

Grenoble, le 4 Decembre 2004

A l'attention de:

- A. Alastuey, Chargé de mission SPM
- P. Binetruy, Président de la Commission 02 du CNRS
- F. Le Diberder, Directeur Scientifique Adjoint de l'IN2P3
- S. Galès, Directeur Scientifique Adjoint de l'IN2P3
- P. Glorieux, Directeur Scientifique Adjoint de SPM
- H. Orland, Chef du SPhT
- Ph. Quentin, Président de la Commission 03 du CNRS
- E. Suraud, Directeur Scientifique Adjoint de l'IN2P3
- J. Zinn-Justin, Chef du DAPNIA

Demande de GDR "Physique Subatomique et Calculs sur Réseau"

La communauté française des physiciens intéressés par le développement des calculs sur réseau s'est organisée pour demander un Groupement de Recherches (GDR). Cette demande sera déposée lors de la session d'automne des commissions 02 et 03 du CNRS, et au DAPNIA du CEA. Nous souhaiterions pouvoir bénéficier de cette structure de collaboration pour une durée de 4 ans à partir de l'année 2005.

Table de matières

1	Contexte	2
2	Objectifs	3
3	Structure du GDR	4
	3.1 Groupes de travail	7
4	Feuille de route	7
	4.1 Année 2005	7
	4.2 Années 2006-08	8
5	Financement demandé	8

1 Contexte

Les calculs sur réseau constituent à l'heure actuelle un moyen privilégié pour résoudre les théories quantiques des champs dans le domaine non perturbatif, en particulier la chromodynamique quantique (QCD). Ce type de calculs est indispensable pour notre compréhension des systèmes régis par l'interaction forte mais également pour contrôler les processus faibles de systèmes hadroniques dans le modèle standard et au delà. Ces méthodes peuvent aussi être utilisées pour décrire d'autres systèmes de fermions dès lors que leur interaction est donnée par un lagrangien, comme c'est le cas par exemple dans le modèle d'interaction nucléon-nucléon par l'échange de bosons (OBE) ou par le lagrangien chirale. Elles peuvent donc avoir également un intérêt dans le cadre des interactions nucléaires et de certains modèles de quarks constituants utilisés en physique hadronique.

La maîtrise de cette technique de calcul s'avère donc incontournable dans les années à venir pour la communauté de physique subatomique. Son domaine d'application s'étend depuis le calcul d'éléments de matrice électrofaibles jusqu'aux systèmes multi-neutrons. Les objectifs poursuivis sont nombreux et importants. Citons à titre d'exemple:

- i)* vérifier que la QCD décrit le monde hadronique et comprendre en particulier le(s) mécanisme(s) du confinement et de la brisure spontanée de la symétrie chirale de QCD
- ii)* déterminer les paramètres fondamentaux de QCD, tels la constante de couplage et les masses des quarks
- iii)* calculer les effets de l'interaction forte sur les processus électrofaibles couplés aux quarks afin de permettre l'étude du mélange de saveurs et de la violation de la symétrie charge-parité (nécessaire pour expliquer l'asymétrie matière-anti-matière dans l'univers)
- iv)* déterminer les propriétés de l'interaction forte à température finie (importantes pour comprendre l'univers primordial et la physique des ions lourds ultra-relativistes) et/ou à densité finie (importantes pour décrire le cœur des étoiles à neutrons).

Le recouvrement des problématiques abordées avec les programmes expérimentaux de l'IN2P3 et du DAPNIA est incontestable. On peut avoir un aperçu des derniers développements théoriques et des enjeux expérimentaux concernés dans le Rapport du Workshop "Lattice QCD: present and future" qui a eu lieu au L.A.L. d'Orsay en avril dernier (<http://events.lal.in2p3.fr/conferences/lqcd/>).

L'existence d'un Pôle numérique "Théorie des champs sur réseau", dont bénéficient depuis près de deux ans les théoriciens français travaillant sur cette problématique, a été le germe fondateur de ce projet. Ce pôle a permis d'assurer, parmi d'autres

activités, un certain nombre de collaborations entre les laboratoires concernés, des actions de formation doctorale ainsi que l'organisation du workshop mentionné ci-dessus et l'insertion de la communauté française dans l'International Lattice Data Grid (<http://www.lqcd.org/ildg/tiki-index.php>).

Par ailleurs, pour remédier à l'obsolescence des moyens de calcul actuels, la demande d'une machine apeNEXT dédiée aux calculs sur réseau est en cours. Cette machine de 3 Tflops crête, ainsi que l'utilisation de quelques clusters de PC pour la mise au point d'algorithmes et l'analyse des résultats, doit permettre de consolider l'activité de QCD sur réseau au niveau national et à la France de se maintenir au plus haut niveau sur la scène internationale.

2 Objectifs

Il nous semble maintenant utile de mettre ce savoir-faire au service d'une communauté plus étendue, en élargissant par là-même ses objectifs et ses ambitions et en l'inscrivant dans une certaine durée. Pour cela, la création d'une structure de Groupement de Recherches CNRS intitulée "Physique Subatomique et Calculs sur Réseau" nous apparaît comme étant la meilleure solution.

Le but de ce GDR est de fédérer les physiciens intéressés par ce que le développement des calculs sur réseau peut apporter à la physique en France dans les années à venir.

Nous pensons que la QCD sur réseau (LQCD) n'est pas un domaine scientifique en soi mais avant tout un outil au service des différentes branches de la physique subatomique. Il ne s'agit donc pas de mobiliser les seules personnes faisant des calculs mais tous les physiciens qui, par leur pratique, théorique ou expérimentale, peuvent trouver un intérêt à cette activité. Cet intérêt est divers, comme la communauté concernée (voir liste attachée) et les objectifs du GDR sont multiples:

- La mise en commun d'un savoir-faire théorique en LQCD. Quelles sont les possibilités actuelles de calcul? Que peut-on calculer et avec quelle précision? Quelles sont les perspectives à moyen terme?
- Le suivi des programmes expérimentaux en cours, ou des projets d'avenir, pouvant faire l'objet de calculs sur réseau, ou même les suggérant.
- Etudes du raccordement non-perturbatif des théories effectives de QCD (lagrangiens chiraux, théorie effective des quarks, ...) à la QCD et tests de méthodes analytiques non-perturbatives (QCD à grand nombre de couleurs, équation d'évolution à petit x , développement en composantes de Fock, ...)
- L'étude des liens entre la QCD et les modélisations utilisées dans différents domaines: modèles de collisions d'ions lourds, modèles de quarks constituants, etc.

- L'ouverture des techniques développées dans le cadre précis de la LQCD à d'autres champs fondamentaux, par exemple théories supersymétriques, gravitation quantique, transitions de phase dans l'univers primordial.
- Assurer une formation en calcul sur réseau au niveau doctoral et postdoctoral.
- Le maintien d'une activité numérique de haut niveau autour des algorithmes utilisés dans les calculs sur réseau.

De ce point de vue, nous préconisons le maintien du Pôle numérique "Théorie des champs sur réseau", de ses liens avec les autres pôles, et son implication dans les activités du GDR.

3 Structure du GDR

Le GDR sera structuré autour de quelques thèmes majeurs. A l'heure actuelle, nous avons répertorié les sujets suivants, dont certains ont un rapport étroit avec les programmes expérimentaux du DAPNIA et de l'IN2P3:

1. Propriétés et paramètres fondamentaux de la QCD

Constante de couplage forte α_s

Masses des quarks m_q

Brisure spontanée de la symétrie chirale et raccordement à la théorie de perturbations chirale, fondamental pour toute phénoménologie avec LQCD

Propriétés du vide de la QCD et compréhension du mécanisme du confinement des quarks et gluons

2. Physique des saveurs et violation de CP

Eléments de matrice électrofaibles utilisés pour extraire les couplages faibles des quarks et pour contraindre le modèle CKM du mélange des saveurs et de la violation de CP:

- Mélange $B^0-\bar{B}^0$ et $B_s^0-\bar{B}_s^0$ pour les couplages $|V_{td}|$ et $|V_{ts}|$
- Violation de CP indirecte dans $K \rightarrow \pi\pi$ pour contraindre la phase violant CP
- Désintégrations leptoniques et semileptoniques de mésons B pour les couplages $|V_{ub}|$ et $|V_{cb}|$
- Désintégrations leptoniques et semileptoniques de mésons D pour les couplages $|V_{cd}|$ et $|V_{cs}|$ et tests de LQCD
- Désintégrations leptoniques et semileptoniques de kaons pour le couplage $|V_{us}|$

Autres éléments de matrice qui permettent de tester le modèle standard et de mettre en évidence et de contraindre une physique nouvelle éventuelle:

- Développement de méthodes pour l'étude de la violation de CP directe dans $K \rightarrow \pi\pi$ afin de contraindre la phase violant CP
- Désintégrations leptoniques ou semileptoniques rares telles $B \rightarrow K^*\gamma$, $B \rightarrow K\ell^+\ell^-$, $B \rightarrow \rho\gamma$, ...
- Mélanges de mésons neutres $K-\bar{K}$, $D-\bar{D}$ et $B-\bar{B}$ au delà du modèle standard
- Désintégrations semileptoniques de baryons étranges, charmés et beaux pour des mesures indépendantes de paramètres CKM
- Développement de méthodes pour l'étude de désintégrations non-leptoniques des hadrons beaux ou charmés pour contraindre la violation de CP
- Durée de vie du proton au delà du modèle standard
- Moment électrique dipolaire du neutron

QCD et développements en $1/m_b$:

- Eléments de matrice $\Delta B = 0$ décrivant les durées de vie des hadrons beaux
- Raccordement de la QCD à la théorie effective des quarks lourds et études sur l'aide que pourrait fournir LQCD dans notre compréhension des "soft collinear effective theories"

3. Spectroscopie hadronique

Résonances baryoniques

Systèmes multiquarks

Glueballs

Exotiques

Interaction hadron-hadron

4. Facteurs de forme et GPD

Facteurs de forme des baryons - élastiques et de transition (e.g N/Δ) - et mésons préalablement obtenus sur le réseau

Moments des distributions de partons

Contenu étrange du nucléon

Contribution de l'hélicité des gluons au spin du nucléon ($\Delta\Sigma$)

Distributions de partons généralisées

Fonction d'onde du nucléon en termes de ses états de Fock ("Light front wave function ")

5. QCD à température finie et modélisation des collisions d'ions lourds

Diagramme de phase de la QCD (ordre de la transition, dépendance en m_q)

Extraction de fonctions spectrales (production de dileptons, coefficients de transport)

Spectroscopie des quarkonia dans un plasma de quarks-gluons (potentiels $q - q$, température de dissociation)

Calculs avec potentiel chimique non nul (μ imaginaire, "reweighting", point critique)

Théories effectives, réduction dimensionnelle

6. Calculs ab-initio en physique nucléaire

Etude des paramètres fondamentaux de la physique nucléaire - $f_{\pi NN}$, V_{NN} - à partir des paramètres de la QCD (α_s , m_q)

Description des noyaux en termes des lagrangiens d'interaction NN, sans faire appel à la notion de "potentiel" à deux ou plusieurs nucléons

Facteurs de formes des noyaux légers.

7. Algorithmique

Les nouveaux problèmes qui seront suggérés par les besoins expérimentaux ou par des interrogations théoriques nécessiteront le développement d'algorithmes et de méthodes adaptées.

La communauté "Lattice" mondiale progresse constamment en matière d'algorithme. Notons par exemple les calculs avec quarks dynamiques - y compris un nombre impair de saveurs -, l'utilisation de fermions ayant de bonnes propriétés chirales, l'extraction des états excités etc.

L'assimilation de ces méthodes et la participation à leur développement constitueront une activité importante du GDR.

8. Nouvelles machines

Résoudre la QCD sur réseaux avec les algorithmes actuels nécessite l'utilisation d'ordinateurs dont la puissance est supérieure à 100 Tflops.¹ Comprendre si la poursuite du développement de machines dédiées (du genre apeNEXT) ou de celui de clusters de PC représente le meilleur choix pour ces futures machines, et y participer, constitue un des enjeux pour la communauté française.

¹Il est important de garder à l'esprit que des innovations algorithmiques, telles celles très récentes de M. Lüscher (hep-lat/0409106), pourraient réduire ce chiffre de façon significative, mais aussi que des difficultés inattendues à petites masses pourraient l'accroître.

Cette liste n'est toutefois pas exhaustive et pourra être modifiée suivant l'intérêt manifesté par les participants du GDR (supersymétrie sur réseau, transitions de phase en cosmologie, ...).

3.1 Groupes de travail

Au sein des thèmes généraux cités ci-dessus, des groupes de travail seront organisés pour étudier l'apport des calculs sur réseau à des problèmes spécifiques.

Ces groupes rassembleront des compétences différentes (laticistes, expérimentateurs, théoriciens, ...). Ils auront comme tâche d'explorer la littérature sur le sujet, d'envisager les solutions possibles ainsi que la faisabilité d'un calcul sur réseau.

Les groupes rendront compte de leur activité à l'ensemble du GDR. Le cas échéant, le GDR encouragera le démarrage d'une activité de recherche sur le problème envisagé et en suivra le développement.

4 Feuille de route

L'ensemble des activités du GDR s'étend sur quatre ans. Elles s'inscriront naturellement dans un contexte européen, particulièrement dans la perspective où les apeNEXT françaises seraient installées à Rome I (INFN) comme germe d'un laboratoire européen qui impliquerait aussi nos collègues allemands. Des experts étrangers seront associés à nos activités y compris au sein des groupes de travail.

Il est à souhaiter que bon nombre de nos projets scientifiques s'inscrivent dans le cadre d'une collaboration européenne.

4.1 Année 2005

Nous envisageons d'organiser pour l'année 2005 les activités suivantes:

1. Une première rencontre plénière, au début du printemps, de tous les membres du GDR en exposant d'une part les programmes expérimentaux représentés dans le GDR et d'autre part les possibilités de calcul, actuelles et à moyen terme, dans la communauté française.

Son but est de dégager des thématiques d'intérêt commun ainsi que des priorités. Ces choix doivent permettre la constitution des groupes de travail autour desquels le GDR sera structuré.

Budget prévu 14000 euros²

²Sur la base d'un financement d'une rencontre de 50 personnes - voyage plus hébergement de deux nuits [50 x (voyage 150+ séjour 100)] - plus 1500 euros pour inviter deux spécialistes étrangers

2. Pour le démarrage d'un GDR autour des calculs sur réseau, il semble approprié d'organiser un cours d'initiation aux techniques de calcul utilisées, intitulé par exemple: "LQCD par la pratique".

En se focalisant sur la résolution concrète de quelques problèmes type, cette action devrait permettre l'apprentissage des techniques, inaccessibles par ailleurs, à des étudiants et/ou à des chercheurs et de mieux comprendre les possibilités offertes par ce type de calculs.

Budget prévu 9000 euros ³

3. Des collaborations internes pour les groupes de travail du GDR constitués lors de la réunion plénière.

Budget 6000 euros ⁴

4.2 Années 2006-08

Ce mode de fonctionnement – une réunion "plénière", une action de formation et des réunions spécifiques des différents groupes de travail – sera adopté pendant la durée du GDR.

La fin de l'année 2006 devrait permettre de dresser un premier bilan de l'activité des groupes de travail et des recherches engagées sur les thèmes choisis.

Pendant les années 2007 et 2008 nous devons intégrer les possibilités offertes par les nouvelles générations d'ordinateurs.

L'année 2008 comportera un bilan final de l'ensemble de l'activité du GDR.

5 Financement demandé

Cette demande de GDR regroupe déjà une soixantaine de physiciens, appartenant aux commissions 02 et 03 du CNRS, au CEA et également à l'Université, expérimentateurs et théoriciens provenant d'une dizaine de laboratoires. Les activités de physique nucléaire, hadronique et des particules sont représentées, ce qui illustre la transversalité des calculs sur réseau.

Le financement demandé pour l'année 2005 est de 30 keuros.

Jaume Carbonell
LPSC Grenoble

Laurent Lellouch
CPT Marseille

Madeleine Soyeur
DAPNIA/SPhN

³Sur la base d'un cours de six jours pour 20 personnes [20x(6x50+150)]

⁴[4 x 1500]

Liste des physiciens s'associant à cette demande⁵

	LPTH ORSAY	
Olivier Pene	Olivier.Pene@th.u-psud.fr,	Th
Dominique Schiff	Dominique.Schiff@th.u-psud.fr,	
Jean-Pierre Leroy	jean-pierre.leroy@th.u-psud.fr,	
Philippe Boucaud	philippe.boucaud@th.u-psud.fr,	
Alain Layaouanc	leyaouan@th.u-psud.fr,	
Jacques Micheli	micheli@th.u-psud.fr,	
Damir Becirevic	Damir.Becirevic@th.u-psud.fr,	
Benoit Blossier	Benoit.Blossier@th.u-psud.fr,	
Sebastien Descotes-Genon	Sebastien.Descotes@th.u-psud.fr,	
Asmaâ Abada	abada@th.u-psud.fr,	
Guillaume Michel	Guillaume.Michel@th.u-psud.fr,	
	CPhT Ecole Polytechnique	
Claude Roiesnel	claudio.roiesnel@cpht.polytechnique.fr	Th
Alexei Lokhov	alexei.lokhov@cpht.polytechnique.fr	
	LLR Ecole Polytechnique	
Raphael Granier de Cassagnac	raphael@in2p3.fr	PHENIX
	LAL Orsay	
Patrick Roudeau	roudeau@mail.cern.ch,	BaBar
Frederic Machefer	machefer@lal.in2p3.fr,	LHCB
Andreas Hoecker	hoecker@lal.in2p3.fr,	BaBar
Achille Stocchi	achille.stocchi@cern.ch,	BaBar
Arantza Oyanguren	oyangur@lal.in2p3.fr,	BaBar
	CPT Marseille	
Laurent Lellouch	laurent.lellouch@cern.ch,	Th
Leonardo Giusti	leonardo.giusti@cern.ch,	
Silvia Necco	necco@cpt.univ-mrs.fr,	
Christian Hoelbling	hoelbling@cpt.univ-mrs.fr,	
Nicolas Garron	garron@cpt.univ-mrs.fr,	
Marc Knecht	knecht@cpt.univ-mrs.fr,	
Jerome Charles	charles@cpt.univ-mrs.fr,	
Jacques Soffer	soffer@cpt.univ-mrs.fr,	
Korthals-Altes	altes@cpt.univ-mrs.fr,	
Eduardo de Rafael	rafel@cpt.univ-mrs.fr,	

⁵Liste provisoire, établie le 4 décembre 2004, susceptible d'être augmentée

Olivier Leroy	CPP Marseille Olivier.Leroy@in2p3.fr,	LHCb
Jaume Carbonell	LPSC Grenoble carbonel@lpsc.in2p3.fr,	Th
Jean-Marc.Richard	Jean-Marc.Richard@lpsc.in2p3.fr,	Th
Eric Voutier	voutier@lpsc.in2p3.fr,	Jlab
Serge Kox	kox@in2p3.fr,	Jlab
Christophe Furget	furget@lpsc.in2p3.fr,	Jlab
Dominique Rebreyend	rebreyend@lpsc.in2p3.fr,	GRAAL ednm
Gilles Quemener	quemener@lpsc.in2p3.fr,	GRAAL ednm
Daniel Santos	santos@lpsc.in2p3.fr,	Planck
Feliciano de Soto	fdesoto@lpsc.in2p3.fr,	Th
Vincent Morenas	LPC Clermont-Ferrand morenas@clermont.in2p3.fr,	Th
Helene Fontvieille	helene@clermont.in2p3.fr,	Exp. hadronique
J. F Mathiot	mathiot@in2p3.fr,	Th
Bachir Moussallam	IPN Orsay moussall@ipno.in2p3.fr,	Th
Jan Stern	stern@ipno.in2p3.fr,	Th
Hagop Sazdjian	sazdjian@ipno.in2p3.fr,	Th
Thierry Hennino	hennino@ipno.in2p3.fr,	Exp Hadronique
Michel Guidal	guidal@ipno.in2p3.fr,	Exp Hadronique
Ong Saro	ong@ipno.in2p3.fr,	Exp Hadronique
Jacques Van de Wiele	vandewi@ipno.in2p3.fr,	Th
Madeleine Soyeur	DAPNIA/SPhN msoyeur@cea.fr,	Th
Pierre Guichon	pguichon@cea.fr,	Th
Egle Tomasi-G	etomasi@cea.fr,	Th
Nicole d'Hose	ndhose@cea.fr,	Exp Hadronique
David Lhuiller	d.lhuiller@cea.fr,	HAPPEX
Jean-Marc Le Goff	legoff@hep.saclay.cea.fr,	COMPASS
Francois Gelis	SPhT gelis@spht.saclay.cea.fr,	Th
Edmond Iancu	iancu@spht.saclay.cea.fr,	Th
J. Yves Ollitrault	ollie@spht.saclay.cea.fr,	Th
Robert Lacaze	rlacaze@cea.fr,	Th
Alain Billoire	billoire@cea.fr,	Th

Stam Nicolis	Université de Tours nicolis@phys.univ-tours.fr,	Th
Bertrand laforge	LPNHE Paris laforge@in2p3.fr	ATLAS
François Arleo	LPTHE Paris arleo@lpthe.jussieu.fr	Th
Gines Martinez	SUBATECH Nantes martinez@subatech.in2p3.fr,	ALICE
Yves Schutz	schutz@cern.ch,	ALICE
Hugues Delagrang	Hugues.Delagrang@subatech.in2p3.fr	ALICE
P.-B. Gossiaux	Pol-Bernard.Gossiaux@subatech.in2p3.fr	Th
T. Gousset	Thierry.Gousset@subatech.in2p3.fr	Th
Véronique Bernard	LPT Strasbourg bernard@lpt6.u-strasbg.fr,	Th
Patrick Aurenche	LAPTH Annecy aurenche@lapp.in2p3.fr	Th