

COMPTE RENDU DE LA REUNION DU GDR

"Physique subatomique et calculs sur réseau"

Autrans, 6 et 7 juin 2005

Participants:

1. *Patrick Aurenche (LAPP-TH Annecy)*
2. *Benoit Blossier (LPT Orsay)*
3. *Giuseppe Bozzi (LPSC Grenoble)*
4. *Jaume Carbonell (LPSC Grenoble)*
5. *Jérôme Charles (CPT Marseille)*
6. *Sébastien Descotes-Genon (LPT Orsay)*
7. *Feliciano de Soto (LPSC Grenoble)*
8. *Zoltan Fodor (Université de Wuppertal)*
9. *Samuel Friot (CPT Marseille)*
10. *Benjamin Fuks (LPSC Grenoble)*
11. *Christophe Furget (LPSC Grenoble)*
12. *François Gélis (DSM/SPhT, CEA/Saclay)*
13. *Pol-Bernard Gossiaux (SUBATECH Nantes)*
14. *David Greynat (CPT Marseille)*
15. *Bjorn Herrmann (LPSC Grenoble)*
16. *Michael Klasen (LPSC Grenoble)*
17. *Serge Kox (LPSC Grenoble)*
18. *Fabienne Kunne (DSM/DAPNIA/SPhN, CEA/Saclay)*
19. *Laurent Lellouch (CPT Marseille)*
20. *Jean-Pierre Leroy (LPT Orsay)*
21. *Alexei Lokhov (CPHT Polytechnique)*
22. *Jean-François Mathiot (LPC Clermont-Ferrand)*
23. *Vincent Morenas (LPC Clermont-Ferrand)*
24. *Stephan Narison (LPTA Montpellier)*
25. *Silvia Necco (CPT Marseille)*
26. *Stam Nicolis (LMTP Tour)*
27. *Micaela Oertel (CEA/Bruyères-le-Châtel)*
28. *Saro Ong (IPN Orsay)*
29. *Arantza Oyanguren (LAL Orsay)*
30. *Olivier Pène (LPT Orsay)*
31. *Jean-Sébastien Real (LPSC Grenoble)*
32. *Dominique Rebreyend (LPSC Grenoble)*
33. *Jean-Marc Richard (LPSC Grenoble)*
34. *Jose Rodriguez-Quintero (Université d'Huelva)*
35. *Claude Roiesnel (CPHT Polytechnique)*
36. *Patrick Roudeau (LAL Orsay)*
37. *Christelle Roy (SUBATECH Nantes)*
38. *Yves Schutz (SUBATECH Nantes)*
39. *Justine Serrano (LAL Orsay)*
40. *Madeleine Soyeur (DSM/DAPNIA/SPhN, CEA/Saclay)*
41. *Eric Suraud (IN2P3)*
42. *Egle Tomasi (DSM/DAPNIA/SPhN, CEA/Saclay)*

Sujets traités:

Les sujets présentés et discutés lors de la réunion du GDR sont la détermination des paramètres de QCD, la physique des saveurs, la structure du nucléon et différentes approches théoriques en physique hadronique (perturbations chirales, front de lumière), le diagramme de phase de QCD ainsi que sa relation avec les collisions d'ions lourds ultra-relativistes et la formulation des interactions nucléaires sur réseau. La technique du calcul sur réseau a permis de rassembler des communautés scientifiques relativement distinctes bien que travaillant sur des physiques proches (interactions électrofaibles, structure des hadrons, noyaux, collisions nucléaires de haute énergie). L'optique générale de la réunion a été de mettre en rapport les programmes expérimentaux auxquels participent des équipes françaises et les possibilités de calculer sur réseau des observables directement reliées aux quantités mesurées. Les calculs sur réseau actuellement effectués en France concernent principalement la détermination des paramètres de QCD, la physique des saveurs et la formulation des interactions nucléaires sur réseau.

Les présentations sont disponibles sur le site web du GDR (<http://gdr-lqcd.in2p3.fr>). Nous les résumons brièvement pour cadrer les travaux du GDR dans les perspectives scientifiques dégagées par les exposés.

- *Détermination des paramètres de QCD*

Les paramètres fondamentaux de QCD sont les masses des quarks et la constante de couplage de l'interaction forte α_s (ou l'échelle Λ_{QCD}). Les valeurs de ces paramètres sont déterminées en comparant des quantités physiques mesurées avec leurs expressions calculées à partir de QCD (en fonction des paramètres de la théorie). QCD sur réseau est la seule méthode permettant le calcul des quantités concernées dans le régime non-perturbatif en partant du Lagrangien de QCD. La réduction des erreurs affectant les calculs sur réseau permet donc d'accroître la précision de la détermination des paramètres de QCD. Les aspects techniques de cette comparaison (échelle de la maille du réseau, relations entre schémas de renormalisation) ont été passés en revue et le rôle de la prise en compte des effets des quarks de la mer (quarks dynamiques) dans les calculs a été souligné.

La discussion a aussi porté sur l'angle θ du vide de QCD dont la valeur est directement liée à une éventuelle violation de CP par l'interaction forte. La contribution de l'interaction forte au moment électrique dipolaire du neutron est proportionnelle à l'angle θ . La limite expérimentale actuelle ($|d_n| < 6.3 \cdot 10^{-26}$ ecm) est compatible avec la violation de CP résultant du secteur électrofaible ($d_n \simeq 10^{-32}$ ecm) et fournit une limite supérieure sur θ . L'objectif d'une mesure prochaine utilisant la source de neutrons ultrafroids de PSI (et impliquant deux laboratoires français) est d'abaisser d'un à deux ordres de grandeur la limite actuelle sur la valeur de d_n pour contraindre davantage la valeur de θ . Sur le plan théorique, les premières études de QCD sur réseau en présence d'un angle θ non nul viennent d'apparaître. Ces calculs permettront à terme de mettre des bornes sur θ à partir de la seule QCD.

- *Physique des saveurs*

Un objectif majeur de cette physique est la détermination précise des éléments de la matrice de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) qui traduisent l'importance du mélange des quarks de saveurs différentes induit par l'interaction faible. Les phases de ces éléments

de matrice sont obtenues à partir de processus qui violent CP, contrairement à leurs modules qui sont déterminés par des réactions qui conservent CP. Les contraintes d'unitarité sont utilisées pour rechercher des manifestations de physique au-delà du modèle standard.

Les éléments de la matrice CKM, qui caractérisent des transitions entre quarks, sont nécessairement obtenus à partir de processus impliquant les hadrons dans lesquels ces quarks sont confinés. Leur détermination dépend par conséquent de la maîtrise théorique d'effets liés au comportement de QCD à longue distance. QCD sur réseau est la seule méthode permettant de calculer ces effets non perturbatifs à partir de QCD. Dans certaines limites, ils peuvent être décrits par des théories effectives, telles que la théorie des perturbations chirale ou les théories effectives de quarks lourds. Le calcul précis des éléments de matrice hadroniques est rendu particulièrement nécessaire en raison du très grand nombre de données obtenues récemment sur les désintégrations rares des mésons B (BABAR, BELLE, CLEO) et des mésons K (BNL K⁺, KTeV, KLOE, NA48). Des équipes françaises sont impliquées dans BABAR et dans NA48. À partir de 2005, des mesures de précision des constantes de désintégration leptoniques et des facteurs de forme semileptoniques des mésons charmés seront disponibles (CLEO-c, BaBar). Ces mesures seront un laboratoire pour valider les calculs correspondants de QCD sur réseau. Les erreurs systématiques dominantes des calculs de QCD sur réseau sont actuellement liées au traitement des quarks de la mer et aux extrapolations chirales. Pour les applications où la symétrie chirale de QCD joue un rôle prépondérant, les fermions de Ginsparg-Wilson deviennent la discrétisation de choix. Dans ces situations, leur coût numérique relativement élevé est compensé par le fait qu'ils préservent la symétrie chirale à taille de maille finie.

- *Physique hadronique - Structure du nucléon*

Indépendamment des questions de physique hadronique abordées dans les paragraphes précédents, la structure du nucléon, étudiée expérimentalement par des groupes français au Jefferson Laboratory et au CERN (COMPASS) et en projet au GSI-Darmstadt avec FAIR, a été passée en revue. Il n'y a pas de théoricien de QCD sur réseau travaillant sur ce sujet en France, bien que ce serait très souhaitable en regard de l'effort expérimental engagé. Dans un premier temps, le rôle du GDR pourrait être d'oeuvrer au rapprochement des groupes expérimentaux français et de théoriciens étrangers (DESY, MIT).

L'ensemble des résultats et projets présentés sur la structure du nucléon sont très complémentaires. Au Jefferson Laboratory, l'accent est mis sur les facteurs de forme électromagnétiques et faibles et sur le contenu en quarks étranges du nucléon. Plus récemment s'y sont développés des programmes destinés à mesurer les distributions de partons généralisées (GPD). Au CERN, l'expérience COMPASS a pour objet des mesures relatives au spin du nucléon, notamment la détermination de la contribution des gluons au spin du proton, des fonctions de structure en spin et de la distribution de transversité. A long terme (>2010), COMPASS pourrait être utilisé pour la mesure des GPD. Avec FAIR au GSI, il est envisagé de mesurer le facteur de forme de genre-temps du proton grâce au faisceau d'antiprotons de haute énergie ($\bar{p}p \rightarrow e^+e^-$) en séparant les facteurs de forme électrique et magnétique grâce au système de détection PANDA. Une mesure d'asymétrie de spin transverse est également à l'étude.

Il apparaît très important de mener la discussion sur QCD sur réseau en physique hadronique dans le contexte des autres approches théoriques de cette physique. La théorie

des perturbations chirale couvre en particulier la physique hadronique liée aux quarks légers. Les extrapolations chirales sont nécessaires pour comparer les résultats de QCD sur réseau aux quantités physiques dans ce secteur. Les quarks u et d étant trop légers pour être actuellement simulés directement sur réseau, le calcul d'observables physiques nécessite en effet une extrapolation en masse à partir de résultats obtenus avec des quarks un peu plus lourds. Dans ce contexte, la théorie des perturbations chirale, qui décrit la variation d'observables hadroniques en fonction de la masse des quarks légers sans faire appel aux modèles, est un outil indispensable. D'autres techniques théoriques ont par ailleurs permis de comprendre de nombreux aspects de la physique des hadrons à basse et à haute énergies et apportent un éclairage très utile aux calculs sur réseau. L'exemple des progrès récents de la quantification des champs sur le front de lumière pour l'étude des états liés relativistes (particules ou noyaux) a été discuté en détails. Cette approche est adaptée aux réactions de haute énergie.

- *Diagramme de phase de QCD - Collisions d'ions lourds ultra-relativistes*

Ce domaine fait l'objet d'un important effort expérimental en France, actuellement sur le collisionneur RHIC à Brookhaven ($\sqrt{s}_{NN} = 200$ GeV) et à terme sur le LHC ($\sqrt{s}_{NN} = 5,5$ TeV) au CERN. Ces deux expériences ont été discutées, en particulier les résultats récents de RHIC qui suggèrent que l'état de la matière créé dans les collisions centrales Au + Au se comporte comme un fluide (presque) parfait.

Les premiers calculs du diagramme de phase de QCD sur réseau ont largement contribué à motiver les projets expérimentaux destinés à produire un état de la matière dans lequel les quarks et les gluons ne seraient plus confinés dans des hadrons. Ils ont beaucoup évolué depuis. Un problème majeur reste le traitement sur réseau du potentiel chimique baryonique non nul caractérisant la région d'interaction des ions lourds en collision. Une prédiction très intéressante de QCD sur réseau est la présence d'un point critique dans le plan (potentiel chimique, température) où la transition de phase serait du second ordre et caractérisée par des fluctuations de grande longueur d'onde. La position de ce point critique est très sensible aux paramètres, particulièrement aux masses des quarks. Il est donc important pour ce domaine d'évoluer vers des masses de quarks réalistes et des fermions dynamiques. Le diagramme de phase de QCD n'est pas étudié sur réseau en France. Il y a par contre une grande activité dans ce domaine en Allemagne dont le GDR pourrait bénéficier.

- *Interactions nucléaires*

La technique du calcul sur réseau en théorie des champs est aussi utilisée pour des études au-delà de l'approximation d'échelle de systèmes à deux corps (méson-nucléon, nucléon-nucléon) à partir de Lagrangiens d'interaction méson-nucléon. L'interaction nucléon-nucléon correspondante est engendrée par l'échange de mésons à tous les ordres (résolution de l'équation de Lipmann-Schwinger). Cette procédure permet de tenir compte de tous les graphes d'échange et de self-énergie contenus dans le Lagrangien. L'objectif à terme est d'obtenir une description relativiste des noyaux à partir d'interactions nucléaires résultant de l'échange de mésons. Ces projets sont menés par un groupe du LPSC Grenoble en collaboration avec le LPT d'Orsay et l'Ecole Polytechnique.

Constitution de groupes de travail:

Six groupes de travail, destinés à conduire l'action du GDR dans les différents sujets qui le concernent, sont constitués et leurs responsables sont choisis par les membres présents du GDR. Ils sont les suivants:

1. Paramètres et structure du vide de QCD
Responsables: Stephan Narison, Jose Rodriguez-Quintero
2. Physique des saveurs
Responsables: Laurent Lellouch, Patrick Roudeau
3. Physique hadronique
Responsables: Damir Becirevic, Serge Kox, Madeleine Soyeur
4. Diagramme de phase de QCD - Collisions d'ions lourds ultra-relativistes
Responsables: François Gélis, Christelle Roy
5. Autres théories des champs sur réseau
Responsables: Jaume Carbonell, Sébastien Descotes-Génon, Jean-François Mathiot, Jean-Marc Richard
6. Algorithmes et machines
Responsables: Jean-Pierre Leroy, Stam Nicolis

Ces sujets présentant des recouvrements manifestes, un certain nombre d'activités seront coordonnées. Les participants souhaitent unanimement qu'une réunion annuelle rassemble tous les membres du GDR. Chaque groupe de travail y fera le compte rendu de son activité.

Projet apeNEXT:

Au cours de son exposé, Olivier Pène fait l'historique des démarches entreprises pour accroître la puissance de calcul pour QCD sur réseau en France depuis le constat dressé fin 2002. Celui-ci indiquait que la communauté française de QCD sur réseau disposait d'une puissance de calcul d'environ 1/30ième de celle dont disposent les pays voisins comparables (Allemagne, Italie, Royaume-Uni) et que celle-ci tomberait à 1/300ième si rien n'était fait rapidement. Cette situation est maintenant pratiquement atteinte. Une demande pour un apeNEXT (4 tours correspondant à 1,5 Tflops soutenus) localisé à Rome est en cours et a reçu de nombreux appuis et avis favorables depuis un an. Une demande partielle (2 tours) est actuellement soumise à l'ANR. La communauté française de QCD sur réseau ne maintient sa réputation et l'excellence de ses recherches que par le biais de collaborations avec des physiciens disposant de moyens de calculs appropriés. Cette situation ne pourra pas durer très longtemps. L'avenir de QCD sur réseau en France dépend par conséquent d'une décision rapide et favorable sur la demande d'un apeNEXT.

Formations et site web relatif à QCD sur réseau:

Le GDR décide de ne pas prendre en charge dans l'immédiat l'organisation de formations sur QCD sur réseau. Il est rappelé qu'il existe de telles formations dans le cadre d'Ecoles Franco-Allemandes. Un site est proposé aux participants qui souhaitent se tenir informés de l'actualité en matière de QCD sur réseau:

latticenews@denali.physics.indiana.edu

Il s'agit d'une liste à laquelle on peut s'abonner.