

Gluonometry

F. Sabatié – CEA Saclay

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

À la recherche des états extrêmes de la matière

GLUONS
La colle des particules

saturation

energy" (-ln(x))

CPHT IPNO IPhT LPT Irfu/SPhN Irfu/SEDI

P2IO

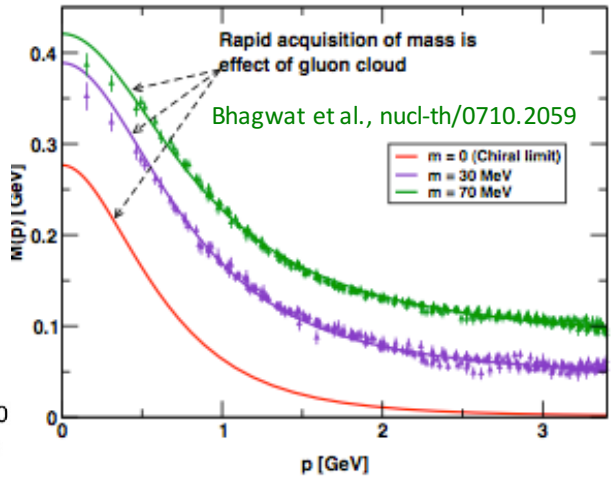
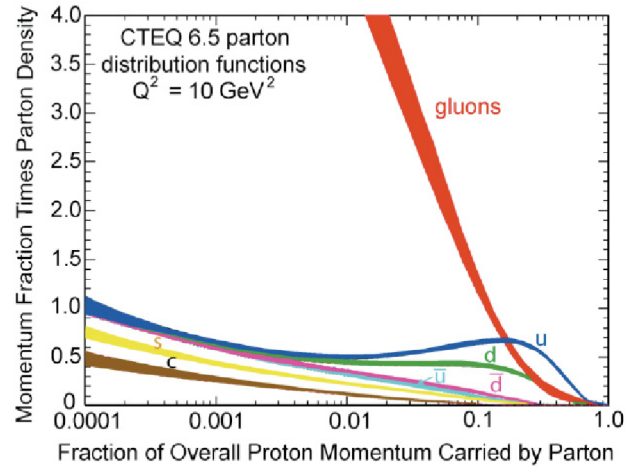
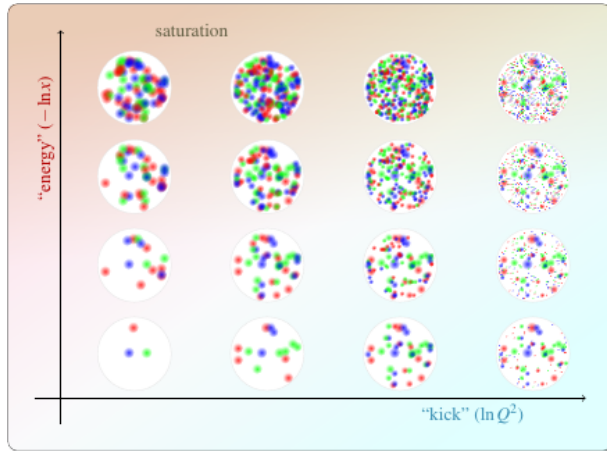
Physique des 2 Infinis et des Origines

- Les gluons: l'ultime frontière
- Le projet EIC aux Etats-Unis
- Le consortium « Gluonometry »
- Notre projet
- Conclusion et demande financière
- Réponses aux questions



Modèle naïf des quarks: proton = uud (quarks de valence)
QCD: proton = $uud + u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s} + g + \dots$

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



Collisions e-p avec l'EIC:

- ✓ Faisceaux polarisés: e, p, d/³He
- ✓ Faisceau d'e⁻ : 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

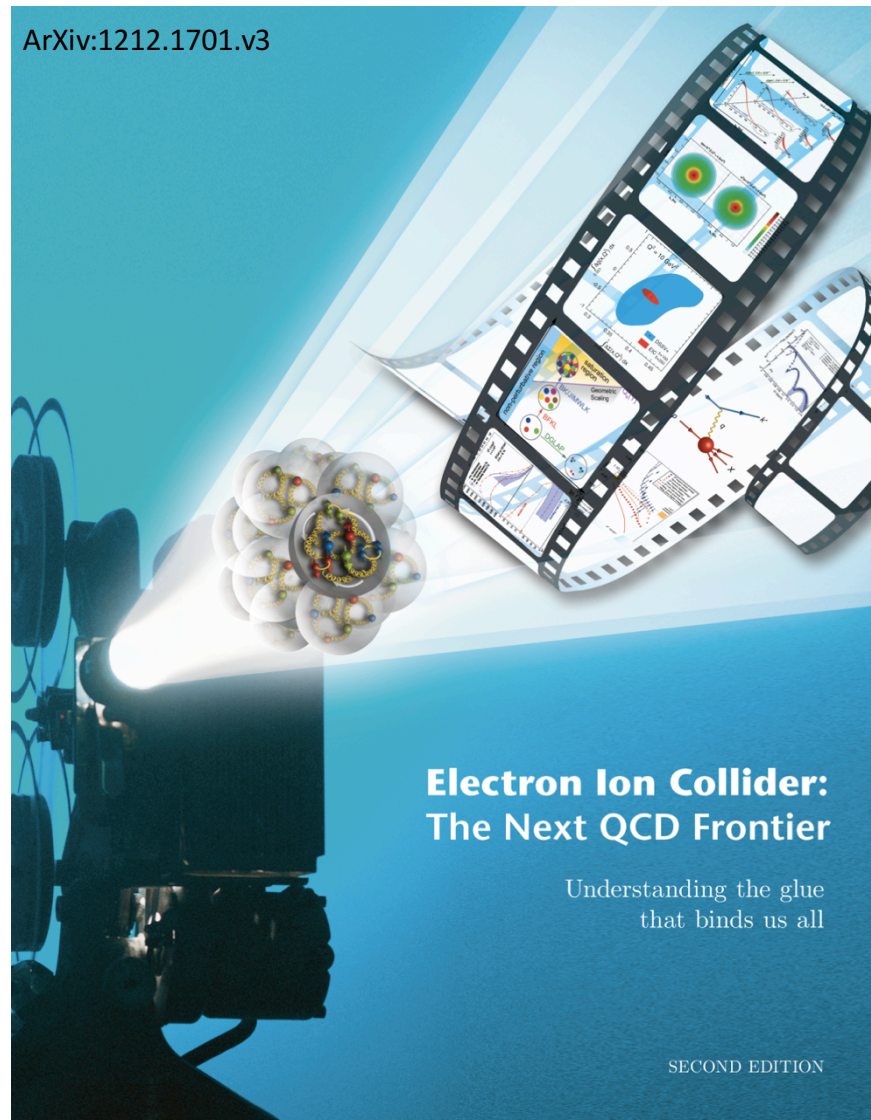
Le premier collisionneur au monde

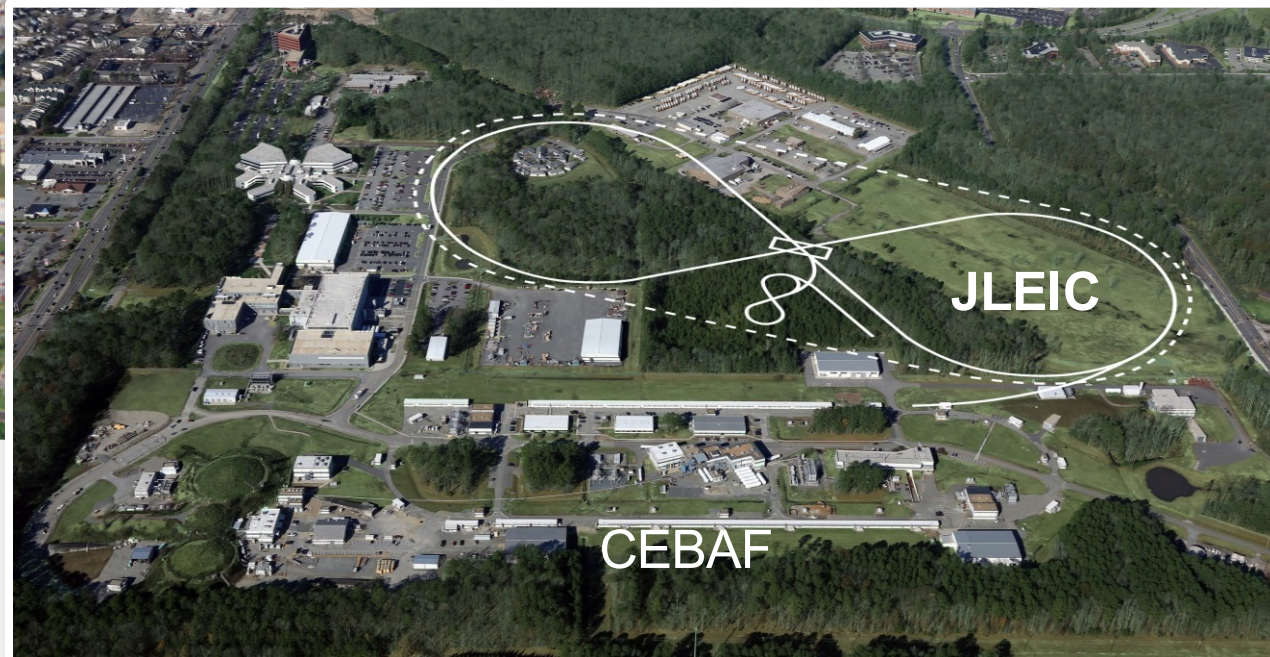
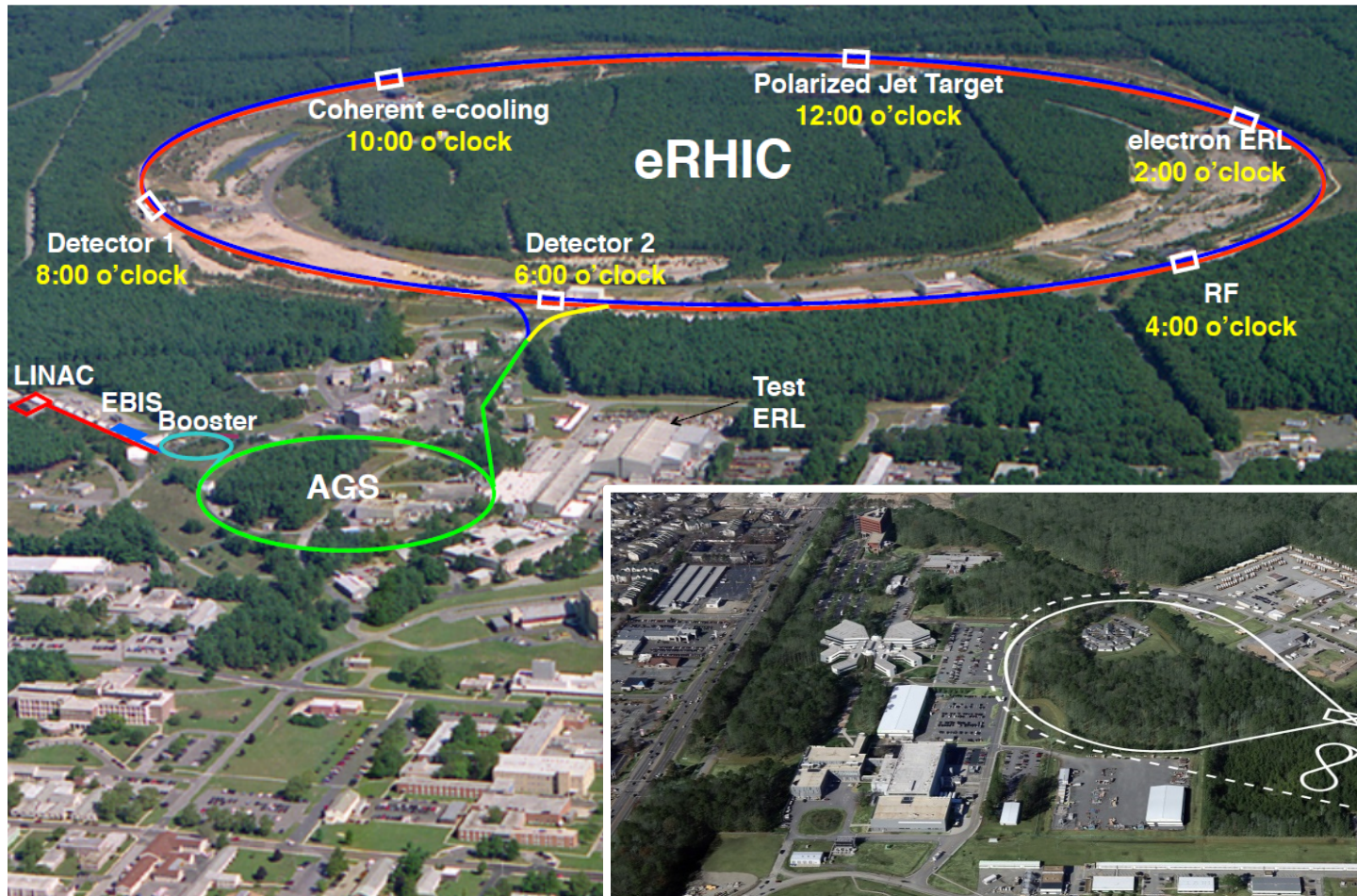
En mode électron-proton/noyau léger

Et aussi en mode électron-noyau

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

Brookhaven et Jefferson Lab







Scientific American
Mai 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

42 Scientific American, May 2015

#Illustration by Maria Cora



October 18th 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

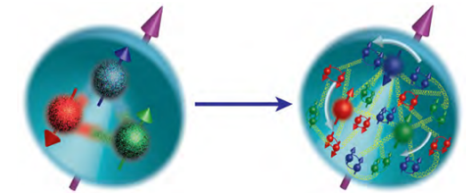
Echéances:

- > 2017 Critical Decision 0
- > 2018-19 choix du site
- > 2025 fin de construction

Internationalisation en cours de discussion !



Comment les gluons et quarks de la mer ainsi que leur spin sont distribués en position et impulsion dans le nucléon et les noyaux légers?

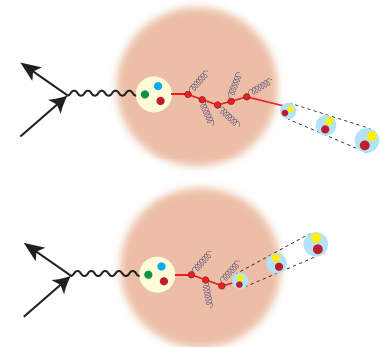


Rôle du moment angulaire orbital ?

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?

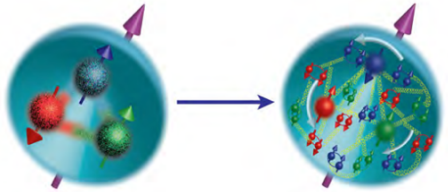


Comment la matière nucléaire répond-elle au passage d'une charge colorée qui la traverse?

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 et les noyaux légers?



Rôle du moment angulaire orbital ?

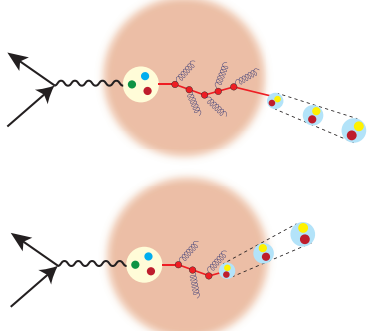
SPhN, IPNO, CPhT, LPT

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?

CPhT, IPhT, LPT



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



IPNO, IPhT

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



Une expertise internationalement reconnue dans la physique de EIC

Expertise	CPhT	IPhT	LPT	SPhN	IPNO
Structure 3D du nucléon/noyaux léger	✓		✓	✓	✓
Bas-x et saturation	✓	✓	✓		
Hadronisation et milieu nucléaire		✓			✓
Corrections électrofaibles				✓	

Pour la première fois, regroupement de *tous* les acteurs de physique hadronique de P2IO (haute et basse énergie) sur la physique d'un projet d'envergure, EIC.

Une expertise internationalement reconnue dans la physique de EIC

Expertise	CPhT	IPhT	LPT	SPhN	IPNO
Structure 3D du nucléon/noyaux léger	✓		✓	✓	✓
Bas-x et saturation	✓	✓	✓		
Hadronisation et milieu nucléaire		✓			✓
Corrections électrofaibles				✓	

Participations à l'écriture du
EIC White Paper

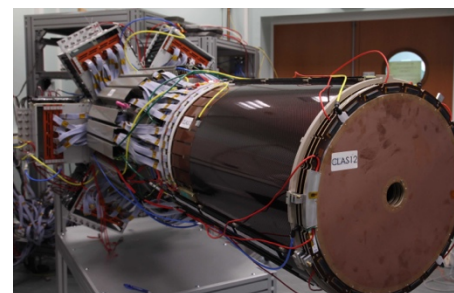
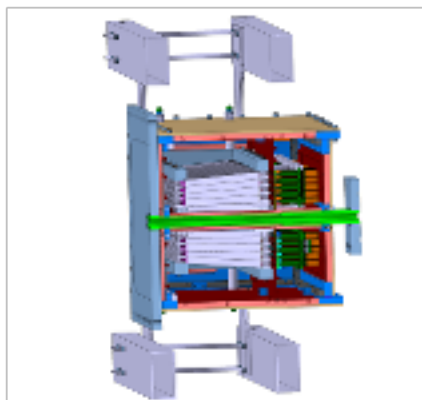
En 2012 et 2014, nous avons organisé **deux écoles d'été QCD** sur ces thématiques.

En Septembre 2015, nous avons organisé une grande
Conférence sur EIC: POETIC VI, au retentissement international.



Expertise	IPNO	Irfu
Calorimétrie électromagnétique	✓	
Trajectographie		✓
Simulations Monte-Carlo	✓	✓

IPNO: calorimètres (CLAS-IC, HPS, PANDA, etc)



Irfu: trajectographes gazeux Micromegas (COMPASS, CLAS12, Asacusa, T2K, etc)

Consortium Gluonometry

Simulations
Monte-Carlo

R&D Détecteurs

Applications

Théorie
Phénoménologie

Participation à la formation :
Ecole d'été QCD
Encadrement thèse, postdocs

Notre philosophie en 4 points:

> **Structurer et renforcer la collaboration EIC-France**

➔ Position forte dans la collaboration EIC

> **Effectuer la R&D de détecteurs clés** (calo, trajectographe)

➔ Gain WP EIC, valorisation, spin-offs

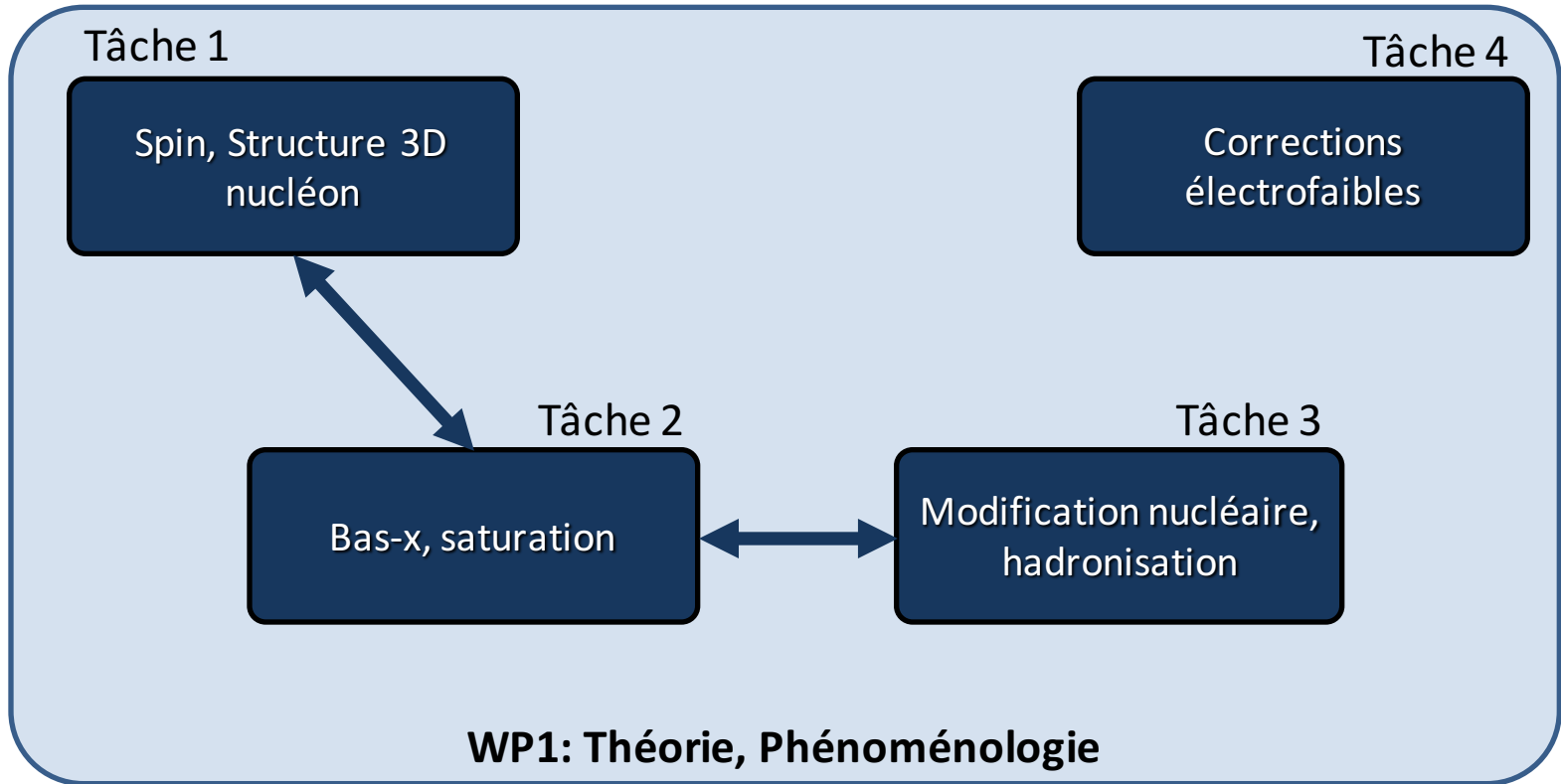
> **Effectuer des simulations MC précises**

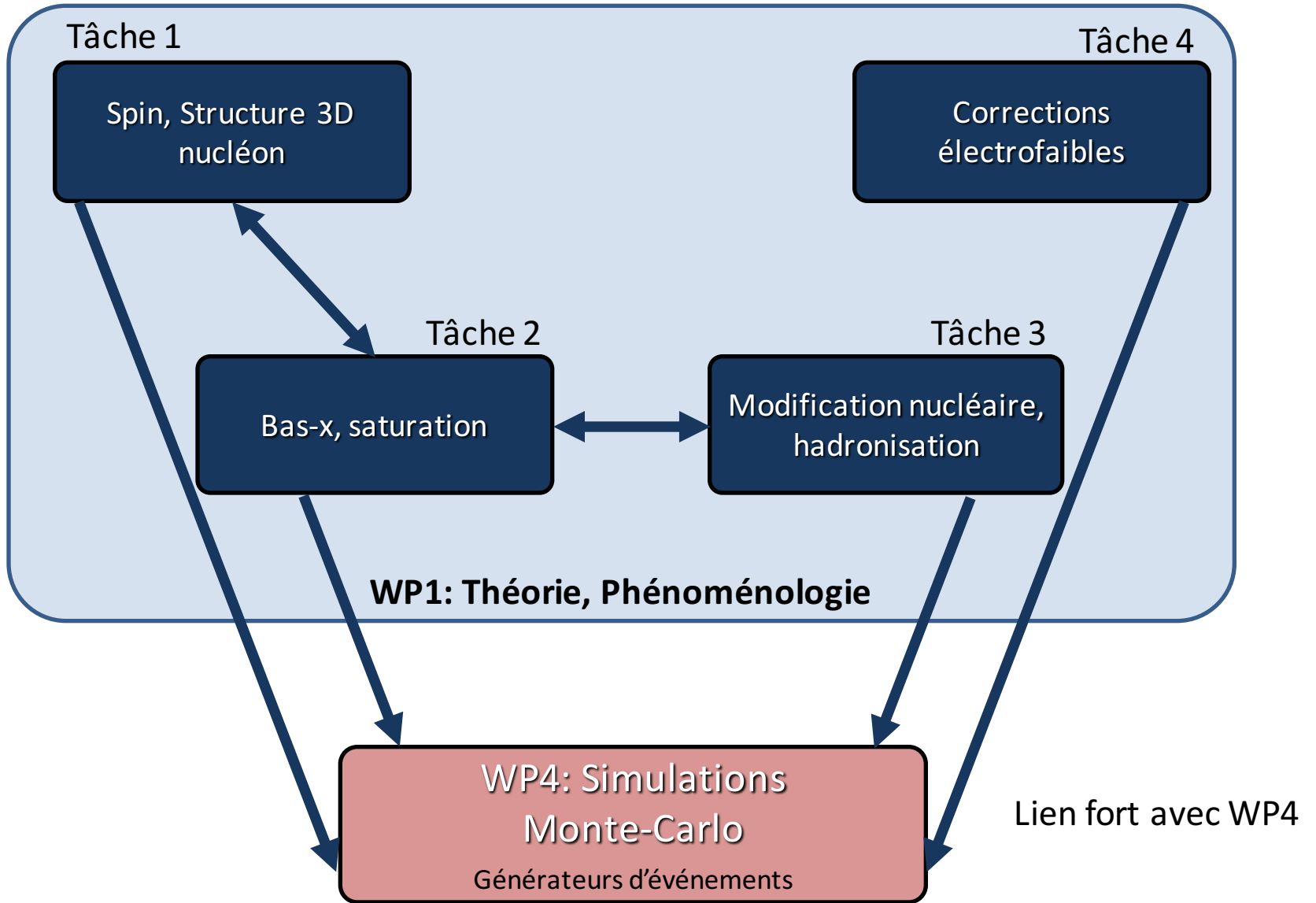
➔ Influence sur le design des détecteurs

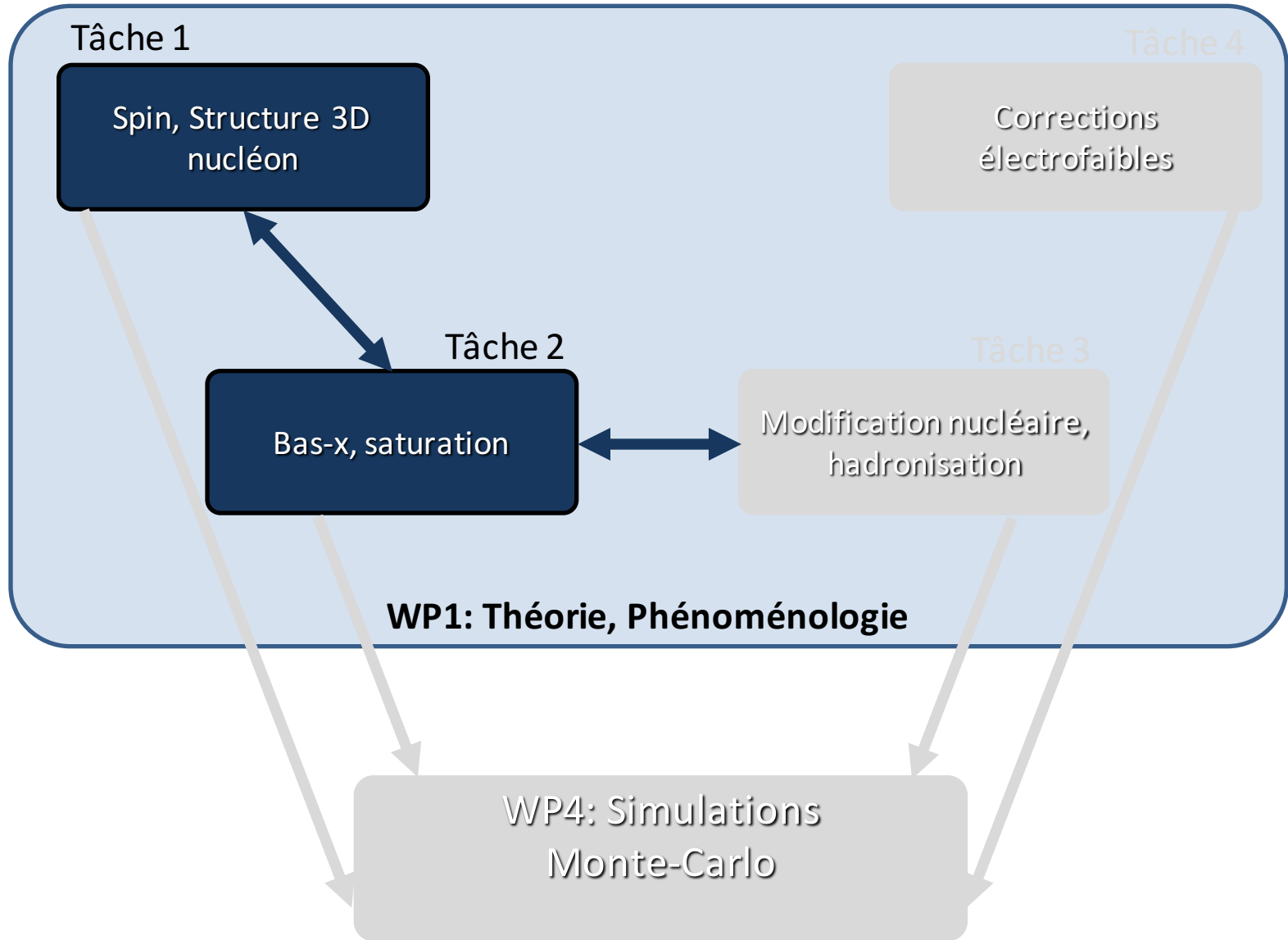
> **Développer la théorie et la phénoménologie associée**

➔ Assure l'impact maximal des données expérimentales

R&D, phénoménologie, simulation bénéficieront également aux expériences actuelles: COMPASS, JLab, LHC, ..









Espace des Impulsions

Espace des Coordonnées

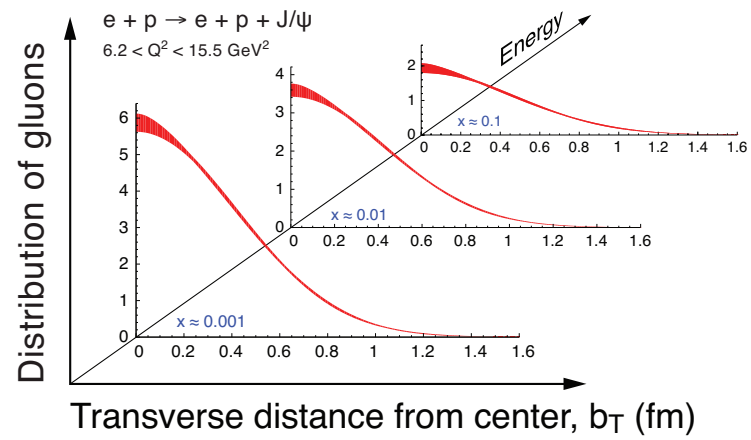
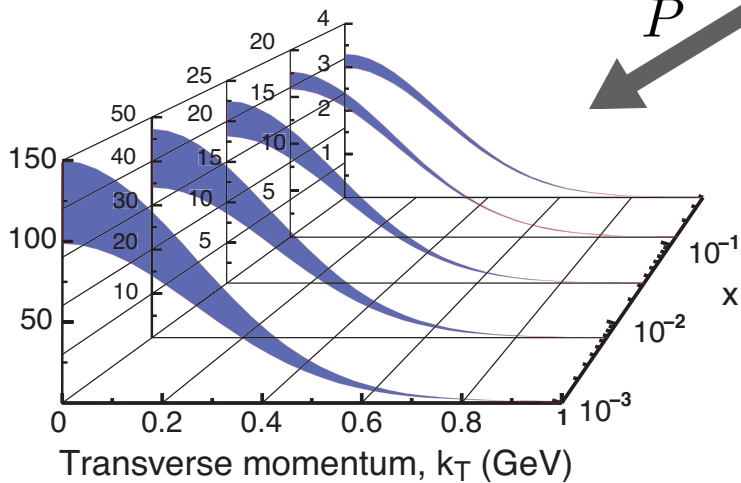
$$W(x, b_T, k_T) \xrightarrow{\int d^2 b_T} f(x, k_T) \quad \xrightarrow{\int d^2 k_T} f(x, b_T)$$

Quarks

Gluons

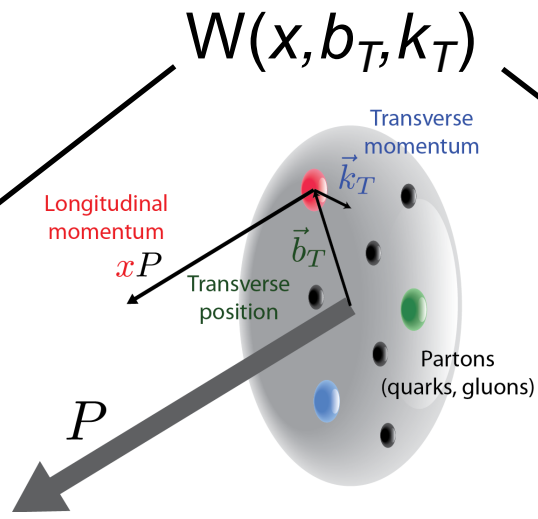
$$f(x, k_T)$$

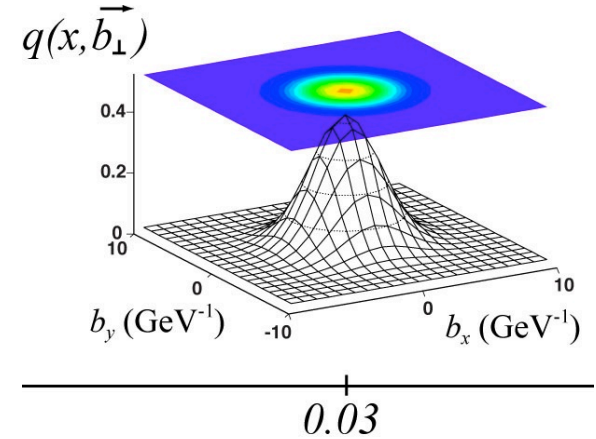
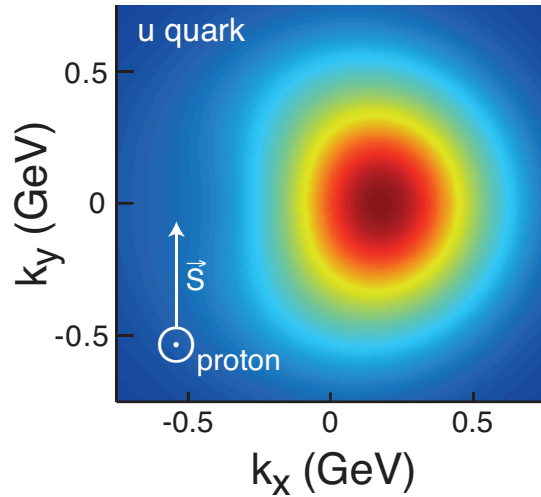
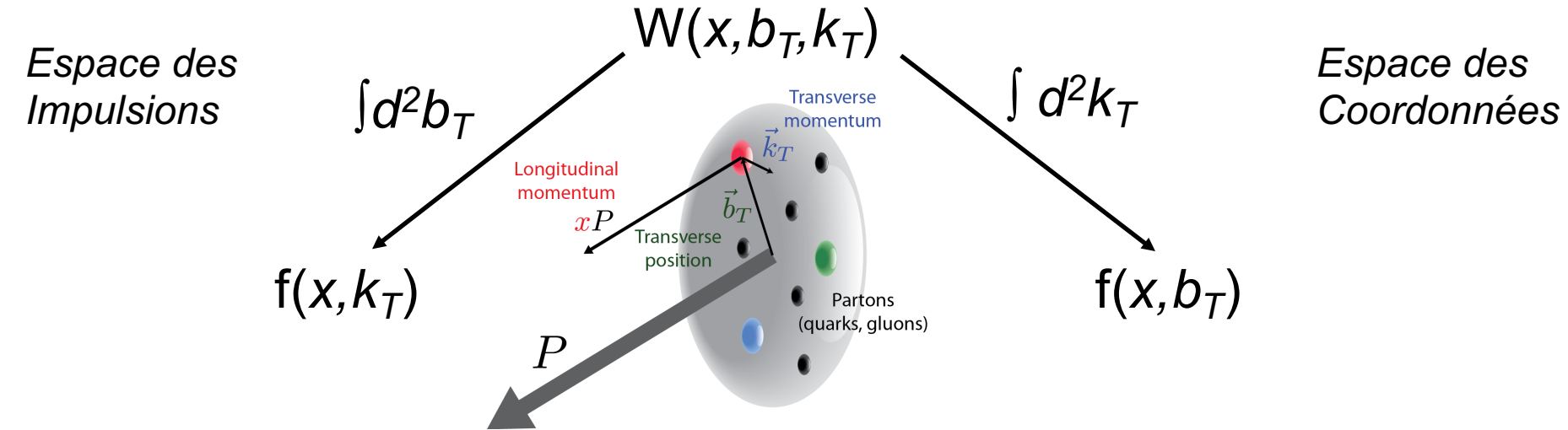
$$f(x, b_T)$$



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

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

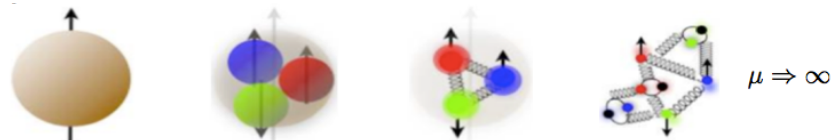




Position $r \wedge$ Impulsion $p \rightarrow$ Mouvement Orbital des Partons



Proposition



Imagerie 3D en impulsion : transposer l'état de l'art dans le secteur des quarks au secteur des gluons (correlations spin-orbite, tenseur énergie-impulsion, distributions hauts-twists, etc)

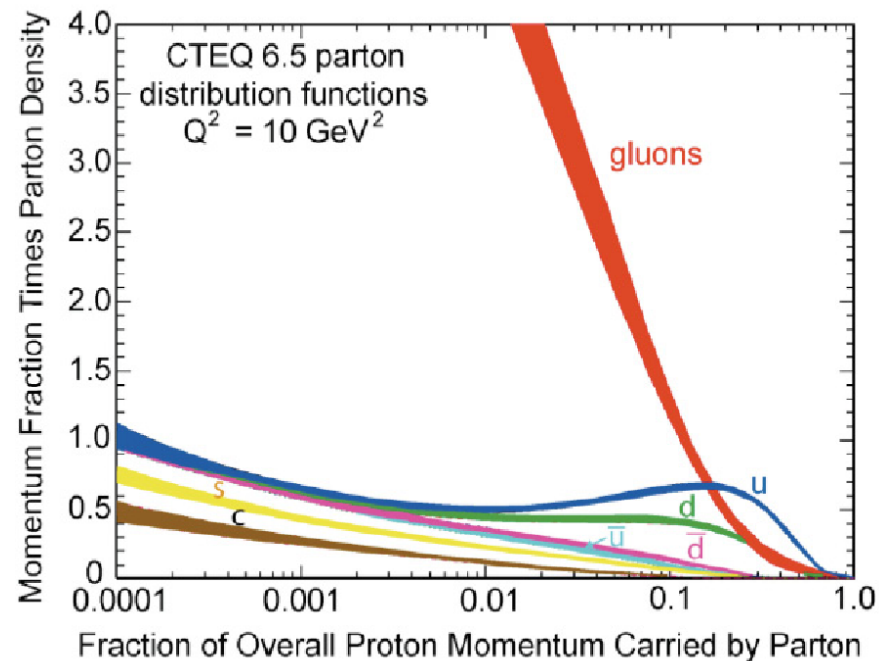
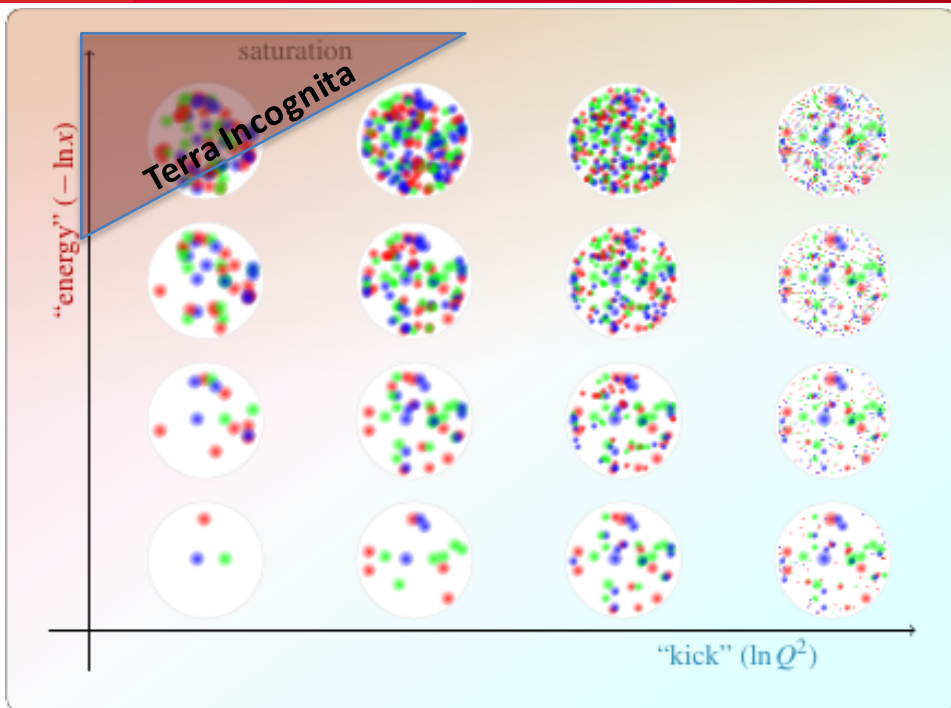
Demande P2IO: 1 an de postdoc CPhT
RH: Personnels théoriciens du CPhT, LPT

Imagerie 3D en position : là aussi, transposition du secteur des quarks au secteur des gluons (extraction globale, resommation, transversité gluonique dans EIC, etc)

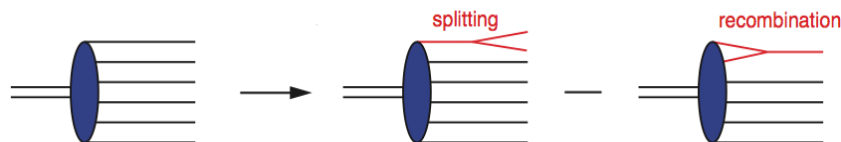
Demande P2IO: 2 ans de postdoc partagé CPhT-LPT
RH: Personnels théoriciens du CPhT, LPT,
 phénoménologie à l'IPNO, SPbN

Impact:

- Affiner le physics case d'EIC et son apport quantitatif sur la distribution des gluons
 - Elargir le nombre d'observables sensibles aux gluons et clarifier la physique associée
 - Amener la théorie au niveau de précision requis afin de pouvoir exploiter les données EIC
 - Première extraction de distributions de gluons sur pseudo-données
- pour **une image complète de la structure du nucléon** à l'horizon 2030



- > Les gluons sont agglutinés dans le plan transverse
- > La recombinaison limite le nombre de gluons >> **Saturation (nouvel état de la matière)**



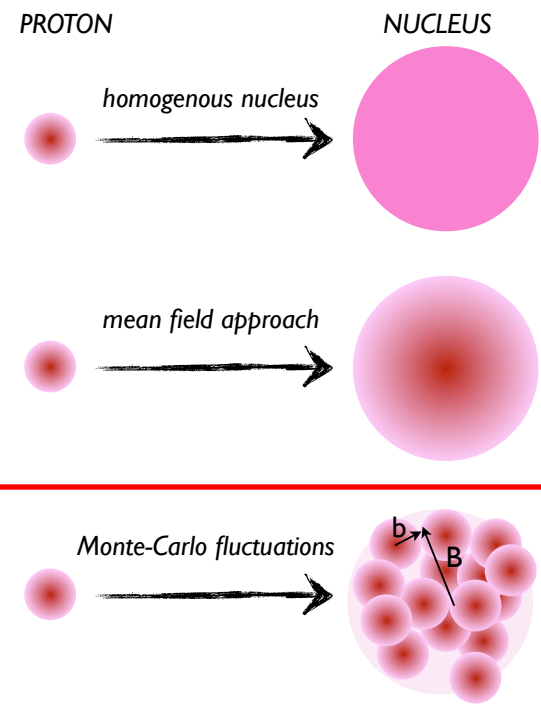
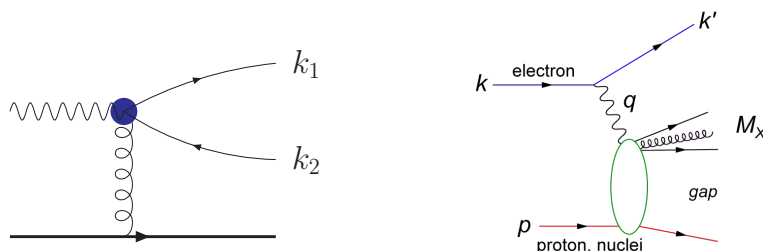
- > EIC propose des mesures discriminantes pour **découvrir** et étudier la **saturation** (fonctions de structure, diffraction, **di-jets** ...)



Proposition

Inclure les **fluctuations en géométrie nucléaire** via MC et la dépendance en échelle dure des distributions de gluons non-intégrées (Condensat de Verre de Couleur)

Etude complète du processus de la production de di-jets (inclusif ou diffractif, avec ou sans séparation en rapidité) et **possibilité d'extraire la distribution de gluons non-intégrée des noyaux**, qui, dans le régime de saturation, peut s'interpréter comme une **distribution de probabilité** !

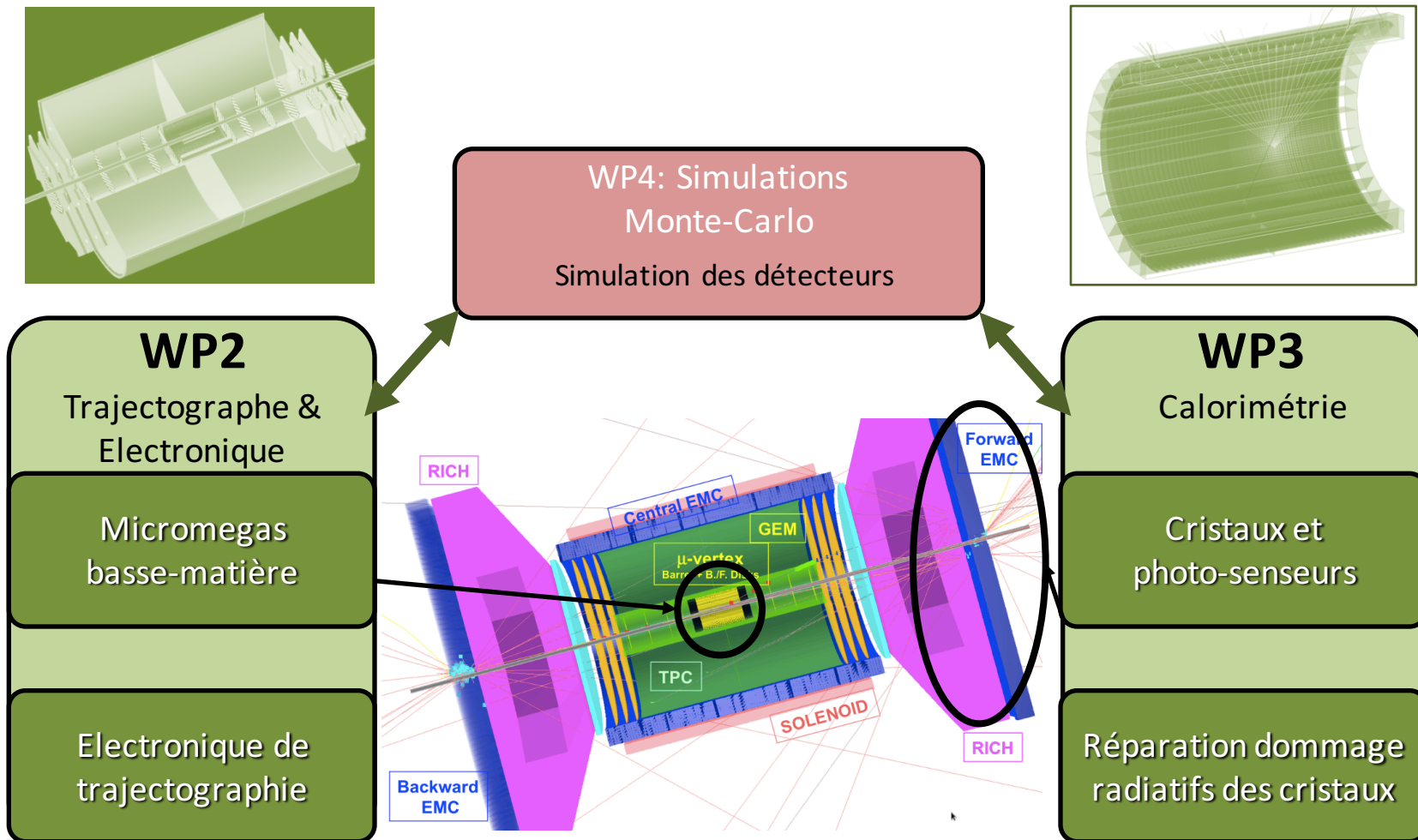


Demande P2IO: 2 ans de postdoc partagé CPhT-IPhT

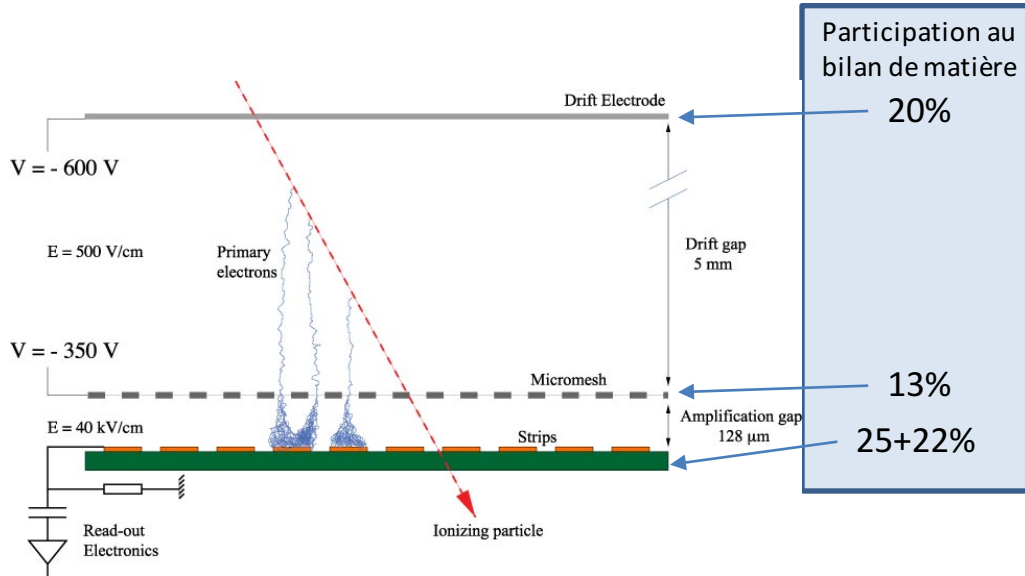
RH: Personnels théoriciens du CPhT, LPT, IPhT

Impact:

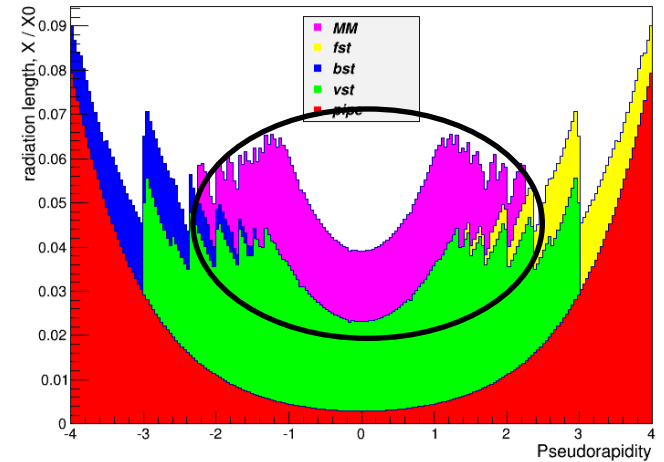
- Extension du formalisme des "ondes de chocs" aux processus diffractifs
- Extension du formalisme "JIMWLK" pour des di-jets séparés en rapidité
- Première extraction de la distribution de gluons non-intégrée nucléaire sur pseudo-données pour une image 3D en impulsion de la **densité de gluon dans le régime de saturation**



Nécessité d'implémenter des générateurs d'événements réalistes dans WP4 (lien WP1-2) pour le design adéquat des détecteurs et donc assurer un *impact maximal* des données



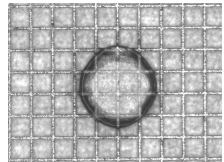
EIC Detector Geometry: Radiation Length Scan



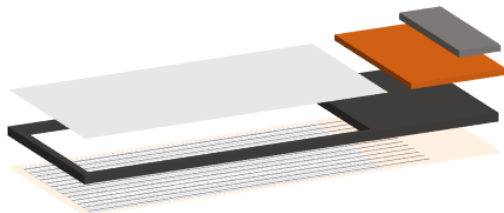
Bcp de marge pour diminuer l'impact des MM

Proposition

R&D mesh fine: Mesh fines électro-formées, métallisation alu sur mylar et R&D process bulk associée



Bulk pillar with 5 μm nickel 200 lpi mesh



R&D plan de lecture fin et cathode de dérive fine: utilisation mylar tendu sur cadre carbone

Demande P2IO: 70k€ d'investissement

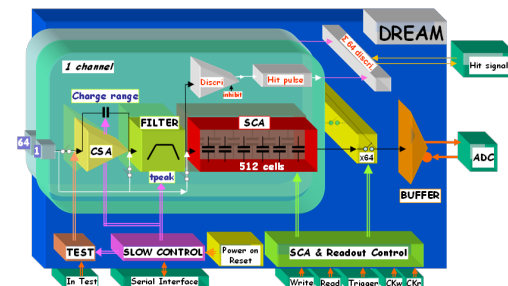
RH: Personnels instrumentation de l'Irfu/SEDI-SPhN

Impact: Design EIC + nombreuses applications possibles pour d'autres expériences

Spécifications en cours de définition mais ...

- Probablement $\sim 100K$ canaux ou plus
- Taux d'occupation élevés ~ 100 kHz par canal
- **Taux de lecture 100 kHz – 1 MHz**
- Grands détecteurs et donc grandes capas (~ 100 pF)
- Résolution en temps ~ 1 ns
- **Taux de radiation élevé**

Spécifications
en partie satisfaites
avec l'ASIC DREAM



Proposition

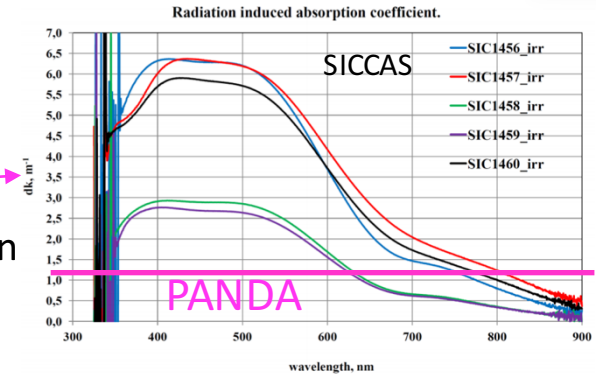
- Préciser les spécifications
- En partant de l'état de l'art (DREAM):
 - **Augmenter la vitesse de lecture au delà de 50KHz (limite actuelle)**
 - Améliorer la tenue aux radiations
- Ajuster les gammes de fonctionnement aux détecteurs EIC
- **Valider les améliorations sur des détecteurs en développement (SOLID etc)**

Demande P2IO: 40 k€ (circuit intégré, banc de tests, tests en faisceau) + postdoc de 2 ans
RH: Postdoc + personnels Irfu/SEDI électronique
Impact: Design pour EIC + utilisation dans expériences à moyen terme



Contexte:

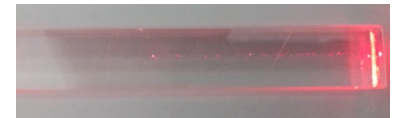
Le PbWO_4 a déjà été utilisé pour la calorimétrie (CMS, JLab, PANDA, ...)
 BTCP (Russia) a produit des cristaux de qualité mais a fermé
 SICCAS (China) a de gros problèmes de qualité
 CRYTUR (Rép. Tchèque) commence à étudier les procédés de production



Proposition:

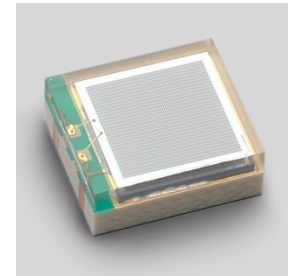
Améliorer la qualité des cristaux de PbWO_4 produits et donc aider les sociétés concernées

- Développements des bancs de test transmittance + quantité de lumière
- Tests de l'irradiation des blocs avec e, p, γ (lien avec WP4, simulation dose)
- Développer les procédure de blanchiment optique des blocs



Etudier et développer la combinaison PbWO_4 + SiPM pour la lecture

- Etendre la sensibilité des SiPM des l'UV
- Etudier les effets microscopiques des dommages radiatifs aux SiPM
- Etudier les possibilités de corriger ces dommages



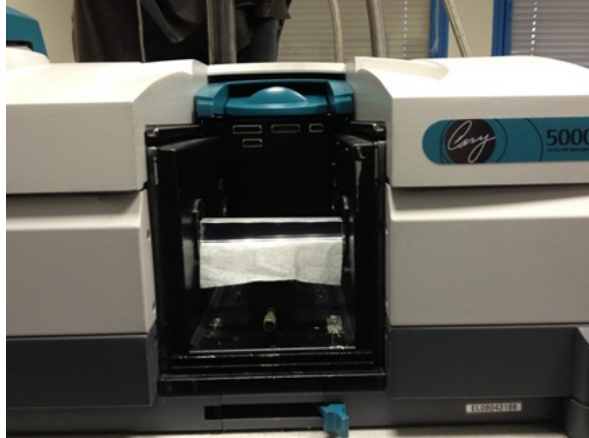
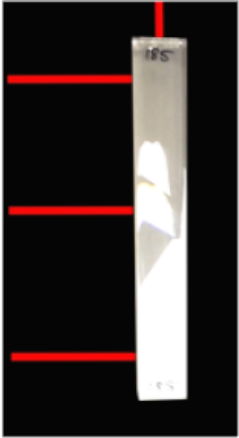
Demande P2IO: 110 k€ (prototype 4x4 canaux) + postdoc de 2 ans

RH: Postdoc + personnels IPNO

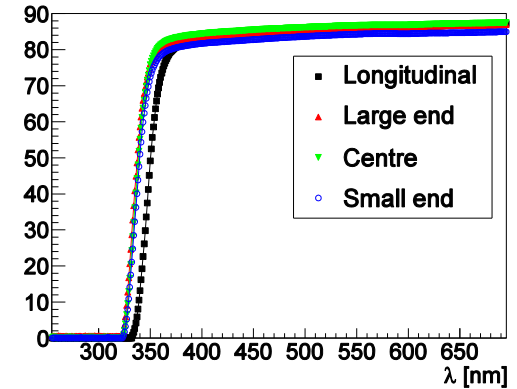
Impact: La possibilité d'utiliser des cristaux PWO de haute qualité avec des SiPM améliorés dans l'UV révolutionnerait la calorimétrie haute performance et ses applications

Moyens

Banc de transmission optique et résultats:



Transmission (%) as a function of wavelength

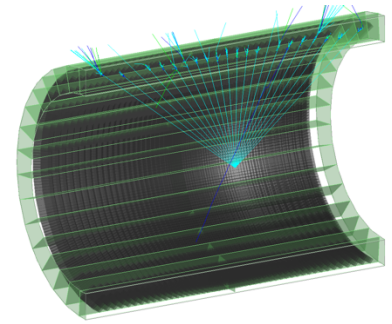
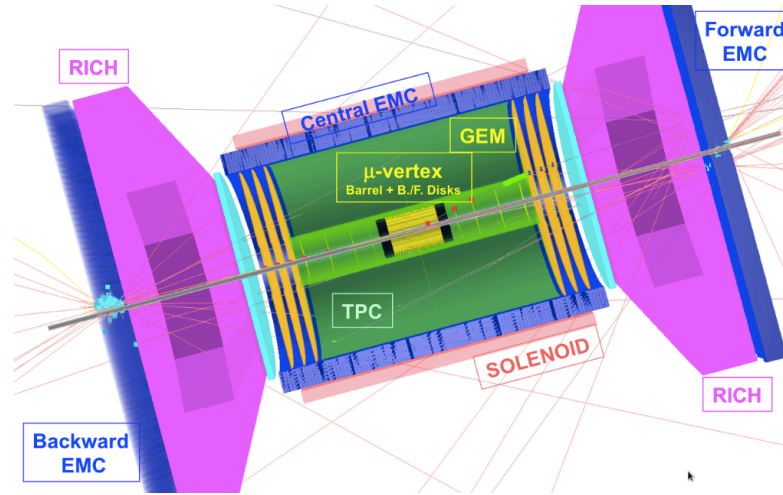
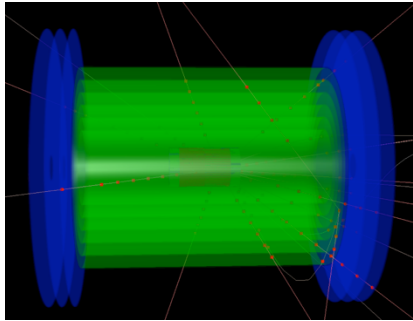


Equipements pour l'irradiation:

- ALTO à l'IPNO électrons de 50MeV jusqu'à 1uA ou protons
- Source de ^{60}Co de haute intensité (LCP, Orsay)

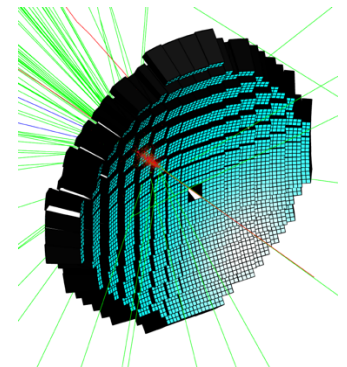
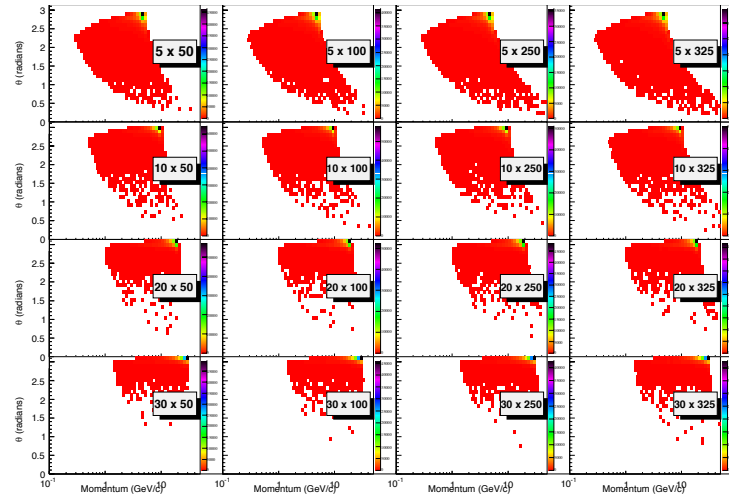
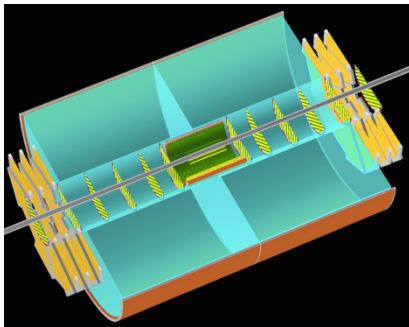


Irradiation facility (LCP, Orsay)



Etudes de résolution, efficacité, selon les configuration

Evaluation du dommage dû au rayonnement synchrotron



Simulations DVCS



Le consortium Gluonometry (CPhT, IPNO, IPhT, Irfu/SEDI, Irfu/SPhN, LPT) s'est formé autour de la perspective d'un nouveau collisionneur EIC qui révolutionnera l'étude de la matière visible de l'univers à l'horizon 2025.

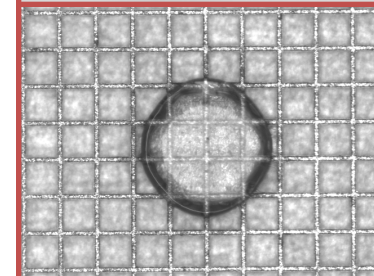
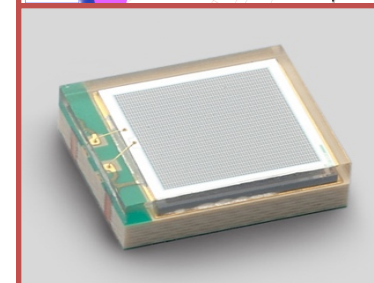
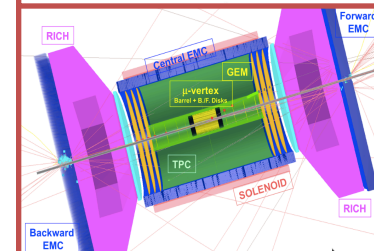
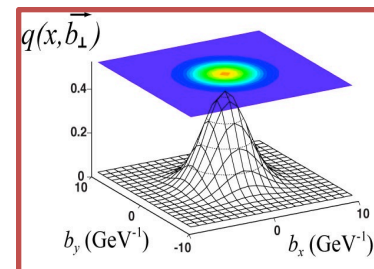
Pour préparer ce projet et structurer les efforts français, nous proposons un ensemble cohérent de tâches depuis la théorie jusqu'à la R&D des détecteurs, qui s'articulent autour d'un WP de simulation. L'impact à l'international et donc la visibilité de P2IO seront assurés par à la fois par la recherche amont sur les thématiques centrales de EIC et en aval, par la préparation de nos équipes à l'obtention de WP détecteurs.

Nous demandons pour réaliser ce projet emblématique : 690k€

	Personnel	Durables Consommables	Autre	Total	
CPhT	150	0	0	150	
IPhT	50	0	0	50	
IPNO	100	110	0	210	
IRFU	100	110	0	210	
LPT	50	0	20	70	
Total	450	220	20	690	(k€)

En plus de ce qui a été détaillé précédemment:

Action de formation par deux éditions de l'école d'été de QCD (2x10k€)



BACKUP SLIDES



How does this project fit with other international efforts and projects related to EIC?

Les efforts à la fois en théorie, phénoménologie et en R&D détecteurs sont organisés autour de l'EIC User Group (416 physiciens à ce jour). Nous sommes non seulement impliqués dans la définition du programme de physique (white paper, conveners), ainsi que dans le programme de R&D innovant sur les trajectographes et les calorimètres en collaboration multiple avec de grandes universités ou laboratoires américains: Caltech, Catholic University, Temple University, JLab, BNL.

Can you give more details on how the senior participants are going to make sure that the postdocs careers are not jeopardized by the uncertain timetable of EIC (at best 2025 to 2030 horizon).

Les postdocs seront associés dans tous les cas à une recherche de pointe, que ce soit en théorie ou en instrumentation, qui leur assurera une formation de choix dans les laboratoires actuels ou futurs. De plus, la plupart de nos résultats et/ou avancées technologiques seront utilisables avant même le démarrage de EIC (COMPASS, JLab, LHC, etc). De plus, un grand projet international tel que EIC assurera une place de choix aux postdocs par la suite.

La collaboration EIC-France comptera-t-elle d'autres laboratoires français non estampillés P2IO pendant la durée du projet? Si oui, comment cela est compatible avec un financement P2IO? D'autres sources de financement sont-elles envisagées?

Pour le moment, P2IO est l'acteur unique en France pour ce qui est de la participation à EIC France. La collaboration est amenée à grandir, potentiellement augmentée des physiciens actuellement concentrés sur la QCD au LHC (ALICE, LHCb, etc), pour qui les problématiques sont proches et le potentiel d'EIC deviendra rapidement incontournable.

Existe-t-il d'autres équipes étrangères susceptibles de fortement concurrencer le présent projet dans la course au positionnement au sein de l'EIC?

Les équipes étrangères sont pour le moment en collaboration avec nous plutôt qu'en concurrence dans cette phase de définition du projet. Pour la partie instrumentation, ce projet P2IO nous mettra en excellente position pour le gain d'un ou plusieurs WP détecteurs.



Compte tenu du fait que le succès du projet semble reposer sur une bonne synchronisation entre les résultats théoriques et la R&D, par le biais de simulations, serait-il possible de préciser davantage comment s'articuleront les différents volets du projet et comment se fera le pilotage des WP dans leur ensemble?

-> Slide « articulation et pilotage » dédié en backup.

Dans le cas d'une réduction de la dotation P2IO de 15%, est-ce vraiment judicieux de réduire les postdocs à 20 mois au risque de n'attirer aucun (bon) candidat?

Dans tous les cas, nous proposerons 1+1 années par postdoc. En effet, le consortium Gluonometry contenant 6 laboratoires d'envergure de P2IO, nous sommes confiant de la possibilité de trouver dans les 20 premiers mois du projet l'argent nécessaire pour éventuellement payer les 4 mois supplémentaire (ANR, Europe, etc). Bien entendu, ceci n'est pas une situation souhaitable !

L'accent est porté sur le projet EIC. Quelles seraient les conséquences si le projet MEIC était finalement retenu par les États-Unis ?

EIC = nom générique quelle que soit la version. MEIC (en fait JLEIC) est la version JLab. eRHICest la version BNL. La physique décrite est bien évidemment indépendante du lieu sélectionné pour construire ce collisionneur.

Quel serait l'impact des études de WP1 sur les simulations DVCS (WP4), et l'impact des simulations DVCS sur les projets WP2 et WP3 ?

-> Slide « articulation et pilotage » dédié en backup.

What happens if EIC is not selected as the next machine? Low FTE comitment from the seniors? What if a good postdocs is not found quickly? Would this jeopardize the project?

Déjà répondu pour la première question. Le niveau d'engagement de la plupart des séniors semble raisonnable, sachant que pour certains, c'est un travail à 100% pendant de courtes période, donnant l'impression d'un niveau faible globalement. Les tâches mises dans les premiers mois sont effectuées par les chercheurs et ingénieurs de nos laboratoires. Pas de remise pas en cause du projet si un postdoc n'arrive pas rapidement, éventuellement une dilatation légère de la tâche dans le temps. Par expérience, notre attractivité est très forte (50 dossiers/proposition !).



Why does the activity of WP1 concentrate only on the first part of the project ?

Pour les tâches 1&2 la période d'activité indiquée sera en partie assurée par les postdocs : elle sera susceptible de glisser selon la date de leur arrivée. L'activité des membres permanents sera continue tout au long du projet, comme indiqué dans le plan de charge.

How likely is a shared chip production for WP2 with a timing in line with the proposed R&D ?

L'ASIC Dream est en technologie AMS CMOS 0.35 μ m. Il y a environ 4 runs multi-projets par an. La technologie qui peut être envisagée est AMS CMOS 0.18 μ m et il y a aussi environ 4 runs par an. Nos collègues sont principalement: le group Omega, CPPM de Marseille, IPHC de Strasbourg, LPC de Clermont et enfin le LAL.

How to support the manufacturer R&D on PWO crystal and SiPM radiation tolerance ?

C'est justement en créant l'infrastructure nécessaire aux contrôles qualité des cristaux et SiPM et au retour d'expérience ainsi créé que se fera le soutien à la R&D du fabricant. C'est donc pour P2IO un rôle absolument majeur non seulement pour assurer l'avenir de cette filière pour EIC mais aussi pour d'autres détecteurs ! Par expérience, ce genre de bancs de tests ne peut pas être développés par le fabricant.

Which is the benefit of a 4x4 crystal array prototype with respect a 3x3 array?

La mesure précise des résolutions en énergie/position nécessite que la quasi totalité d'une gerbe soit contenue dans le calorimètre. Pour le PWO, le rayon de Molière implique un étalement dans 9 blocs. Afin d'éviter des effets de bords gênants, une couche supplémentaire (donc 4x4) est très importante.

Why not exploring a wavelength shifter (coating or grease) for better matching the SiPM to the UV light yield ?

Cette option sera étudiée également pour améliorer la sensibilité UV des SiPM. Des tests préliminaires sont encourageants, même si certaines craintes sont apparues concernant le vieillissement de la couche.



Can (part of) the electronics be borrowed ?

Une partie de l'électronique peut en effet être prêtée (les cartes DALTON par exemple). Le but de notre projet est néanmoins d'assurer un retour d'expérience rapide au fabricant. Un montage/démontage fréquent si le prêt est de courte durée semble très peu efficace.

Does the planning consider only the developing stage of WP4 and not the systematic studies required by the technical reports ?

En effet, ce qui est détaillé dans le planning ne concerne que la partie de développement. Il est évident que les études systématiques en liaison avec les WP2 et 3 se feront pendant toute la durée du projet et au delà.

If the project is funded and successful, and the EIC is realized on the currently envisaged schedule (about 2027), how do you see the French participation evolving ?

Déjà répondu auparavant: extension de la participation au reste de la communauté de physique hadronique française. Ce sera l'un des avantages structurant d'un projet emblématique tel que Gluonometry.

Are the proponents familiar with the US based R&D efforts so that duplication of effort is avoided. Conversely, are the projected plans of the French team familiar to US teams -- is active collaboration on detector issues envisaged. Are there specific examples?

Oui, réponse et exemples déjà donnés.

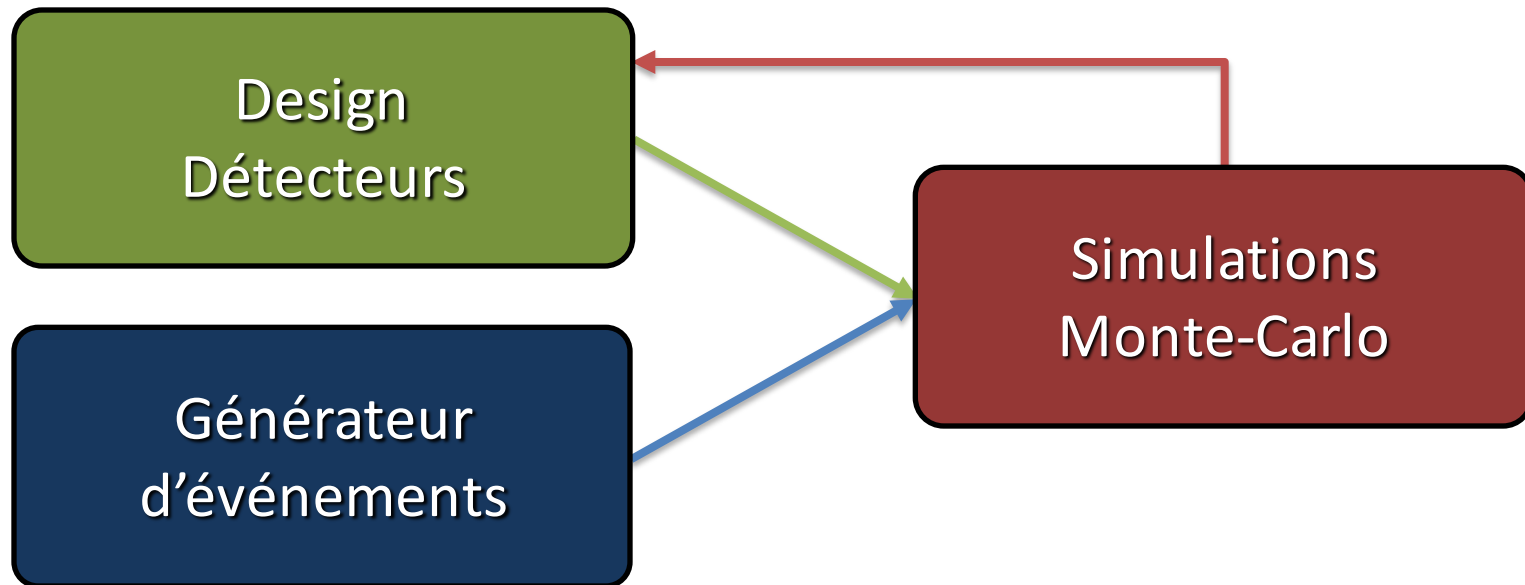
Réunion WP: tous les 2 mois (plus souvent selon l'urgence)

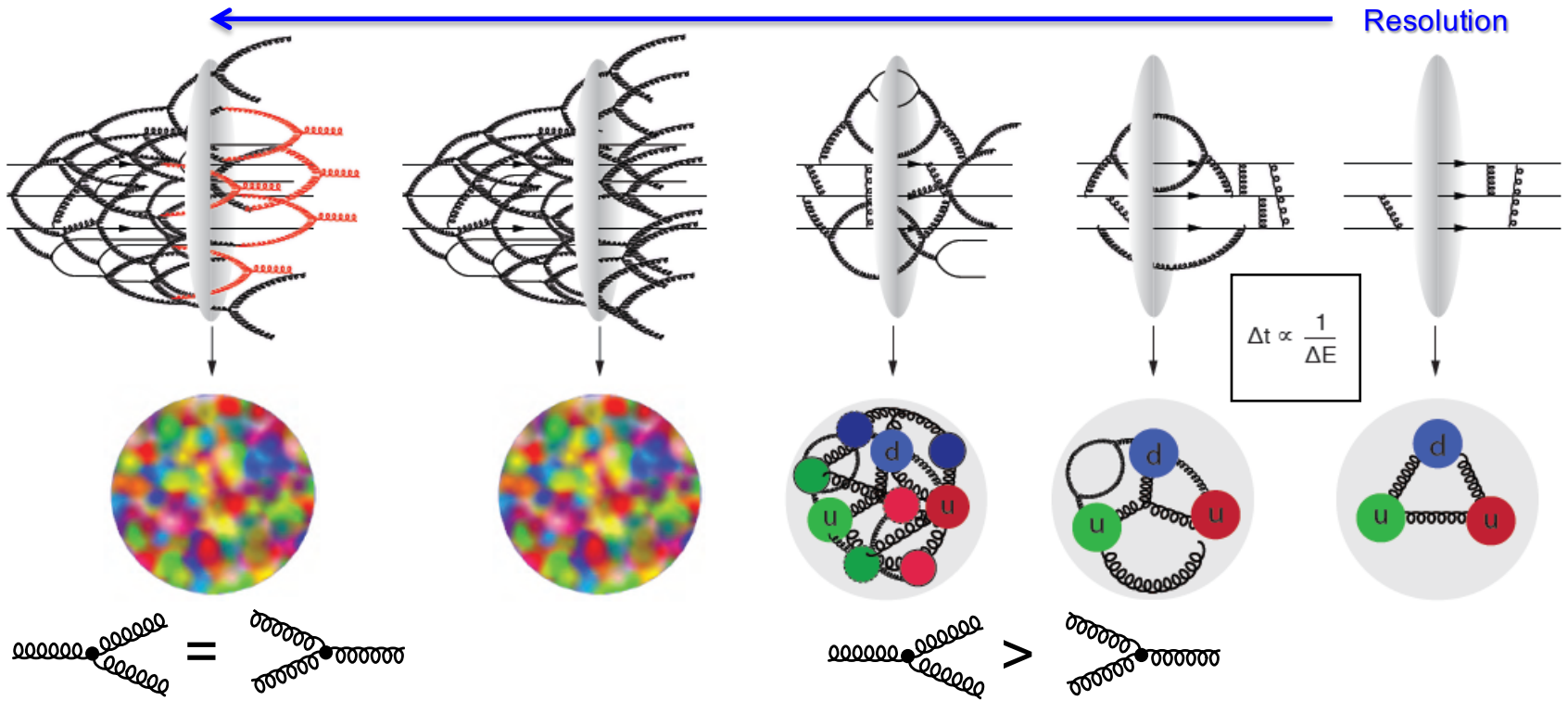
Réunion plénière: tous les 6 mois

Utilisation de moyens « modernes » de collaboration: page web, page wiki

Les liens entre WP seront assurés par des réunions spécifiques (dont je serai responsable)

Articulation des WP assez naturelle avec un rôle central du WP4 (simulation)

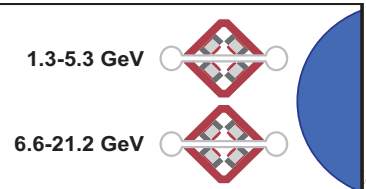




Saturation !

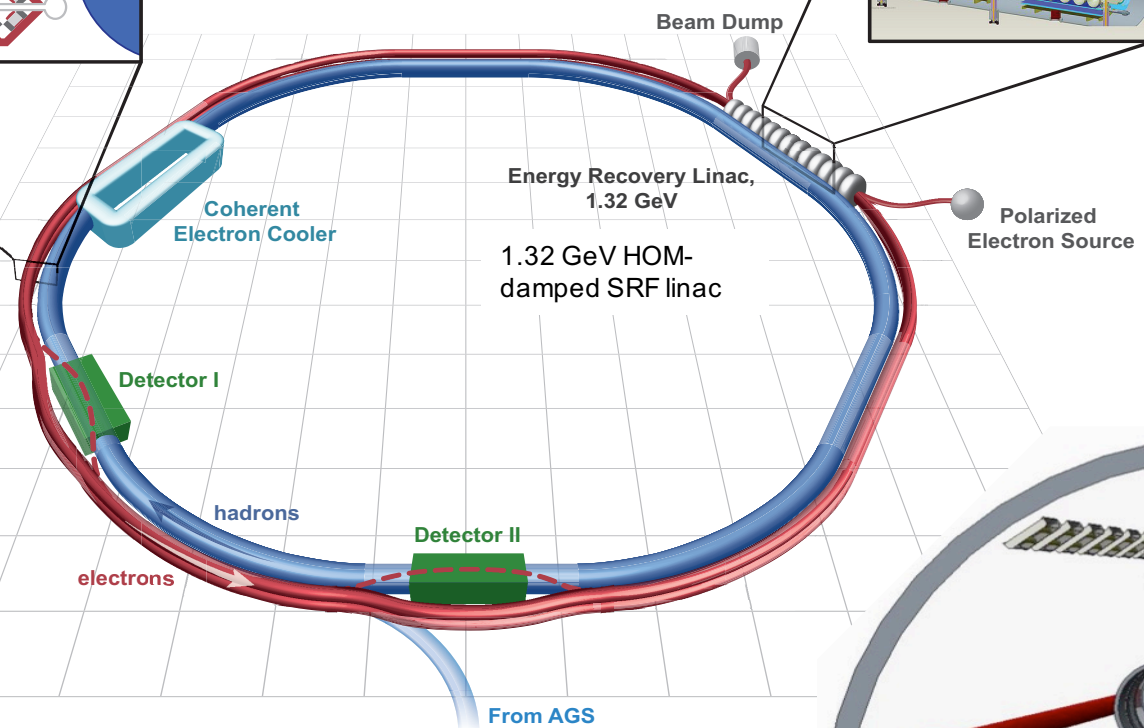
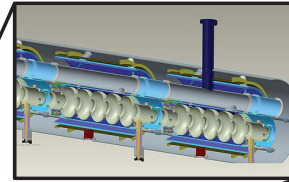


FFAG arcs

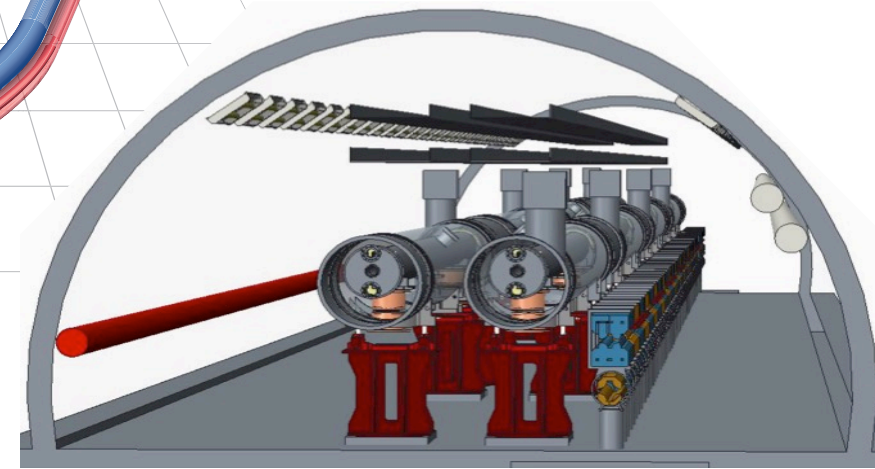


Highly advanced and energy efficient accelerator

ERL Cryomodules



arXiv:1409.1633



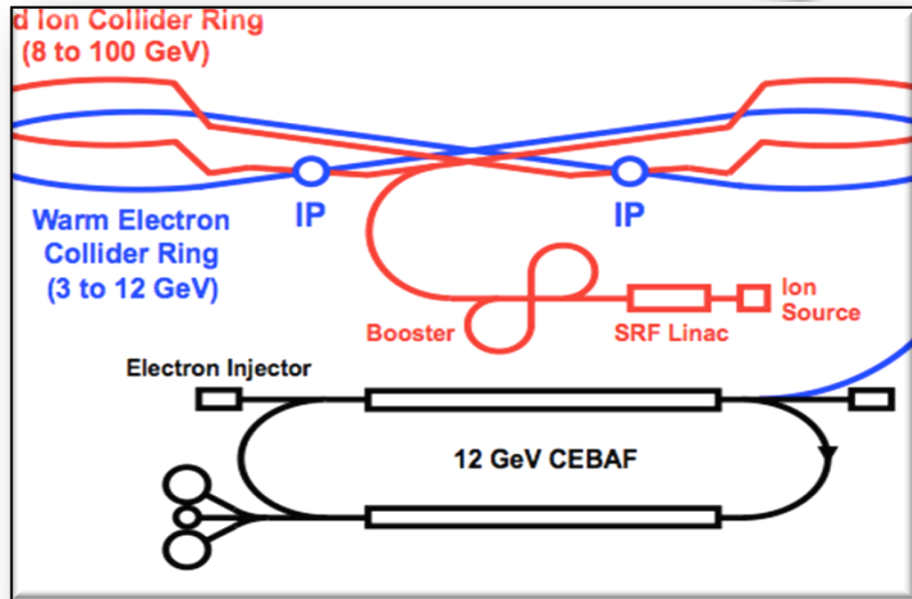
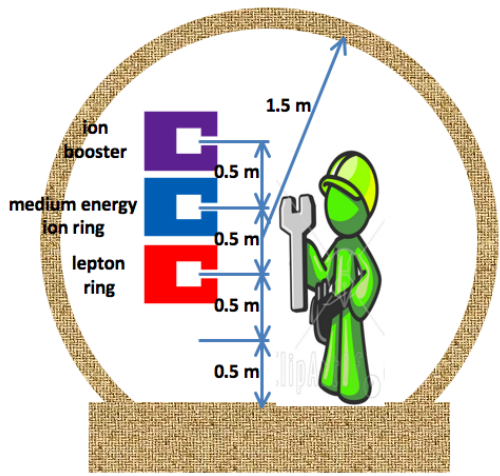
- Solution à relatif bas coût mais ...
- Haut risque technique

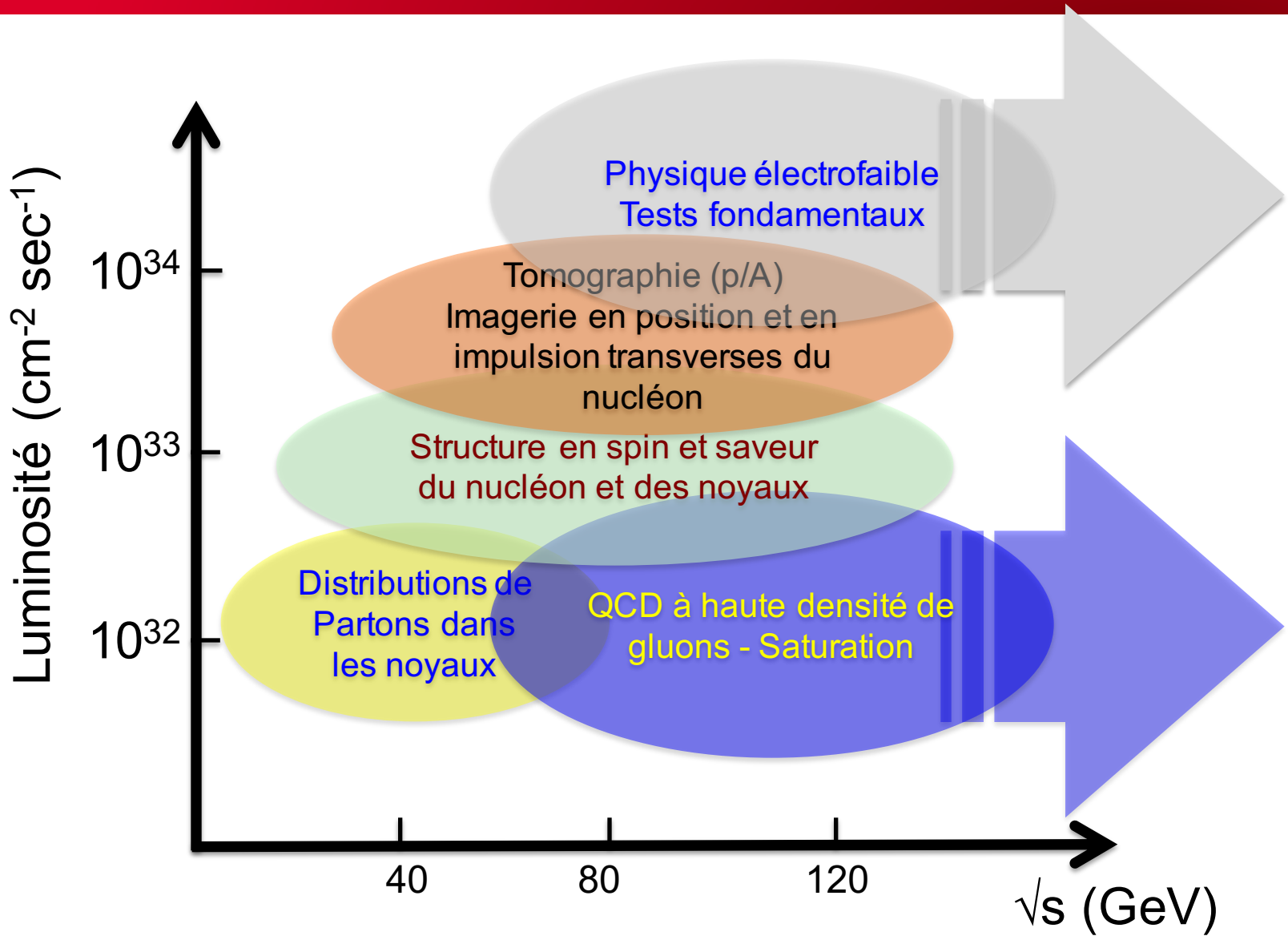
Luminosité: $4.1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for $\sqrt{s} = 126 \text{ GeV}$ (15.9 GeV e^\uparrow on 250 GeV p^\uparrow)

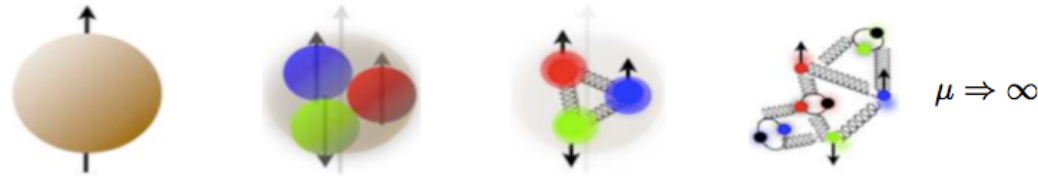


arXiv:1504.07961

- 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





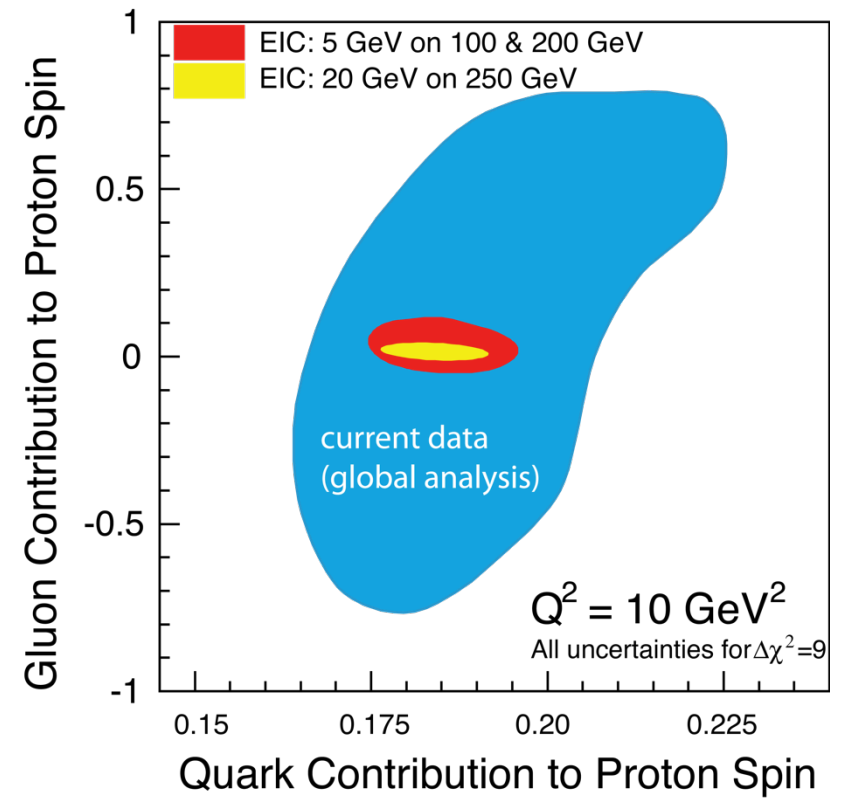


$$\frac{1}{2} = \left[\frac{1}{2} \Delta \Sigma + L_Q \right] + [\Delta g + L_G]$$

- $\Delta \Sigma / 2$ = Contribution des quarks au spin du proton
- L_Q = Moment Angulaire Orbital des quarks
- Δg = 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

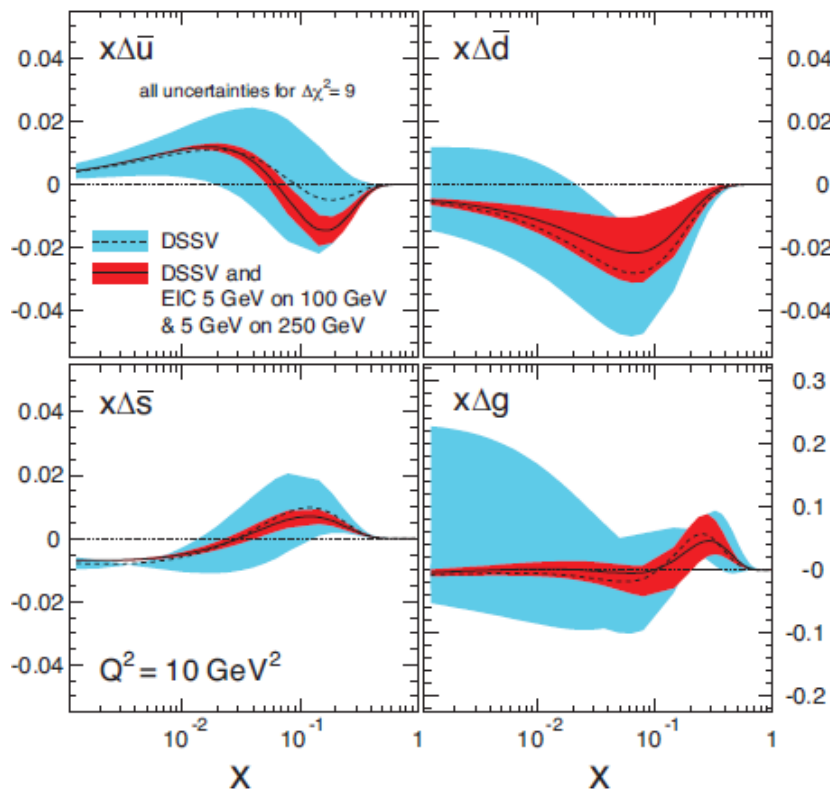
$$\frac{dg_1}{d \log(Q^2)} \propto -\Delta g(x, Q^2)$$



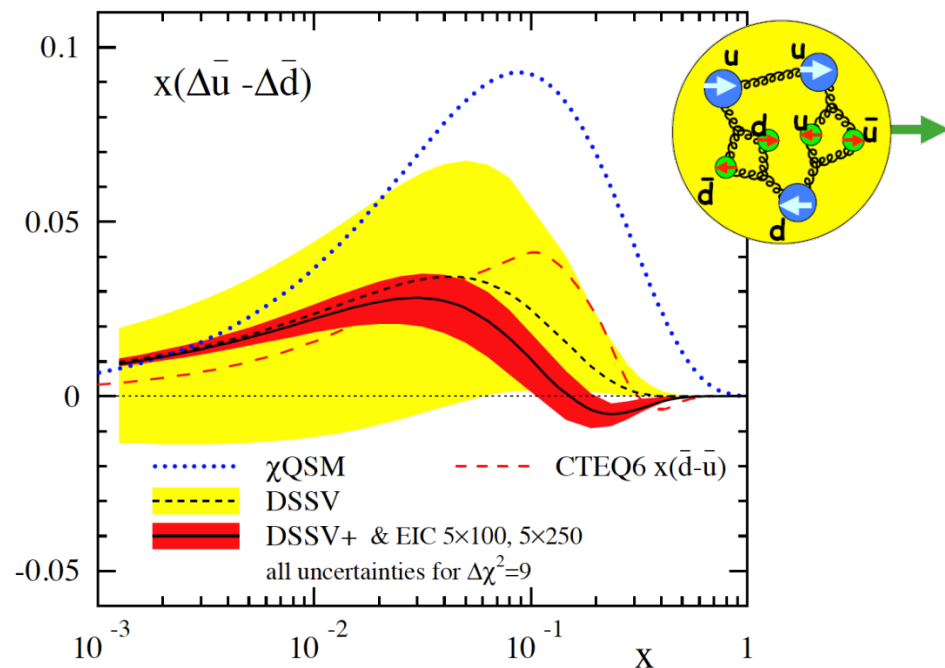
L'EIC polarisé permettra:

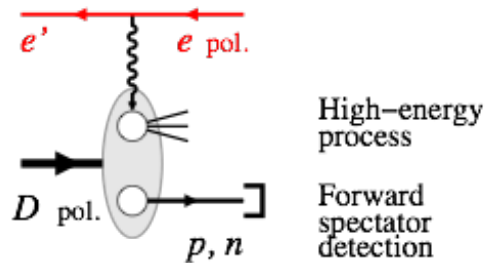
- Une révolution pour la mesure de $x\Delta g(x)$
- Une amélioration notable de $\Delta\Sigma$
- Une décomposition en saveur de la mer de quarks légers

\sqrt{s} de 45 à 70 GeV

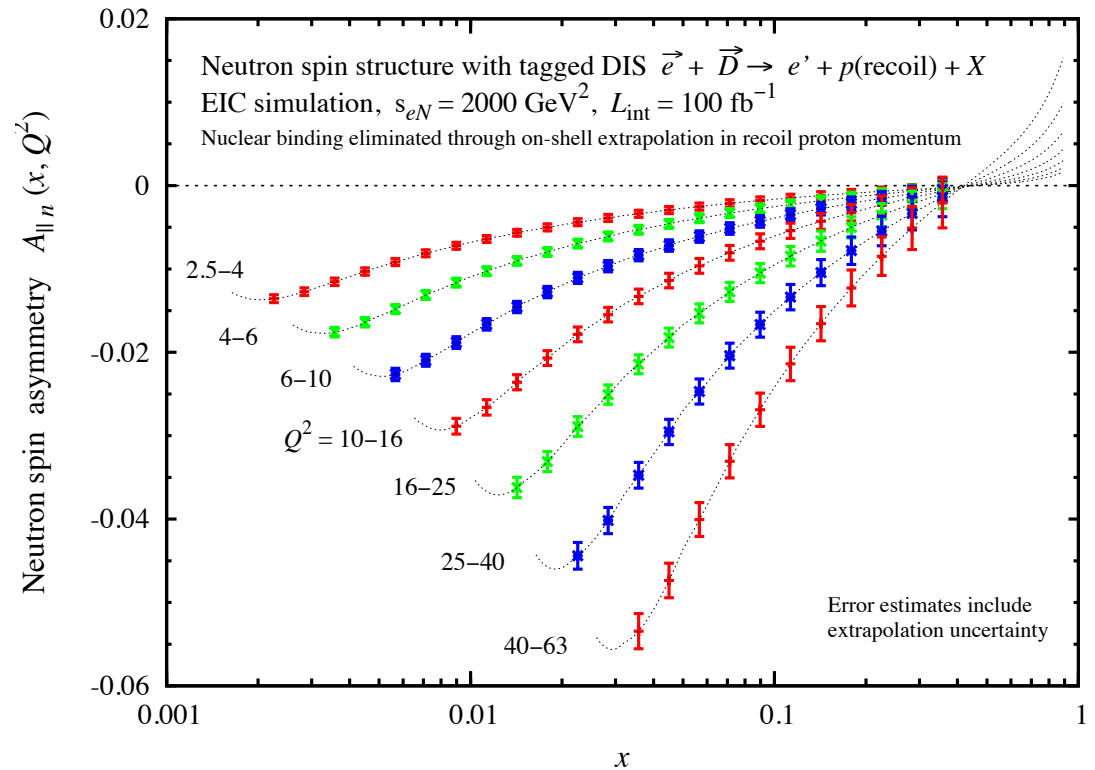


\sqrt{s} de 30 à 70 GeV et haute luminosité





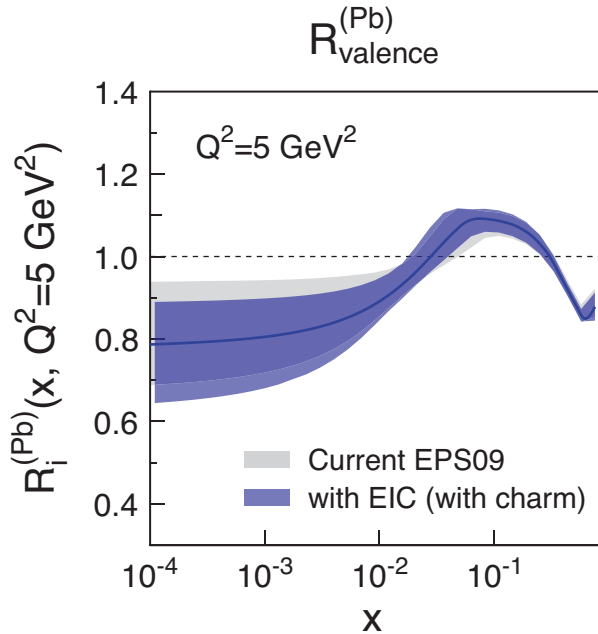
Détection du proton de recul:
 Etude de la structure du neutron en quarks et gluons.
(possible avec d'autres noyaux)



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 !



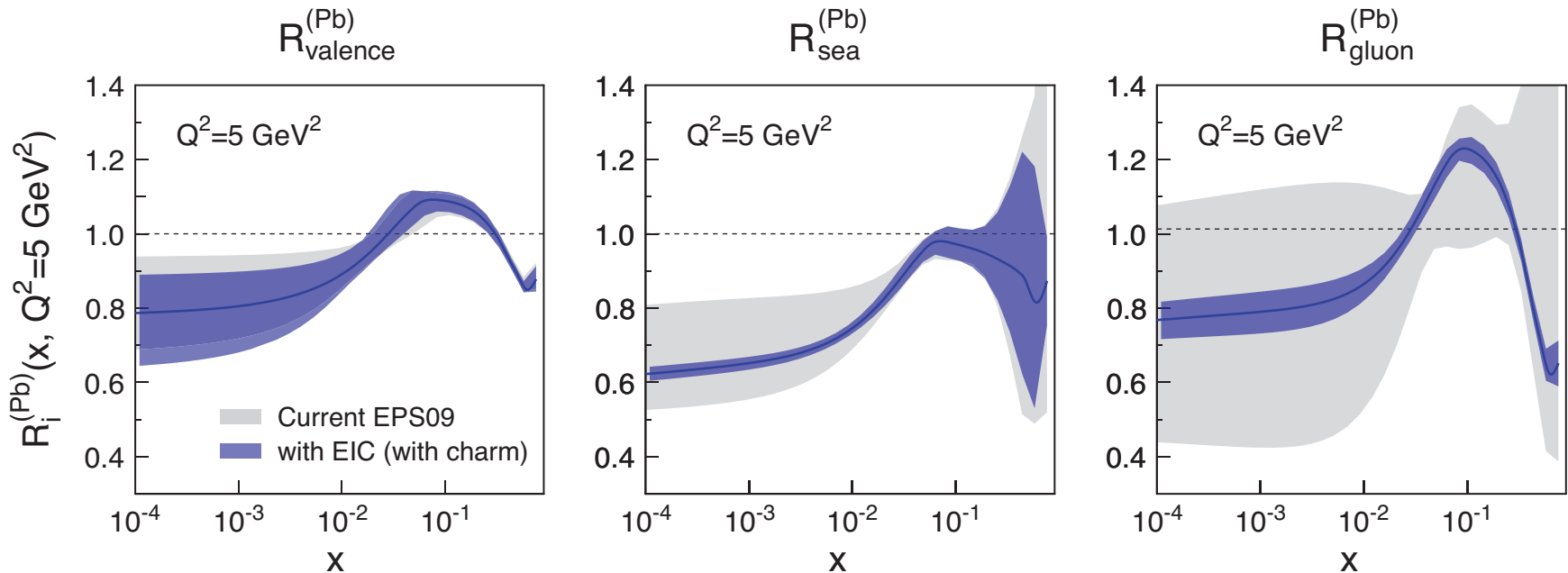
nPDF “relativement” bien mesurés pour la valence



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 !



Item (Consumables, Durables)	Quantity	Unit Price k€	Total k€
WP2, Task 1			
Thin mesh R&D process	1	12	12
Thin mesh prototype	1	5	5
Curving thin pcb R&D	1	5	5
Resistive/aluminum striped mylar readout	1	14	14
Polypropylene mesh etching	1	11	11
Micromegas prototyping 10x10 cm ²	1	8	8
Micromegas prototyping 30x30 cm ²	1	15	15
Total			70
WP2, Task 2			
ASIC production (foundry and packaging)	1	30	30
Test bench	1	10	10
Total			40
WP3, Task 1			
Scintillating crystals	16	2	32
SiPM UV-enhanced sensors	16	1,6	25,6
Analog preamplifiers with fast response and large dynamical range	16	0,6	9,6
Read-out electronics	16	1,4	22,4
Total			89,6
WP3, Task 2			
High power blue light source	1	4	4
Infrared source	1	7,5	7,5
Support structure for prototype and curing systems (blue+infrared)	1	8,9	8,9
Total			20,4
		TOTAL:	220



	Personnel	Durables Consumables	Other	Total	Comment
CPhT	125	0	0	125	20-month postdocs only
IPhT	41	0	0	41	20-month postdoc only
IPNO	100	85	0	185	3*4 crystal array instead of 4*4
IRFU	83	102	0	185	20-month postdoc only, skip first 10x10cm ² prototype
LPT	50	0	0	50	Will look for funds to QCD summer school elsewhere
Total	399	187	0	586	



Risk	WP	Task	Risk mitigation
Unable to find manufacturer for large electroformed mesh	2	1	Will start specific R&D for alternate production of thin meshes
ASIC production cannot be shared: cost increase	2	2	May wish to delay production to share costs
Unable to find suitable postdoc candidate	2	2	PhD student is also a possibility but requires more supervision
Crystal manufacturer cannot provide good crystals	3	all	A different choice of material will need to be explored (ex. LSO/LYSO) The cost of the EIC calorimeters will likely increase, and the size of our prototype decrease (3x4 or 3x3).
SiPMs do not stand the high radiation doses required for EIC	3	2, 3, 4	An APD-based read-out will be studied, with a modest time resolution
Detector R&D is proposed on a rather immature EIC project	2, 3	all	Detector R&D is generic enough to be applied to most configurations. Also, this research will benefit other experiments in the shorter term.
Unable to choose between EICROOT and GEMC	4	2	Will need to (inefficiently) develop in both frameworks



WP1: Theory/Phenomenology		FTE			
		2016	2017	2018	2019
C. Marquet	CPhT	20%	40%	40%	40%
S. Munier	CPhT	20%	40%	40%	40%
C. Lorcé	CPhT	20%	40%	40%	40%
B. Pire	CPhT	20%	40%	40%	40%
G. Soyez	IPhT	15%	25%	25%	25%
J.-P. Blaizot	IPhT	15%	25%	25%	25%
F. Gelis	IPhT	15%	25%	25%	25%
E. Iancu	IPhT	15%	25%	25%	25%
H. Moutarde	SPHN	20%	40%	40%	40%
E. Tomasi	Irfu/SPhN	15%	25%	25%	25%
S. Wallon	LPT	20%	40%	40%	40%
R. Dupré	IPNO	15%	25%	25%	25%

WP2: Tracker/Electronics

I. Mandjavidze	Irfu/SEDI	15%	30%	30%	30%
S. Aune	Irfu/SEDI	15%	25%	25%	25%
P. Baron	Irfu/SEDI	20%	40%	40%	40%
R. Durand	Irfu/SEDI	0%	15%	15%	15%
M. Kebbiri	Irfu/SEDI	10%	20%	20%	20%
J.-B. Rivet	Irfu/SEDI	25%	50%	50%	50%
D. Neyret	Irfu/SPhN	0%	15%	25%	25%
M. Vandenbroucke	Irfu/SPhN	15%	25%	25%	25%

WP3: Calorimetry		FTE			
		2016	2017	2018	2019
C. Munoz Camacho	IPNO	10%	20%	20%	20%
J. Bettane	IPNO	5%	5%	5%	0%
B. Genolini	IPNO	5%	10%	0%	0%
G. Hull	IPNO	10%	30%	10%	20%
K. Pressard	IPNO	15%	10%	20%	10%
M. Josselin	IPNO	10%	20%	30%	10%
T. Nguyen Trung	IPNO	0%	10%	10%	0%
A. Maroni	IPNO	0%	10%	20%	10%
M. Imre	IPNO	0%	10%	20%	10%
B. Mathon	IPNO	0%	5%	10%	5%
E. Raully	IPNO	10%	20%	20%	0%
B. Ky	IPNO	10%	20%	20%	0%

WP4: Simulation

F. Sabatié	Irfu/SPhN	20%	40%	40%	40%
M. Defurne	Irfu/SPhN	10%	20%	20%	20%
A. Ferrero	Irfu/SPhN	0%	0%	20%	20%
H. Moutarde	Irfu/SPhN	5%	20%	20%	20%
R. Dupré	IPNO	10%	20%	20%	20%
M. Guidal	IPNO	10%	15%	15%	15%
S. Niccolai	IPNO	10%	20%	20%	20%
D. Marchand	IPNO	5%	10%	10%	10%
C. Munoz Camacho	IPNO	10%	20%	20%	20%
E. Voutier	IPNO	10%	10%	10%	10%

WP# Task #	Responsibility	2016		2017				2018				2019			
		Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP1: Theory/Phenomenology	C. Marquet														
Task1: Spin and 3D-structure	S. Wallon			2			3								
Task2: Small-x and Saturation	C. Marquet		1				4								
Task3: Nuclear mod. and hadronization	G. Soyez														
Task4: Radiative Corrections	E. Tomasi														
Milestones: <ol style="list-style-type: none"> 1. Diffractive jet production at EIC at next-to-leading-logarithmic accuracy 2. Extraction of the gluon Boer-Mulders TMD (Task 1) 3. Small-ξ resummation of DVCS in the gluon sector (Task 1) 4. Extraction of Weizsäcker-Williams nuclear gluon distribution from e+A dijets (Task 2) 															
Deliverables: Publications, invited talks, lectures, training of PhD students															
WP2: Tracker/Electronics	I. Mandjavidze														
Task1: Lightweight Micromegas R&D	S. Aune						1			2					
Task2: Next-gen tracker electronics	I. Mandjavidze										3				4
Milestones: <ol style="list-style-type: none"> 1. Process for etched polypropylene/metalized mesh (Task 1) 2. Process for curving Micromegas with thin Mylar and thin mesh (Task 1) 3. ASIC production (Task 2) 4. Validation of the full electronics chain w/ Micromegas prototype (Task2) 															
Deliverables: Two Micromegas prototypes, lightweight Micromegas technical report, ASIC test bench, Technical report for next-gen tracker electronics.															



WP3: Calorimetry Task1: Radiation curing system & support Task2: Efficiency characterization Task3: Radiation hardness study Crystal + SiPM Task4: Manufacturing of 16-block prototype Task5: Beam tests	C. Munoz Camacho																	
	J. Bettane																	
	G. Hull																	
	C. Munoz Camacho				1													
	B. Genolini				2						3							
C. Munoz Camacho											4							
Milestones: <ol style="list-style-type: none"> 1. Blue and infrared curing characterization (Task 2) 2. Instrument a crystal with UV-enhanced SiPM (Task 3) 3. Fully characterize (energy resolution and timing) the UV-enhanced prototype (Task 3) 4. Preamp design (Task 4) 																		
Deliverables: 16-channel prototype, technical report for electromagnetic calorimeter readout electronics																		
WP4: Simulations Task1: DVCS event generator Task2: Detector simulation	F. Sabatié																	
	H. Moutarde																	
	F. Sabatié				1		2											
Milestones: <ol style="list-style-type: none"> 1. Description of the endcap calorimeter geometry (Task 2) 2. Description of the barrel tracker geometry (Task 2) 																		
Deliverables: DVCS event generator, model of the trackers and calorimeters in the EICROOT and/or GEMC framework, technical reports on dose estimates for the endcap calorimeters and on EIC mid-rapidity tracking																		