

# Résumé du groupe de travail “Physique hadronique”

## 1. Nature de la thématique

Le mot clef commun à l'ensemble de la thématique est l'étude et la compréhension de l'interaction forte, dans le cadre de la chromodynamique quantique (QCD) dans ses différents régimes.

L'effectif total est de l'ordre de 40 scientifiques publiants, dont 26 permanents, 11 étudiants en thèse, et 3 post-docs.

La thématique est représentée aussi bien au niveau expérimental que théorique dans 3 laboratoires: **IPNO**, **LAL**, **LPT**.

Au sein du groupe de travail, il est apparu que la frontière entre physique hadronique et physique des particules est pour certains d'entre nous, en particulier pour les théoriciens mais aussi pour les groupes expérimentaux du LHC, comme partiellement artificielle, les outils, les personnels et les questions de physique étant communs à ces deux groupes de travail, tandis que pour d'autres groupes expérimentaux, cette séparation semble justifiée. Pour les théoriciens, les pourcentages d'activité sont donc donnés globalement pour ces deux thématiques, même si on pourrait tenter de donner une structure plus fine. Le reste de leur activité touche à des thématiques clairement identifiées comme étant en dehors de la physique de l'interaction forte décrite par QCD (exemples: BSM, physique nucléaire).

Seuls les effectifs en personnels scientifiques permanents sont donnés ci-dessous. Dans les groupes expérimentaux, certains noms peuvent apparaître plusieurs fois du fait de leurs participations multiples. En ce qui concerne les collaborations, il a été décidé de ne mentionner que celles avec des groupes concernés par le plan Vallée, et avec ceux de Paris-Saclay.

### **Equipes de théoriciens :**

(double comptage partiel avec le groupe “particules sur accélérateurs” comme indiqué ci-dessus)

#### **IPNO**

Véronique Bernard (50%) (autre activité en BSM)

Jaume Carbonell (50%) (autre activité en physique nucléaire)

Samuel Friot (100%)

Jean-Philippe Lansberg (100%)

Bachir Moussallam (100%)

Ubirajara Van Kolck (20%)

émérite:

Hagop Sazdjian (100%)

## LPT

Damir Becirevic (50%)  
Benoît Blossier (100%)  
Philippe Boucaud (100%)  
Sébastien Descotes-Genon (50%)  
Samuel Wallon (100%)

émérites:

Alain Le Yaouanc (100%)  
Michel Fontannaz (100%)

## LAL

Emi Kou (50%)

Thèmes de recherche des différentes équipes, dans la thématique chromodynamique quantique et interaction forte:

approches non perturbatives:

- QCD sur réseau:
  - . dynamique de QCD ( $\alpha_S$ , états excités et spectroscopie)
  - . calcul d'éléments de matrice hadronique en vue de recherche de nouvelle physique
- théories effectives (théorie des perturbations chirale à basse énergie, théorie effective de quark lourd)
- relations de dispersion

approches perturbatives:

- processus exclusifs et physique du spin
- physique des quarkonia
- calculs de précision en QCD perturbative
- QCD à haute énergie et haute densité (resommations, saturation gluonique dans le proton et dans les noyaux)
- collisions d'ions lourds et sondes dures pour l'étude du plasma quark-gluon
- interactions multipartoniques
- comportement asymptotique de diagrammes

Collaboration locales:

De nombreuses collaborations existent avec les théoriciens des laboratoires environnants:

- . au sein des laboratoires impliqués dans le plan de refondation IPNO, LAL, LPT
- . au sein de Paris-Saclay: CPhT, IRFU/SPhN, IPhT

ainsi qu'avec les expérimentateurs des labos environnants:

. au sein des laboratoires impliqués dans le plan de refondation: IPNO, LAL

. au sein de Paris-Saclay: LLR, IRFU/SPhN.

### **Equipes expérimentales :**

#### **LAL (LHCb)**

Patrick Robbe (50%)

L'activité du groupe est centrée sur différents aspects de spectroscopie à LHCb, en physique des quarks charmé et beau : mesure des quarkonia, résonances exotiques X, Y, Z dans les collisions pp, pPb et p-Gaz/Pb-Gaz. En physique des ions lourds, thématique qui s'est récemment développée à LHCb et dans laquelle le groupe est impliqué, l'un des enjeux futurs est d'améliorer la compréhension des effets nucléaires froids qui est essentielle afin de mieux contrôler les sondes dures du plasma quark-gluon (QGP). Sur cette thématique, le groupe a des collaborations avec l'IPNO et le LLR. Grâce au système SMOG (System for Measuring Overlap with Gas), initialement conçu pour la mesure de la luminosité, l'étude du QGP dans les collisions Pb-Gaz en mode cible fixe, est aussi possible pour des densités d'énergie entre celles du SPS et du RHIC. Le groupe est également impliqué dans les projets

cibles fixes au LHC: AFTER (cibles internes solides ou gazeuses, voir plus loin) et UA9 dans LHCb (cristaux courbés couplés à une cible solide interne). Une forte synergie existe entre les projets AFTER et UA9 dans LHCb avec des échanges réguliers entre le LAL et l'IPNO.

#### **IPNO**

- Groupe **ALICE**

Zaida Conesa-del-valle (50%)

Bruno Espagnon (50%)

Cynthia Hadjidakis (50%)

Laure Massacrier (50%)

Christophe Suire (50%)

Le groupe est impliqué dans la recherche du QGP, essentiellement à l'aide de sondes dures contenant des saveurs lourdes, notamment basé sur le mécanisme d'écrantage de couleur conduisant à l'évaporation du  $J/\Psi$  (compliqué par la régénération due au milieu riche en saveurs lourdes, ainsi que par divers effets nucléaires froids). Il est également impliqué dans la phénoménologie des interactions multipartoniques, rendue nécessaire à cause de la luminosité élevée au LHC. Ce sujet est également étudié par des théoriciens de l'IPNO et du LPT. Les analyses effectuées portent sur des collisions en modes pp, pPb et PbPb, couvrant ainsi l'ensemble de la physique nucléaire froide et chaude mise en jeu. Le groupe possède des collaborations locales, en particulier avec le LAL (LHCb), le SPhN et le LLR (CMS). Le

groupe a été impliqué dans la construction des chambres de trajectographie du spectromètre à muons, et est aujourd'hui impliqué dans l'upgrade de l'électronique de ces chambres pour LS2.

- Projet [AFTER](#)

Cynthia Hadjidakis  
Laure Massacrier  
Jean-Philippe Lansberg

Réaliser des collisions cibles fixes au LHC (à l'aide d'une cible interne gazeuse, ou de cristaux courbés permettant de défléchir le faisceau sur une cible solide), permet d'attaquer trois grands types de questions de physique: la physique du spin du proton (en particulier dans le cadre des distributions dépendantes du moment transverse (TMD), qui apparaissent également à très haute énergie en physique de la saturation), du QGP, et la structure du nucléon à grand  $x$  (les distributions de partons (PDF) sont notoirement très mal connues pour  $x > 0,7$ ).

Des contacts étroits existent avec les groupes ALICE et LHCb locaux et en province, ainsi qu'avec le LLR. L'objectif poursuivi est d'installer un tel détecteur dans les cavités LHCb ou ALICE. On notera que ce projet est complémentaire de l'expérience COMPASS, avec ici un avantage en luminosité.

- Groupe [HADES](#)

Béatrice Ramstein  
Ronald Kunne  
+ support phénoménologique (J. Van de Wiele (émérite))

Le groupe travaille sur les résonances baryoniques, dans le cadre du projet HADES (auprès de l'accélérateur SIS18 de GSI et avec des projets sur FAIR, prévu en 2025). Les enjeux scientifiques sont les suivants : étude des effets de matière hadronique en pA et AA jusqu'à AuAu, étude des états excités des nucléons et hypérons (en réactions pp, pn et N  $\pi$ ), extraction et phénoménologie des facteurs de forme de genre temps. Le groupe participe à l'amélioration du détecteur (construction d'un détecteur à base de tubes-paille, en collaboration avec Cracovie).

- Groupe [PANDA](#)

Dominique Marchand  
Béatrice Ramstein  
Ronald Kunne  
Jacques Van de Wiele (émérite)

Le groupe a été fortement impliqué dans le projet PANDA pendant plus de dix ans, avec une équipe de sept physiciens jusqu'en 2014, avec des études de faisabilité dans le domaine de la structure du nucléon (avec une collaboration avec l'Ecole Polytechnique sur les

distributions d'amplitude de transition (TDA)) et une activité de R&D très importante pour le calorimètre électromagnétique. Cette activité s'arrête en 2017 suite à la fin du soutien officiel du projet par l'IPNO et l'IN2P3 en 2014.

- Groupe [JLab](#)

Raphaël Dupré  
(Michel Guidal)  
Dominique Marchand  
Carlos Munoz Camacho  
Silvia Niccolai  
Eric Voutier

Le groupe joue un rôle leader à JLab (faisceau d'e- sur cible fixe, à grande luminosité), sur plusieurs sujets. Le groupe est actuellement impliqué dans des expériences des halls A et B, et rapidement, avec la montée de la phase 12 GeV de JLab, sera impliqué dans les expériences des halls A,B, et C.

Les questions de physique au coeur des activités du groupe concernent l'étude de la structure multidimensionnelle et en spin du nucléon, en particulier en vue d'extraire les différentes distributions de parton généralisées (GPD) qui la caractérisent. Le groupe est impliqué à la fois dans les aspects techniques de détection, prise des données, analyse, ainsi que dans l'extraction des différents facteurs de forme généralisé (qui de façon ultime permettront d'extraire les GPDs avec précision) et dans la phénoménologie des GPD (en particulier leur modélisation). Les processus étudiés sont la diffusion Compton profondément virtuelle et son analogue en remplaçant le photon produit par un méson, à la fois sur des nucléons ou sur des noyaux légers (helium), ce qui permet dans ce dernier cas d'étudier les effets nucléaires froids.

On notera que l'ensemble de l'activité JLab au sein de l'IN2P3 a été regroupée à l'IPNO, l'autre implication française étant au SPhN, ce qui donne aux deux groupes une forte cohérence scientifique et géographique, avec de nombreux liens entre eux. D'autre part, le groupe interagit avec les théoriciens du LPT, du SPhN et du CPhT, et avec les expérimentateurs du SPhN.

- Projet [PRAE](#)

Ronald Kunne  
Dominique Marchand  
Jacques Van de Wiele (émérite)  
Eric Voutier

Le projet PRAE, qui fédère des équipes IMNC/IPNO/LAL, est basé sur un nouvel accélérateur d'e- sur cible fixe qui sera installé dans le bâtiment du LAL.

Cette plateforme multidisciplinaire comporte trois volets principaux. La partie touchant à la physique hadronique concerne la mesure du rayon de charge du proton par extraction à très bas Q<sup>2</sup> du facteur de forme du proton, en diffusion élastique  $ep \rightarrow ep$ . Cela représente un enjeu très important en physique hadronique, en raison d'un écart actuel très notable entre les mesures en physique hadronique et en physique atomique donnant la taille du proton. L'expérience envisagée est très délicate, et exige une excellente précision dans les mesures.

## 2. Contexte

L'ensemble des équipes expérimentales est impliqué dans des

### **collaborations internationales :**

**ALICE** : 42 pays, 174 instituts, 1800 membres  
**LHCb** : 16 pays, 72 instituts, 1227 membres  
**JLab** : ~15 pays, ~60 instituts, ~600 membres ;  
**HADES** : 9 pays, 18 instituts, 120 membres  
**PANDA** : 17 pays, 500 membres

### **collaborations en France :**

**ALICE** : 7 groupes  
**LHCb** : 6 groupes  
**JLab** : 2 groupes  
**HADES** : 1 groupe

### **interactions avec les laboratoires voisins :**

- CEA/IRFU/SPhN-Saclay (ALICE, JLab, PANDA), LLR (CMS, LHCb), LPT (LHCb, JLab)
- Demandes de financement communes (P2IO, ANR) pour des post-docs avec CEA-Saclay (ALICE, JLab) ou LLR (LHCb)
- Collaborations : CEA-Saclay pour analyse, phénoménologie et hardware (ALICE, JLab); LLR pour analyse (LHCb) ; LPT et CPhT pour phénoménologie/théorie (JLab, ALICE)
- Plusieurs workshops organisés en commun : IPNO/LAL/LLR sur les perspectives futures d'expériences cibles fixes au LHC, IPNO/LAL/LPT sur la physique des quarkonia, etc.
- 3 Ecoles QCD organisées en commun (dont CPhT/IPhT/IPNO/LLR/LPT/SPhN)
- GDR-QCD (dont ALICE, LHCb, JLab, HADES, PANDA, théoriciens)
- Séminaires réguliers inter-labos théorie + expérience: IPNO, CEA-Saclay/IPHT, LLR, LAL, LPT, CPhT; séminaire commun CPhT/IPNO

### **Spécificité/Innovation/Impact :**

- Expertise scientifique et technique des groupes reconnue internationalement et dans les collaborations
- Responsabilités importantes dans les collaborations (analyse, fonctionnement de l'expérience, gestion, chairman)
- Synergie avec les services techniques pour la construction de détecteurs
- Editeurs de journaux scientifiques

- Rédaction d'articles de revue
- Organiseurs et conveners de conférences, workshops et écoles internationaux
- Invitations à conférences et workshops de prestige
- Direction et conveners de GDR (actuellement GDR-QCD), de network européens, d'instances françaises (Labex P2IO, ANR, Commissions 01 et 02 du CNRS, SFP) et internationales
- Rapporteurs pour des programmes internationaux (ERC) et des projets nationaux à l'étranger
- Thèses en cotutelles internationales
- Membres des comités de revues des articles et analyses

#### 4. Objectifs

##### JLab :

Le programme à 12 GeV vient de démarrer : une dizaine d'expériences avec porte-paroles de l'IPNO dans les Halls A, B, et C (2016 → ~2025), et plusieurs projets techniques de détecteurs associés à l'upgrade sont en cours à l'IPNO.

*Futur à long terme* : Electron Ion Collider, R&D détecteurs déjà en cours, soutien IN2P3 pas encore officiel

##### HADES :

L'objectif est de continuer les expériences sur SIS18, l'accélérateur actuel de GSI (~5 prochaines années) avec un détecteur amélioré (calorimètre électromagnétique, détecteur à l'avant).

*Futur à long terme* : le groupe souhaite participer aux expériences sur SIS100 (FAIR, accélérateur en construction à GSI).

##### ALICE/LHCb :

Les prises de données dans ALICE et LHCb sont approuvées pour les prochaines 10 années. La physique des saveurs et physique des ions lourds font partie de la stratégie européenne pour la physique des particules.

*Futur à long terme (~15 ans)* : les plans après 2029 ne sont pas encore définis, prolonger les expériences à haute luminosité du LHC n'est pas exclu

Nouveaux axes possibles ou évolutions (> 10/15 ans) : pour le moment, il s'agit d'intérêts individuels, avec plusieurs opportunités : Electron Ion Collider, FCC, Cibles fixes au LHC, BELLE2

##### ProRad@PRAE :

PRAE, projet « fédérateur » (LAL+IPNO+IMNC), est une plateforme pluridisciplinaire. Le volet ProRad de mesure du rayon de charge du proton est la priorité du projet (en phase 1). Des études pour la cible et le détecteur sont en cours à l'IPNO (membres de l'équipe JLab

et PANDA). Le financement est assuré par P2IO (projet emblématique) et SESAME. Le soutien de l'IN2P3 pas encore officiel. L'expérience est prévue vers 2020.

Plusieurs groupes (ALICE, JLab) ainsi que plusieurs théoriciens considèrent, **sans exclusive**, le projet EIC (deux sites à l'étude aux USA : JLab et RHIC) comme un projet fédérateur pour le futur de la thématique. Le projet LHeC, au CERN, est également un projet fédérateur pour la communauté. Ces projets ont l'avantage de pouvoir attaquer de nombreuses questions liées à la structure interne du nucléon, aussi bien aux énergies intermédiaires (en mode ep: tomographie, en particulier gluonique, contenu en spin) qu'asymptotiques (en mode eA à EIC ou ep à LHeC, ce qui permet d'accéder aux effets de saturation et plus généralement aux effets collectifs gluoniques dans le proton et le noyau).

#### 4. Organisation de la thématique

A ce stade de la réflexion, le groupe de travail n'a pas pu dégager d'opinion claire sur l'impact de la refondation sur cette thématique. En particulier, si des convergences scientifiques existent, le fait de ne pas connaître le « format » de la refondation n'aide pas pour se former une telle opinion. Pour le moment, le sentiment est qu'un changement de structure ne va pas influencer fondamentalement l'atteinte des objectifs, mais ceci est à nuancer selon les groupes, en particulier pour les théoriciens.

Ainsi, il y a des besoins techniques communs pour les expériences du LHC, mais l'échange d'expertise entre les labos existe déjà et fonctionne sans problèmes. D'autre part, la thématique est composée d'équipes indépendantes, concentrées dans un seul labo à la fois (sauf la théorie pour laquelle la structuration est différente).

Pour ce qui concerne les ressources humaines, pour les équipes expérimentales ayant besoin de renforcement, sauf en cas d'un nouvel intérêt des autres laboratoires, la refondation ne semble pas apporter d'effets ni de bénéfices évident. Pour ces mêmes équipes, les échanges entre théoriciens et expérimentateurs existent et fonctionnent déjà sans problèmes, et ne requièrent pas de réorganisations.

En revanche, pour la majorité des théoriciens hadroniques, un regroupement des théoriciens serait particulièrement bienvenu, puisqu'il donnerait une masse critique à des forces actuellement assez dispersées, sans obérer les échanges avec les expérimentateurs puisqu'aucun éloignement d'avec les expérimentateurs n'aurait lieu.

Enfin, La question de l'identité "physique hadronique" versus "physique des particules" n'est pas perçue de la même façon. Pour les groupes JLab, ProRad et HADES, cette identité est importante, tandis que les équipes ALICE et LHCb, ainsi que les théoriciens, y sont beaucoup moins attachés.

#### 5. Formation, valorisation

Plusieurs membres des équipes sont impliqués dans l'enseignement, en particulier au niveau M2 dans les masters ICFP, NPAC, HEP. On notera cependant qu'il n'y a pas

actuellement d'implication au premier semestre des masters ICFP et HEP, ce qui pose problème en vue d'un contact direct avec les étudiants, ce qui est important pour les attirer en thèse dans nos thématiques.

## **6. Statistiques, ressources humaines**

L'activité des équipes bénéficie d'une excellente visibilité au niveau international. Cependant, certaines équipes ont subi une érosion très forte de leurs effectifs.

Pour les équipes expérimentales :

Sur les 10 dernières, les effectifs en nombre de permanents sont stables pour ALICE, en augmentation pour JLab+ProRAD (ceci est en partie dû au regroupement de l'ensemble des activités JLab à l'IN2P3 au sein de l'IPNO), en augmentation à LHCb+UA9, et en diminution à HADES (et PANDA dont l'activité a été arrêtée). Cette dernière équipe est très affectée par cette diminution des effectifs, qui s'approche d'une taille sous-critique.

Pour les théoriciens :

une très forte diminution des permanents (ceci concerne le LPT, avec un nombre de départs de l'ordre de 8 à 9 personnes) a eu lieu en quelques années seulement, jusqu'en 2010. Depuis, les effectifs en nombre de permanents non émérites continuent de diminuer lentement (le total actuel est de 12 permanents et émérites en équivalent temps plein; il est stable sur quelques années mais ceci est partiellement dû au fait que 3 émérites sont toujours actifs; seuls 3 recrutements ont eu lieu sur les 3 laboratoires en 10 ans). Ceci est particulièrement marqué en physique hadronique, rapporté à l'ensemble des théoriciens des laboratoires concernés. Cela commence déjà à poser des problèmes dans certaines thématiques, que ce soit en terme d'expertise ou de capacité d'encadrement.