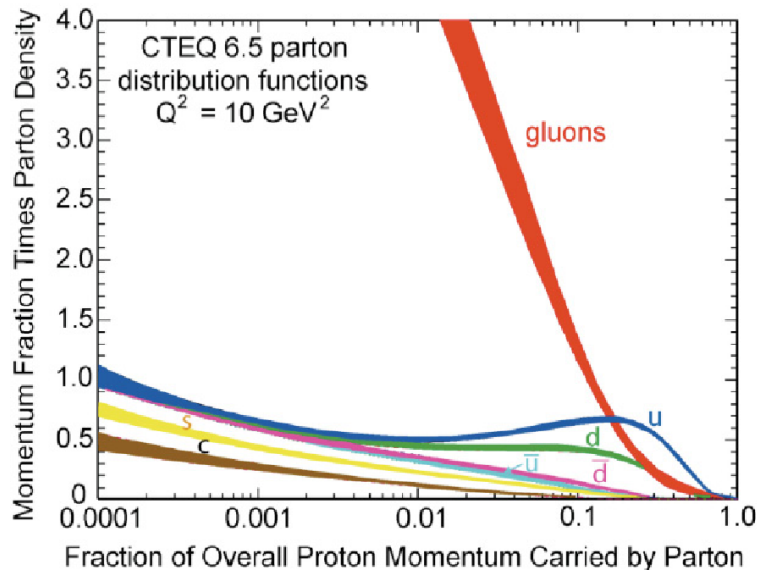
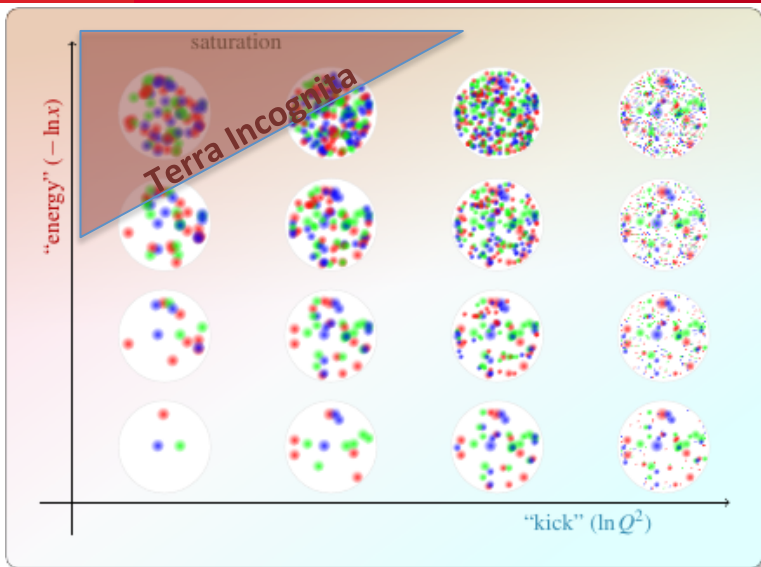


Que sait-on des gluons dans le noyau ? Quasiment rien !

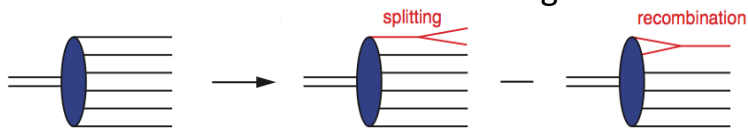


### Ratio de PDF Pb / Proton

- Sans EIC, énormes incertitudes pour **la mer de quarks et les gluons**
- Les données de RHIC & LHC ne permettront pas cette amélioration !

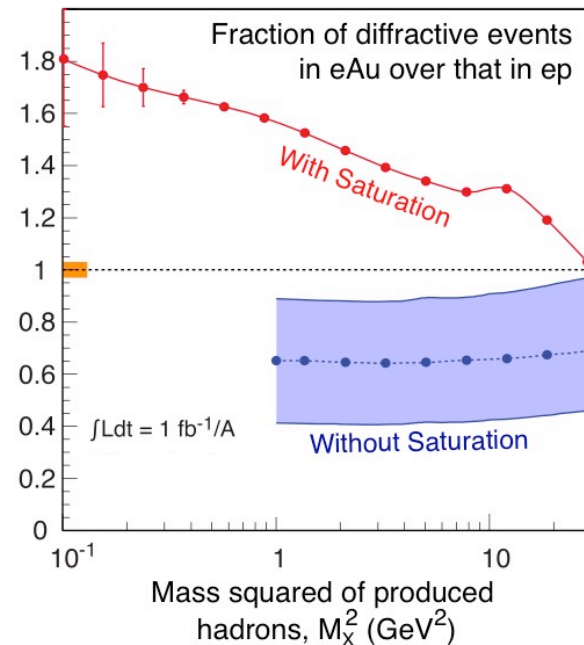
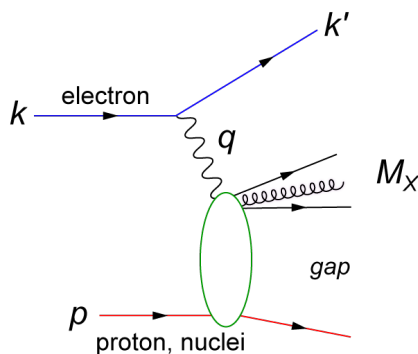


- > Les gluons sont agglutinés dans le plan transverse
- > La recombinaison limite le nombre de gluons >> **Saturation**



- > Mesure précises de  $F_2$  et  $F_L$  : « smoking gun » pour la saturation
- > Une autre mesure discriminante: les événements diffractifs

$$\sigma_{\text{diff}} \propto [g(x, Q^2)]^2$$



October 18<sup>th</sup> 2015

## REACHING FOR THE HORIZON



The Site of the Wright Brothers' First Airplane Flight



## The 2015 LONG RANGE PLAN for NUCLEAR SCIENCE



### RECOMMENDATION III

*Gluons, the carriers of the strong force, bind the quarks together inside nucleons and nuclei and generate nearly all of the visible mass in the universe. Despite their importance, fundamental questions remain about the role of gluons in nucleons and nuclei. These questions can only be answered with a powerful new electron ion collider (EIC), providing unprecedented precision and versatility. The realization of this instrument is enabled by recent advances in accelerator technology.*

**We recommend a high-energy high-luminosity polarized EIC as the highest priority for new facility construction following the completion of FRIB.**

*The EIC will, for the first time, precisely image gluons in nucleons and nuclei. It will definitively reveal the origin of the nucleon spin and will explore a new quantum chromodynamics (QCD) frontier of ultra-dense gluon*

Echéances:

- > 2018 choix du site, CD0
- > 2025 fin de construction



### Intérêt des physiciens:

- > 13 expérimentateurs du SPhN et 7 de l'IPNO inscrits au EIC User Group
- > Participation de ceux-ci dans le programme R&D EIC-DOE (2 WP)
- > Forte mobilisation des théoriciens français pour la thématique EIC
- > Dépôt de la proposition P2IO emblématique "Gluonometry"  
(signée par 6 laboratoires de P2IO !)

### Intérêt en Europe:

- > Work Package "NextDIS" sélectionné par le writing committee de HPH  
(Collaboration de 22 instituts en Europe)
- > EIC potentiellement un labo "international" et pas seulement américain  
(discussions en cours)

### Suite à la recommandation de NSAC:

- > Des physiciens motivés par l'outil idéal pour sonder la matière partonique
- > Une collaboration à formaliser en France et en Europe