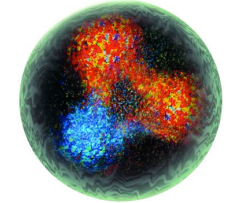


Objectifs de recherche

- Interaction forte à différentes échelles (nucléon, quarks)
- Etude de la structure interne des noyaux et des nucléons



Les instruments

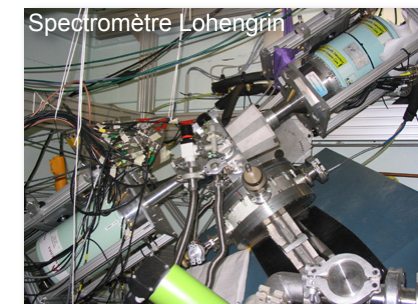
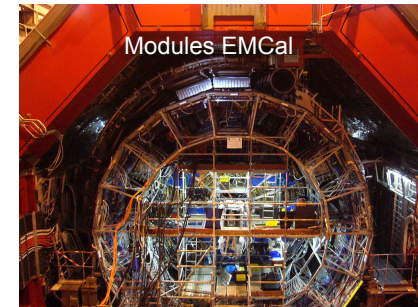
- Collisions d'ions lourds relativistes (LHC),
 - Plasma de quarks et gluons (ALICE)
- Diffusion d'électrons polarisés (JLab-USA)
 - Mesure d'asymétries (G0)
 - Diffusion Compton d'un γ virtuel (DVCS)
- Fission induite
 - par neutrons thermiques (ILL, Lohengrin)
 - par fission de projectiles relativistes (GSI)



9 permanents, 4 CDD, 3 doctorants

Faits marquants

- ALICE au CERN
 - 40% du calorimètre EMCal inséré dans ALICE
 - Installation et mise en oeuvre du trigger de γ et jets
- Physique à Jlab
 - G0 : contenu en quarks étranges du nucléon
Programme expérimental de 1998 à 2009
Extraction des facteurs de forme $G_{(E, M)}^s, G_A^e$
 - Distribution généralisée de partons (GPDs)
Expériences sur le proton et neutron de 2003-07
Première mesure sur le neutron.
- Structure Nucléaire
 - Résultats sur le noyau ^{136}Sb
 - Renforcement du groupe fin 2009



Prospectives

- ALICE : prises de données (faisceaux p en 2009/2010, Pb en 2010)
 - Fin de la construction de EMCal (2011); Projet de construction DCal
 - Analyse des premières données (calibration, trigger de niveau 1)
- JLab : poursuite programme DVCS à 6 GeV
 - Combinaison de mesures : cibles et observables de polarisation
 - Développement : source polarisée de positrons
- Structure nucléaire
 - Lohengrin : Poursuite d'études des noyaux $A \approx 130$ et 100
 - EXOGAM à l'ILL : γ prompts (fission spontanée) en 2011-2012
 - SPIRAL2 : développement détecteurs pour mesures de périodes courtes

ALICE

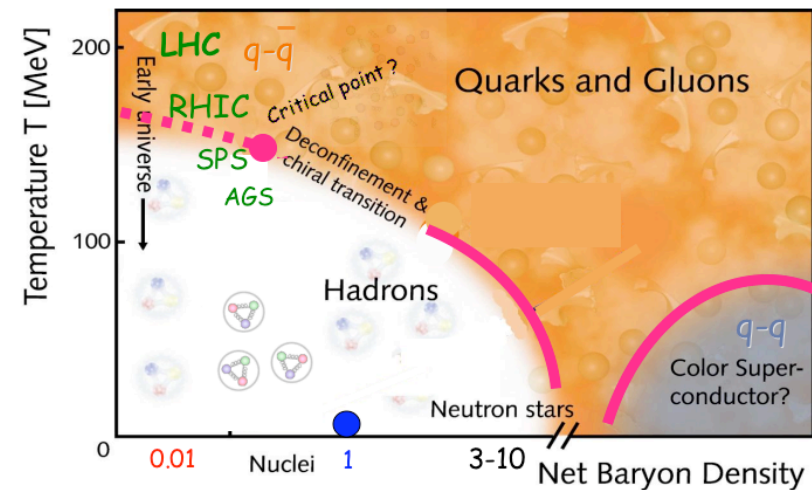
Coordinateurs scientifique (C. Furget) et technique (J.F. Muraz)

- 3 CNRS, 2 UJF, 2 CDD, 1 Doctorant
- Services techniques : Instrumentation, Electronique, Informatique, Mécanique

(3 CNRS, 2 UJF, 2 CDD, 1 thèse)

Motivations Physiques

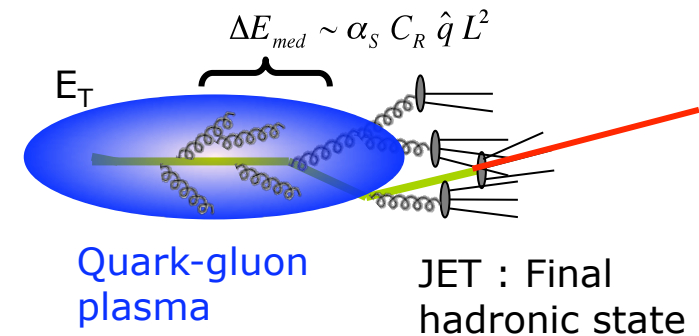
- Etude du plasma de quarks et de gluons à l'aide des collisions d'ions lourds ultra-relativistes
 - Mesure de la densité d'énergie/ température
 - Signatures spécifiques pour caractériser les propriétés du milieu



- Importance des processus durs auprès du LHC
 - Collisions p-p : compréhension des PDFs et processus d'hadronisation
 - Collisions A-A, p-A : Etude de l'interaction des photons, pions neutres et jets de grands pT avec le QGP

Signature : Jet quenching

- Production de partons de grande énergie
- Perte d'énergie des partons lors de la traversée du QGP
- Hadronisation du parton dans l'état final (suppression des particules de grands p_T)



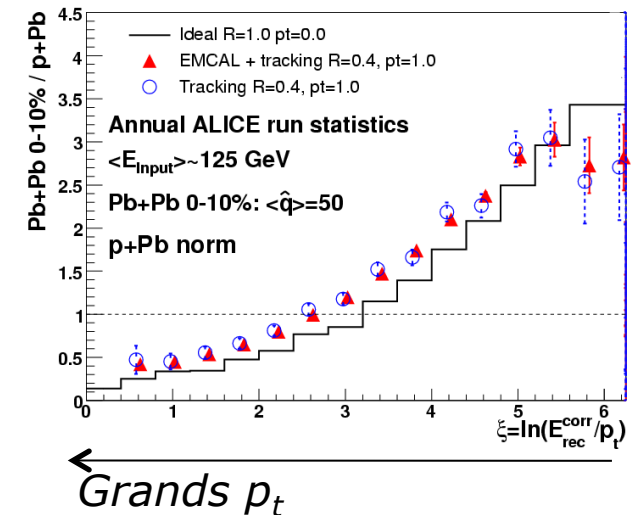
⇒ Mesure du rapport A-A / p-p de la fonction de fragmentation des jets
(mesure inclusive ou coïncidences γ -jet ...)

Stratégie expérimentale

- Mesure de trajectographie (particules chargées) : ITS + TPC
- Calorimétrie (particules neutres) + déclenchement : EMCAL

Signature : Jet quenching

- Production de partons de grande énergie
- Perte d'énergie des partons lors de la traversée du QGP
- Hadronisation du parton dans l'état final (suppression des particules de grands p_T)

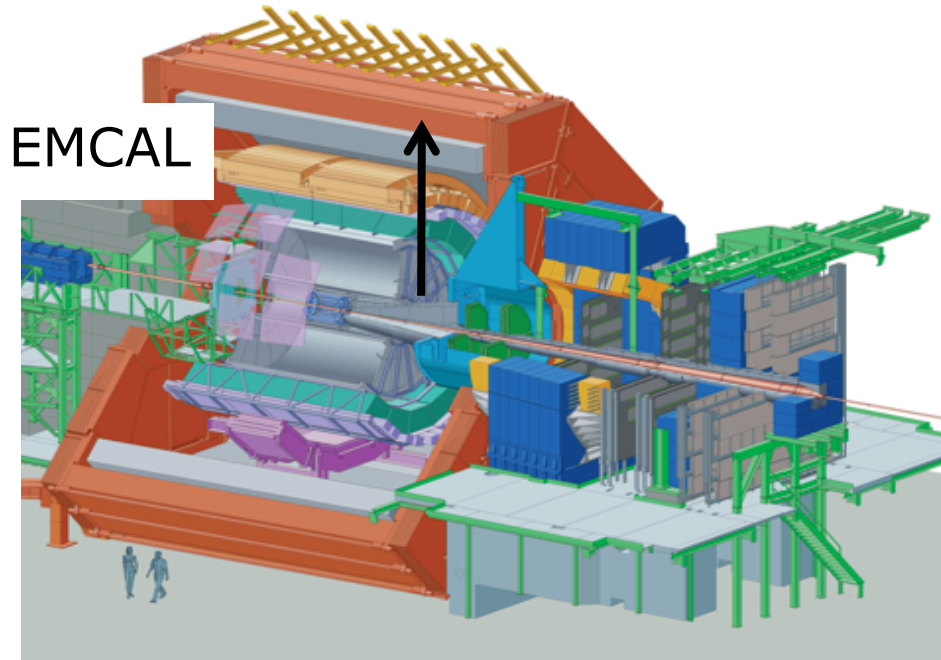


⇒ Mesure du rapport A-A / p-p de la fonction de fragmentation des jets
(mesure inclusive ou coïncidences γ -jet ...)

Stratégie expérimentale

- Mesure de trajectographie (particules chargées) : ITS + TPC
- Calorimétrie (particules neutres) + déclenchement : EMCAL

Détecteur ALICE/EMCaI



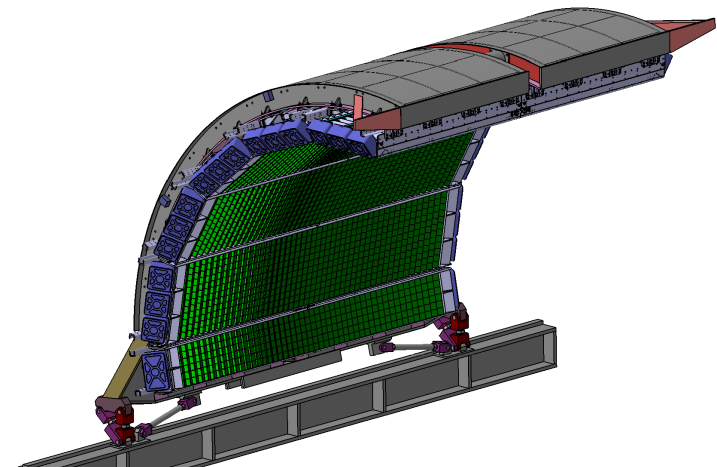
Etat des lieux EMCaI (2009)

- Démarrage EMCaI fin 2006
- 4 SM insérés dans ALICE en 2009
- Inlu dans le DAQ ALICE dès les premières collisions (fin 2009)

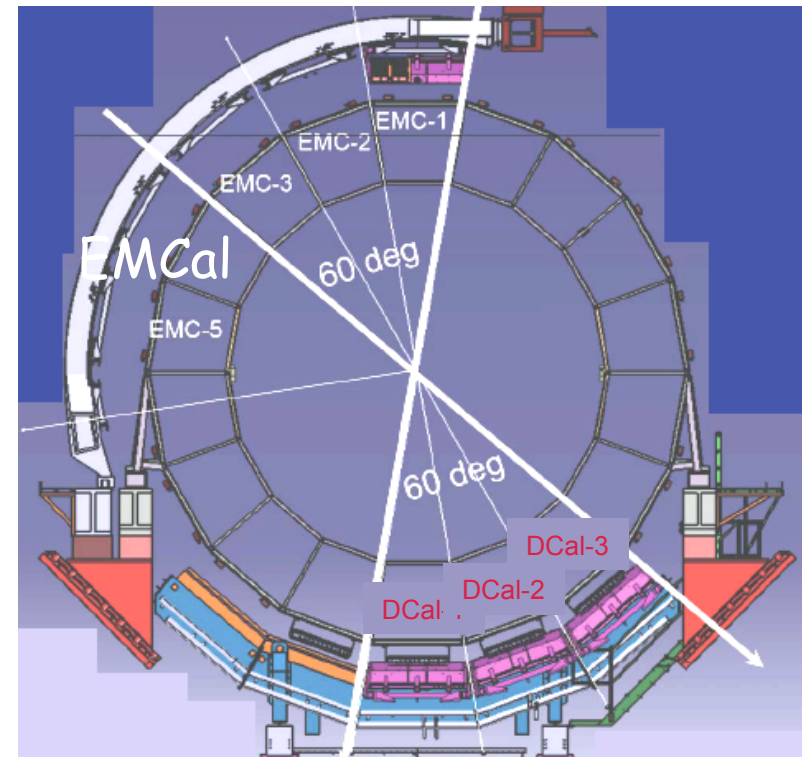
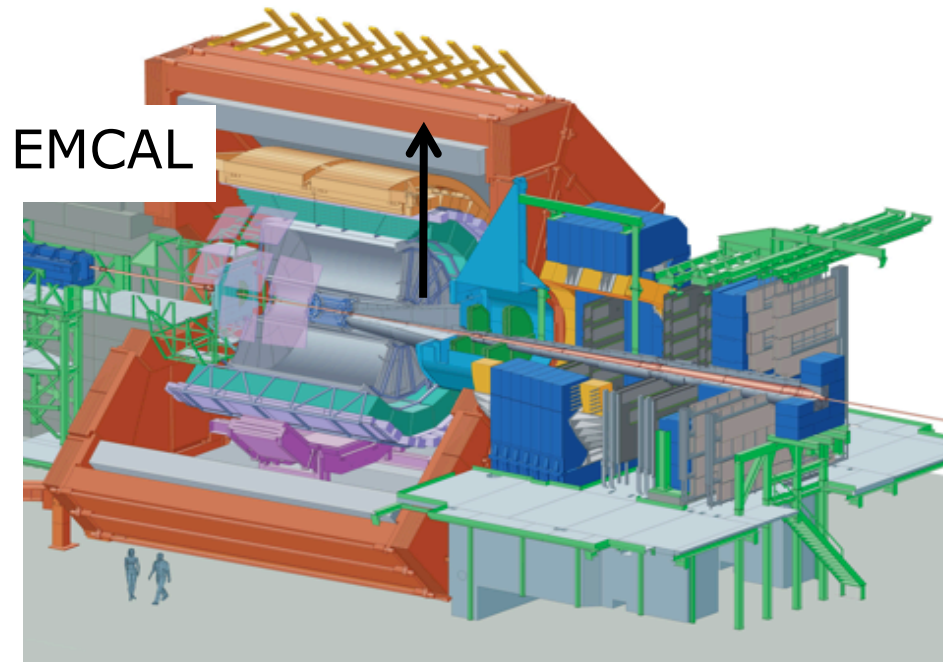
11 SuperModules
($\sim 10^4$ tours au total)

Calorimètre à échantillonnage (Plomb-Scintillateur)

- 1 module = 4 towers
- 1 towers = 77 layers
- 1.76 mm scint./ 1.44 mm Pb
- Lecture par fibre optique



Détecteur ALICE/EMCaI

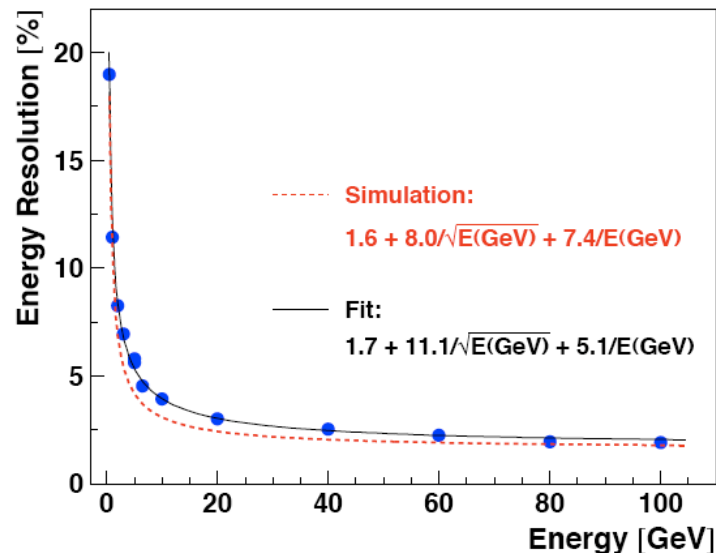


Perspectives DCal (2010-11)

- Extension à 180° d'EMCaI pour les événements γ -jet, π^0 -jet et jet-jet
- Coll. USA/Europe/Japon/Chine en cours d'approbation.

Tests réalisés au CERN (2007)

- Test de 4x4 modules avec l'électronique finale + DAQ
- Faisceau électrons/hadrons de 0.5 à 100 GeV/c @ SPS et PS
- Contribution du LPSC :
 - Intégration de chambres MWPC
 - Participation aux prises de données + analyse des données



Résultats marquants

- Résolution en énergie en accord avec les simulations
- Mesure de la linéarité $\sim 1\%$ de 10 à 100 GeV/c
- Réjection des hadrons > 600 pour des électrons PID = 90%

Assemblage et calibration réalisées au LPSC (fin 2008 à début 2011)

- Réception des stripmodules, assemblage, câblage et intégration de l'électronique d'un supermodule + transport des SMs au CERN
- Calibration des supermodules en cosmiques
 - Banc de test dédié (scintillateurs + électronique spécifique)
 - Développement d'outils de contrôle et d'analyse



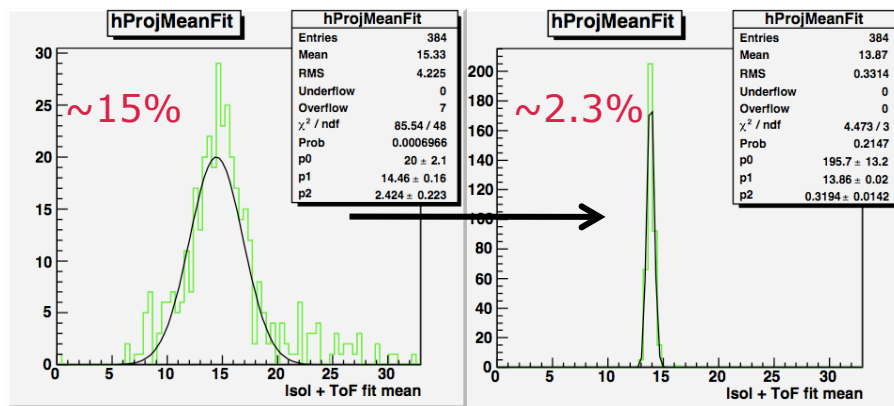
Résultats marquants et calendrier

- Calibration relative à mieux que 3% après 3 itérations
- 3 SMs assemblés et calibrés en 2009
- 4 SMs EMCAL prévus pour le 1^{er} semestre 2010
- 6 SMs Dcal fin 2010 à début 2011 ???

Assemblage et calibration réalisées au LPSC (fin 2008 à début 2011)

- Réception des stripmodules, assemblage, câblage et intégration de l'électronique d'un supermodule + transport des SMs au CERN
- Calibration des supermodules en cosmiques
 - Banc de test dédié (scintillateurs + électronique spécifique)
 - Développement d'outils de contrôle et d'analyse

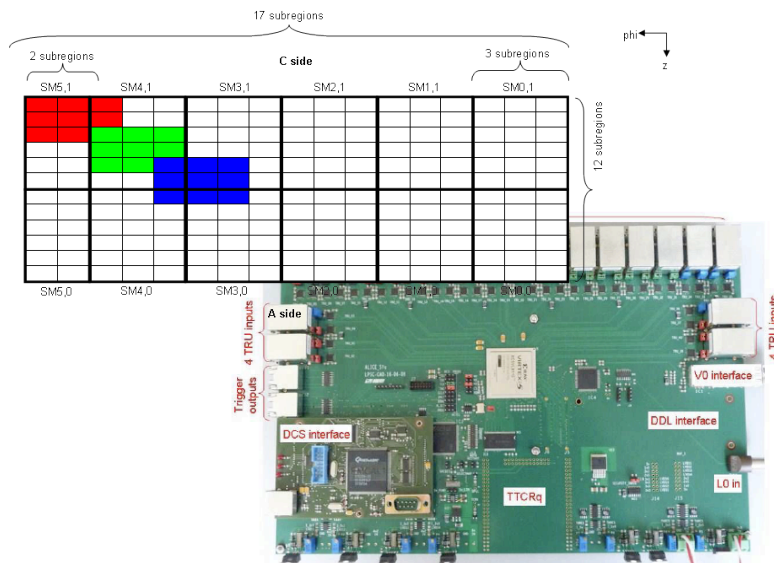
Résultats marquants et calendrier



- Calibration relative à mieux que 3% après 3 itérations
- 3 SMs assemblés et calibrés en 2009
- 4 SMs EMCAL prévus pour le 1^{er} semestre 2010
- 6 SMs Dcal fin 2010 à début 2011 ???

Systeme de déclenchement de niveau 1 (fin 2008 à mi-2010)

- Un trigger de niveau 1 est nécessaire pour la détection des photons et des jets (large surface) avec un seuil dépendant de la centralité
- Développement et mise en œuvre de la carte d'électronique dédiée
 - Mise en œuvre du hardware et du firmware intégré (FPGA)
 - Développement des outils de simulation et d'analyse associés



Résultats marquants et calendrier

- Validation de la technologie mise en œuvre sur banc de tests au LPSC
- Mise en œuvre et intégration dans le DAQ d'ALICE au CERN en cours
- Tests et analyse des données en cours

Construction et calibration du calorimètre

- Fin d'installation d'EMCal + Dcal jusqu'à mi 2011

Analyse des premières données en collision proton-proton

- Intégration des données de calibration + analyses
- Analyse des données de trigger de niveau 1 (mesure d'efficacité ...)

Analyses de Physique

- Mesure inclusives (π^0 , jets ...)
- Corrélation photon-hadron (thèse de Y. Mao)
- Contraintes sur les PDFs (coll. avec le groupe théorie)
- Etude des saveurs lourdes

JLAB

Coordinateurs scientifiques : J.-S. Réal, E. Voutier

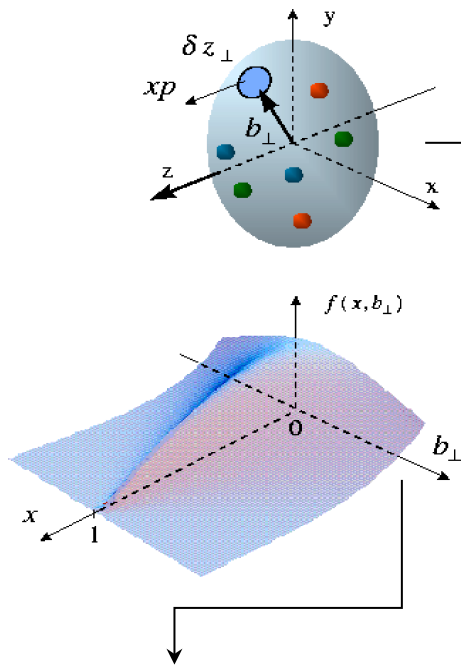
Coordinateurs techniques : J. Bouvier, J.-F. Muraz

- G0 : 3 CNRS, 1 CDD, 1 Doctorant
- DVCS : 1 CNRS, 1 CDD, 2 Doctorants
- Services techniques : Instrumentation, Electronique, Informatique, Mécanique

Des partons aux hadrons

Comment les quarks et les gluons (les partons) s'organisent-ils pour former les mésons, les nucléons et les noyaux (les hadrons) ?

Femto-tomographie du nucléon



- **Structure et dynamique des hadrons** : distribution spatiale et moment angulaire des partons, origines de la masse et du spin des hadrons...

- Compréhension et caractérisation de l'interaction forte (**QCD**) dans son régime **non-perturbatif** (techniques de calcul sur réseau...)

→ **Distribution généralisée de partons** (GPD) : image 3D des hadrons déterminée en diffusion Compton virtuelle (**Programme DVCS**)

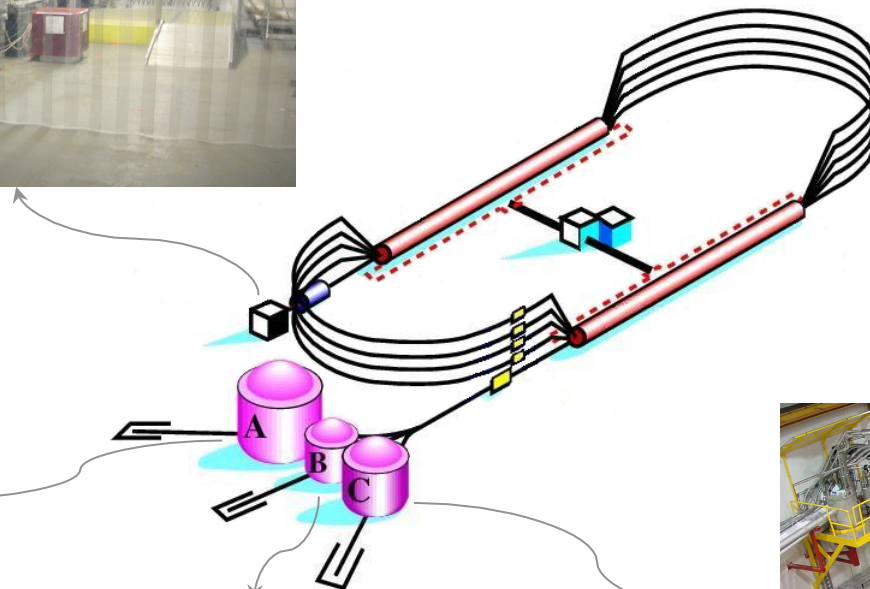
→ **Facteurs de forme** : profil transverse des GPD mesuré en diffusion élastique (**Programme GØ**)

R&D positrons (2008...)

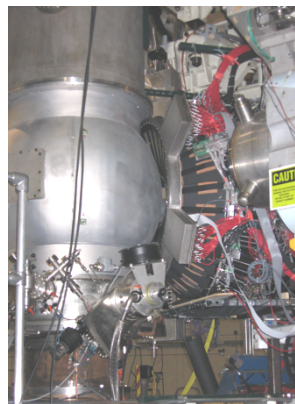
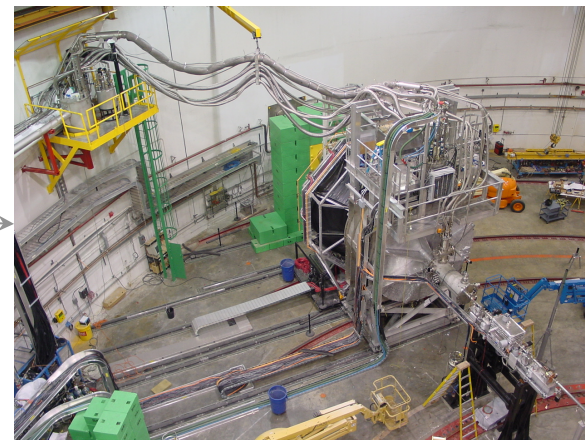


CEBAF (Newport News, VA)

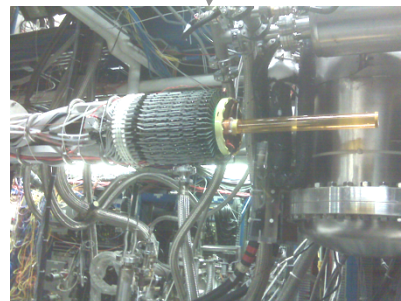
Faisceau continu d'électrons de grande polarisation (>90%) et d'énergie maximale 6 GeV (aujourd'hui)



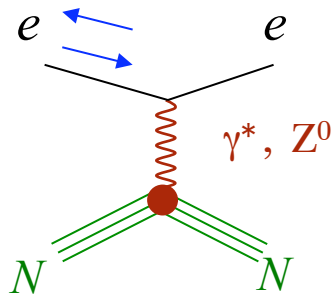
Programme GØ (1998-2009)



Programme DVCS (2003...)



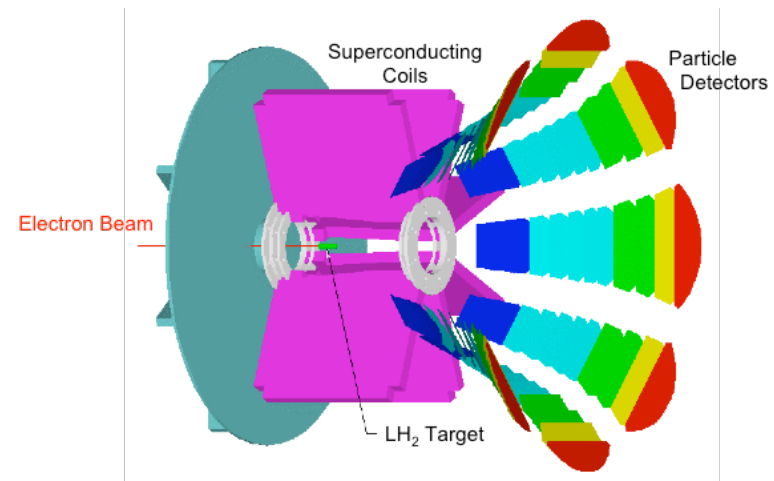
Quelle est l'importance du quark étrange dans le nucléon ?



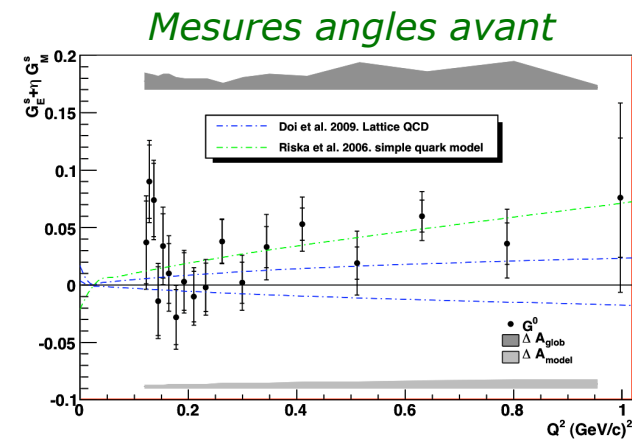
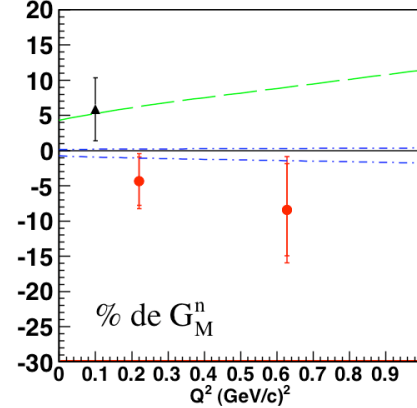
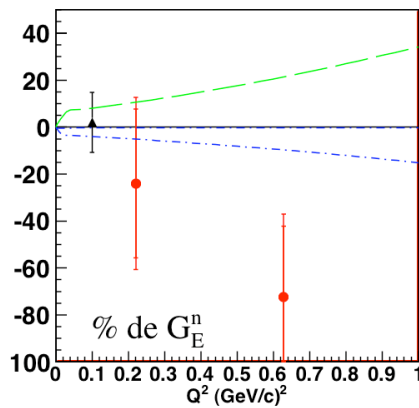
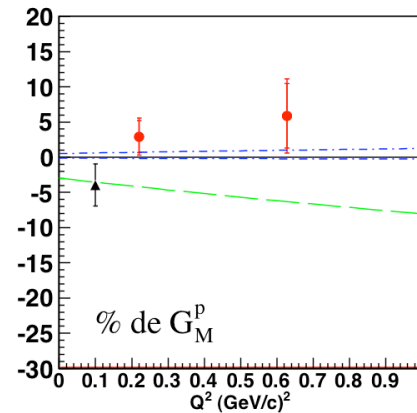
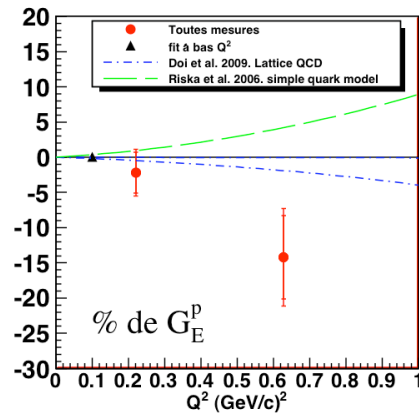
La **violation de la parité** en diffusion d'électrons polarisés permet de déterminer le contenu étrange du nucléon en isolant la composante neutre de l'interaction faible

$$A_{PV} = \frac{\vec{\sigma} - \vec{\sigma}'}{\vec{\sigma} + \vec{\sigma}'} = \alpha + \beta G_E^S + \delta G_M^S + \lambda G_A^C$$

- Trois mesures de l'**asymétrie** de la **violation** de la **parité**, **2** sur le **proton** (angles avant et arrière) et **1** sur le (angles deuton arrière)
- Réalisation de la moitié de l'ensemble de détection et de l'électronique associée
J. Bouvier, SERM, SDI, Electronique, Informatique



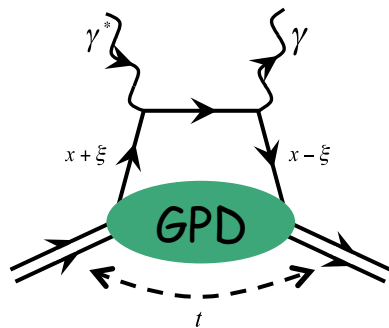
Programme GØ



Les résultats semblent indiquer une **contribution non-nulle** du quark étrange aux facteurs de forme électromagnétique, en **désaccord** avec les prédictions de la **QCD** sur réseau et d'un **modèle de quarks**.

Thèse de M. Versteegen (2009)

Quelle est la contribution du moment angulaire des quarks au spin du nucléon ?

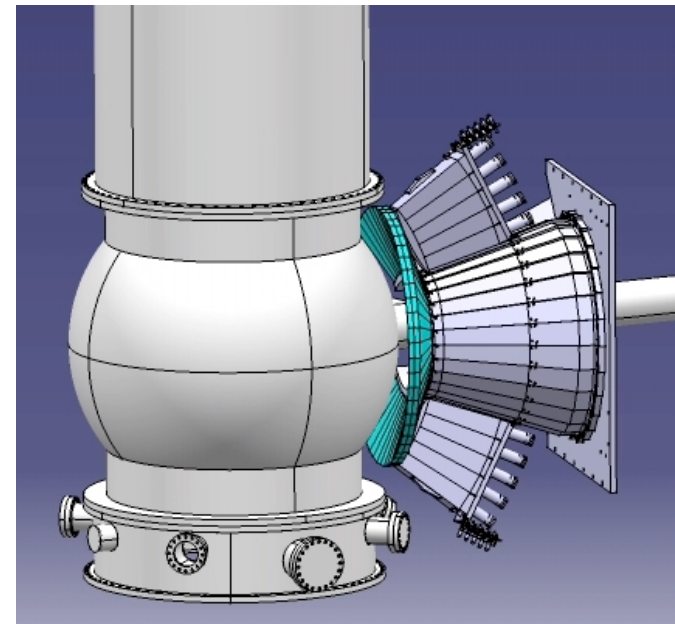


La diffusion d'un photon virtuel par le nucléon permet d'accéder à **4** des GPD du nucléon

$$\Delta\sigma_n = \vec{\sigma} - \tilde{\sigma} \equiv \mathcal{F}(E)$$

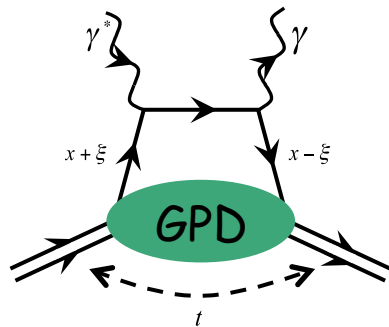
- Mesure de la **différence** des **sections efficaces polarisées** $en \rightarrow en_\gamma$ sur le neutron
- Réalisation d'un détecteur d'étiquetage de particules chargées

J.-F. Muraz, SERM, SDI, Electronique



Thèse de M. Mazouz (2006)

Quelle est la contribution du moment angulaire des quarks au spin du nucléon ?

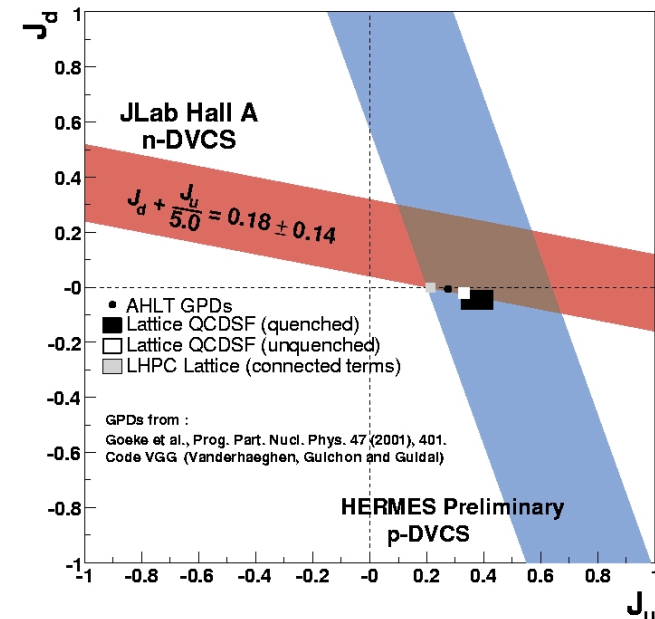


La diffusion d'un photon virtuel par le nucléon permet d'accéder à 4 des GPD du nucléon

$$\Delta\sigma_n = \vec{\sigma} - \vec{\sigma} \equiv \mathcal{F}(E)$$

- Mesure de la **différence** des **sections efficaces polarisées** $en \rightarrow en\gamma$ sur le neutron
- Réalisation d'un détecteur d'étiquetage de particules chargées

J.-F. Muraz, SERM, SDI, Electronique

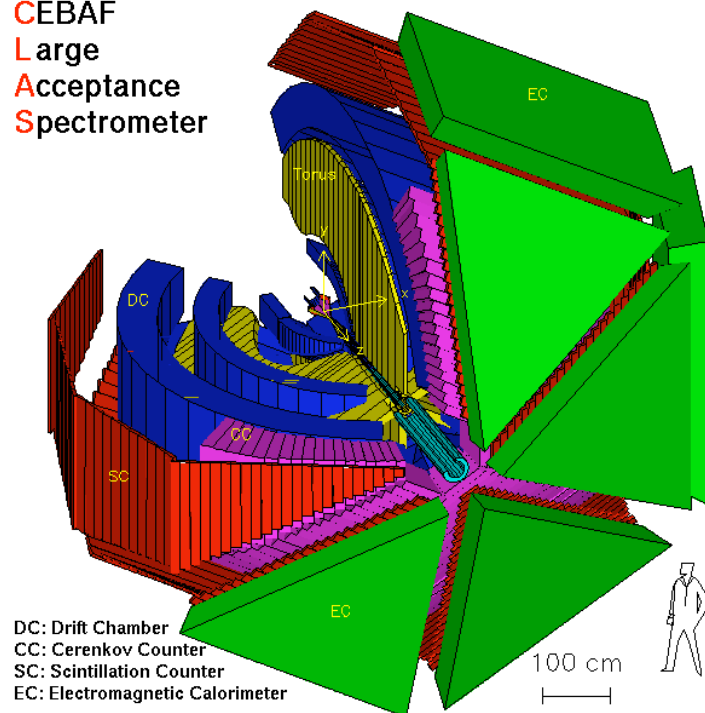


L'enjeu des programmes **DVCS** (JLab, HERMES, COMPASS) est de produire une quantité suffisante de données expérimentales pour une interprétation indépendante de modèle

Thèse de M. Mazouz (2006)

Comment les partons s'organisent-ils dans un noyau ?

CEBAF
Large
Acceptance
Spectrometer



Détermination des **distributions généralisées de partons** dans un noyau de **spin nul**

$$A_{LU}^{^4\text{He}} = \frac{\vec{\sigma} - \bar{\sigma}}{\vec{\sigma} + \bar{\sigma}} \equiv \mathcal{F}(H_A)$$

- Mesure de l'**asymétrie relative** de la section efficace $e^4\text{He} \rightarrow e^4\text{He}\gamma$ par rapport à la **polarisation du faisceau**

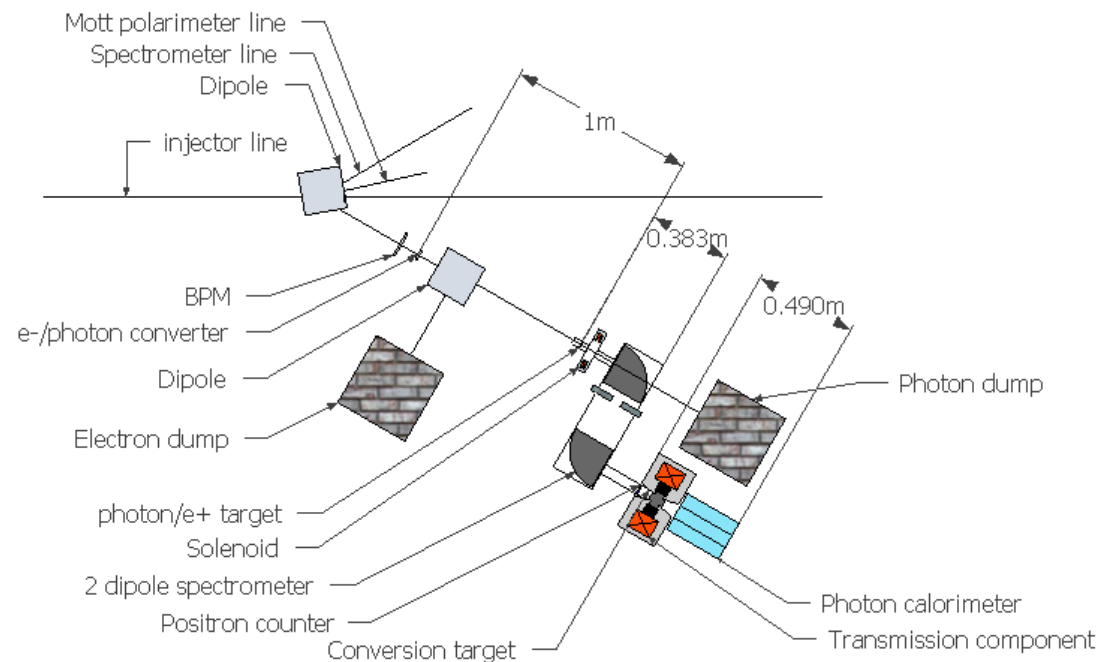
Données acquises d'octobre à Noël 2009, analyse en cours...

Thèse de Y. Perrin (2009...)

Production de positrons polarisés à partir du rayonnement bremsstrahlung d'électrons polarisés

- **Nouvelles observables** pour la détermination des **GPD**, l'étude de l'échange de **2 photons...**
 - **Application** en Physique des Matériaux : surface de Fermi, défauts atomiques...
- **Synergie** avec le projet Super B... (*pôle accélérateur du LPSC*)

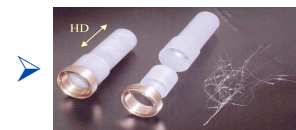
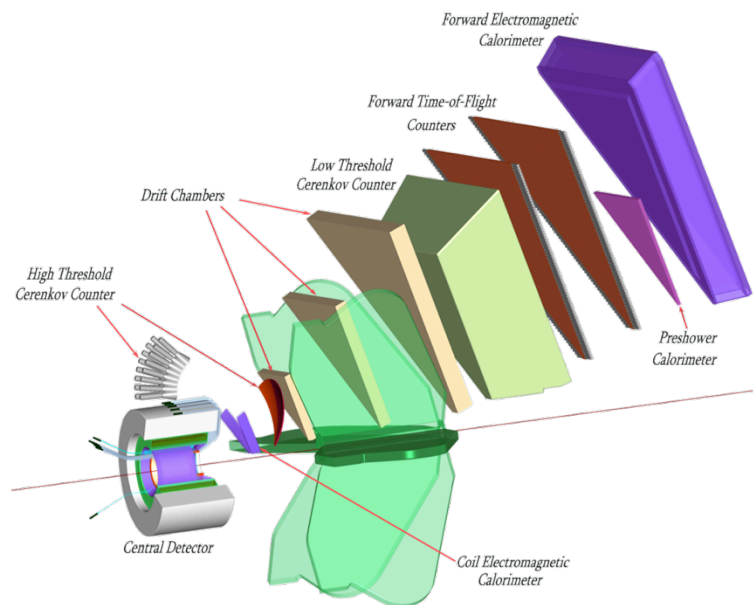
- **Démonstration proposée** à JLab pour une réalisation en 2011
- Participation **technique** du LPSC en cours d'étude



Thèse (LPSC/JLab) de J. Dumas (2008...)

- **Publications (23)**
10 PRL, 1 PLB, 5 PRC, 2 NIM, 1 Science, 1 PNU, 2 TN
 - **Conférences & Colloques (25)**
dont 5 contributions des Doctorants et 3 des Post-Doctorants
- **227 Citations** (SPIRES)
- **Responsabilités scientifiques**
 - Appartenance au Comité Exécutif de la Collaboration GØ
 - Direction du GDR Nucléon (Nucleon GPDs, Nuclear GPDs)
 - Organisation de Colloques (PAVI06, JPos09)
 - **Formation d' Etudiants**
2 L3, 1 M1, 2 M2, 2+2 Doctorants

Quelles Perspectives ?



HDice @ CLAS

Mesure de l'**asymétrie relative** de spin de la réaction **DVCS** sur un proton transversalement polarisé (**E**)



n-DVCS @ CLAS12

Frascati, Gênes, Glasgow, Grenoble, Orsay, Rome, Saclay

Initiative européenne pour la réalisation d'un **détecteur** de **neutrons** dans la région centrale de **CLAS12** (**E...**)
ANR (2010) + FP7 (2011)

Activité soutenue aujourd'hui par **1** CNRS, **1** CDD, **2** Doctorants

Pérennité à long terme ?

STRUCTURE NUCLEAIRE

Groupe 2005-2009

G. Simpson	CR	2005-	
J. Genevey	CR		-2008
J.A. Pinston	DR		-2007
M. Ramdhane	Prof.	2009-	
G.Thiamova	MCF	2009-	
T. Malkiewicz	Post. doc.	2009-	
R. Guglielmini	I.E.		-2009

Forte collaboration avec le groupe de structure nucléaire de l'ILL

Études des noyaux très riches en neutrons $70 < A < 160$

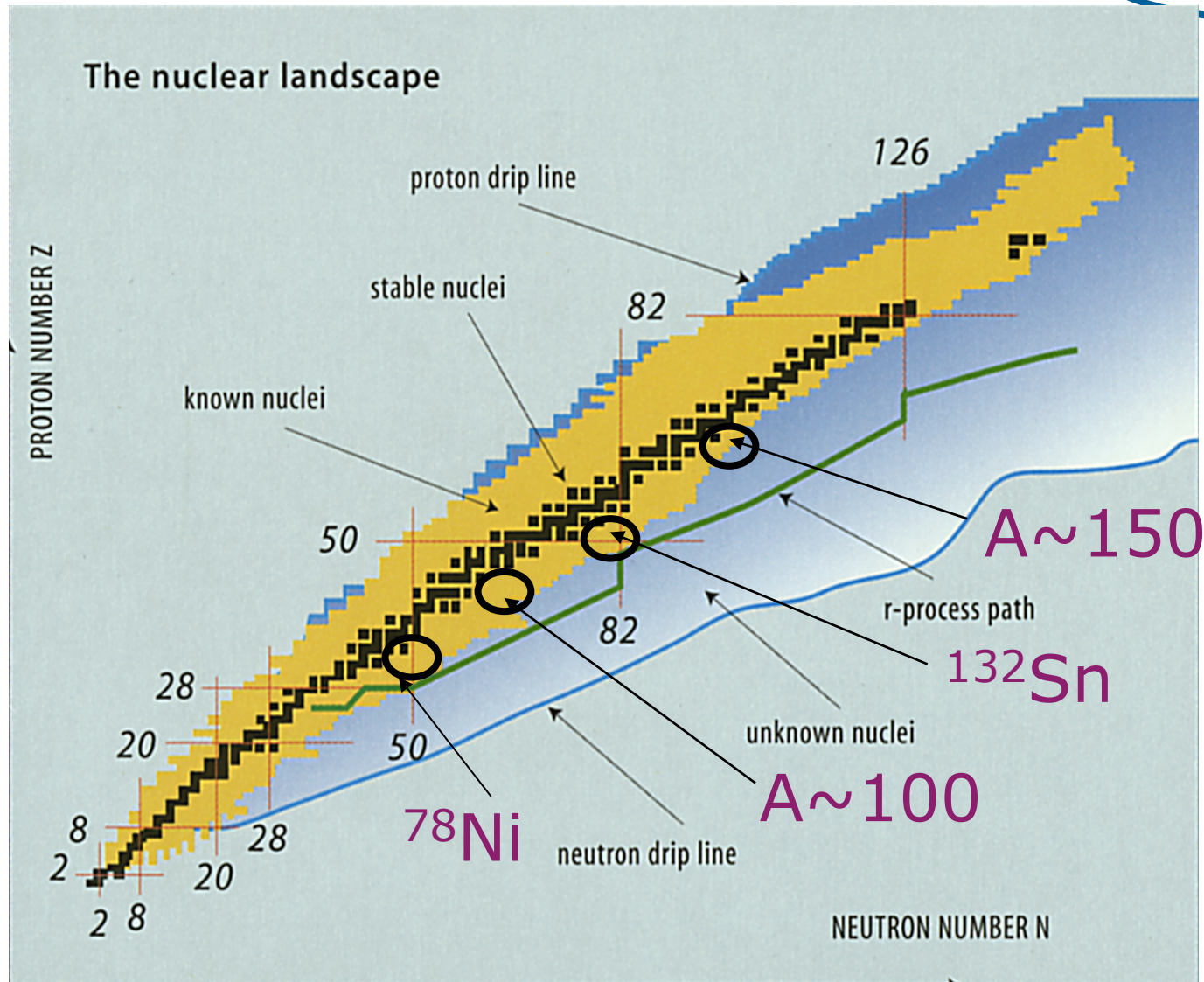
- En particulier, noyaux proches de ^{132}Sn , ^{78}Ni et dans des régions déformées de masse ~ 100 et ~ 150
 - Production: Fission spontanée, fission avec des n_{th} (ILL), fragmentation (GANIL, GSI)

Étude des états excités par:

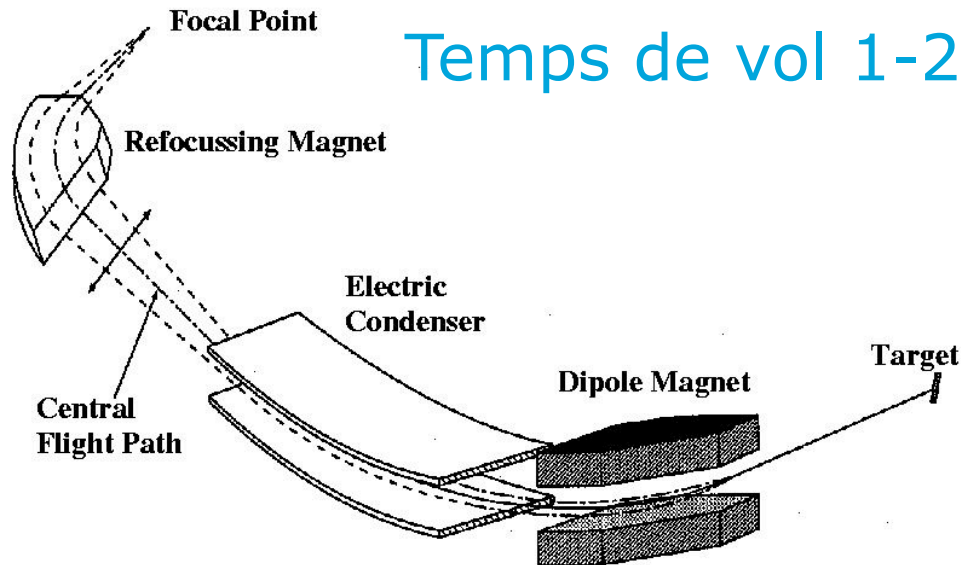
- -Spectroscopie γ et électrons de conversion (ILL, GSI, GANIL désexcitation d'isomères μs)

Production scientifique 2005-2009 : Revues 28,
Conférences 7

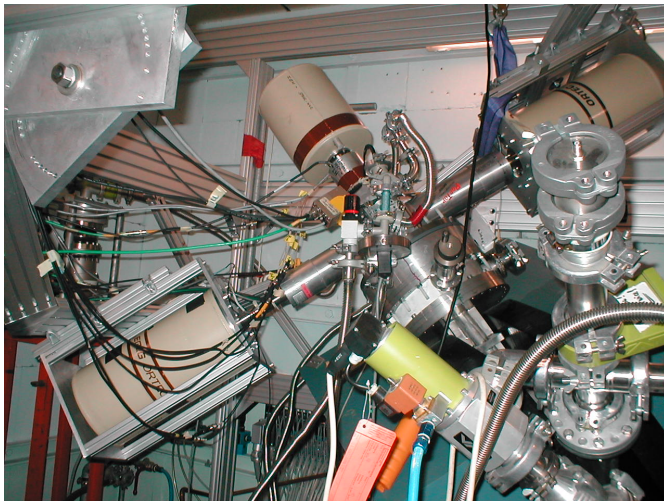
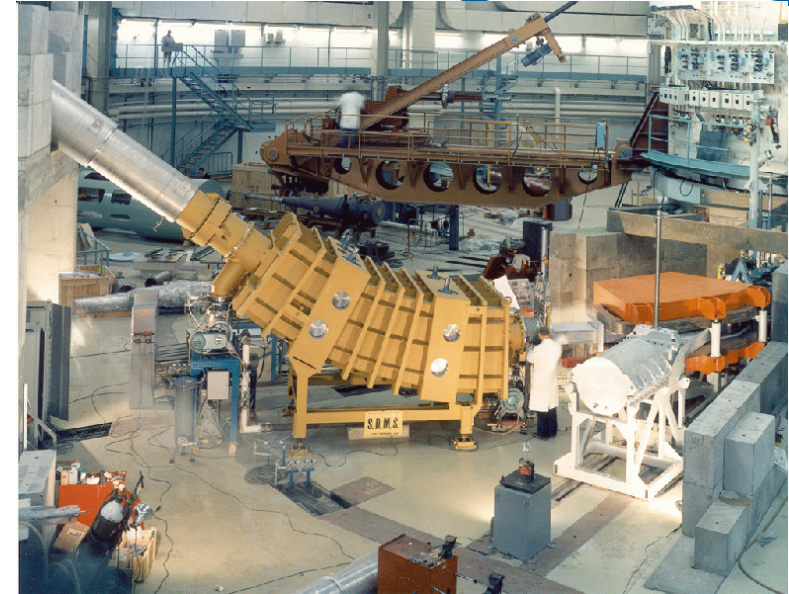
Régions Étudiées



Lohengrin, ILL



Temps de vol 1-2 μ s

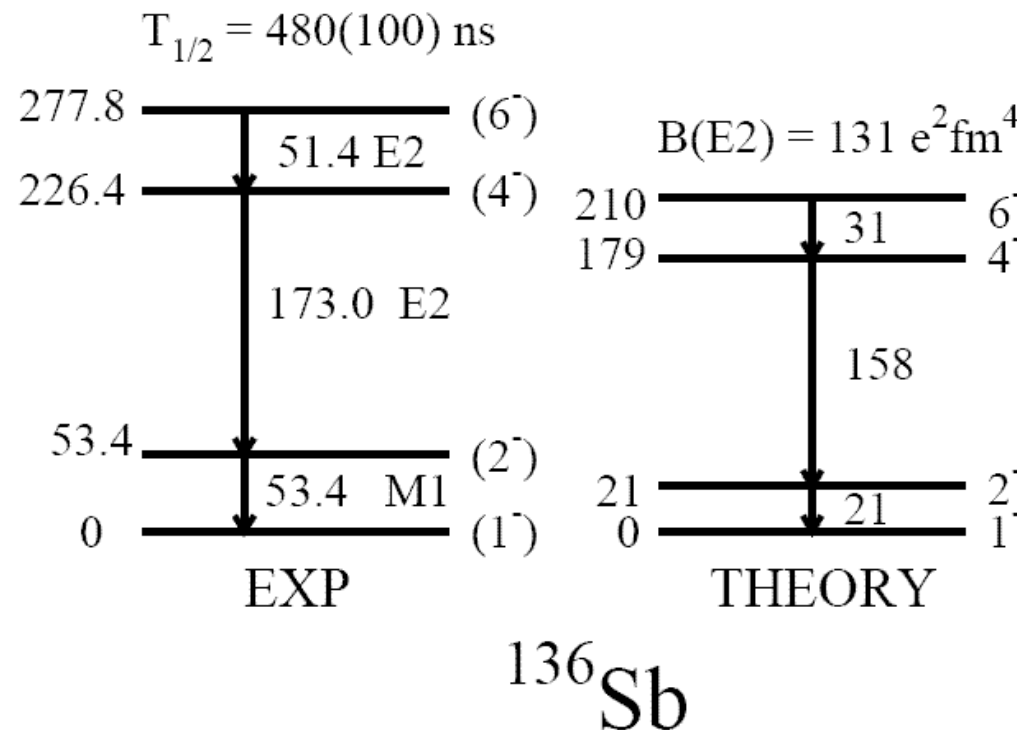


Spectroscopie γ et
électrons de conversion

0.75 MEuros investis par
l'ILL entre 2003 et 2005

^{132}Sn

En dehors de ^{132}Sn , peu des noyaux mesurés ^{134}Sb , ^{134}Sn , ^{136}Sb
 Les calculs sont en bon accord avec les données expérimentales
 G. Simpson *et al.* Phys. Rev. C 76 041303R (2007)



Calculs fait par le groupe de Naples (A. Covello & A. Gargano)
 en utilisant une interaction effective réaliste de CD-Bonn

Région A \sim 100



^{107}Mo

EXPERIMENT			THEORY		
			$\varepsilon_2 = 0.32$	$\gamma = 16.5^\circ$	
	<u>1287</u>	<u>15/2⁺</u>		<u>1350</u>	<u>15/2⁺</u>
		<u>1118</u>	<u>1094</u>	<u>13/2⁺</u>	<u>1129</u>
	<u>970</u>	<u>13/2⁺</u>			
		<u>820</u>	<u>817</u>	<u>11/2⁺</u>	<u>816</u>
	<u>730</u>	<u>11/2⁺</u>			
		<u>567</u>	<u>584</u>	<u>9/2⁺</u>	<u>567</u>
	<u>492</u>	<u>9/2⁺</u>			
	<u>320</u>	<u>7/2⁺</u>	<u>384</u>	<u>7/2⁺</u>	<u>336</u>
	<u>165</u>	<u>5/2⁺</u>	<u>223</u>	<u>3/2⁺</u>	<u>225</u>
	<u>66</u>	<u>3/2⁺</u>	<u>158</u>	<u>1/2⁺</u>	<u>110</u>
<u>65</u>	<u>1/2⁺</u>		200 ns		<u>150</u>
420 ns		<u>0</u>			<u>0</u>
<u>1/2⁺</u>	<u>3/2⁺</u>	<u>5/2⁺</u>	<u>1/2⁺</u>	<u>3/2⁺</u>	<u>5/2⁺</u>

Les niveaux expérimentaux sont bien reproduits avec une déformation $\gamma=17^\circ$

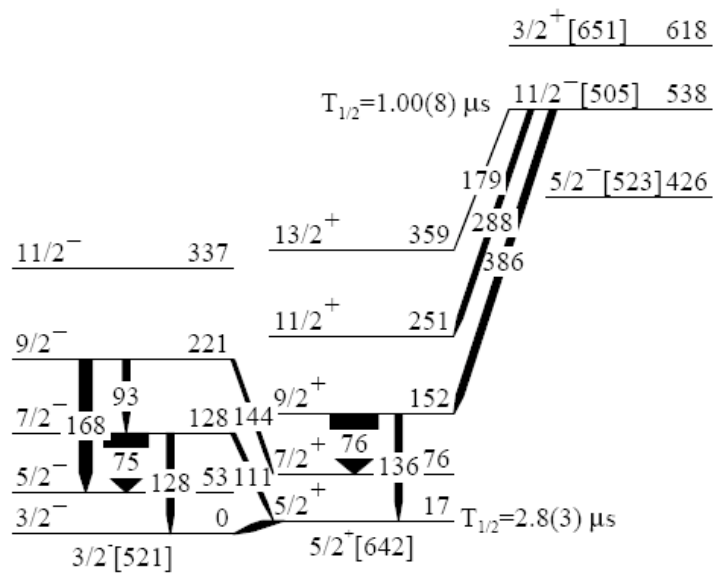
J.A. Pinston *et al.* Phys. Rev. C **74**, 064304 (2006)

Région A~150

^{155}Sm

Experiment

$1/2^+$ [400]	903
$3/2^+$ [402]	865
$1/2^-$ [521]	820
$3/2^-$ [532]	778

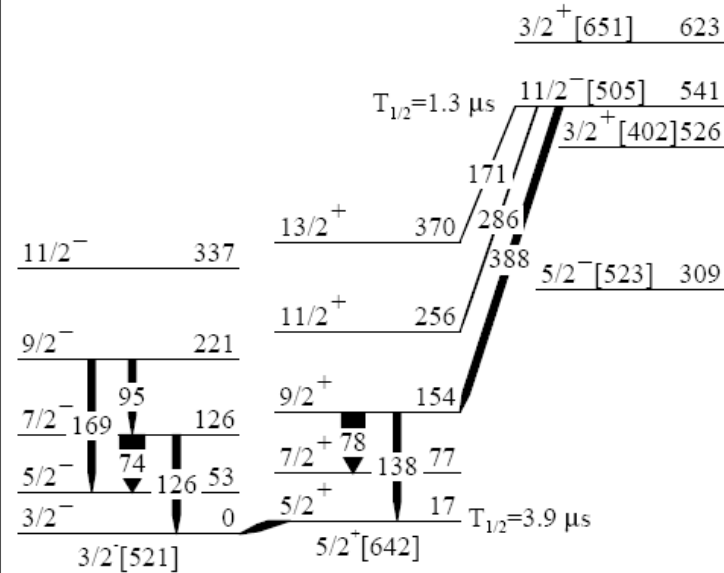


^{155}Sm

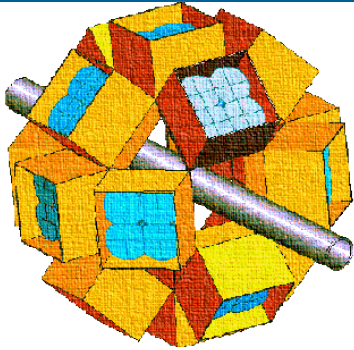
Calculations

$3/2^-$ [532]	1038
$1/2^-$ [521]	1012
$1/2^+$ [400]	891

parity=+ $\epsilon_2=0.283$ $\epsilon_4=-0.056$
 parity=- $\epsilon_2=0.255$ $\epsilon_4=-0.051$

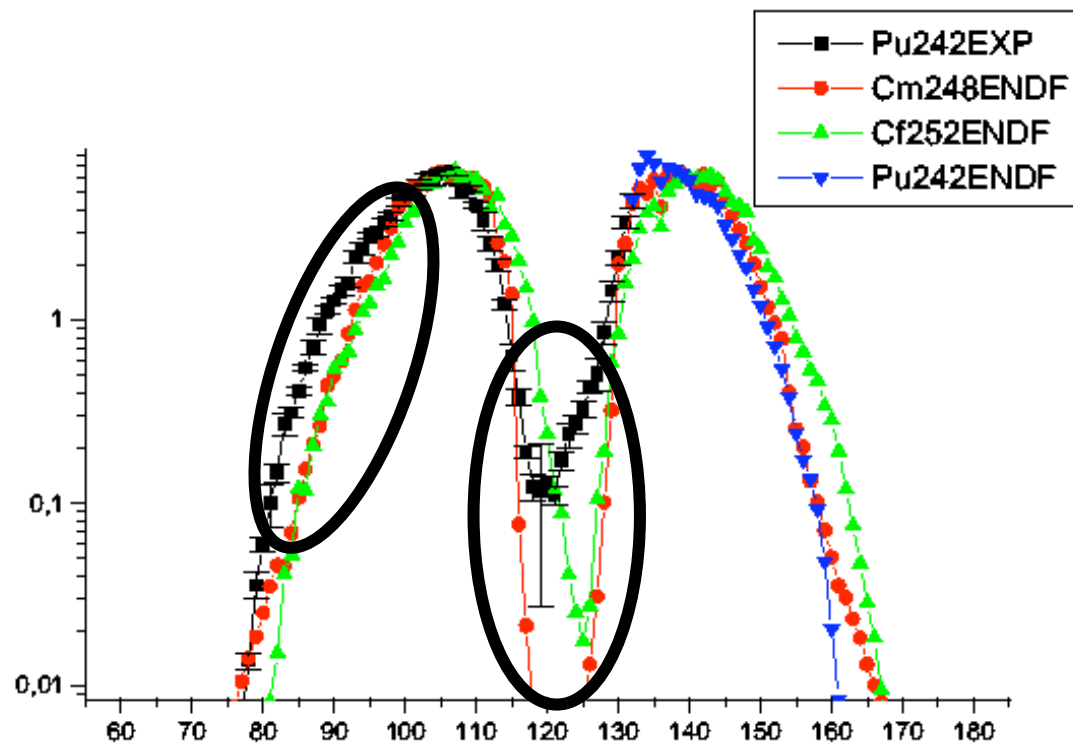


Can reproduce low-lying parity-doublet bands without static octupole deformation



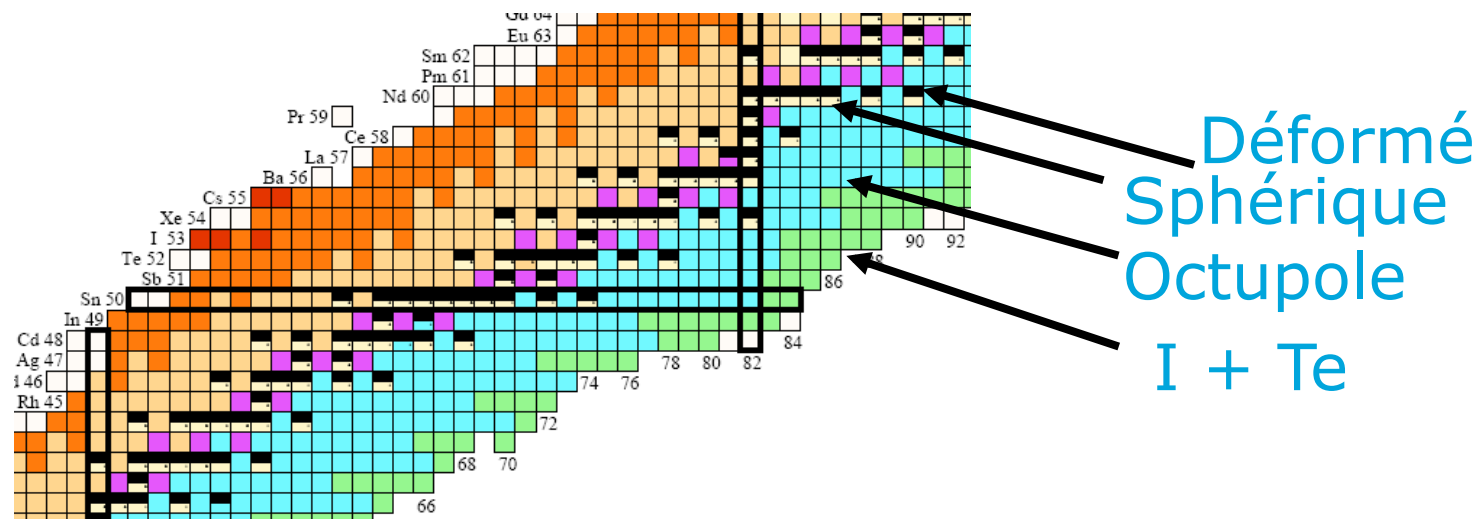
-Mesures de γ prompts avec le multi-détecteur Exogam

- ~ 30 nouveaux noyaux accessibles avec une cible de ^{241}Pu



- Mesure très précise des rendements pour plusieurs cibles fissiles et intensité des rayons γ - intéressant pour le contrôle des réacteurs - demandé par NEA pour des réacteurs de génération IV

- Continuation des mesures des isomères μs proches de ^{132}Sn à Lohengrin pour tester le modèle en couches
- Mesures des périodes ns-ps à Lohengrin dans les régions $A \sim 132$ et 150 (test du modèle en couches et de l'évolution de la déformation)



Migration vers des expériences à SPIRAL2



Implication actuelle

- Mesures des rendements de fission (n_{rap}, F) LPSC/JYFL
- LaBr_3 pour mesures des périodes courtes à DESIR et FAIR