SPhT

RAPPORT D'ACTIVITÉ 1998

Illustration de couverture: Représentation simplifiée d'un fragment d'hémérythrine, dont la structure est exclusivement formée de quatre hélices α parallèles.

SOMMAIRE

INTRODUCTION **3**

LE CONSEIL SCIENTIFIQUE EXTÉRIEUR **9**

PHYSIQUE STATISTIQUE **11**

Transitions de phase 13
Systèmes quantiques corrélés 15
Matière molle et biophysique 17
Systèmes et matériaux désordonnés 20
Hydrodynamique et phénomènes hors d'équilibre 24

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE ET THÉORIE DES CHAMPS **27**

Théories des cordes et matrices aléatoires 29
Théorie des champs et applications 30
Systèmes dynamiques 32
Résultats mathématiques 34

ASTROPHYSIQUE, PHYSIQUE NUCLÉAIRE, PHYSIQUE DES PARTICULES . **37**

L'"infiniment grand" 39
"Le fermi" 41
L'"infiniment petit" 46

LES PUBLICATIONS DU SPhT 55

ANNEXES

Les thèses du SPhT 75
Prix, médailles et distinctions scientifiques 75
Encadrement de jeunes chercheurs 76
Activités pédagogiques 77
Edition scientifique 78
Livres 79
Actions de vulgarisation 79
Organisation de conférences ou d'écoles 80
Collaborations institutionalisées 81
Administration de la recherche 82

Le groupe de documentation SPhT-SPEC 85
Le secrétariat administratif 85
L'informatique au SPhT 86
Les physiciens au SPhT 88
(Physiciens du SPhT, postdocs, militaires du contingent, visiteurs de courte et moyenne durée)

INTRODUCTION

Ce rapport d'activité, le huitième, et la prochaine réunion de notre Conseil Scientifique Extérieur (la cinquième) s'inscrivent dans une tradition maintenant bien établie du Service de Physique Théorique (SPhT). En organisant ainsi spontanément une évaluation régulière et extérieure de son activité scientifique, le SPhT a d'ailleurs joué un rôle pilote à l'intérieur du CEA.

Nous espérons que ce rapport donnera une image fidèle de l'activité scientifique du SPhT pendant ces deux dernières années. Les rédacteurs, D. Bernard, J.M. Luck, R. Peschanski et le coordonnateur J.P. Blaizot ont essayé de regrouper les différents thèmes de recherche en trois sous-ensembles, conscients de l'arbitraire inhérent à une telle démarche: la diversité des sujets abordés rend une présentation synthétique difficile. Par ailleurs, comme les fois précédentes, à l'occasion d'un colloque qui se tiendra à Colleville du 30 septembre au 2 octobre 1998, certains sujets seront également présentés de façon orale. A l'issue du colloque, le Conseil Scientifique Extérieur fournira une évaluation de notre activité. Nous remercions d'avance nos collègues de leur aide et du temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer. Leurs avis nous sont précieux et nous essayerons d'en faire le meilleur usage, comme par le passé.

Le rapport d'activité est non seulement une compilation des articles, contributions à conférences, livres et rapports divers des membres du SPhT, mais il essaie aussi de donner un aperçu d'une activité scientifique multiforme, directions de thèse, cours toujours nombreux, travaux d'éditions, participation à des comités divers, j'en oublie sans doute, qui témoigne je crois, d'un certain rayonnement du Service.

Comme introduction à ce rapport, je désire, comme il est de tradition, donner quelques indications sur la structure du SPhT, ses effectifs et sa politique scientifique. De façon à éviter la glose et les répétitions je ne reviendrai pas en détail sur tous les sujets que j'ai abordés dans les introductions des précédents rapports. Sur certains sujets je me bornerai à mettre en évidence les points nouveaux apparus depuis. Comme l'introduction du prochain rapport sera rédigée par mon successeur, cela permettra naturellement un renouvellement du style.

-*Effectif permanent physicien:* Les années 1996-1998 ont vu deux physiciens CEA et un physicien CNRS du SPhT prendre leur retraite. L'année 1997 a par ailleurs été attristée par le décès d'une de nos collègues, Hannah Stern-Kluberg, membre CNRS permanent du SPhT depuis le début des années soixante-dix. Dans le même temps, trois nouveaux jeunes physiciens ont été recrutés sur des postes CEA (Guida, Mallick, Teodorescu), correspondant aux domaines suivants: théorie des champs et groupe de renormalisation, systèmes dynamiques, modèles bidimensionnels intégrables. Un poste

CEA a donné lieu à un appel international de candidatures avec un profil de physicien plus confirmé expert en théorie des cordes.

En raison des départs massifs en retraite de la période précédente, l'effectif CEA reste dans ces conditions en nette diminution, une situation que les recrutements futurs devraient peu à peu corriger.

La situation des personnels CNRS est temporairement nettement plus préoccupante, puisqu'à ce jour aucun physicien CNRS n'a été affecté au SPhT pour compenser les départs récents ou même plus anciens. Dans ces conditions, notre effectif CNRS est en diminution notable et sa moyenne d'âge s'élève.

Comme je le soulignais dans mes précédents rapports, l'obligation de départ à la retraite à soixante ans au CEA continue de poser des problèmes. Certains physiciens souhaitent garder leur place dans le laboratoire. Par ailleurs il serait absurde pour le SPhT de se priver de la collaboration de chercheurs encore très actifs et dont l'implication dans la vie du laboratoire reste importante. Si la possibilité d'une activité scientifique a finalement été reconnue et officialisée sous le titre de "Conseiller Scientifique" des difficultés pratiques demeurent.

-*Effectif non-physicien.* Je rappelle ici que le personnel non-physicien propre au SPhT se compose d'un secrétariat administratif de deux personnes et d'une assistante informatique au 4/5. Le groupe départemental d'informatique est commun au SPhT et au DRECAM (c.à.d. à environ 600 personnes) et deux de nos agents y sont affectés. L'un d'eux ayant pris sa retraite le poste sera repourvu par mutation interne au CEA.

Enfin le service de documentation, commun au SPhT et au Service voisin, le SPEC (en tout environ 200 physiciens), dirigé par M. Gingold, gère en particulier la bibliothèque et le secrétariat scientifique chargé de la saisie des articles. Son effectif actuel est de quatre personnes et ne saurait raisonnablement être diminué.

-*Etudiants de thèse.* Début 1998 huit étudiants préparaient leur thèse dans notre laboratoire. Ceci correspond à prendre en thèse environ trois étudiants par an. Le devenir de ces étudiants est bien entendu un sujet important de préoccupation. Pour nous permettre de suivre la progression de leur travail, et leur apprendre à le présenter nous organisons deux fois par an une journée des thèses où tous sont amenés à s'exprimer.

-*Visiteurs étrangers, séjours post-doctoraux.* Notre programme de visiteurs reste un élément essentiel de notre politique scientifique. Il faut noter ici un fait nouveau: jusqu'à une époque récente les séjours post-doctoraux étaient administrativement réservés à des jeunes physiciens étrangers. Depuis peu il est devenu possible d'inviter également des jeunes chercheurs français ayant juste soutenu leur thèse. Nous l'avons déjà fait (Monthus) et sommes tout à fait disposés à renouveler l'expérience. Il est clair cependant que la publicité sur cette possibilité n'a pas encore été suffisante, et le nombre de candidatures françaises reste faible.

L'accueil des visiteurs étrangers au CEA reste un problème majeur pour lequel aucun progrès n'est perceptible. La quantité de démarches à effectuer, de papiers à fournir et les délais prohibitifs constituent un frein majeur à notre programme d'invitations. Par ailleurs ils augmentent de façon insensée la charge administrative du laboratoire. Ils s'ajoutent encore à des obstacles naturels comme un certain isolement géographique, l'absence de logements aisément disponibles pour des visiteurs de

courte durée...

Les difficultés les plus grandes concernent les visiteurs de moyenne durée (un ou deux mois) et conduisent à une autocensure systématique.

-*Problème de bureaux.* L'augmentation du nombre des étudiants, le désir de mettre à la disposition de nos retraités encore actifs un minimum d'espace de travail a mis notre laboratoire dans une situation extrêmement difficile, la densité dans les bureaux atteignant une valeur impossible à encore augmenter malgré le sous-effectif actuel et le nombre de nos chercheurs en mission de longue durée. En l'absence d'autre solution, il a donc été décidé d'aménager la partie inférieure du bâtiment où se trouvait déjà une partie de la bibliothèque. Au prix de quelques inconvénients que nous espérons mineurs, cela devrait notablement améliorer la situation et permettre un futur retour aux effectifs nominaux dans des conditions raisonnables.

-*Informatique:* Notre plan quinquennal de remise à niveau du matériel informatique se termine. Cela a nécessité un effort d'investissement important. L'équipement standard des bureaux est maintenant le terminal X, essentiellement un par physicien. À la fin de l'année le passage à la couleur sera presque achevé. De plus un petit nombre de Mac et PC sont en service pour usage particulier. Le problème de l'achat et maintenance des logiciels est dans ce cas en partie résolu par la mise en réseau.

Le réseau local a été modernisé, et les ordinateurs départementaux et autre matériel informatique régulièrement mis à jour.

La mise en place, il y a quelques années, du Comité DSM pour le calcul centralisé (sous l'impulsion du SPhT) a permis depuis une utilisation plus rationnelle des moyens de calculs centralisés (C94, T3E) et le SPhT en a bénéficié. Un regret cependant: le manque d'intérêt des bons étudiants pour la physique numérique, alors que des problèmes intéressants existent et que des moyens compétitifs sont maintenant disponibles.

-Efforts de communication et animation scientifique: Annuellement, en alternance avec le Colloque du SPhT, tous les physiciens du SPhT présentent leurs résultats ou problèmes de recherche en cinq minutes. Deux fois par an nos thésards présentent leurs travaux. Enfin un colloque de trois jours s'est tenu régulièrement dans notre laboratoire, destiné à honorer la mémoire de notre collègue Claude Itzykson. Depuis l'hiver 95-96, renouant avec une ancienne tradition, plusieurs physiciens du SPhT ont donné localement des cours sur leurs domaines d'activité. Par contre le journal du SPhT a connu des problèmes qu'il faut rapidement résoudre.

-*Implication du SPhT à l'intérieur de la DSM:* Le SPhT s'implique dans un certain nombre de conseils scientifiques internes de la DSM (DAPNIA, GANIL), et dans l'animation des segments (cinq) desquels il dépend thématiquement. Il organise les travaux du Comité Scientifique chargé d'attribuer au sein de la DSM le temps de calcul sur les ordinateurs centralisés du CEA (C90 et T3D) sur projet scientifique depuis sa création. Il joue un rôle important dans l'organisation des "Rencontres de la DSM".

-*Relations CEA-CNRS:* L'année 1996 avait été marquée par la signature d'un accord entre le CEA et le CNRS qui définit en particulier les conditions de la mise à disposition de physiciens CNRS dans notre laboratoire. Cet accord a amélioré la situation des chercheurs CNRS sur certains points. En particulier le CNRS inclut dorénavant le SPhT dans son envoi de documents aux laboratoires de

physique théorique. Par contre un problème nouveau est apparu: la direction du CNRS semble hésiter à affecter de nouveaux chercheurs CNRS au SPhT, ce qui fait peser la menace d'une diminution rapide de cette composante du laboratoire.

-*L'activité scientifique 1996-1998.* Nous avons essayé de regrouper une activité, par nature très diverse, en un petit nombre de thèmes pour mettre en évidence les domaines d'activité scientifique principaux du laboratoire. Cette démarche a quelque arbitraire dans la mesure où certains travaux sont communs à plusieurs thèmes, et qu'on aboutit à une classification différente suivant qu'on privilégie l'aspect technique ou le domaine d'application physique potentiel. Enfin, comme toujours en physique théorique, certains travaux plus ponctuels (pourtant parfois d'un grand intérêt) ne s'inscrivent dans aucun thème général de façon naturelle.

L'intitulé physique statistique du premier chapitre recouvre en réalité l'ensemble des activités en physique macroscopique.

L'étude des systèmes désordonnés continue à se développer. Cela va de la diffusion d'ondes électromagnétiques dans des milieux hétérogènes aux verres de spin et aux milieux granulaires. Dans les chaînes de spin antiferromagnétismes l'introduction du désordre fait apparaître des phénomènes nouveaux.

La physique des objets géométriques fluctuants, chaînes polymères et membranes, est un des domaines où le SPhT a fait et continue à faire des contributions majeures. Elle relève des grands problèmes conceptuels de la physique et est particulièrement bien adaptée au savoir-faire technique et mathématique des physiciens du SPhT. Un thème nouveau ici est à souligner l'étude des propriétés statistiques des polyélectrolytes. Un thème très original y a sa place avec les problèmes de pliages et de coloriages. L'application des méthodes de la physique à des systèmes biologiques est maintenant une activité bien enracinée dans le Service.

Plusieurs thèmes importants de la physique de la matière condensée sont représentés: les chaînes de spin quantiques, l'antiferromagnétisme dans les systèmes bidimensionnels, les électrons fortement corrélés, ainsi que l'étude de certaines transitions de phase.

Enfin dans la dernière section nous avons réuni un certain nombre de travaux sur les phénomènes hors d'équilibre qui vont des instabilités en hydrodynamique, à la turbulence, la théorie cinétique de Boltzmann discrétisée et les systèmes modèles liés au vieillissement.

On aurait pu aussi mettre dans ce chapitre les membranes auto-évitantes, ainsi que les applications des méthodes de matrices, qu'on trouve au chapitre suivant.

Dans le chapitre, physique mathématique et théorie des champs, nous avons regroupé la plupart des travaux ayant un caractère méthodologique à forte coloration mathématique. On y trouve en particulier l'étude de structures mathématiques générales apparaissant en physique. La détermination de propriétés exactes de systèmes uni- ou bi-dimensionnels, la solution exacte de systèmes modèles ont une longue histoire au SPhT et probablement encore beaucoup d'avenir. On peut en dire autant de l'étude des distributions de valeurs propres de matrices aléatoires de grande taille. Notons ici une tentative basée sur une idée de groupe de renormalisation d'étudier la barrière de la charge centrale c=1, un problème lié à la théorie des cordes. Apparaissent également dans ce chapitre, la théorie des membranes auto-évitantes, un domaine où le SPhT a fait des contributions majeures, une analyse

rigoureuse des propriétés des théories des champs dans un espace-temps courbe ou à température finie, ainsi que l'étude semi-classique de systèmes quantiques, dont la limite classique est chaotique. Enfin certains problèmes liés à l'intégrabilité des équations d'Einstein ont été abordés. C'est peut-être là l'émergence d'un thème nouveau.

Dans le dernier chapitre sont présentés des travaux, en général plus directement motivés par les grands programmes expérimentaux de physique lourde du CEA et donc parallèles aux activités du DAPNIA. En physique nucléaire les thèmes restent l'étude de la structure de noyaux dans des conditions extrêmes, noyaux loin de la vallée de stabilité ou très déformés, qui renseignent sur la force nucléaire dans des situations nouvelles.

L'étude de la matière hadronique basée sur la théorie des perturbations chirales reste un thème très vivant. Les collisions d'ions ultra-relativistes conduisent à étudier la théorie des champs à haute température et à examiner les propriétés des plasmas quarks-gluons.

En parallèle avec la physique des grands accélérateurs, la discussion des extensions supersymétriques du modèle standard, souvent inspirées par la théorie des cordes, se poursuit. En prévision de la génération prochaine d'accélérateurs les possibilités de mise en évidence de processus nouveaux dans ces modèles sont analysées. En liaison avec le programme expérimental de Hera à DESY la modélisation de la physique de la région cinématique dite de petits x reste un thème très actif. L'émergence d'une symétrie conforme dans la QCD (Chromodynamique Quantique) à haute énergie a été exploitée. Enfin les méthodes originales de calcul perturbatif en QCD, inspirées par la théorie des cordes, trouvent sans cesse des applications nouvelles.

Enfin à la frontière de la physique mathématique une activité en théorie des cordes se met en place, qu'un recrutement extérieur d'un physicien confirmé devrait renforcer.

En astrophysique le thème dominant est l'étude des grandes structures et de la distribution de matière de l'univers, ainsi que leur évolution. Ce programme, lié aux grandes questions cosmologiques de l'évolution de l'univers, de la matière noire manquante, est très prometteur compte tenu des programmes expérimentaux en cours ou dans le futur proche (comme l'observation du rayonnement diffus du fond du ciel, de micro-lentilles gravitationnelles...). Une collaboration avec les Services d'Astrophysique et de Physique des Particules se met en place. Un recrutement sur ce thème d'un jeune physicien est en cours.

Une remarque commune à ces deux derniers thèmes, comme résultat des recrutements effectués et de l'affectation des étudiants, leur place dans l'activité du SPhT a sensiblement augmenté.

-*Pensées prospectives.* Pour ce qui concerne les tendances futures, je ne serai guère plus précis que dans les rapports précédents. Faire des prédictions sur les tendances scientifiques des prochaines années pour une discipline où la mobilité thématique est aussi forte qu'en physique théorique conduit le plus souvent à naviguer entre la trivialité et l'erreur. Je choisirai avec modestie la trivialité sans être néanmoins sûr d'échapper complètement à l'erreur.

- Notre activité qui est parallèle aux programmes expérimentaux de la DSM sera maintenue. Ceci vaut pour la physique hadronique et l'astrophysique aussi bien que la physique plus légère. Une préoccupation néanmoins, la physique nucléaire, dont l'avenir reste fragile.

- En physique légère les aspects systèmes désordonnés, systèmes dynamiques et la physique à

connotation biologique paraissent faire partie des tendances de fond de notre discipline, mais de façon générale la physique légère continuera au gré des découvertes expérimentales et des progrès conceptuels à fournir une mine de problèmes au théoricien du SPhT.

- Il serait judicieux de donner une place plus grande à la physique "numérique", de façon à bénéficier des moyens de calcul importants actuellement disponibles.

- Je pense enfin que notre activité de physique mathématique et autres problèmes conceptuels, qui a souvent été une activité d'excellence, va se maintenir à un haut niveau, car elle correspond de façon idéale à la formation scolaire de nos meilleurs étudiants. La physique sous-jacente va sans doute évoluer sans qu'il soit très clair actuellement dans quelle direction. Par ailleurs, suivant ainsi un avis de notre CSE, nous avons cherché à nous renforcer en théorie des cordes. Nous espérons qu'un recrutement extérieur nous y aidera. Un candidat a été sélectionné après un appel à candidatures international, qui a donné un accord de principe.

Jean-ZINN-JUSTIN

CONSEIL SCIENTIFIQUE EXTÉRIEUR

A l'initiative de notre service, un Conseil Scientifique extérieur a été mis en place en 1990. Son rôle est de procéder à une évaluation critique de notre activité. Ce conseil, renouvelé par partie tous les deux ans, a la composition suivante:

- L. ALVAREZ-GAUMÉ, CERN
- M. LE BELLAC, Université de Nice
- J. CARDY, Université d'Oxford, Département de Physique
- M. LÜSCHER, DESY, Hambourg
- P. MITTER, Université de Montpellier
- A. PICH, Département de Physique, Université de Valence
- D. POILBLANC, Université P. Sabatier, Toulouse
- N. SOURLAS, ENS Paris

PHYSIQUE STATISTIQUE

Les travaux rassemblés sous ce titre présentent plus que jamais une très grande variété, aussi bien par les systèmes physiques étudiés, qui vont des chaînes de spins aux protéines et à la turbulence, que par les méthodes utilisées, phénoménologiques, numériques, ou analytiques.

L'étude des **transitions de phase** s'est enrichie de contributions sur des sujets inattendus, comme les effets de la parité du nombre d'électrons dans des échantillons supraconducteurs mésoscopiques, ou la distribution de l'énergie à une transition du premier ordre. Notre intérêt pour les **systèmes électroniques corrélés** s'est approfondi et diversifié. Mentionnons, dans le domaine du magnétisme quantique, l'analyse d'expériences sur des chaînes de spins 2, et dans celui des supraconducteurs à haute température, une étude du modèle de Hubbard bidimensionnel. Le chapitre intitulé **matière molle et biophysique** regroupe nos travaux sur les polymères, les membranes et les protéines. À ces domaines se sont jointes des activités plus récentes, concernant par exemple les polyélectrolytes, ou la combinatoire des pliages et des coloriages. Nous avons continué à être très actifs dans divers domaines de la théorie des **systèmes désordonnés**, qu'ils soient plus traditionnels, comme les milieux granulaires, ou les verres de spins, ou plus récents, comme la localisation faible, ou la propagation des ondes électromagnétiques. Le dernier chapitre, consacré aux **phénomènes hors d'équilibre**, rassemble à lui seul une grande variété de contributions, concernant les instabilités hydrodynamiques et la turbulence, les modèles de Boltzmann discrets, et des études de systèmes modèles reliés aux phénomènes de vieillissement.

TRANSITIONS DE PHASE

Les transitions de phase sont toujours un domaine de recherche très actif dans notre laboratoire, et particulièrement l'étude des phénomènes critiques par des techniques de théorie quantique des champs. D'autres contributions portent sur des sujets plus inattendus, comme les effets de la parité du nombre d'électrons dans des échantillons supraconducteurs mésoscopiques, ou la distribution de l'énergie à une transition du premier ordre.

Problème à N corps : méthodes variationnelles

Nous avons proposé des extensions variationnelles de la théorie de Hartree-Fock-Bogolyubov, qui permettent à la fois l'optimisation du calcul des corrélations et des fluctuations et la restauration d'invariances brisées. Les résultats ont une plus grande cohérence que les méthodes variationnelles usuelles. En particulier, les identités thermodynamiques sont respectées. Cette méthode permet de retrouver la RPA dans un cadre variationnel. Elle a été appliquée au calcul des effets pair-impair, à la fois pour des noyaux et pour des échantillons supraconducteurs finis. Des différences qualitatives ont ainsi été mises en évidence entre des systèmes ayant un nombre pair et un nombre impair d'électrons, concernant en particulier les propriétés thermiques et le gap, qui présente un phénomène de réentrance pour les systèmes impairs [T97/070].

Un article de revue a été consacré à la méthode de projection, et à ses applications à la mécanique statistique hors d'équilibre et à la physique nucléaire [T96/143].

Théorie des champs et phénomènes critiques

Nous avons effectué une nouvelle analyse des séries perturbatives de la théorie des champs en $(\phi^2)^2$ à N composantes en dimension $d = 3$ et $d = 4 - \epsilon$. Nous avons ainsi obtenu une estimation non perturbative de l'équation d'état du modèle d'Ising [T96/116], ainsi que des valeurs plus précises pour les exposants critiques des classes d'universalité correspondant à N compris entre zéro et quatre [T97/040].

Dans le cadre des phénomènes critiques bidimensionnels décrits par des théories conformes, nous avons appliqué la technique du développement des produits d'opérateurs à la Wilson à l'étude des divergences infrarouges des théories conformes quantiques perturbées par un opérateur pertinent, comme le modèle d'Ising critique perturbé par un champ magnétique et le modèle d'Ising tricritique [T96/068, T96/142]. Une technique variationnelle a également été proposée pour obtenir une estimation numérique des valeurs moyennes des opérateurs composites dans le vide [T97/055].

La trivialité de la théorie du champ scalaire en ϕ^4 en dimension quatre est clairement établie. Toutefois, deux travaux récents ont indiqué l'existence de directions pertinentes pour le point fixe gaussien. Si ces directions présentent les propriétés requises, non seulement la théorie du champ scalaire pourrait ne plus être nécessairement triviale, mais elle présenterait en plus la propriété de liberté asymptotique. Nous avons considéré l'équation complète du groupe de renormalisation dans l'approximation du potentiel local, afin de rechercher les trajectoires associées aux directions pertinentes nouvelles. Nous montrons que ces dernières se situent dans le secteur où le coefficient de ϕ^4 est négatif. Nous discutons

la possibilité d'y associer une théorie des champs et montrons qu'en dimension trois cette possibilité est exclue, alors qu'en dimension quatre le problème reste ouvert [en préparation].

Propriétés critiques de systèmes coulombiens

Du fait de la présence d'interactions coulombiennes à longue portée, les fluides ioniques ont parfois des propriétés critiques inattendues, comme par exemple un comportement de type champ moyen alors que l'on attendrait plutôt un comportement de type Ising. Dans ces systèmes complexes, plusieurs forces peuvent jouer un rôle: interaction coulombienne, interaction solvophobique, liaison hydrogène, etc. Ceci peut influer, non seulement sur le type de comportement critique asymptotique, mais aussi sur l'approche de celui-ci, pouvant mettre en jeu des corrections aux lois d'échelle plus ou moins importantes. Nous avons étudié le cas du mélange binaire ionique éthylammonium-n-octanol, qui manifeste un comportement critique apparent de type Ising, sans correction. Cette particularité semble due à une interaction hydrogène-hydrogène à courte portée dont l'effet viendrait contrarier celui de l'interaction coulombienne. Aussi bien l'analyse des mesures de diffusion de lumière que celle de la courbe de coexistence indiquent que des corrections aux lois d'échelle d'amplitudes faibles et négatives seraient présentes dans ce système [T95/139, T96/014, T96/088].

Les techniques du groupe de renormalisation fournissent, en principe, une voie possible pour l'étude de ces systèmes coulombiens. Ceci nécessite l'obtention préalable d'un hamiltonien effectif de type Landau-Ginzburg-Wilson. Considérant le modèle le plus simple pour les systèmes ioniques, nous avons montré qu'un hamiltonien effectif de type ϕ^4 avec une constante de couplage négative pourrait lui correspondre. Nous montrons alors que les trajectoires du groupe de renormalisation offrent diverses possibilités: transition du premier ordre, transition critique de type Ising avec une influence importante du comportement classique, ou transition tricritique [T97/073].

Transitions du premier ordre

À l'approche d'une transition de phase du premier ordre, la formation dans la phase stable de gouttelettes de l'autre phase, de toutes tailles et de topologies variées, constitue un signe précurseur de la transition. En volume fini, la probabilité de présence d'une bulle de taille comparable à celle du système devient significative, rendant possible la coexistence des deux phases dans un voisinage de la transition. Le modèle des gouttelettes (droplet model), dû à M. Fisher, a donné à ces idées un contenu quantitatif, qui a surtout été exploité en relation avec l'invariance d'échelle dans les phénomènes critiques. Une prédiction moins explorée du modèle est celle d'une singularité essentielle des fonctions thermodynamiques dans la variable contrôlant la transition. L'existence de cette singularité dans la susceptibilité en fonction du champ magnétique est démontrée rigoureusement pour le modèle d'Ising bidimensionnel. Appliquées au cas du modèle de Potts bidimensionnel à q états, avec $q > 4$, ces idées ont permis d'affiner les conclusions de travaux numériques et analytiques antérieurs. En particulier, le comportement des cumulants de l'énergie est caractérisé en fonction des indices critiques connus du modèle à $q = 4$, la série ainsi obtenue pour l'énergie libre de la phase symétrique est resommée, et sa singularité dominante

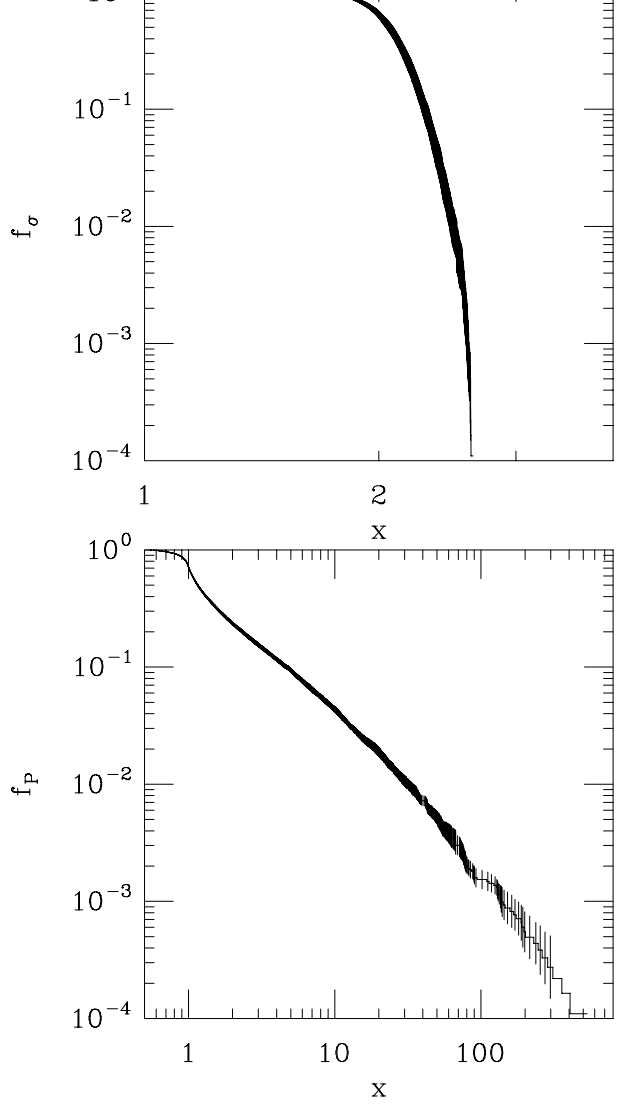
est reconstruite. Le caractère non académique de ces résultats est illustré d'une part par le parfait accord des cumulants prédits avec des simulations numériques de haute précision, d'autre part en fournissant un cadre concret pour analyser la notion de métastabilité au-delà de la phénoménologie habituelle [en préparation].

SYSTÈMES QUANTIQUES CORRÉLÉS

Notre intérêt pour les systèmes électroniques corrélés s'est confirmé, et nos activités dans ce domaine se sont diversifiées. Mentionnons en particulier, dans le domaine des supraconducteurs à haute température, une étude du modèle de Hubbard bidimensionnel, dans celui du magnétisme quantique, l'analyse d'expériences sur des chaînes de spins 2, ainsi qu'une formulation nouvelle de l'effet Hall quantique.

Électrons corrélés

L'étude de modèles d'électrons en forte interaction est essentielle à la compréhension de la supraconductivité à haute température. Le modèle de Hubbard attractif bidimensionnel, pris en tant que modèle effectif pour ce phénomène, a été étudié à la fois par des simulations numériques et par des développements en puissance du paramètre de recouvrement. Il s'agissait d'explorer le domaine des basses températures où une transition de type Kosterlitz-Thouless est attendue à une température critique qui s'annule à demi-remplissage. Cette transition peut être analysée à partir de l'accroissement de la corrélation des paires lorsque la température décroît, ou encore au moyen des effets de taille finie. Les données obtenues, et celles déjà publiées par d'autres groupes et réanalysées ici, ne sont pas en faveur



Dans la simulation numérique du modèle de Hubbard attractif, différentes observables sont analysées. Les distributions de probabilité correspondantes peuvent être représentées par la fraction du nombre des événements observés avec une valeur de la variable plus grande que l'abscisse x. En général les distributions ont une variance finie et sont dans le bassin d'attaction d'une loi normale, comme dans la figure du haut pour la variable σ, dont la valeur moyenne est reliée au nombre moyen d'électrons, et dont la distribution est gaussienne. En bas, il s'agit de la corrélation de paire, qui diverge à la température critique. Sa distribution observée à grand x est en loi de puissance $x^{-\nu}$, avec $1 < \nu < 2$, et ν décroissant quand la température décroît. Cette loi de probabilité est dans le bassin d'attraction d'une loi de Lévy (d'après [T96/114]).

d'une telle transition : elle ne peut exister qu'à très basse température, contrairement à ce qui était généralement suggéré. Le nombre d'électrons non appariés est pratiquement indépendant de la température, à intensité fixée du potentiel attractif. Au contraire, la susceptibilité magnétique statique décroît rapidement avec la température, ce qui ne peut donc être relié seulement à la formation de paires. Les approximants de Padé associés au développement en série de la susceptibilité donnent des résultats raisonnables jusqu'à des températures plutôt basses, comme le montre la comparaison avec les résultats des simulations numériques [T96/114].

La famille de composés $La_{1-x}A_xMnO_3$ (où A=Ca, Sr ou Ba) est actuellement très étudiée, notamment en raison de sa très grande magnétorésistance. Certains aspects de la physique de la transition métal-oxyde peuvent être révélés par le modèle du réseau de Kondo ferromagnétique. Les expériences sur les manganites ont stimulé l'étude de ce modèle, que ce soit par diagonalisation exacte, simulations de Monte-Carlo quantique, groupe de renormalisation dans l'espace réel, ou théorie du champ moyen dynamique. Nous avons étudié le modèle avec un terme cinétique de portée infinie. Le spectre est obtenu analytiquement, à la limite d'un couplage de Hund infini, en utilisant une supersymétrie dynamique $spl(1,2)$. Une relation de récurrence sur les multiplicités permet d'obtenir la densité d'états. Pour une valeur particulière de la répulsion coulombienne, la supersymétrie n'est pas restreinte au cas d'un couplage infini, ce qui permet d'obtenir analytiquement les premières corrections à cette limite. Le spectre corrigé est en bon accord avec les résultats de diagonalisation exacte d'un petit amas, pour un couplage de Hund assez grand. L'état fondamental ferromagnétique n'est obtenu que dans le cas où l'on a un seul électron, contrairement à ce qui est généralement attendu, mais ceci n'est peut-être que le reflet de la symétrie élevée du modèle considéré. Enfin les spectres semiclassique et quantique sont comparés [T98/042].

Chaînes de spins

Les chaînes de spins $S = 1$ étaient jusqu'à une date très récente les seuls exemples réels de composés qui présentent un gap de Haldane. Un groupe de chimistes de l'Université de Floride (Gainesville) a synthétisé un candidat de spin 2, $MnCl_3$, qui a été étudié sous champ magnétique. Nous avons montré que les valeurs des champs critiques observées étaient compatibles avec les paramètres d'échange tirés de la susceptibilité magnétique. Ceci nous a donné la valeur du gap de Haldane dans ce composé. En particulier nous avons ainsi prouvé son existence [T96/154].

Nous nous sommes d'autre part intéressés à l'influence du désordre sur la physique des chaînes de spins quantiques. Un schéma de renormalisation dans l'espace réel adapté au cas de la chaîne de spins $S = 1$ isotrope a été proposé, en partant d'une ancienne idée de Ma et Dasgupta. Cette analyse a permis de prédire une transition de phase en fonction de la force du désordre de liens, entre une phase à petit désordre avec un ordre topologique caractéristique de la phase de Haldane (mais pas de gap), et une phase de singulets aléatoirement distribués à fort désordre. Il s'agit d'une transition de percolation, dont les exposants critiques ont été déterminés exactement, chose rare pour un système quantique désordonné [T97/044, T97/161].

Enfin, la chaîne de spins $S = 1$ anisotrope a été étudiée dans le régime d'un faible désordre, au moyen d'une théorie effective obtenue par bosonisation abélienne. Le groupe de renormalisation au deuxième ordre permet de discuter la sta-

bilité des diverses phases vis-à-vis de perturbations aléatoires. Cette méthode est complémentaire de la précédente : elle permet d'étudier des situations plus variées, mais seulement à faible désordre [T97/072].

Effet Hall quantique

Des expériences récentes ont mis en évidence un comportement de type liquide de Fermi dans des systèmes à effet Hall quantique fractionnaire, pour des facteurs de remplissage rationnels à dénominateur pair. Une explication de ce phénomène a été proposée par Halperin, Lee et Read, au moyen de la théorie des fermions composites. Bien que cette méthode ait eu des succès certains, nous avons tenté de proposer une théorie plus simple, qui ait une base microscopique. Nous avons défini un modèle de bosons chargés sans spin au facteur de remplissage $\nu = 1$. Ce modèle devrait décrire, au moins qualitativement, la situation physique correspondant aux expériences. La dynamique de ce modèle peut être décrite de façon exacte en termes de fermions qui sont des dipôles neutres. En dépit de certaines difficultés, ce modèle rend bien compte de la physique attendue, et se montre prédictif [T97/157].

MATIÈRE MOLLE ET BIOPHYSIQUE

Nos travaux dans le domaine des polymères et des membranes font intervenir une variété de techniques, allant de la théorie quantique des champs à l'analyse combinatoire des pliages et des coloriages. L'étude de macromolécules aux propriétés particulières, comme les polyélectrolytes et les protéines, s'est également développée.

Polymères et membranes

Nous avons poursuivi l'étude des polymères et des membranes, un vaste domaine mettant en oeuvre diverses méthodes théoriques, allant de problèmes de dénombrement d'objets géométriques à des techniques de renormalisation en théorie des champs continue [T97/001, T97/126].

Les techniques de renormalisation développées pour traiter le problème des membranes auto-évitantes ont été appliquées à un problème de membranes anisotropes, les tubules auto-évitants. Il s'agit d'une géométrie particulière, où la membrane s'allonge dans une direction et se replie dans la direction transverse [T97/036].

Les membranes ont la propriété remarquable d'obéir à une théorie élastique anormale, gouvernée par leurs fluctuations thermiques. En particulier, leur module de Poisson a une valeur universelle négative, ce qui signifie que sous l'effet d'une tension dans une direction la membrane s'étire également dans la direction transverse, contrairement aux matériaux élastiques usuels qui se contractent. La valeur universelle du module de Poisson a été mesurée par des simulations numériques [T96/110].

Pliages et autres problèmes combinatoires

Une des façons les plus simples de modéliser les fluctuations de forme d'une membrane est de considérer le pliage d'un réseau bidimensionnel sur lui-même. Les problèmes de pliage définissent des modèles statistiques sur réseau, dont les degrés de liberté prennent en compte les contraintes géométriques du problème d'origine. Deux grandes classes de problèmes peuvent être distinguées. Le repliement d'une membrane polymérisée correspond au pliage de réseaux ré-

guliers, alors que la modélisation des membranes fluides utilise le pliage de réseaux aléatoires.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au cas le plus simple du pliage du réseau triangulaire régulier sur lui-même. Cette étude a été complétée par celle du pliage de ce réseau dans l'espace à trois dimensions, en présence d'énergie de courbure et de courbure spontanée aléatoire [T96/124, T97/151]. Le diagramme de phases d'autres réseaux, comme le réseau carré à diagonales, a également été obtenu.

Nous avons par ailleurs commencé l'étude du pliage de triangulations aléatoires. Ce problème est équivalent à un double problème de coloriage : le tricoloriage des arêtes et, simultanément, le tricoloriage des sommets de la triangulation. Chacun de ces deux problèmes a pu être étudié indépendamment par des techniques de matrices aléatoires. Le coloriage des arêtes, équivalent au problème des quatre couleurs pour le coloriage des cartes, est en partie résolu perturbativement. Le problème du coloriage des sommets, plus simple, a été complètement résolu. Il reste maintenant à combiner ces résultats [T97/122, T97/133]. Des résultats exacts ont été également obtenus pour l'énumération des chemins hamiltoniens sur des triangulations aléatoires [T98/007].

L'énumération des réseaux série-parallèle est un autre prototype de problème combinatoire en mécanique statistique. La particularité de ces réseaux est qu'ils se construisent à l'aide d'une récurrence exacte, ce qui permet de calculer certaines de leurs propriétés pour des tailles allant jusqu'à plusieurs milliers, et d'extrapoler ces résultats énumératifs à la limite thermodynamique avec une très grande précision. La valeur exacte de certains exposants critiques a également été obtenue [T97/074].

Électrolytes et polyélectrolytes

Les polyélectrolytes sont des polymères chargés. De ce fait, ils sont solubles dans l'eau, ce qui fait leur grand intérêt industriel. Par exemple, ils sont utilisés pour la stabilisation des suspensions colloïdales (fabrication des peintures, traitement des papiers, traitement des eaux, etc.). Nous nous sommes intéressés au comportement de polyélectrolytes confinés entre deux plaques dans des solutions contenant du sel. Nous avons montré que l'adsorption des polyélectrolytes sur les plaques pouvait être fortement augmentée par les effets électrostatiques. Nous avons étudié en particulier les cas où la théorie linéaire de Debye-Hückel était en défaut. Nous obtenons le résultat surprenant (mais confirmé expérimentalement) que des surfaces de même charge peuvent s'attirer lorsqu'elles sont dans un bain de polyélectrolyte. Nous avons aussi déterminé les fonctions de structure des polyélectrolytes et polyampholytes, pour diverses distributions de charges. Ces fonctions sont mesurées par des expériences de diffraction de neutrons.

Nous avons également développé une théorie variationnelle pour les polyélectrolytes. Nous avons étudié en détail le cas des chaînes semi-flexibles, et le cas où il y a écrantage. Nous avons calculé les divers comportements des corrélations en fonction de l'échelle considérée, ainsi que les longueurs de crossover qui caractérisent ces changements de régime. Nous avons proposé une théorie des champs pour les solutions d'électrolytes, et plus particulièrement les solutions de colloïdes. Nous avons montré que des particules de même charge peuvent avoir une interaction effective attractive, si le solvant électrolyte est asymétrique [T97/166, T97/168].

Nous avons introduit un modèle de liaisons fortes pour les polymères conducteurs, dans

lequel les rotations des liaisons π sont des degrés de liberté en équilibre thermique avec les degrés de liberté électroniques. Ce modèle est une représentation schématique des polyacétylènes et polythiophènes. Nous avons effectué un développement en boucles de diverses observables, dont les résultats sont en accord remarquable avec des simulations numériques [T97/150].

Enfin, nous avons étudié l'effet du cœur dur sur les électrolytes. Nous avons développé des équations de Poisson-Boltzmann modifiées, qui prennent en compte la répulsion stérique. Un des résultats remarquables est la saturation de la couche d'adsorption des électrolytes sur une surface chargée. Ces résultats ont été confirmés expérimentalement par une équipe de l'Institut Curie, qui a étudié l'adsoption de gros ions sur des couches de Langmuir chargées [T97/048, T97/049, T97/082].

Protéines

Le squelette des protéines porte une liaison peptidique, qui possède un fort moment dipolaire, orthogonal à la ligne qui joint les carbones α. Nous avons modélisé ce squelette comme un polymère, dont les monomères portent un moment dipolaire qui peut tourner librement autour de l'axe du monomère. Nous avons aussi introduit dans le modèle la chiralité naturelle des protéines (tous les acides aminés sont gauches, à l'exception de la glycine). Nous avons étudié la théorie de Landau de ce modèle, et souligné la similitude de son diagramme de phases avec celui des cristaux liquides, en particulier des phases bleues. Le paramètre d'ordre est un tenseur, dont les valeurs propres sont précisément reliées aux structures secondaires des protéines (hélices α et feuillets β) [T97/027].

Nous nous sommes intéressés à la dynamique de l'effondrement des polymères en mauvais solvant. Cette étude est motivée par des expériences récentes sur le repliement des protéines, qui permettent des mesures à des temps de l'ordre de la microseconde. En utilisant une généralisation à la dynamique d'une méthode développée par Edwards pour la statique, nous avons calculé les comportements de diverses observables aux temps courts et aux temps longs. Nous retrouvons ainsi les échelles de temps caractéristiques des premiers instants du repliement, ainsi que les lois d'échelle pour la variation du rayon de gyration [T96/118].

Par analogie avec un modèle de polymère semi-flexible introduit pour décrire les structures secondaires des protéines, nous avons étudié un modèle de boucles sur réseau à deux dimensions. Le diagramme de phases de ce modèle possède un point de Lifshitz qui peut être caractérisé exactement [T97/063]. Nous avons également étudié le cas d'une chaîne amphiphile périodique : la compétition entre l'attraction des maillons hydrophobes et la répulsion des hydrophiles conduit à des phases compactes ou branchées [T98/022]. Nous nous sommes intéressés au problème d'adsorption de protéines sur des monocouches de lipides, aux interfaces eau-air. Le diagramme de phases des protéines fait apparaître des phases variées, en particulier une phase semi-localisée, observée expérimentalement par microscopie sous fluorescence. Toujours dans le cadre des protéines, nous avons étudié un modèle de polymères semi-flexibles en mauvais solvant. Nous avons montré que, pour une faible rigidité des chaînes, le système subit d'abord une transition d'effondrement ordinaire à haute température, similaire au point θ, avant de subir une transition de cristallisation du premier ordre, à plus basse température, qui s'apparente à la transition de repliement des protéines. Quand la ri-

gidité augmente, les deux températures de transition se rapprochent, et finalement se rejoignent [en préparation].

D'autre part, un important effort a été consacré à l'étude de corrélations entre mutations en des sites apparemment éloignés le long d'une protéine, mais rapprochés par des structures secondaires. Les méthodes statististiques sont compliquées par des effets phylogénétiques, conduisant à des variables aléatoires non indépendantes, et par des fluctuations d'échantillonnage sur des populations assez faibles. Le recensement de ces effets, la méthodologie à employer et les seuils de confiance à adopter ont fait l'objet de plusieurs travaux [T97/124, T97/127, T98/016].

Mentionnons enfin un long article de revue sur la mécanique statistique des protéines [T97/003].

SYSTÈMES ET MATÉRIAUX DÉSORDONNÉS

L'étude des systèmes désordonnés est une autre constante de nos activités en physique statistique. Les travaux décrits ci-dessous illustrent la variété de nos activités : étude statistique de la géométrie des milieux granulaires, développement autour du champ moyen et simulations numériques pour les verres de spins, étude de la propagation des ondes électromagnétiques dans différents régimes de longueur d'onde.

Matériaux granulaires

Parmi les modèles géométriques de matériaux granulaires, les plus simples sont les assemblées de grains sphériques, qu'ils soient en concentration faible (suspensions, lits fluidisés) ou forte (empilements). Nous avons étendu à ces structures tridimensionnelles les investigations effectuées précédemment dans le cas bidimensionnel. L'impossibilité d'étudier des ensembles tridimensionnels autrement que par des coupes destructrices nous a conduits à faire appel à des simulations numériques. Nous avons ainsi engendré des assemblées de grains sphériques monodisperses ou polydisperses de compacité variable [T96/007, T97/147, T98/040]. L'éventail des algorithmes et de leurs possibilités a été largement étendu, en particulier pour simuler des réorganisations collectives, analogues à celles observées à deux dimensions sur la table à coussin d'air de l'université de Rennes [T98/013]. La principale méthode d'analyse est l'étude des propriétés statistiques des cellules de Voronoï (ou des cellules radicales dans le cas polydisperse) construites autour de chaque grain, afin de définir son encombrement. La nouveauté essentielle des milieux granulaires à trois dimensions est la non conservation du nombre moyen de cellules voisines d'une cellule donnée. Dans le cas monodisperse, lorsque la compacité croît, ce nombre moyen décroit à partir de la valeur 15,53 du modèle de Johnson-Mehl, jusqu'à une valeur minimale de 14, qui est celle que l'on obtiendrait en déformant légèrement une cellule de Wigner-Seitz dans un arrangement ordonné [T97/091]. Ces nombres, très supérieurs au nombre minimal de voisins dans une mousse, soit 8, et nettement supérieurs au nombre maximal de sphères en contact, soit 12, impliquent en particulier l'existence de cellules à quatre, cinq et six faces.

Enfin, l'étude d'ensembles bidimensionnels de polygones monotailles en cours de densification a été approfondie dans le cas des pentagones, et étendue aux heptagones [T96/146].

Verres de spins et systèmes en champ aléatoire

La complexité de ces systèmes est due aux effets combinés du désordre gelé et de la frustration. Dans le cadre de la méthode des répliques à la Parisi, il a été proposé de les décrire au moyen d'un champ tensoriel, indexé par une paire d'indices de répliques. À l'approximation du champ moyen, la phase vitreuse est caractérisée par une brisure de la symétrie des répliques. Le nombre de pas de brisure doit tendre vers l'infini, pour assurer la stabilité de la solution en haute dimension. Il en résulte une complexité considérable des propagateurs, qui portent quatre indices de répliques, et donc une impossibilité pratique d'aller au-delà de la théorie du champ moyen.

Ces dernières années, nous avons développé les outils qui devraient permettre d'aller plus loin, c'est-à-dire d'effectuer des développements perturbatifs autour de la solution du champ moyen. Ces outils consistent en l'introduction d'une transformation de Fourier adaptée aux arbres ultramétriques, pour un nombre quelconque de pas de brisure. Ces transformées de Fourier de répliques réduisent considérablement les complications mathématiques rencontrées jusqu'alors. Elles permettent la diagonalisation par blocs des matrices de propagateurs à quatre indices [T95/154]. L'extension de la méthode à la production d'une base orthonormée de vecteurs propres est en cours. Elle devrait permettre l'écriture de règles de Feynman simplifiées pour le développement en boucles. Un article de revue est sorti un peu trop tôt pour y déployer pleinement les vertus des transformées de Fourier de répliques [T97/005].

La brisure de la symétrie des répliques engendre des bosons de Goldstone, comme toute symétrie continue. Les identités de Ward associées ont reçu un début d'exploration [T97/041].

En ce qui concerne les modèles en champ aléatoire, nous avons mis en évidence une instabilité sur la ligne de Curie [T98/039]. Des travaux sont en cours, afin de décrire la phase vitreuse qui existe au-dessus de cette ligne.

Une simulation numérique de grande échelle du modèle d'Edwards-Anderson en trois et quatre dimensions, dans la phase de basse température, est en cours d'achèvement. L'un des buts poursuivis est de mieux comprendre le lien entre la théorie des verres de spins dans l'approximation du champ moyen et les modèles réalistes de verres de spins. Il s'agit d'un problème numérique particulièrement difficile, à cause de l'extrême lenteur de la dynamique, intrinsèque à la phase vitreuse, et de la nécessité de simuler un grand nombre de réalisations des couplages gelés. Nous simulons un système de deux répliques soumises à la même réalisation des couplages. La méthode, originale, consiste à introduire un terme d'interaction entre les deux répliques, fonction de la valeur instantanée du paramètre de Parisi q, et déterminé pour chaque réalisation de façon à ce que l'histogramme de q soit approximativement plat. Cette méthode permet à la fois d'accélérer la dynamique et d'obtenir un bon échantillonnage de toutes les valeurs de q. Nous avons ainsi une alternative aux méthodes habituelles de simulation, ce qui est particulièrement souhaitable pour un modèle dont la dynamique est très lente. D'autre part, nous avons accès à des quantités très difficiles à mesurer autrement, comme la distribution de probabilité de q réalisation par réalisation et le comportement de la queue de cette distribution [en préparation].

L'influence d'un champ magnétique aléatoire sur le comportement critique du modèle d'Ising est une question toujours ouverte. Toutefois, nous disposons désormais d'estimations plus

fiables des exposants critiques en trois dimensions. Nous pouvons donc à nouveau nous poser la question de la réduction dimensionnelle : y a-t-il un rapport entre la classe d'universalité du problème en champ aléatoire et le problème pur? Nous avons montré que les estimations des exposants en trois dimensions sont compatibles avec les exposants du modèle pur en dimension $d \approx 1.5$, calculées par prolongement analytique du développement en $\epsilon = 4 - d$. Ce résultat est en accord avec l'idée de réduction dimensionnelle généralisée [T97/051].

Nous avons introduit un principe variationnel gaussien pour l'étude des polymères dirigés, qui ne fait pas appel à la méthode des répliques. Pour une configuration donnée du désordre, la fonction de partition du système est approximée par une forme gaussienne, invariante par translation. Les résultats obtenus dépendent de la configuration du désordre. Ils ne sont compatibles avec une brisure complète de la symétrie des répliques que dans certains cas [T97/026, T97/103].

Propagation des ondes électromagnétiques

Nous avons effectué une étude détaillée de la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux ayant une longueur d'écran finie, comme les semiconducteurs et les conducteurs ioniques. Ce travail a conduit à la prédiction d'effets nouveaux, comme la possibilité d'absorption totale d'une onde incidente, ou d'absorption réduite (augmentation de la transparence), ou encore de refroidissement local, bien que le phénomène soit globalement dissipatif [T97/002, T97/140].

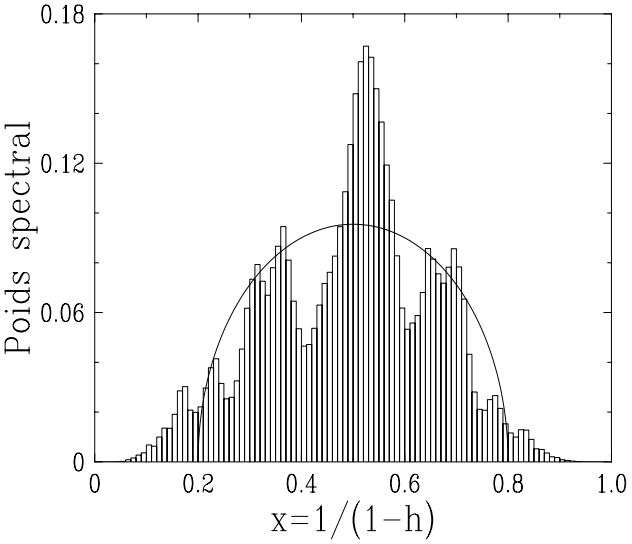
La propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu désordonné fait intervenir plusieurs longueurs caractéristiques. Le régime de diffusion multiple correspond au cas où la longueur d'onde du rayonnement est la plus petite de ces longueurs. Une situation étudiée expérimentalement est la propagation de la lumière dans des suspensions de billes de latex dans un fluide, ou des échantillons d'oxydes métalliques. La théorie du transfert radiatif fournit une description de ces phénomènes à la fois naturelle et quantitativement correcte. Nous avons traité en détail le cas des diffuseurs de Rayleigh. Nous avons ainsi obtenu des prédictions analytiques concernant par exemple la dépendance angulaire de l'intensité en réflexion et en transmission, ou encore la forme du cône de rétrodiffusion cohérente [T96/095].

Nous avons également étudié l'image d'un obstacle isolé en transmission, dans le régime de diffusion multiple. Les difficultés de l'imagerie dans les milieux diffusifs se manifestent déjà dans cette situation relativement simple. L'approximation de diffusion conduit à considérer le développement multipolaire de l'intensité due à l'obstacle, par analogie avec l'électrostatique. Un objet absorbant est caractérisé par une charge, alors que l'effet dominant d'un objet non absorbant est dipolaire. La théorie du transfert radiatif permet un calcul microscopique de la charge et du dipôle de différents types d'obstacles mésoscopiques (totalement absorbants, totalement réfléchissants, transparents). Ces calculs one été effectués explicitement dans les cas d'obstacles sphériques ou cylindriques [T98/002].

Dans le régime opposé, dit quasistatique, le problème peut être étudié au moyen de réseaux d'impédances aléatoires. Nous nous sommes intéressés au comportement résonant de la constante diélectrique des matériaux composites binaires de type métal-diélectrique. Ces résonances diélectriques sont l'un des mécanismes qui peuvent ex-

pliquer l'amplification de l'effet Raman de surface sur les couches minces métalliques semi-continues. Plus généralement, il s'agit d'étudier la dépendance de la conductivité des réseaux binaires dans le rapport complexe h des conductances des deux constituants. Nous avons proposé un algorithme qui détermine de façon numériquement exacte la dépendance rationnelle en h de la conductance d'un réseau fini. Nous avons ainsi obtenu des résultats numériques, concernant en particulier la densité de résonances et le poids spectral associé, et la statistique des espacements entre résonances voisines. Ce travail apporte également des informations de nature analytique, sur la validité de la théorie du milieu effectif, ou sur le développement en concentration de la conductivité [T97/155].

Nous avons également considéré la distribution du champ électrique local dans un tel milieu binaire. Des simulations numériques avaient montré que cette distribution était bimodale. Nous avons élucidé l'origine de cette bimodalité, et trouvé une expression analytique pour la loi de probabilité du champ en accord remarquable avec les résultats numériques. Nous avons aussi mis au point une nouvelle méthode pour l'étude des propriétés effectives des milieux non linéaires. Les constantes effectives sont définies comme les minima de certaines fonctionnelles. En utilisant une représentation en intégrale fonctionnelle et la méthode des répliques, nous avons calculé les permittivités et susceptibilités non linéaires effectives pour des milieux faiblement et fortement non linéaires [en préparation].



Conductivité électrique d'un réseau carré avec une distribution binaire d'impédances aléatoires. Nous nous sommes intéressés à la dépendance de la conductivité effective dans le rapport complexe h des impédances des deux composants. Les résonances diélectriques apparaissent comme des singularités pour h réel négatif. La structure analytique de la conductivité dans le plan complexe de h est codée par un poids spectral. L'histogramme représente des données numériques concernant ce poids spectral, lorsque les deux composants ont des concentrations 0,1 et 0,9. Le demi-cercle montre la prédiction de l'approximation du milieu effectif, introduite par Bruggeman en 1935. Il est clair que cette approximation manque tout le détail de la structure résonnante du poids spectral. Néanmoins, elle reproduit exactement les valeurs des quatre premiers moments, ce qui est loin d'être évident sur la figure (d'après [T97/155]).

Localisation dans un vortex

Les effets des interférences quantiques dans les systèmes métalliques de petite taille à basse température (systèmes mésoscopiques) sont à l'heure actuelle relativement bien compris. Ces systèmes peuvent être décrits par une théorie des champs du type modèle σ non linéaire, due à Efetov.

Nous avons généralisé la méthode d'Efetov à des systèmes hybrides métal-supraconducteur. La différence principale par rapport au cas du métal seul est la symétrie du hamiltonien, qui se traduit par une symétrie d'inversion du spectre par rapport au niveau de Fermi. Nous avons étudié la diffusion des quasi-particules dans un vortex d'un supraconducteur de type II. À basse énergie, les excitations sont liées au cœur du vortex, ce qui réduit le problème à une théorie effective à une dimension. Nous pouvons ainsi calculer la probabilité de transmission d'une quasi-particule le long du vortex et prédire que pour un vortex suffisamment long les quasi-particules seront localisées. L'effet de la localisation devrait être détectable dans des mesures de transport thermique dans un échantillon supraconducteur [en préparation].

HYDRODYNAMIQUE ET PHÉNOMÈNES HORS D'ÉQUILIBRE

En ce qui concerne les phénomènes hors d'équilibre, les travaux dans nos domaines d'expertise traditionnels (instabilités hydrodynamiques et turbulence, modèles de Boltzmann discrets) sont complétés par des directions nouvelles, comme l'étude de systèmes modèles reliés aux phénomènes de vieillissement.

Instabilités hydrodynamiques

L'analyse de la stabilité temporelle d'un écoulement, qu'il soit d'origine hydrodynamique ou thermique, est le plus souvent effectuée dans l'approximation d'un écoulement parallèle plan. C'est le cas de notre étude d'un écoulement de type Couette-Poiseuille induit par la présence de gradients thermiques horizontaux dans une couche de fluide avec surface libre. Cependant cette approximation est mise en défaut par l'existence d'inhomogénéités spatiales résultant de la présence des parois qui confinent le fluide latéralement. Deux méthodes ont été suivies pour décrire l'écoulement en cavité fermée. L'une, valable à bas nombre de Reynolds, consiste à négliger les termes inertiels et à résoudre un problème de Stokes inhomogène avec un terme source d'origine thermocapillaire ou de thermogravité. La seconde méthode consiste à étudier la stabilité spatiale de l'écoulement parallèle plan vis-à-vis de perturbations bidimensionnelles engendrées par la présence des parois. Cette méthode a l'avantage de prendre en compte les non linéarités, et permet de différencier le comportement du fluide à l'amont et à l'aval de l'écoulement en surface. Suivant la valeur du nombre de Prandtl, nous avons mis en évidence deux types de comportement près de chacune des parois. À l'amortissement spatial de l'amplitude des perturbations se superpose dans certains cas une structure périodique révélant l'existence de zones de recirculation, en accord avec les résultats d'expériences et de simulations numériques connus pour quelques valeurs du nombre de Prandtl [T97/134].

La modélisation de l'écoulement induit par un fil chauffant placé sous la surface libre d'une couche de fluide a été effectuée en trois étapes. La distribution de température a d'abord été déterminée en négligeant les termes d'advection de la chaleur. Puis la fonction de courant a été obtenue dans l'approximation de la couche mince. Enfin les déformations de faible amplitude de l'interface ont été calculées, montrant que l'interface à l'aplomb du fil est soit bombée, soit creusée, suivant la nature du mécanisme qui met le fluide en mouvement [T96/066].

L'analyse de stabilité d'un écoulement de Couette-Taylor pulsé a été généralisée pour in-

clure l'effet d'une rotation d'ensemble du système. Le couplage des effets centrifuges et Coriolis est correctement décrit, à condition de ne pas négliger la largeur de l'espace annulaire entre les cylindres devant leur rayon moyen. Ces effets de taille finie, négligés jusqu'ici, s'avèrent d'une grande importance à basse fréquence, et plus spécialement lorsque les cylindres oscillent en opposition de phase [T96/140, T97/093].

Modèles de systèmes turbulents

La turbulence développée est encore aujourd'hui un problème ouvert difficile. Alors que les études phénoménologiques et numériques foisonnent, peu d'avancées théoriques importantes ont été effectuées depuis la prédiction d'un écoulement inertiel par Kolmogorov en 1941, avec les propriétés d'échelle qui le caractérisent. La description des comportements statistiques de scalaires passifs, comme la température, entraînés par un champ de vitesse aléatoire, a suscité de nombreux travaux récents. Ce problème se caractérise par des déviations par rapport au comportement d'échelle de Kolmogorov. Après avoir calculé les dimensions anormales gouvernant les fonctions de corrélation de ces scalaires passifs, nous avons identifié les modes lents responsables de ces comportements anormaux, et analysé leur rôle dans les propriétés statistiques de ces scalaires [T96/007, T97/053].

L'équation de Burgers est une simplification de l'équation de Navier-Stokes. Le rôle de la pression est négligé, tout en préservant la complexité du phénomène. Nous avons étudié la décroissance de la turbulence de Burgers, en analysant les propriétés statistiques du champ des vitesses aux temps longs. L'introduction d'un formalisme décrivant les champs localisés sur les chocs a permis d'expliquer l'influence de ces chocs sur l'intermittence des fonctions de corrélation des vitesses. Une nouvelle classe d'universalité pour la statistique du champ des vitesses aux temps longs a également été construite [T98/036].

Théorie cinétique discrète

Nous avons poursuivi l'étude de deux classes de modèles de la théorie cinétique avec vitesses discrètes, les modèles de Boltzmann qui possèdent des lois de conservation, et les modèles sans lois de conservation.

En ce qui concerne les modèles satisfaisant des lois de conservation, construits sur un nombre arbitraire de vitesses, inscrites dans des hexagones et des carrés, nous avons exploré les conséquences de deux relations de la théorie continue pour les solutions d'équilibre maxwelliennes. La première est une relation entre les quantités macroscopiques de masse et d'énergie interne de deux états maxwelliens. Pour des solutions particulières du modèle de Broadwell, cette relation est automatiquement vérifiée. Dans le cas général, nous avons déterminé les conditions pour que cette relation soit satisfaite. La deuxième relation continue, établie pour un état maxwellien, est une contrainte sur le quotient de l'énergie à la masse. Nous avons montré que cette relation peut être satisfaite pour un ensemble infini de valeurs discrètes des paramètres, dans les modèles comportant un nombre arbitraire de vitesses. L'étude des effets combinés des deux relations continues reste un problème ouvert, qui conduit à des contraintes non linéaires [T98/017].

Les modèles cinétiques non conservatifs ont été introduits par Boffi et Spiga il y a une quinzaine d'années, et très étudiés depuis lors. En plus des collisions élastiques usuelles, les particules peuvent effectuer des collisions inélastiques,

de sorte que les lois de conservation sont modifiées. Par exemple, l'équation de conservation de la masse fait intervenir des polynômes fonctions de la masse, linéaires ou quadratiques. Nous avons obtenu de nouvelles solutions exactes pour différents modèles avec deux, trois, quatre, ou cinq densités indépendantes. Un formalisme général permet d'obtenir les mêmes classes de solutions exactes, similaires, périodiques et à $1+1$ dimensions, pour n'importe lequel des modèles discrets de Boltzmann contenant les mêmes termes non conservatifs. Ces solutions résultent de la compatibilité d'équations de Riccati scalaires ou d'équations linéaires. Pour une classe particulière de modèles, où la conservation de la masse est rétablie, les conditions de choc peuvent être étudiées [T97/006, T97/024, T98/038].

Dynamique lente et vieillissement

Un domaine de la physique statistique qui a connu de nombreux développements récents est l'étude des phénomènes non stationnaires, fortement hors d'équilibre, comme le vieillissement dans les verres structuraux et les verres de spins. Dans cet ordre d'idées, nous avons étudié la dynamique d'un système modèle, le backgammon. Ce modèle est défini par des règles dynamiques simples, selon lesquelles des particules sautent d'une boîte à l'autre. Il présente une transition de phase de type vitreux à température nulle, et sa dynamique illustre toute la phénoménologie du vieillissement (relaxation lente, lois d'échelle pour la corrélation et la réponse de l'énergie ou de la densité, violation de l'invariance par translation temporelle et du théorème fluctuation-dissipation). La plupart de ces aspects peuvent être étudiés analytiquement, au moins dans le régime le plus intéressant, dit régime α (temps longs et basses températures) [T97/050].

Une généralisation du modèle du backgammon a été introduite par Bialas, Burda et Johnston. Le mouvement des particules s'effectue selon une loi de probabilité simple, plutôt que selon un critère de tout ou rien. Ce modèle a la propriété remarquable d'avoir une transition de phase de type condensation à température finie. Sa dynamique peut être étudiée à la fois par simulation numérique et par des techniques analytiques. Il a été mis en évidence que l'évolution vers l'état condensé s'effectue suivant des lois d'échelle. Ce système manifeste également des comportements de vieillissement dans sa phase condensée [T97/089].

Enfin, nous avons proposé une extension du célèbre modèle de l'électeur (voter model). Un grand nombre de travaux mathématiques ont été consacrés à la dynamique de ce modèle, qui consiste à faire évoluer des spins situés sur un réseau en les alignant sur l'un de leurs voisins choisi aléatoirement. Nous avons généralisé ce modèle en introduisant des lois d'évolution dépendant de façon plus compliquée de l'environnement local. À deux dimensions, ce modèle dynamique unifié dépend de deux paramètres. Il contient comme cas particuliers à la fois le modèle d'Ising avec la dynamique de Glauber et le modèle de l'électeur, ce dernier se trouvant sur la ligne critique. Ce modèle apporte un éclairage nouveau sur différentes propriétés dynamiques, comme la persistance. Les résultats sur l'évolution de la distribution de l'aimantation d'un bloc, bien connus dans le cas du modèle de l'électeur, ont également été étendus sur la ligne critique, jusqu'au modèle d'Ising critique [T98/046].

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE et THÉORIE DES CHAMPS

Ce chapitre regroupe des travaux de nature variée. Certains de ces travaux, tels ceux dédiés à l'étude des matrices aléatoires ou à la compréhension du chaos quantique, tendent à développer ou à appronfondir des méthodes d'investigation. D'autres, tels ceux consacrés à l'étude des membranes auto-évitantes, appliquent ces méthodes à des situations physiques particulières. Evidemment, on retrouvera d'autres travaux de cette nature, qui sont parfois realisés par les mêmes auteurs, dans les autres chapitres de ce rapport.

D'une manière un peu arbitraire ce chapitre est divisé en quatre parties. La première regroupe essentiellement les recherches faites sur la théorie des **matrices aléatoires** ainsi que sur leurs applications à la **théorie des cordes**; ce sont des thèmes de recherche qui sont développés depuis longtemps dans le laboratoire. La deuxième partie rassemble des contributions concernant la **théorie quantique des champs**, contributions de nature plus théorique, telles celles traitant des théories des champs à température finie, ou plus appliquées, comme celles traitant des membranes auto-évitantes mentionnées ci-dessus. Les contributions concernant l'étude des **systèmes dynamiques** ou du **chaos quantique** sont présentées dans la troisième partie. Ces travaux reflètent la persévérance d'un petit groupe de chercheurs désirant approfondir notre compréhension de ces problèmes. Enfin, des résultats de nature plus **mathématique**, mais qui découlent naturellement des travaux décrits ci-avant, sont présentés dans la dernière partie.

THÉORIES DES CORDES ET MATRICES ALÉATOIRES

La théorie des matrices aléatoires est depuis longtemps un sujet d'étude dans le Service. Elle fut introduite en physique par Wigner dans les années 50 pour décrire les propriétés statistiques des distributions de niveaux d'énergie en physique nucléaire. L'objectif était alors d'étudier, en l'absence d'une connaissance précise des interactions, le spectre d'un système comportant un grand nombre de particules (d'où l'intérêt de considérer des matrices de grande taille). Les mêmes méthodes mathématiques ont trouvé des applications dans des domaines très variés : systèmes désordonnés, statistique des surfaces triangulées, comptage de diagrammes de Feynman de topologie donnée, gravitation quantique bidimensionnelle, ...

Fonctions de corrélations des matrices aléatoires

Fonctions de corrélations. L'étude de la gravitation bidimensionnelle amène à considérer des matrices aléatoires couplées. Dans ces modèles de matrices, deux types de quantités jouent un rôle important. D'une part les fonctions de corrélations ou densités de probabilité réduites à un sous ensemble de valeurs propres, et d'autre part les fonctions d'espacements ou probabilité de trouver exactement un nombre donné de valeurs propres à l'intérieur d'un intervalle déterminé. Les résultats connus pour une seule matrice ont été étendus à une chaîne de p matrices hermitiques $n \times n$ couplées (uniquement par des termes du type exp[-tr($c_j A_j A_{j+1}$)]) [T97/112, T97/120]. Les deux limites : longue chaîne (p infini) et matrices de grande taille (n infini) ont été étudiées [T98/001]. Les techniques de calcul utilisées dans ces travaux ont permis d'exprimer analytiquement en terme de fonctions connues la densité de probabilité (avec des fonctions de Meijer) ainsi que les moments (avec des fonctions gamma) du déterminant d'une matrice $n \times n$ hermitique aléatoire gaussienne [T97/167].

Lien avec les systèmes intégrables. Si le modèle de Calogero-Sutherland avec conditions aux bords périodiques est relié aux ensembles de matrices aléatoires de Wigner, le modèle avec réflexion aux bords correspond aux ensembles de matrices aléatoires avec symétrie par inversion (réflexion) du spectre. Les propriétés du spectre et des fonctions d'onde de ces modèles ont été étudiées. Le but est de calculer exactement les fonctions de corrélations qui décrivent les corrélations spectrales des matrices aléatoires. Une relation de dualité entre ces modèles pour des valeurs différentes des paramètres, très similaire à celle du modèle périodique, a été mise en évidence [T96/107].

Matrices aléatoires et théories des cordes

Groupe de renormalisation à N grand et barrière $c > 1$. Les théories des cordes non-critiques (au moins dans leur secteur purement bosonique) correspondent à des théories de gravité bidimensionnelle couplées à de la matière conforme et peuvent être formulées en termes de modèles de matrices. La transition entre les régimes de couplage faible et de couplage fort en gravité 2D à $c = 1$ a été étudiée [T96/112]. Ce problème était encore assez mal compris, les résultats analytiques exacts n'étant valables que pour $c \leq 1$, et les études numériques difficiles et donnant des résultats ambigus pour $c > 1$. En utilisant une approche de groupe de renormali-

sation pour les modèles de matrices proposée en 92 par E. Brézin et J. Zinn-Justin, et en y incorporant les termes d'interaction correspondant à des interactions de contact ("trous de vers"), une interprétation simple et naturelle de la "barrière $c > 1$" a pu être donnée en termes de fusion et d'annihilation de points fixes du groupe de renormalisation. Dans cette nouvelle approche, le comportement de la gravité 2D pour $c > 1$ est de façon générique celui d'un polymère branché (ce qui était déjà conjecturé depuis plusieurs années, et mis en évidence pour $c \to +\infty$). De plus, on peut maintenant estimer quantitativement les effets de taille finie et de "crossover" lorsque $c \to 1$, expliquer facilement pourquoi les études numériques (par simulation de Monte-Carlo ou par extrapolation des séries) donnent des résultats ambigus pour $c \simeq 1$, et comprendre le comportement de modèles de spin (Ising, Potts, ...) sur réseaux aléatoires.

Matrices aléatoires et revêtements. En théorie des cordes les interactions s'interprètent naturellement en termes de revêtements ramifiés de surfaces bidimensionelles. Le modèle le plus simple qui décrit des cordes formant des revêtements ramifiés de surfaces d'aires minimales a été résolu [T96/123, T97/022]. Un cas particulier de ce modèle fournit une représentation de la chromodynamique quantique bidimensionelle en termes de cordes.

Théorie non perturbative des cordes

Une des formulations non-perturbatives de la théorie des cordes est fondée sur des théories de jauge de Yang-Mills supersymétriques en dimension deux. Des solutions des équations de mouvement où les valeurs propres des champs matriciels forment un revêtement ramifié du cylindre ont été trouvées. Ces revêtements décrivent les feuilles d'univers de la corde [T97/105]. L'action effective pour ces configurations se réduit à l'action de Green-Schwarz définie sur la surface de Riemann correspondante. Ce résultat fournit donc une justification à cette formulation non perturbative de la théorie des cordes. Une autre formulation de la théorie des cordes repose sur une approche matricielle. L'étude de cette théorie matricielle lorsque les cordes se déplacent dans un espace courbe a montré que ces modèles ne sont cohérents que pour des espaces hyperkählériens.

THÉORIES DES CHAMPS ET APPLICATIONS

Le théorie des champs, quantiques, classiques et ses applications à la physique des particules ou à la physique statistique est bien sûr depuis toujours un des thèmes de recherche développés dans le Service. La nature, plus abstraite ou plus appliquée, ainsi que le domaine d'application des travaux réalisés au SPhT varient suivant les opportunités.

Applications aux membranes auto-évitantes

Les modèles de membranes réticulées, qui représentent une généralisation intéressante des polymères, et qui posent des problèmes théoriques difficiles, ont continué à être étudiés.

Renormalisation. La rédaction des détails de la preuve de la renormalisabilité du modèle des membranes polymérisées auto-évitantes (cf. T93/074) a été achevée et a fait l'objet d'un long article [T97/001]. Il s'agit de l'aboutissement d'un travail de longue haleine qui justifie toutes les études et les calculs théoriques sur ce sujet. Les calculs au deuxième ordre du

groupe de renormalisation des exposants des lois d'échelle pour une membrane auto-évitante ont été complétés et ont fait l'objet d'un article détaillé [T97/089]. Il a fallu approfondir et systématiser des méthodes d'extrapolation en ϵ introduite par Hwa en 90. Nos résultats montrent que lorsque la dimension d de l'espace est grande, les résultats du groupe de renormalisation coïncident avec ceux d'une approximation variationnelle gaussienne. Ils s'en écartent pour des dimensions d plus petites, et dans le cas physique $d = 3$, sont assez proches des prédictions des méthodes de Flory.

Comportement aux grands ordres. Plus récemment, l'étude du comportement aux grands ordres pour les développements perturbatifs des modèles de membranes a été entreprise. Rien n'est connu sur cette question, sauf bien sûr pour le cas des polymères où les estimations semi-classiques à la Lipatov issues de la théorie des champs s'appliquent. Il est indispensable de comprendre ce problème pour bien estimer le domaine de validité des calculs perturbatifs.

Théories des champs bidimensionnelles

Quantifications des solitons et facteurs de formes. Ces travaux s'inscrivent dans le programme d'étude des fonctions de corrélations des modèles intégrables bidimensionnels, par exemple celui de sine-Gordon; programme dans lequel on cherche à calculer les éléments de matrice des opérateurs locaux du modèle. Des formules explicites, mais assez complexes, avaient été obtenues en suivant le programme dit du 'bootstrap' et à partir de l'expression exacte de la matrice de diffusion. Dans un passé récent (cf. T96/018), nous avions fourni une interprétation simple de ces formules qui avait permis de dégager un lien entre la dynamique quantique des solitons et les facteurs de formes des champs locaux. Continuant cette étude, une description appropriée de l'espace des champs locaux de ces modèles a conduit à généraliser aux théories des champs quantiques massives la notion de 'vecteurs nuls', notion si importante dans les théories conformes bidimensionnelles. Ces résultats reposent sur une déformation quantique de certaines données géométriques associées aux courbes hyper-elliptiques [T96/063, T96/138].

Théories conformes rationnelles et théorie de Galois. Les propriétes galoisiennes des coefficients qui caractérisent les théories conformes rationnelles, coefficients de Clebsch-Gordan du développement en produits d'opérateurs (fusion et braiding en anglais), élements de matrice des représentations du groupe modulaire, etc, intriguent les physiciens depuis assez longtemps. L'étude d'exemples a permis de conjecturer l'action du groupe de Galois sur la représentation du groupe modulaire portée par les caractères d'une théorie conforme rationnelle. La conjecture a été ensuite prouvée dans un grand nombre de cas importants, comme les modèles de Wess–Zumino–Witten pour les groupes compacts simplement lacés [T96/130].

Théories des champs topologiques

Les théories des champs topologiques sont un "laboratoire miniature" pour mieux comprendre les théories de jauge qui décrivent le monde physique. Les observables sont des classes de cohomologie sur un espace quotient (par exemple l'espace des connexions, ou des connexions self-duales, divisé par l'action du groupe de jauge). En général, le quotient a des singularités, et n'a donc pas de cohomologie de de Rahm raisonnable. La cohomologie équivariante permet de contourner cette difficulté en définis-

sant les formes sur l'espace total qui ont des propriétés d'invariance telles que si le quotient était lisse, elles descendraient comme classes de cohomologie sur ce quotient. La classe de Thom est une des observables "universelles" des théories topologiques. C'est le dual de Poincaré de la section 0 dans l'espace total d'un fibré vectoriel de fibre V. Si on munit V d'une métrique, en réutilisant des techniques de gravité quantique, on obtient la classe de Thom comme une classe équivariante sur le fibré principal $SO(V)$ associé au fibré vectoriel [T96/160].

Résultats rigoureux en théorie des champs

Théorie des champs à température finie. Dans le cadre d'une caractérisation originale des particules créées par un champ quantifié en milieu thermique (liée à une représentation intégrale causale des propagateurs), le fait que la brisure spontanée d'une symétrie interne implique nécessairement la présence d'une particule relativiste de masse nulle (théorème de Goldstone) a pu être établi comme également valable en milieu thermique, avec la spécification intéressante suivante : ce phénomène ne peut s'accommoder d'un amortissement à courte portée dû aux chocs thermiques; en d'autres termes, la restauration de la symétrie semble inéluctable à haute température [T96/054].

Théorie des champs en espace-temps courbes. En théorie des champs sur l'espace-temps de De Sitter, les méthodes d'analyse complexe utilisées précédemment avec succès pour une étude claire et complète des champs libres ont permis une approche rigoureuse des champs en interaction (du type axiomatique de Wightman) dans laquelle l'interprétation thermique "à la Hawking" est établie de façon générale, tout en coexistant avec des théorèmes de base de type PCT [T97/104].

Comportement au seuil. Le caractère universel d'un comportement au seuil en $\frac{1}{\ln k}$ de l'amplitude de diffusion est établi pour tous les modèles constructibles de champs quantifiés à petits couplages en dimension 3 d'espace-temps. Cette universalité (c'est à dire l'indépendance de cette forme par rapport au modèle et aux couplages) est une propriété non-perturbative qui se justifie grâce à l'introduction rigoureuse de fonctions de structure "deux-particules irréductibles" (ou noyaux de type Bethe-Salpeter complets) dont l'étude a pu être menée à bien par les méthodes de la théorie constructive des champs [T98/026].

SYSTÈMES DYNAMIQUES

Dans cette section sont rassemblées les études sur les systèmes dynamiques et le chaos quantique. Il s'agit de travaux prolongeant ceux entrepris depuis plusieurs années.

Systèmes dynamiques hamiltoniens

Domaines de stabilité. Dans un travail poursuivi depuis plusieurs années, on a étudié les propriétés de la fonction de Brjuno. Cette fonction singulière (infinie sur tous les rationnels) est associée aux tailles des domaines de stabilité dans les systèmes holomorphes à points fixes indifférents, modèles qui permettent d'aborder les problèmes de stabilité dans les systèmes hamiltoniens. En employant des méthodes de renormalisation géométrique, on a montré que cette fonction décrit de façon universelle la partie la plus singulière des tailles des domaines de stabilité en fonction du nombre de rotation [T95/028]. D'autre part, la complexification de la fonction

de Brjuno semble fournir un outil et un nouveau concept permettant de décrire la vitesse de disparition des courbes stables (tores de KAM) dans les systèmes hamiltoniens. Ces questions soulèvent de délicats problèmes de théorie des nombres et de théorie des fractions continues [T97/142].

Dimensions fractales et multifractales. Il s'agit d'un problème de mécanique statistique un peu inhabituel qui peut être abordé suivant trois directions: *i*) par des calculs perturbatifs pour les mesures engendrées par les systèmes dynamiques expansifs [T97/147], *ii*) en construisant les mesures invariantes des systèmes dynamiques algébriques, ou *iii*) par une définition générale des multifractales via leurs relations avec les fonctions de corrélations et les partitions de Markov.

Théorie semi-classique - "chaos quantique"

Représentation stellaire. L'étude de la "représentation stellaire" de la mécanique quantique a été approfondie. L'idée initiale est de décrire un état quantique par la répartition d'une densité, ou fonction de Husimi, dans l'espace de phase classique. Si l'on se restreint à un degré de liberté, cet état quantique est plus exactement paramétré par un gaz de points dans l'espace de phase qui sont les points singuliers et isolés où cette densité s'annule. Ainsi, un état quantique est rendu équivalent à une constellation de zéros. Cette représentation stellaire est particulièrement bienvenue pour l'exploration des états liés lorsque la dynamique classique sous-jacente est chaotique et qu'aucune méthode analytique (même approchée) n'est quantiquement applicable.

Lors d'une première étape, les fonctions d'onde quantiques stationnaires près d'un point-selle classique à un degré de liberté ont été décrites [T96/093].

Dans une seconde étape, les états propres d'un système classiquement chaotique sur le tore, l'application du chat d'Arnold, ont été considérés. En particulier, les propriétés universelles des constellations de zéros dont il est question plus bas ont été mises en évidence dans le cas d'une famille d'états propres présentant une périodicité dans l'espace des phases [T97/014]. L'existence de tels états propres, baptisés "états cristallins", dépend des propriétés arithmétiques de la dynamique, et n'est donc pas un phénomène générique aux systèmes classiquement chaotiques; de plus, lorsqu'ils existent ces états constituent une fraction infime de l'ensemble du spectre dans la limite semi-classique.

Enfin, quantité de propriétés des états propres génériques de certains systèmes quantiques chaotiques ont été montrées ou vérifiées numériquement [T97/129]. Ces propriétés, de nature analytique, statistique ou empirique suivant les cas, prédisent notamment que les zéros des états liés se distribuent uniformément dans l'espace de phase; que la dérivée logarithmique de la fonction d'onde converge vers une fonction universelle (indépendante de la dynamique); ou encore, qu'il y a une très bonne adéquation en moyenne de tous ces états propres avec un ensemble statistique de polynômes aléatoires gaussiens, dont de nombreuses propriétés ont été calculées. Ces propriétés ont un caractère semi-classique, qui se réalisent quand $h \to 0$, et semblent universelles pour les systèmes chaotiques par opposition aux systèmes intégrables.

Effet tunnel, cicatrisation et dynamique complexe. La fuite d'une particule par effet tunnel d'une région où la dynamique est chaotique est un problème important pour certains systèmes mésoscopiques. C'est aussi un problème

théoriquement riche. Par exemple, les largeurs de résonance d'états métastables dans des systèmes chaotiques présentent des fluctuations quasi-aléatoires contrairement à la situation unidimensionelle pour laquelle ces largeurs varient régulièrement d'un état à un autre. Des méthodes pour calculer l'effet tunnel dans de tels systèmes et les relier aux propriétés connues dans le domaine du chaos quantique ont été développées. Ainsi, un lien entre la vitesse avec laquelle une particule franchit une barrière et le fait que la fonction d'onde soit "cicatrisée" ou non par une orbite classique a été mis en évidence [T97/156]. Cette relation affirme que l'effet tunnel est plus important quand la fonction d'onde est plus grande autour de cette orbite. Plus précisement, la largeur de résonance s'exprime à l'aide d'une intégrale de la fonction d'onde autour de l'orbite restreinte à une région elliptique définie par une linéarisation de la dynamique autour d'elle (voir Figure). On espère que ce calcul va mener à une compréhension des propriétés statistiques de l'effet tunnel. L'effet tunnel est aussi très intéressant dans le cas d'une dynamique légèrement non intégrable. Ce problème est en fait plus difficile que dans le cas chaotique car on ne sait pas calculer les structures classiques requises — des tores invariants pour des angles fortement complexes. On travaille actuellement sur certains systèmes modèles pour lesquels on peut calculer toutes les corrections en théorie des perturbations classiques, dans l'espoir de reconstruire des structures classiques complexes nécessaires à un calcul détaillé de l'effet tunnel.

RÉSULTATS MATHÉMATIQUES

Dans cette section sont regroupés des travaux de nature plus mathématique qui découlent ou font écho aux travaux d'intérêts plus physiques présentés dans ce rapport.

Résultats de nature algébrique

Centre des algèbres et superalgèbres classiques et quantiques. L'étude des ensembles complets d'observables qui commutent dans les systèmes physiques avec symétries s'est poursuivie. Dans le cas des superalgèbres, il est crucial de commencer par bien comprendre les observables qui commutent avec les bosons mais anticommutent avec les fermions. Cette étude a pu être faite en détail dans des cas particuliers. Elle est intéressante en soi et a de nombreuses applications à la théorie des représentations [T96/126, T96/127].

Multiplicités des algèbres de Kac-Moody hyperboliques. Les algèbres de Kac-Moody sont obtenues par générateurs et relations à partir de matrices de Cartan (il n'est donc pas *a priori* évident d'en énumérer une base). Les algèbres de Lie semi-simples de dimension finie sont un cas particulier, et leur structure est bien connue depuis longtemps. Le cas suivant dans la complexité, celui des algèbres affines, est bien compris aussi. La structure des algèbres hyperboliques (les algèbres "pas trop grosses" dont la matrice de Cartan a la signature d'un espace de Minkovski), qui sont graduées, reste mystérieuse : pour aucune d'entre elle on ne sait énumérer une base. Leur structure intéresse depuis longtemps les mathématiciens mais pourrait aussi avoir des applications aux dualités en théorie des cordes. Une idée pour mieux comprendre

ces algèbres consiste à les décomposer en représentations d'une sous-algèbre affine aussi grosse que possible. Cette approche a permis d'obtenir des formules compactes pour énumérer les états de faibles degrés [T96/145]. Mais il reste encore beaucoup à faire pour comprendre tous les degrés.

Résultats liés aux problèmes à N corps

En théorie de perturbation, dans le problème à N corps classique ou quantique, on est amené à évaluer des valeurs moyennes du type $X_n = \langle r_{1,2} r_{2,3} ... r_{n,n+1} \rangle$ et $Y_n = \langle r_{1,2} r_{2,3} ... r_{n,1} \rangle$ prises avec un poids gaussien $\exp(-\mathbf{r}_i^2/2)$ pour chaque variable $\mathbf{r}_i$ et où $r_{i,j} = |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|$ à 3 dimensions. Une méthode de calcul, qui permet d'obtenir une estimation numérique précise de ces quantités, a été développée [T97/028]. Elle a été généralisée à d dimensions, à des fonctions $f(r_{i,j})$ au lieu de $r_{i,j}$ et enfin à un poids non gaussien.

En théorie du problème à petit nombre de corps, des effets d'universalité pour l'effet Efimov ont été trouvés [T96/086, T97/135]. D'autre part les propriétés adiabatiques des équations de Faddeev dans le cas de la collision catalysée par muon sont en cours d'analyse, avec pour objectif une meilleure compréhension de la voie de fusion associée.

Résultats liés aux équations de la gravitation

Les équations d'Einstein manifestent parfois un caractère chaotique mais parfois aussi un aspect intégrable. En présence d'un nombre suffisant de vecteurs de Killing ces équations possèdent un grand groupe de symétrie, appelé groupe de Geroch. Une méthode algébrique permettant l'obtention de solutions des équations d'Einstein pour des métriques admettant deux vecteurs de Killing a été développée [T97/113].

ASTROPHYSIQUE PHYSIQUE NUCLÉAIRE PHYSIQUE DES PARTICULES

Que l'homme contemple donc la nature entière dans sa haute et pleine majesté, [...] que la terre lui paraisse comme un point au prix du vaste tour que cet astre décrit, et qu'il s'étonne de ce que ce vaste tour lui-même n'est qu'une pointe très délicate à l'égard de celui que les astres qui roulent dans le firmament embrassent [...].

Mais pour lui présenter un autre prodige aussi étonnant, qu'il recherche dans ce qu'il connaît les choses les plus délicates. [...] Je veux lui peindre non seulement l'univers visible, mais l'immensité qu'on peut concevoir de la nature, dans l'enceinte de ce raccourci d'atome [...].

Pascal, Pensées, [84]

Si l'interrogation métaphysique de Pascal (*Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie...*) reste inaltérée, les interrogations de la physique aspirent à reculer les limites de nos connaissances sur les "deux infinis". La cosmologie, associée aux découvertes de l'astrophysique expérimentale, conduit à une vision dynamique nouvelle de l'histoire de notre Univers. La physique des particules n'hésite plus à aborder directement ou indirectement des échelles super-microscopiques où matière et forces fondamentales retrouveraient une unité dans une théorie quantique cohérente. Entre ces "deux infinis", une échelle de référence est nécessaire qui, pour le physicien, est naturellement celle du *fermi*, c'est-à dire la taille du nucléon. En effet, cette échelle est aussi bien celle où l'Univers est assez jeune pour faire apparaître ses composantes primordiales, que celle à partir de laquelle s'initie l'investigation des constituants et forces fondamentales. D'où le rôle charnière joué par la physique nucléaire dans la quête des deux infinis.

L'astrophysique et l'"infiniment grand": la découverte des fluctuations du fond de rayonnement cosmologique et plus généralement les irrégularités de densité aux échelles galactiques et extragalactiques ont suscité une grande activité au SPhT. On en attend, entre autres, une sélection des modèles pour **l'Univers Primordial et les grandes structures.** Parallèlement, les progrès observationnels sur les **lentilles gravitationnelles,** dont l'étude s'est enrichie de méthodes d'analyse issues de la physique des hautes énergies, permettent d'étudier maintenant quantitativement les étapes historiques de l'Univers ainsi que d'envisager des approches nouvelles du fameux mystère de la **matière noire et du passé récent de l'Univers.** Le groupe d'astrophysique se prépare à faire face à la moisson de résultats expérimentaux que les prochaines années nous réservent.

La physique nucléaire et "le fermi": la **structure du noyau** de l'atome est un problème à N corps complexe. Approximation de champ moyen et forces effectives servent de point de départ à des investigations poussées. Il s'avère nécessaire aussi bien de raffiner la description des forces effectives pour les rendre aussi précises que possible, que d'effectuer des excursions au delà du champ moyen

pour appréhender la richesse de structure des noyaux, en particulier des "exotiques".

Du noyau au nucléon et à la **matière hadronique**, on entre dans le domaine où commence à jouer l'interaction forte fondamentale dans son régime non-perturbatif. La matière hadronique, dont une réalisation pourrait être fournie par les étoiles à neutrons, pose d'une nouvelle façon la question des transitions de phase. A beaucoup plus haute énergie une autre transition de phase est espérée se produire dans les collisions ultra-relativistes entre **ions lourds**, transition vers le **plasma chromodynamique** formé de quarks et gluons. En ce cas l'extension nouvelle de la théorie quantique à haute température devrait pouvoir s'appliquer, ce qui suscite un travail conceptuel et technique important au SPhT. Dans ces domaines la perspective de nouvelles investigations expérimentales (GANIL, astrophysique stellaire, CERN, RHIC, etc..) suscite collaborations et travaux nombreux parmi les physiciens concernés.

La physique des particules et l'"infiniment petit": à partir de l'échelle du fermi, la course aux constituants élémentaires et aux interactions fondamentales qui les régissent est lancée.

Au SPhT est étudiée en particulier la **chromodynamique quantique à haute énergie**. C'est le cas avec les réactions profondément inélastiques où l'on inspecte directement le proton à l'aide de collisions électron-proton à haute énergie. Il ne s'agit rien moins que d'un formidable télescope capable de scruter des échelles d'ordre 1/100 de fermi (10^{-15} cm!). Une autre façon d'agir est de créer des jets de particules aux collisionneurs, avec des échelles de temps comparables. Les calculs détaillés de la Chromodynamique quantique permettent alors de prédire les sections efficaces et de modéliser les états finals obtenus.

Pour aller à des échelles encore plus petites, les accélérateurs futurs (LEP200, LHC du CERN et futur collisionneur linéaire) donnent l'espoir d'élucider le fameux mécanisme de Higgs. Il s'agit de dépasser les limites de validité du **modèle standard**, de rechercher de **nouvelles symétries**: Supersymétrie entre bosons et fermions, unification des interactions entre particules avec la gravitation, compréhension de l'origine des masses et des saveurs,... Modèles au-delà du "standard" et investigations phénoménologiques sont à l'ordre du jour et suscitent un fort engouement au SPhT.

Pour inspecter les échelles encore plus petites où l'on espère unifier les interactions, l'imagination (contrôlée par la cohérence logique des idées) est au pouvoir. Le surgissement des théories quantiques d'objets étendus, **cordes, supercordes** pour **l'unification des forces fondamentales**, membranes ouvertes ou fermées, D-branes, solitons BPS, etc..., offre un cadre théorique où peut se poser des problèmes aussi difficiles que la gravité quantique, son unification avec les autres interactions. Dans ce domaine, les percées théoriques récentes sur les régimes en couplage fort ne manquent pas de susciter travaux phénoménologiques et théoriques.

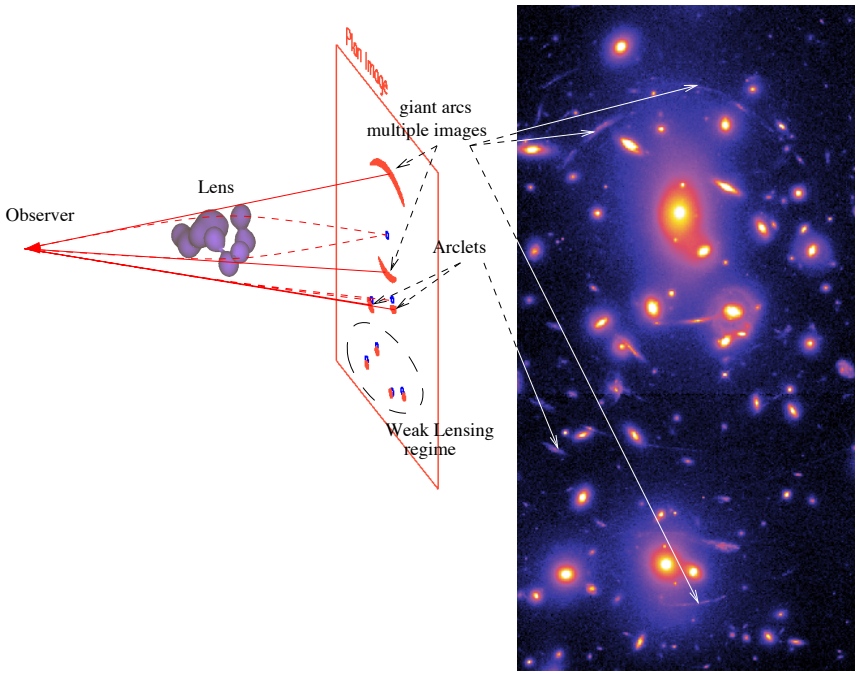
L'"INFINIMENT GRAND"

De l'Univers Primordial jusqu'au passé récent de l'Univers en passant par la formation des grandes structures, les progrès de la cosmologie observationnnelle et de l'astrophysique sont une source incessante de problèmes stimulants pour les théoriciens.

Univers Primordial et formation des grandes structures

Les irrégularités de densité aux échelles galactiques et extragalactiques observées à l'époque actuelle tant dans la distribution des galaxies que dans le rayonnement à 3 degrés Kelvin, ont été engendrées par des processus quantiques dans l'Univers Primordial, où ces échelles étaient comparables à celles de la physique microscopique. Dans le cas d'un Univers ouvert (dont la densité est inférieure à la *densité critique*), une controverse existait : il apparaît des modes de carré non sommable, et la question avait été posée de savoir s'ils pouvaient être excités. Il a été démontré [T97/029, T97/117, T97/118] de manière rigoureuse que cela était effectivement le cas, et des outils permettant d'utiliser ces modes ont été proposés. Une étude systématique des moyens mathématiques à mettre en oeuvre et des résultats physiques à déduire de ces résultats a été entreprise.

En *formation des grandes structures*, plusieurs voies de recherche sont maintenant clairement identifiées. La comparaison densité-vitesse à grande échelle permet en principe de mesurer le paramètre Ω de densité de l'Univers. Utilisant des techniques d'analyse numérique qui avaient été mises au point dans une collaboration antérieure [T97/146], une description complète des propriétés de corrélation croisée entre densité cosmique et expansion locale a été obtenue.



Description schématique des différents régimes de distorsions gravitationnelles mises en évidence pour les amas de galaxies. L'image sur la droite est celle de l'amas A2218 prise par le télescope spatial Hubble. Elle montre une structure très riche d'arcs et d'arclets.

Lentilles gravitationnelles

Traceurs de la *répartition de matière* (et pas seulement de "lumière") de l'Univers, l'étude des lentilles gravitationnelles est un thème de recherche en plein développement. Ce type de cartographie est maintenant possible grâce à l'arrivée de caméras CCD grands champs. Une première étude [T96/108] a permis de déterminer la dépendance attendue de la déformation moyenne en fonction du spectre de puissance des fluctuations de densité et de l'ensemble des paramètres cosmologiques. A cette occasion un nouvel indicateur statistique, le moment d'ordre 3 de la convergence gravitationnelle locale, a été proposé comme moyen de mesurer le paramètre de densité Ω. La robustesse des résultats qui ont été obtenus est maintenant confirmée par un certain nombre d'études complémentaires portant sur la validité de la théorie des perturbations pour ce type d'observables [T97/153] ou l'effet de corrélation des galaxies d'arrière plan [T97/154]. De plus, une étude numérique approfondie confirmant la possibilité d'une détermination précise des différents paramètres cosmologiques visés approche de son but.

Ces investigations ont ouvert la voie à un nouveau thème de recherche, l'étude des effets de lentille sur les propriétés du Fond de Rayonnement Cosmologique (FRC) à 3K. On s'attend, dans les modèles inflationnaires, à ce que les (faibles) anisotropies de température de ce rayonnement fossile, traces des fluctuations locales du potentiel gravitationnel, obéissent à une statistique gaussienne. De ce fait, les lentilles gravitationnelles, en déformant les cartes du FRC, font apparaître des propriétés non-gaussiennes qui viennent des concentrations de masse le long de la ligne de visée et donneraient donc des indications précieuses sur les densités. Après une première investigation [T96/122], un travail de stage a permis de mettre en évidence des observables spécifiquement adaptées aux effets de lentilles [T98/020]. L'interêt de ces études est avivé par la décision de l'ESA de lancer le satellite Planck Surveyor qui doit mesurer avec une précision et une résolution angulaire inégalées les anisotropies du FRC.

Matière noire et passé récent de l'Univers

Les *Microlentilles gravitationnelles* ont permis la confrontation des résultats des expériences EROS, MACHO, OGLE avec les comptages stellaires et d'obtenir ainsi des résultats d'une grande finesse sur la quantité de matière sombre présente dans notre galaxie [T97/114, T97/115, T97/141]. Il y a environ 10% de matière noire dans le disque et le centre (soit considerablement moins que ce que l'on croyait). Cette matière noire apparaît sous la forme de Naines Brunes et ne peut pas être présente sous forme d'hydrogène non encore détecté. Les évènements de microlentilles observés dans le halo de notre galaxie, par contre, n'ont pas encore été expliqués de façon satisfaisante. Il est totalement exclu qu'ils soient dûs à des étoiles lumineuses ou à des Naines Brunes. Une possibilité reste ouverte qu'ils soient dûs à une population de très nombreuses Naines Blanches si celles-ci ont les caractéristiques adéquates, de fait très différentes de celles que possèdent ces étoiles qui sont directement observées dans le disque galactique. Ce mystère reste entier et son explication toujours à l'étude.

A partir du *champ de densités* connu aux échelles non-linéaires, il a été possible de déterminer le nombre d'objets de masse et de densité

données avec un nombre réduit de paramètres. Ces objets, auparavant, semblaient n'avoir aucune relation entre eux: amas de galaxies de masses solaires, galaxies lumineuses et galaxies naines, nuages sombres absorbeurs Lyman-α. La description unifiée [T97/059, T97/068] rassemble des objets dont la masse varie entre environ 10^4 et 10^{16} masses solaires qu'une simulation numérique ne peut simultanément décrire. Elle rassemble aussi des objets dont la densité peut atteindre 100 fois la densité moyenne de l'Univers et descendre jusqu'à 1/10 voire 1/100 de cette densité (ces derniers objets étant, dans le régime non-linéaire, entourés de régions encore moins denses) ce qu'une approche analytique, même grossière, n'était en mesure de faire. Une vérification détaillée des prédictions théoriques avec des résultats de simulations numériques est en cours. Un calcul complet des prédictions observationnelles nouvelles qui peuvent être faites à l'aide de cette approche vient d'être lancé. Cette étude est directement reliée aux résultats obtenus au Télescope Spatial Hubble, au Télescope du KECK ainsi qu'aux futures observations du Très Grand Télescope (VLT) européen qui vient d'entrer en fonction.

"LE FERMI"

Le fermi est l'échelle de référence de la physique quantique dont l'intervention marque de son empreinte la question des "deux infinis". Ainsi, la structure nucléaire et la matière hadronique font partie des questions largement débattues en astrophysique alors que la recherche des constituants de la matière prend son point de départ à l'échelle du proton. L'échelle du fermi a aussi des implications pratiques directes dans l'importante question des déchets nucléaires.

La structure du noyau

En physique nucléaire, l'étude de la structure du noyau s'appuie sur l'approximation du champ moyen. L'ingrédient de base de cette approche est la force effective entre les nucléons au sein du noyau. Le champ d'application de ces méthodes s'étend de plus en plus loin de la vallée de stabilité vers des noyaux dans des conditions extrêmes d'existence, soit très riches en neutrons, soit très riches en protons, soit dans des états tout à fait particuliers comme les isomères de forme avec les bandes de rotation construites sur ces états et observées expérimentalement.

Une nouvelle analyse de la paramétrisation des *forces effectives* nucléon-nucléon au sein des noyaux a été motivée par un ensemble d'études microscopiques menées dans le cadre d'une collaboration entre Saclay, Orsay et Bruxelles, de façon à étudier leurs propriétés le plus loin possible de la vallée de stabilité. Ce travail, déjà commencé (cf. [T94/116]), a été mené à bien. Il a conduit à la mise au point de nouvelles forces qui ont été présentées dans deux publications. L'une [T98/011] montre qu'il est possible d'obtenir des forces effectives valables non seulement pour les noyaux, mais aussi pour l'étude des étoiles à neutrons. L'autre [T98/010] donne le protocole de mise au point de ces forces dans le cadre spécifique des noyaux. Ces forces, connues comme "forces de Lyon" (telle Sly4) sont à présent largement utilisées par les spécialistes de structure nucléaire.

L'*interaction d'appariement* a aussi été re-visitée, conduisant à une paramétrisation construite sur une force δ dépendant de la densité. Avec une telle force, seules les paires de nucléons situées à la fois au voisinage du niveau de Fermi et à la surface du noyau contribuent à ce terme de l'interaction [T95/079]. Une étude

des bandes de rotation des noyaux superdéformés dans la région de masse $A = 150$ a confirmé les avantage de cette nouvelle paramétrisation [T96/159].

C'est l'analyse des *bandes de rotation* des noyaux superdéformés dans la région de masse $A = 190$ qui a justifié l'introduction de la nouvelle force d'appariement présentée plus haut. Une fois montrée la validité de cette force dans la région de masse $A = 150$ [T96/159], une étude des bandes de rotation des noyaux superdéformés de masse impaire a été faite pour quelques isotopes des mercures et des plombs. Cette étude a montré qu'on pouvait interpréter les différentes bandes de rotation superdéformées par création de quasi-particules sur le noyau pair voisin dans un formalisme de Hartree-Fock-Bogoliubov [T97/020]. C'est seulement récemment qu'on a pu observer des transitions depuis les bandes de rotation superdéformées vers des états du premier puits pour quelques noyaux de la région mercure-plomb. Ces mesures ont enfin permis d'obtenir les énergies d'excitation absolues de ces bandes. On a donc pu calculer, et comparer avec l'expérience, des énergies de séparation de deux neutrons (S_{2n}) et de deux protons (S_{2p}) dans cette région de la table de masse [T98/033]. Le bon accord avec l'expérience justifie l'interprétation du noyau de ^{194}Pb dans son état superdéformé comme doublement magique. Le même genre de calcul, pour les noyaux de ^{240}Pu et de ^{238}U a permis de mieux cerner les propriétés de surface de différentes forces de Skyrme, y compris la nouvelle force Sly4 (cf. [T98/010]).

Dépendantes de *corrélations au delà du champ moyen*, les probabilités électromagnétiques de transition E2 des isomères de fission ont été calculées dans la région des actinides vers les états à déformation normale [T96/157]. On utilise le formalisme de la coordonnée génératrice pour calculer les fonctions collectives des états en mélangeant des solutions du champ moyen correspondant à des déformations différentes. On calcule ensuite les éléments de matrice responsables des transitions E2. L'accord obtenu avec l'expérience, lorsqu'elle est disponible, est d'autant plus remarquable que le modèle utilisé est complètement microscopique et sans aucun paramètre ajustable.

Lorsque l'on aborde les *noyaux exotiques* se pose la question de l'adéquation de la théorie Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB) pour la description des noyaux proches de la ligne d'instabilité (*drip line*). En effet, tant que les orbites à une particule sont suffisamment liées,les calculs en champ moyen sont possibles sans exiger de traitement particulier des états du continu. Par contre, au voisinage de la *drip line*, le niveau de Fermi s'approche de zéro et ces états peuvent commencer à contribuer. Les équations HFB dans la base canonique ont la particularité de fournir une solution localisée dans l'espace tant que le potentiel chimique reste négatif. On a mis à profit cette propriété pour montrer dans un premier travail la faisabilité de la méthode. Sa précision a été testée pour la série isotopique des nickel de la *drip line* proton à la *drip line* neutron [T96/156]. Cette étude a été faite en géométrie sphérique car les isotopes du nickel ont un nombre de protons magique, $Z = 28$, qui favorise la sphéricité. Ce travail a été complété par une étude systématique des isotopes de magnésium [T97/025] et ce dans une géométrie non plus seulement sphérique mais à trois dimensions. On a pu montrer en particulier que les isotopes lourds du magnésium (^{36,38,40}Mg) ont une déformation quadrupolaire importante. Le cas du ^{40}Mg est remarquble : ce noyau est formé de 12 protons et de 28 neutrons et l'on se serait attendu à ce que la fermeture de la couche $f_{7/2}$ pour le nombre magique $N = 28$

favorise une solution sphérique. Non seulement il n'en est rien mais les déformations proton et neutron sont différentes, phénomène jamais observé le long de la ligne de stabilité. Ces deux faits nouveaux – "atténuation de la magicité" du nombre $N = 28$ et "découplage" des déformations neutron et proton – illustrent la richesse de la physique qui va devenir accessible avec les faisceaux de noyaux exotiques ou radio-actifs au GANIL entre autres.

La méthode de *calcul Hartree-Fock dépendant du temps* avait été utilisée en particulier pour l'étude des collisions entre ions lourds à relativement basse énergie. Cette méthode a aussi servi de point de départ à d'autres approximations par exemple Landau-Vlasov et ajout de termes de collisions pour aller au-delà du champ moyen. Dans les calculs antérieurs, seules des forces simplifiées pouvaient être utilisées, ou des géométries particulières, pour réduire la taille des programmes de calcul. Le développement technologique des ordinateurs a rendu ces approximations caduques et il a été développé un code de calcul à 3 dimensions permettant d'utiliser les forces de Skyrme les plus récentes. Une première application a été l'étude théorique de la fusion d'un noyau hypothétique de ^{28}O sur du ^{40}Ca [T98/032 et T98/033]. Ce travail doit ouvrir la voie à l'étude de la compétition entre la fusion sous-coulombienne et le transfert massif de neutrons lors d'une collision de noyaux riches en neutrons sur une cible quelconque.

La problématique qui se fait jour autour de *l'incinération des déchets nucléaires* dans des systèmes hybrides dédiés a conduit à proposer une modélisation simple du mécanisme de spallation [T97/030]. Avec des hypothèses minimales sur la perte d'énergie (dE/dx) et sur la thermalisation, ce modèle permet de calculer la distribution en énergie et la multiplicité des neutrons émis lors de l'interaction d'un faisceau de protons de haute énergie (de l'ordre du GeV) sur une cible épaisse. L'avantage de la méthode est de permettre des comparaisons faciles avec des codes de calculs beaucoup plus sophistiqués, et avec l'expérience. Elle permet aussi une étude détaillée de la sensibilité au divers paramètres du modèle et de mettre en évidence les paramètres physiques pertinents.

En ce qui concerne les *réactions nucléaires*, l'approximation d'onde "distordue" (DWBA) a donné lieu au perfectionnement de codes existants. Ainsi, Le code DWBA91 permet en principe de calculer la diffusion inélastique de nucléons par l'excitation d'un état particule-trou avec une interaction à deux corps qui peut dépendre de la densité. On a introduit la possibilité de calculer les ondes diffusées utilisée dans la DWBA à partir de l'interaction à deux corps et la description de la cible en tenant compte du terme direct et des termes d'échange. La diffusion élastique sur ^{6}Li à ^{238}U est bien décrite avec la même interaction et la polarisation est bien reproduite sans paramètre autre que la description de la cible (choisi pour vérifier la diffusion d'électrons). La dépendance de la densité d'une interaction faisant intervenir deux points r_1 et r_2 est assez arbitraire. Dans ces articles, on utilise la moyenne géométrique des densités à r_1 et r_2. DWBA91 permettait aussi d'utiliser la moyenne arithmétique. La possibilité d'utiliser la densité à $(r_1 + r_2)/2$ a été ajoutée et une comparaison des trois resultats a été présentée: les différences sont de l'ordre de 1% [T97/075]. Jusqu'ici, la densité utilisée pour calculer l'interaction était une simple fonction de Fermi. En prévoyant d'utiliser la densité effective de la cible, eventuellement en distinguant protons et neutrons pour les noyaux exotiques, les nouveaux codes DWBA98/DWBB98 ont été réalisés et pro-

posés à la communauté.

La matière hadronique

Deux domaines de physique, la physique des hadrons et l'astrophysique, ont été particulièrement concernés par les recherches sur la matière hadronique au SPhT. Il s'agit de la matière hadronique dans les étoiles denses et dans les collisions d'ions lourds. Il a été proposé que des propriétés nucléaires peuvent être décrites de façon quantitative par la QCD non-perturbative, à savoir, la théorie perturbative chirale : il s'agit d'une *théorie effective des champs* pour la matière hadronique en physique nucléaire et en astrophysique.

Les processus classiques de fusion, $n+p \to d+\gamma$ à très basse énergie, $p+p \to d+e^+ +\nu_e$, peuvent être calculés de façon extrêmement précise (à 0,5 % prés) à partir de cette théorie [T97/160, T98/034]. Ces résultats ont une conséquence cruciale sur l'évolution des étoiles de masse égale ou inférieure à la masse du soleil. Il est démontré [T96/056, T97/046] que la matière nucléaire peut se décrire quantitativement par le lagrangien effectif chiral construit par Brown et Rho en 1991 en termes de la loi d'échelle dite "BR scaling". De plus, cette théorie, dont les prédictions sont en bon accord avec les données expérimentales à la densité normale, peut s'étendre à la densité plus élévée, grâce à l'équivalence entre cette théorie et la théorie de Landau du liquide de Fermi pour la matière nucléaire [T97/159]. C'est la première formulation d'une théorie quantique des champs pour les noyaux et la matière nucléaire dans le cadre du "théorème de Weinberg" de la théorie effective [T97/106].

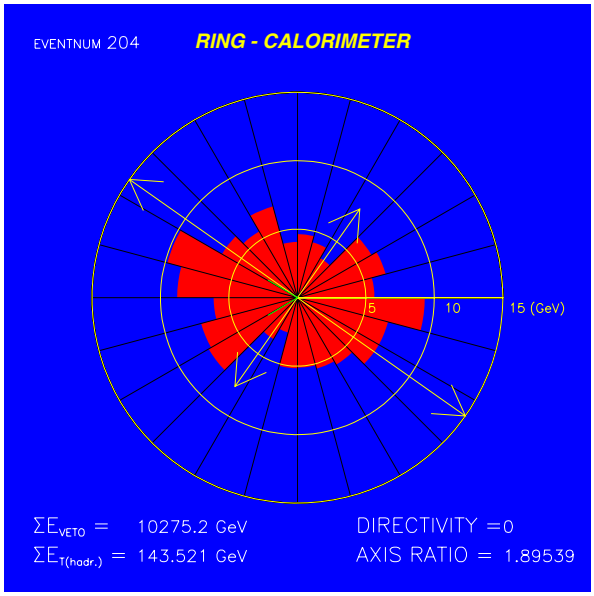
Dans ses différents domaines d'application en physique nucléaire ou en Astrophysique, un rôle très important est dévolu à l'étude des *transitions de phase dans la matière hadronique dense et/ou chaude*: La notion de la loi d'échelle "BR scaling" conduit à une description simplifiée de la transition de phase chirale en termes des degrés de liberté des champs effectifs [T96/056]. Ce résultat fournit un outil simple et puissant pour analyser ce qui se passe dans les étoiles compactes et dans la collision d'ions lourds à haute densité et/ou température. En ce qui concerne le problème de *l'étrangeté dans la matière hadronique dense*, la théorie perturbative chirale aux ordres élévés est utilisée pour calculer la densité critique de la condensation de kaons et les propriétés de la matière dense des étoiles à neutrons [T96/115]. Ces prédictions impliquent que les étoiles à neutrons observées jusqu'ici pourraient contenir en leur interieur des condensats de kaons.

La description du nucléon lui-même en terme de structure non-perturbative de la théorie des champs constitue un domaine important d'investigation. Ainsi, il a été démontré que l'anomalie quantique de couleur dans le sac chiral du proton (découverte en 1989 par Nielsen, Rho, Wirzba et Zahed) a une conséquence importante sur le contenu de spin du proton [T97/045]. Ceci représente une évidence nontriviale pour le phénomène du "Chat de Cheshire"dans la structure baryonique discuté en détail dans le livre "Chiral Nuclear Dynamics" [T96/149].

Une structure de *soliton chiral* a été calculée avec une régularisation invariante de Lorentz non-locale. Le nombre baryonique est calculé exactement. La régularisation non-locale paraît la plus réaliste et elle est faite à la fois dans les secteurs mésonique et baryonique. Plusieurs travaux [T96/044, T96/046] ainsi qu'une introduction générale aux modèles des hadrons du type Nambu Jona-Lasinio qui a fait l'objet d'un livre [T96/044], ont été poursuivis.

Ions lourds et plasma chromodynamique

L'étude phénoménologique des *collisions d'ions lourds relativistes* se poursuit. Elle porte sur les expériences réalisées au SPS du CERN (collisions plomb–plomb à 160 GeV par nucléon) et à l'AGS de Brookhaven (collisions or-or à 10 GeV par nucléon). Sont étudiées plus particulièrement la production de la particule J/Ψ et les distributions azimutales des particules (phénomène dit de "flot"). L'étude de la production du J/Ψ a été stimulée par les résultats obtenus début 1996 par la collaboration NA50 du CERN, qui avait observé une diminution du nombre de J/Ψ produits par rapport à la valeur attendue.



Collision Pb–Pb à 160 GeV par nucléon, vue par la collaboration NA49 du CERN. On a représenté en grisé la répartition de l'énergie des particules détectées, dans un plan perpendiculaire à l'axe de la collision. Cette répartition n'est pas isotrope, mais suit approximativement une ellipse, dont les axes principaux sont représentés par des flèches, d'où le nom de flot elliptique donné à ce phénomène. Le grand axe correspond à la direction d'impact des noyaux. [Extrait de T. Wienold, contribution à la conférence quark Matter '96, Heidelberg]

Cette diminution avait été d'autre part proposée comme signature de la production d'un plasma de quarks et de gluons. Des données plus précises obtenues en 1997 confirment que les modèles traditionnels (qui n'invoquent pas la formation d'un plasma) ne parviennent pas à rendre compte des données, qui présentent des variations si brusques qu'aucun modèle (avec ou sans plasma) n'a encore pu les expliquer [T96/152, T97/088, T97/170]. En ce qui concerne les distributions azimutales, des données publiées en 1997 par la collaboration E877 (Brookhaven) puis par la collaboration NA49 (CERN) ont montré pour la première fois que les particules sont principalement émises dans la direction du plan de réaction dans les collisions ultrarelativistes, alors qu'elles sont émises dans la direction perpendiculaire à plus basse énergie [T98/018]. Ce phénomène avait été prédit (voir [T92/016, T93/026]).

Le *plasma quark-gluon ou plasma Chromodynamique* à haute température peut *a priori* être décrit à l'aide de la théorie des perturbations appliquée à la Chromodynamique quantique (QCD), par référence au plasma d'électrons et de photons décrit par l'Electrodynamique (QED). Ceci a été à l'origine de plusieurs travaux de théorie des champs à haute température. Le plasma Chromodynamique apparait comme un système de particules faiblement couplées dont les excitations de grande longueur d'onde sont des excitations collectives. La physique de ces oscillations collectives a été bien étudiée au début des années 90 où on a compris comment étendre aux théories non abéliennes (cf. QCD, les gluons interagissent) certains résultats connus pour les plasmas abéliens (cf. QED, les photons n'interagissent pas). Cependant, le calcul de la durée de vie des excitations est resté un problème jusqu'à un époque très récente: en ef-

fet, ce calcul en théorie de perturbation se heurte à des divergences infrarouges. L'origine de ces divergences, qui sont aussi présentes dans les théories abéliennes comme l'électrodynamique, a été étudiée et une méthode permettant de resommer les plus importantes divergences a été trouvée. Le résultat est que l'amortissement des excitations n'est pas exponentiel. De façon remarquable, le même type d'amortissemnt avait été prévu pour un problème sans relation apparente avec la physique des plasmas ultrarelativistes, à savoir la propagation de la lumière dans un milieu désordonné, pour certaines conditions sur le désordre [T96/085, T97/052].

A très haute température, les *divergences infrarouges de QCD* traduisent un comportement en fait non-perturbatif à grande échelle d'espace-temps. En particulier, ce comportement non-perturbatif est responsable de la violation du nombre baryonique, un mécanisme qui pourrait expliquer l'asymétrie matière – antimatière qu'on observe dans notre Univers. Afin d'étudier de tels phénomènes, une méthode non-perturbative qui consiste en deux étapes a été proposée [T97/123]. On construit d'abord une théorie effective *classique* pour les modes "mous" non-perturbatifs, en intégrant les modes "durs" en théorie des perturbations. Puis on étudie la théorie classique par des calculs numériques sur réseau. Cette méthode pourrait également s'appliquer à des études non-perturbatives du plasma de quarks et de gluons.

La plupart des travaux de théorie de jauge à température finie, en particulier les calculs de temps de vie des quasiparticules, se sont limités au cas d'un potentiel chimique nul (c'est à dire autant de quarks que d'antiquarks dans le cas de QCD). Cependant, les plasmas à *potentiel chimique non nul* présentent aussi un interêt phénoménologique (ils peuvent être présents temporairement dans des collisions d'ions lourds, ou de façon durable au cœur de certaines étoiles à neutrons). Les temps de vie des quasiparticules ont donc été calculés dans la limite de température nulle et grand potentiel chimique [T96/133]. Contrairement à ce qui se passe à haute température, toutes les divergences infrarouges disparaissent une fois que les effets d'écran sont correctement pris en compte : le temps de vie est donc une quantité bien définie, que nous avons calculée analytiquement à l'ordre dominant de la constante de couplage, en fonction de l'impulsion de la quasiparticule. On trouve, en particulier, que l'inverse du temps de vie au voisinage de la surface de Fermi décroît linéairement avec l'énergie d'excitation (alors que la décroissance est ordinairement quadratique). Ce phénomène est lié à l'absence d'écrantage des champs magnétiques statiques, qui est également le phénomène responsable des divergences infrarouges observées à haute température. On observe d'autre part que le temps de vie, suffisamment loin de la surface de Fermi, est indépendant de l'énergie d'excitation pour une interaction de jauge, alors qu'il varie fortement pour une interaction scalaire (de type Yukawa, sans masse).

L'"INFINIMENT PETIT"

La physique des Particules élémentaires et de leurs interactions fondamentales repousse toujours plus loin les bornes de nos connaissances sur la structure de la matière. Ainsi, le succès du "Modèle Standard" aux accélérateurs actuels soulève une série de questions phénoménologiques et théoriques qui s'adressent aux limites en énergie (et donc en puissance de résolution) des expériences en cours et à venir. La théorie des interactions fortes fondée sur la Chromodynamique quantique est soumise aux défis des hautes énergies alors que la théorie des interactions élec-

trofaibles s'attaque aux problèmes des masses et des lois de conservation. Dans une perspective encore plus large, la question fondamentale et lancinante de l'unification des forces, incluant la gravitation quantique, se trouve posée dans les cadres nouveaux des théories de supercordes en plein essort conceptuel.

Chromodynamique quantique à haute énergie

Invariance conforme en chromodynamique quantique perturbative. Des expériences de diffusion profondément inélastique électron-proton réalisées récemment à HERA (Hambourg) ont permis de mesurer les fonctions de structure du proton dans une large gamme de valeurs de la variable cinématique de Bjorken, x_{Bj}, qui représente la fraction de l'impulsion du proton emportée par le quark-cible qui a été frappé par l'électron dans le proton (c'est ainsi que la structure fondamentale du proton est scrutée dans les accélérateurs qui forment d'énormes microscopes, voir [T96/104] et [T97/037] pour une introduction pédagogique). Une croissance spectaculaire de ces fonctions de structure a été observée pour les très petites valeurs de x_{Bj} de l'ordre de 10^{-4}. Sur le plan théorique, l'équation intégrale de Balitsky–Fadin–Kuraev–Lipatov (BFKL) décrit l'évolution des distributions partoniques en fonction de x_{Bj}, en resommant à l'ordre dominant toutes les corrections proportionnelles à $(\alpha_s \ln x_{Bj})^n$, où α_s est la constante de couplage de la chromodynamique quantique. La croissance des fonctions de structure observée expérimentalement est ainsi prédite [T96/094]. Dans le cadre de la méthode BFKL, le processus dominant est l'échange d'un système composite gluon-gluon, appelé le *Poméron*. Il a été montré par Lipatov que l'amplitude élastique d'échange du poméron est, à l'ordre dominant, invariante par 1e groupe $SL(2, \mathbf{C})$ c'est-à-dire le groupe des transformations conformes globales dans les coordonnées transverses, et que l'introduction d'une base de fonctions propres invariantes conformes simplifie le problème. En fait, plus fondamentalement, il se dégage le fait que l'invariance conforme de la Chromodynamique quantique à haute énergie soit une caractéristique profonde et prometteuse. C'est en tout cas le but des travaux suivants que de montrer l'importance de cet aspect de l'interaction forte à haute énergie.

Dans cette voie, une expression exacte pour cette base de fonctions propres en termes de *blocs conformes* a été obtenue en résolvant les équations aux dérivées partielles résultant de la symétrie conforme [T96/136, T97/016]. Cette structure, fréquemment rencontrée dans l'étude des théories des champs bidimensionnelles, implique que les fonctions de corrélation se décomposent en sommes de produits de facteurs holomorphes et antiholomorphes. La puissance de la symétrie conforme comme outil a été illustrée par l'application à différents calculs d'amplitudes de la Chromodynamique quantique à haute énergie difficiles sinon impossibles à envisager autrement. Ainsi du couplage général à un système quark-antiquark [T97/108] ou du calcul du couplage à trois *Pomérons* de la QCD [T97/145].

En fait ce dernier calcul relève d'une conjecture plus générale mise en évidence récemment et démontrée pour les amplitudes "en arbre" [T97/034, 060, 119]: il existerait une *théorie de cordes effective* (ou de supercordes) sous-jacente à la resommation perturbative de la Chromodynamique quantique à haute énergie. Cette extension de la symétrie conforme globale à une symétrie locale de dimension infinie (comme le présuppose la théorie de cordes) pourrait permettre une interprétation géomé-

trique fructueuse. Le pas suivant qui est en cours d'étude est le calcul de l'amplitude d'échange à deux *Pomérons* de la QCD. Ce calcul avait été effleuré par Al.Mueller mais là encore la richesse de l'invariance conforme permet une etude systématique prometteuse sur la stucture de corde éventuelle de la théorie au-delà des amplitudes "en arbre", par exemple pour la géométrie du tore.

Du point de vue phénoménologique, l'image et le formalisme des dipôles de couleurs de Mueller (voir une introduction dans [T96/087]) reproduisant la dynamique de BFKL ont été appliqués à l'étude de la fonction de structure du proton. Développant un travail antérieur (cf. [T95/090, T95/043]), on montre qu'avec un nombre resteint de paramètres libres, la dynamique de BFKL peut rendre compte de la croissance des fonctions de stucture à petit x_{Bj}, et prédire par exemple la contribution des quarks charmés aux fonctions de structure du proton, en bon accord avec les dernières expériences [T98/009]. Cette croissance était jusque là uniquement reproduite par l'extrapolation à petit x_{Bj} des équations du groupe de renormalisation connues sous le nom DGLAP (Dhokshitser-Gribov-Lipatov-Altarelli-Parisi). Outre son économie de paramètres, l'avantage de cette description est de permettre une écriture unifiée [T97/149] des fonctions de stucture du proton et des phénomènes diffractifs (la *Diffraction Dure*) observés de façon un peu inattendue dans les expériences des collaborations H1 et Zeus auprès de l'accélérateur HERA. Une étude complète a montré la pertinence de cette approche mais les calculs étaient effectués en utilisant des expressions asymptotiques. C'est pour cela que, récemment, une étude théorique exacte des deux composantes diffractives responsables du phénomène observé a été entreprise. La première mettant en jeu le vertex à trois *Pomérons* de la QCD, est calculée [T97/131] en utilisant pleinement l'invariance conforme de la théorie. Le calcul de la seconde, qui correspond à une diffusion quasi élastique, est en cours de finition.

Ces travaux fournissent une illustration des liens profonds qui se développent entre la chromodynamique quantique à haute énergie, les théories invariantes conformes bidimensionnelles et la théorie des cordes.

La Chromodynamique quantique aux collisionneurs. Les sujets de recherche pendant les deux dernières années reflètent trois activités principales portant sur la Chromodynamique quantique perturbative : (a) le développement et l'application de techniques nouvelles pour le calcul de corrections virtuelles à des processus de QCD, (b) des études avec de programmes numériques mettant en pratique des prédictions de QCD pour la physique dans les collisionneurs hadroniques à l'ordre sous-dominant, (c) l'utilisation des données venant des collisionneurs hadroniques pour extraire les fonctions de distribution des partons dans le nucléon.

Les corrections à l'ordre d'une boucle au processus $Z \to$ quatre jets au LEP ont été calculées. Il faut calculer deux sous-processus, $Z \to q\bar{q}gg$ [T97/090] et $Z \to q\bar{q}q'\bar{q}'$ [T96/111]. Ces sous-processus ont des coefficients $SU(3)$-couleur différents. C'est le processus le plus simple qui permette une mesure indépendante des charges de couleur des quarks et des gluons. Il peut aussi être utilisé pour affecter des limites aux masses des fermions ou des scalaires légers qui possèdent des charges de couleur. Ces calculs constituent également une partie importante dans le calcul des corrections à l'ordre sous-sous-dominant (NNLO) au processus $Z \to$ trois jets. Ce dernier est utilisé pour extraire la constante de couplage des interactions fortes α_s, mais les erreurs dans

cette extraction sont principalement des incertitudes théoriques. Le calcul des corrections NNLO éliminerait cette source d'incertitude. Dans ces calculs, une technique, basée principalement sur l'unitarité a été utilisée pour calculer les corrections à l'ordre d'une boucle aux amplitudes de QCD. La plupart des termes dans une amplitude à une boucle peuvent être reconstruits à partir des coupures (parties absorptives) en quatre dimensions. Pour calculer ces termes avec cette technique, il faut "coudre" des amplitudes à l'ordre des arbres; la technique est efficace parce que le calcul profite de toutes les annulations qui se passent dans un calcul à l'ordre des arbres. La technique produit tous les termes dans une amplitude d'une théorie supersymétrique, et tous les termes (sauf les termes purement rationnels) dans une amplitude de QCD. Les autres termes peuvent être calculés soit par extension des coupures à $4-2\epsilon$ dimensions, soit en utilisant les propriétés de factorisation dans les limites collinéaires. Une connection a été proposée entre les amplitudes à l'ordre d'une boucle dans les théories Yang-Mills self-duales et celles dans les théories à supersymétrie $N = 4$ en dimension huit [T96/132].

Une mesure de la forme des jets de particules dans les collisions hadron–hadron, le *moment radial* [T97/054], a été examinée. Il est qualitativement défini comme étant l'impulsion transverse scalaire moyenne des particules dans le jet par rapport à l'axe du jet. Ce moment est sensible aux effets non-perturbatifs (tels que l'hadronisation) aux énergies transverses (E_T) faibles, mais offre une autre méthode de mesure du couplage fort α_s aux E_T plus élevées. Une première comparaison avec des données a fourni une estimation numerique des effets non-perturbatifs appelés "corrections de puissance".

L'utilisation des données venant des collisionneurs (en particulier les collisionneurs hadroniques) pour extraire les fonction de distribution des partons dans le nucléon demande des outils techniques plus sophistiqués que ceux utilisés avec les données de diffusion profondément inélastique (ces derniers constituent une part importante des données utilisées dans les fits globaux, par exemple ceux des collaborations MRS et CTEQ). En contraste avec les quantités traditionnelles, comme la fonction de structure F_2, utilisées dans ce but, les sections efficaces et les distributions différentielles dans les collisionneurs doivent être calculées numériquement. Ces calculs sont coûteux en temps, et donc il faut éviter de les refaire à chaque itération d'un ajustement des données. Pour cela, une nouvelle méthode plus efficace d'évolution des distributions de partons avec l'équation d'Altarelli–Parisi a été developpée, basée sur des transformation de Mellin avec un meilleur choix de contour [T97/043]. De même, une méthode de réorganisation des calculs d'observables de jets a été proposée, de telle sorte que les calculs dispendieux soient effectués une seule fois.

Les proprietés de factorisation des amplitudes au niveau des arbres, dans les limites molles et collinéaires, jouent un rôle important dans les méthodes générales pour l'annulation des divergences infrarouges dans des calculs de jets. Catani et Seymour ont réussi à trouver une seule fonction qui résume les proprietés dans les deux limites pour l'élément de matrice carré; une fonction analogue, mais au niveau de l'amplitude elle-même, dénommée *fonction de factorisation d'antenne*, a été proposée [T97/109].

Modèle standard et nouvelles symétries

Le *modèle standard des interactions électrofaibles et fortes* rend compte de tous les résul-

tats expérimentaux obtenus en physique des particules dans les grands accélérateurs. Toutefois se pose la question de son extension à des énergies supérieures à celle associée à la brisure spontanée des interactions électrofaibles. De cette étude pourrait notamment sortir une meilleure compréhension des paramètres libres du modèle standard (constantes de couplage, angle de Cabibbo de mélange des saveurs, couplages de Yukawa ...). La relative abondance de ces paramètres libres est la conséquence de la multiplicité des particules élémentaires (quarks et leptons) à partir desquelles sont construites les particules observées expérimentalement (baryons, mésons, leptons). En effet, les fermions élémentaires se regroupent au sein de trois familles, contenant chacune deux quarks, un lepton et son neutrino associé. Elles présentent des caractéristiques identiques vis-à-vis des interactions de jauge et apparaissent donc comme des redondances ; seule la grande hiérarchie du spectre de masse permet de distinguer ces trois familles. Les valeurs des paramètres qui contrôlent ces masses (couplages de Yukawa) sont ajustées de façon à s'accorder aux résultats expérimentaux mais ne sont en rien contraintes par la théorie, pas plus que les angles de mélange permettant, dans les interactions de jauge, le passage d'une saveur à l'autre. La physique des saveurs est donc essentiellement une physique au-delà du modèle standard.

L'idée est donc de supposer que cette *physique des saveurs* est essentiellement une physique de haute énergie reposant par exemple sur l'existence d'une symétrie de jauge additionnelle au $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ habituel : cette nouvelle symétrie agirait de façon différente dans l'espace des trois saveurs (on parle de symétrie horizontale) et elle serait brisée spontanément à une échelle $M_{\text{saveurs}} \gg M_{\text{MS}}$. Il est nécessaire de maintenir cette hiérarchie entre les échelles au niveau quantique, ce que permet l'introduction de la supersymétrie par l'absence de corrections quadratiques dans le paramètre de coupure ultraviolette. A la suite des travaux entrepris depuis trois ans, cette physiques de saveurs a été étudiée par plongement dans des théories que l'on pense être fondamentales pour décrire les interactions à haute énergie : la supergravité et les théories de supercordes. Comme il a été notamment montré [T96/065, T97/007], des contraintes théoriques fortes (l'absence d'anomalies quantiques) à haute énergie pouvaient se traduire, à basse énergie, par des conséquences physiques observables : c'est ainsi qu'il a été prédite une inversion du spectre de masse des partenaires supersymétriques bosoniques par rapport à la hiérarchie de masse des fermions du modèle standard, fournissant ainsi un modèle vérifiable à basse énergie.

De nombreuses expériences de physique des particules confirment que les nombres de baryons et de leptons sont conservés par toutes les interactions connues et imposent des limites contraignantes sur la violation de ces *lois de conservation*. En effet, la baryogénèse en tant que processus de prédominance de la matière sur l'anti-matière dans l'histoire de l'Univers exige une violation de ces lois mais qui pourrait néanmoins s'expliquer par une violation extrêmement faible. Or, ces lois de conservation peuvent être considérées comme une prédiction du modèle standard. Par contre, dans ses extensions supersymétriques par l'intermédiaire de quarks et leptons scalaires, ces lois de conservation ne sont plus assurées, il faut les imposer. La façon la plus économique d'y parvenir revient à postuler une symétrie discrète, la *R-parité*. Il a été vérifié [T98/023] d'une façon générale que cette symétrie est brisée spontanément à moins d'imposer des contraintes importantes sur les paramètres ou de faire appel à des modèles cosmologiques

appropriés. En fait l'introduction explicite de termes d'interaction brisant la R-parité permet de prévenir une brisure spontanée beaucoup plus forte! Notons comme travaux phénoménologiques en cours d'achèvement : la production d'un seul partenaire supersymétrique, chargino, neutralino ou scalaire aux collisionneurs leptoniques et la R-parité brisée dans les asymétries dues à la violation de CP aux collisionneurs linéaires du futur. En effet, les interactions violant la *symétrie de R-parité* dans le modèle standard supersymétrique minimal offrent de nouvelles possibilités pour l'étude de la supersymétrie auprès des collisionneurs de haute énergie. Ces interactions peuvent se manifester directement par la production d'une seule particule supersymétrique. Une étude systématique est conduite pour les 4 réactions suivantes de production simple de charginos, neutralinos et sleptons neutres et chargés :

$$e^- + e^+ \to \tilde{\chi}^+ + l^-, \quad e^- + e^+ \to \tilde{\chi}^0 + \nu,$$

$$e^- + e^+ \to \tilde{l}^+ + W^-, \; e^- + e^+ \to \tilde{\nu} + Z^0.$$

Par ailleurs, les constantes de couplage des interactions impaires par R-parité pourraient incorporer des phases complexes susceptibles d'induire une violation de la symétrie CP. Une étude quantitative des asymétries CP est conduite pour la production auprès des collisionneurs linéaires $e^- - e^+$ de haute énergie, de paires de quarks-antiquarks, de leptons-antileptons ou encore de sleptons-antisleptons, de saveurs différentes. La comparaison des prédictions associées au mécanisme de R-parité brisée avec ceux d'autres mécanismes compétitifs permettra de renforcer l'impact de mesures expérimentales de ces observables auprès des collisionneurs de haute énergie en projet.

Au niveau théorique, la séparation des fermions de la théorie en deux catégories (matière visible et matière "cachée" responsable de la brisure de supersymétrie) peut relever d'une *symétrie de saveur* étudiée dans le cadre général mentionné plus haut. Des classes de modèles ont été élaborées [T97/152] où la faiblesse de la violation de la R-parité s'explique par une symétrie abélienne continue de saveurs, brisée à des énergies très hautes. Pour certains de ces modèles, les interactions qui violent la R-parité et la conservation du nombre leptonique n'induisent pas des contributions dangereuses (car non observées) changeant la saveur des quarks. Cependant, tous ces modèles tendent à prédire un neutrino relativement massif, proche des limites expérimentales pour la matière noire ("chaude").

Quant à elle, la supersymétrie n'a pas encore été reconnue expérimentalement, mais les dernières expériences de LEP1.5 et celles envisagées à LEP2 permettent d'approfondir l'étude des modèles phénoménologiques. On connaissait depuis bien longtemps le Modèle Standard Supersymétrique Minimal (MSSM). Une extension de ce dernier a été envisagée [T96/050] en supposant l'existence d'un supermultiplet (deux champs scalaires et un champ fermionique, le "singulino") singulet sous le groupe du modèle standard et en faisant une hypothèse d'universalité pour les termes de brisure douce de la supersymétrie. Le (M+1)SSM ainsi défini peut-il notablement différer du MSSM? Une étude numérique et analytique des contraintes expérimentales restreint l'espace des paramètres à une région où le supermultiplet se découple et où le reste du spectre n'étonnera pas les spécialistes du MSSM. Dans le cas, tout à fait envisageable au regard des contraintes actuelles, où la plus légère des particules supersymétriques serait le singulino, le (M+1)SSM viendrait se singulariser par l'apparition d'une nouvelle cascade de désintégrations... Un peu d'ordre géométrique dans

l'ordre vital de la supersymétrie, aurait dit Bergson.

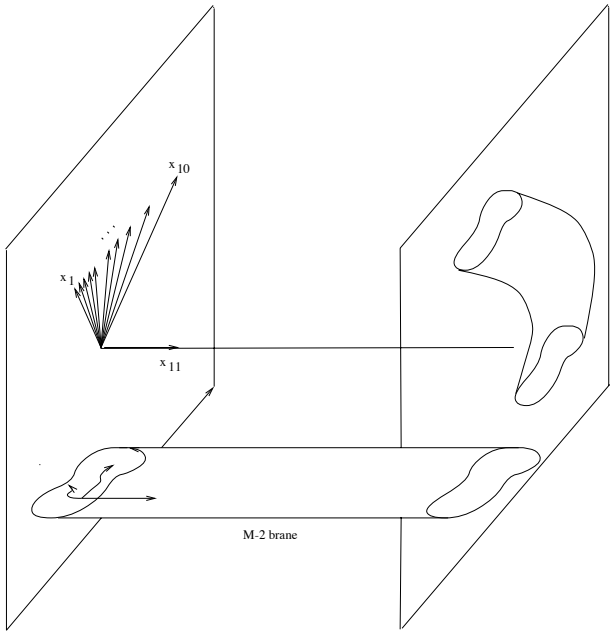
Cordes, Supercordes et Unification des forces fondamentales

Phénoménologie des Supercordes. Dans le cadre de la théorie des champs il est souvent très difficile de justifier l'apparition de petits couplages entre champs. Ces petits couplages sont néanmoins nécessaires en physique des particules pour expliquer les grandes différences d'échelles de masse, par exemple entre l'échelle de Planck et l'échelle électrofaible. Citons encore les faibles violations de certaines lois de conservation, comme on l'a vu plus haut. L'existence de ces petits couplages a été justifiée [T97/057, T97/056] dans des modèles inspirés des "orbifolds" de la théorie des cordes. Dans ce cadre, les petits couplages sont dûs à la présence de champs localisés dans les dimensions compactifiées entre lesquelles se propagent des particules massives.

Le calcul des corrections radiatives des boucles en théorie des cordes, autre préoccupation nécessaire des phénoménologues, suppose l'emploi d'une procédure de régularisation infrarouge permettant de séparer les états de masse nulle des états massifs de la corde. Les corrections dites de seuil représentent alors la contribution des états massifs après intégration dans l'intégrale fonctionnelle. Le calcul [T97/019] est basé sur les modèles d'orbifolds à 4 dimensions et sur un régulateur infrarouge utilisant une courbure non-nulle de l'espace-temps. Les propriétés systématiques des corrections de seuil sont analysées pour les interactions de jauge et de gravitation minimales ainsi que pour les interactions dépendant des dérivées d'ordre supérieur dans les champs de jauge et de gravitation.

Superchamps, Supercordes fortement couplés. Dualité. La théorie des cordes a été proposée à la fin des années soixante pour décrire les interactions fortes. L'introduction de la supersymétrie, puis l'observation que la gravitation est contenue dans le spectre de la théorie des cordes, en firent un candidat naturel pour l'unification des quatre interactions fondamentales. Au milieu des années quatre-vingt furent construites cinq théories des cordes, de type I, IIA, IIB et hétérotiques $SO(32)$ et $E_8 \times E_8$. Ces théories sont définies par des séries perturbatives. Parallèlement, l'étude de théories mettant en jeu des objets étendus de dimensions plus grandes que deux commençait à se développer. Ces objets, dénommés membranes en dimension $2+1$ et p-branes en dimension $D = p+1$, apparaissent comme des solutions classiques des équations de cordes. Diverses tentatives pour généraliser la théorie des cordes à ces objets se sont heurtées à la difficulté de définir une théorie perturbative pour des objets étendus. Depuis 1994, plusieurs résultats et conjectures suggèrent que les cinq théories perturbatives des cordes sont en fait différents régimes d'une théorie unique à onze dimensions, baptisée M-théorie. Cette théorie n'a pas encore été définie de façon globale, mais seulement dans certaines limites. Par exemple, la théorie des cordes de type IIA se déduit de la M-théorie en compactifiant la onzième dimension en un cercle, alors que la théorie hétérotique $E_8 \times E_8$ est obtenue par compactification sur un intervalle. Dans ce cadre, les cordes et les objets étendus apparaissent sur le même plan. Dans sa limite de basse énergie, la M-théorie se réduit à la supergravité à onze dimensions, qui autorise l'existence de membranes et de 5-branes. La M-théorie en construction devra inclure les effets dûs à ces objets étendus. Il a été montré que la théorie de type IIA est obtenue par réduction dimensionnelle du modèle des membranes sans bord, lorsque l'on iden-

tifie une des dimensions des membranes avec la onzième dimension d'espace compactifiée sur un cercle ("voir" figure).



Espace-temps à 11 dimensions de la M-théorie. La onzième dimension est un intervalle $[0, R_{11}]$; dans la limite $R_{11} \to 0$, les bords dix-dimensionnels de cet intervalle correspondent à l'espace-temps de plongement de la corde hétérotique $E_8 \times E_8$. Les deux bords n'interagissent que par interaction gravitationnelle. Dans l'espace à 11d vivent des objets solitoniques étendus : les M-2 et M-5 branes qui peuvent avoir ou non une dimension suivant la onzième direction.

Il était intéressant de savoir quelles pouvaient être les conséquences phénoménologiques de ces nouvelles avancées théoriques. Ainsi, la compactification jusqu'à 4 dimensions [T97/038, T97/081, T97/144] a notamment permis d'identifier les champs de modules décrivant les vides de la théorie à partir des caractéristiques géométriques des variétés de compactification. Un mécanisme de brisure spontanée de supergravité de basse énergie a été proposé dans le cadre de ces théories fortement couplées, phénoménologiquement compatible avec la constante de Newton du couplage gravitationnel.

Super Membranes ouvertes. La question des membranes avec bords a été récemment abordée [T97/039]. En particulier, les membranes à deux bords ancrés sur les bords de la onzième dimension d'espace permettent de décrire le régime de couplage fort de la théorie hétérotique $E_8 \times E_8$. Cette approche permet de trouver de façon microscopique les résultats obtenus à partir de la supergravité. Nous avons également envisagé le couplage de membranes à des 5-branes dont la description apparaît dans la physique microscopique des trous noirs [T97/085]. Ce couplage permet de mettre en évidence un nouveau mécanisme de compensation d'anomalies de jauge et gravitationnelle.

La supersymétrie occupe également une place capitale dans l'étude de *théories de jauge en couplage fort* car, en contraignant suffisamment les actions effectives de basse énergie, elle permet d'obtenir des résultats exacts sur ces actions effectives à partir de considérations de symétrie. En supersymétrie, une même théorie possède généralement une variété de vides inéquivalents les uns aux autres, plusieurs champs de modules caractérisant alors ces vides : on parle d'espace des *moduli*. Il se trouve que cet espace des moduli est intimement relié à la variété algébrique décrite par les polynômes invariants de jauge construits à partir des champs élémentaires de la théorie. L'étude de cette variété et de ses contraintes (conjonctions ou "syzygies") pourrait donner un critère de confinement ou de dualité — description de la même physique à basse énergie à partir de deux théories distinctes à haute énergie [T97/084, T98/021].

Kirone MALLICK

"Systèmes hors d'équilibre : quelques résultats exacts", thèse de l'Université Paris VI, soutenue le 16 décembre 1996.

Jean-François MERCIER

"Instabilités d'écoulements thermocapillaires et de thermogravité", thèse de l'Université Paris VI, soutenue le 22 octobre 1997.

Stéphane NONNENMACHER

"Etats propres de systèmes classiquement chaotiques dans l'espace des phases", thèse de l'Université Paris XI Orsay, soutenue le 30 janvier 1998.

Georg SCHREIBER

"Systèmes désordonnés et frustrés : modèles champs moyen et probèmes d'optimisation combinatoire", thèse de l'Université Paris XI Orsay, soutenue le 13 novembre 1997.

Didina SERBAN-TEODORESCU

"Systèmes quantiques intégrables et leurs applications à la physique statistique", thèse de l'Université Paris XI Orsay, soutenue le 23 septembre 1996.

Estelle PITARD

"Approches théoriques du repliement des protéines", thèse de l'Université Paris VI, soutenue le 23 juin 1998.

Patrick VALAGEAS

"Distribution de matière et de lumière dans l'Univers et formation des systèmes planétaires", thèse de l'Université Paris VII, soutenue le 23 octobre 1997.

Stéphane WALLON

"Diffusion profondément inélastique à grande énergie en chromodynamique quantique pertubative", thèse de l'Université Paris XI Orsay, soutenue le 17 septembre 1996.

Kay WIESE

"Membranes polymérisées auto-évitantes", thèse de l'Université Paris XI Orsay, soutenue le 30 septembre 1996.

PRIX, MÉDAILLES, DISTINCTIONS

D. BERNARD, Prix Langevin de la SFP (1998)

P. BONCHE, Chevalier des Palmes Académiques (1998)

J.-P. BLAIZOT, Prix Ricard de la Société Française de Physique (1997)

M. RHO, Médaille de l'Ordre National du Mérite (Science, Gouvernement de la République de Corée, 21 avril 1997)

J. ZINN-JUSTIN, Chevalier de la Légion d'Honneur (1998)

ENCADREMENT DE JEUNES CHERCHEURS

• Thèses en cours au SPhT

Liste des étudiants préparant une thèse au SPhT en juin 1998. Entre parenthèses figurent le nom du directeur de thèse et l'année prévue pour la soutenance.

M. BOCQUET (V. Pasquier, 1998)
G. BONNET (F. David, 2000)
V. BRUNEL (T. Jolicœur, 1999)
C. GROJEAN (C. Savoy, 1998)
G. MOREAU (M. Chemtob, 2000)
S. MUNIER (R. Peschanski, 2000)
S. WIENZIERL (D. Kosower, juillet 1998)

• Thèses extérieures

Les physiciens du SPhT encadrent, complètement ou partiellement, des étudiants appartenant à d'autres organismes français ou étrangers. Leurs nombres figurent entre parenthèses.

Observatoire de Toulouse (1), Paris VI (2), Berlin, Département de Mathématiques (1), Pise (1), Université de Rennes (2), Nice, LPMC (1), SPEC (1), ENS Lyon (1), Meudon (1), Séoul (1).

• Stages DEA

. DEA de Physique Théorique, Paris 6, 7 et 11 (2)
. DEA Champs, Particules, Matière, Paris 6, 7 et 11 (2)
. DEA de Mathématiques Applicables (1)
. DEA de Mathématiques, Paris 7 (1)

• Stages X

Stages d'option de l'Ecole Polytechnique (6)

• Divers

Magistère des matériaux de Rennes (1)
Supélec (1)

ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

Sont indiqués ici uniquement les cours donnés dans des Universités ou des Grandes Ecoles, et ceux ayant donné lieu à une publication.

• Premier et deuxième cycle d'Université

- DEUG, Université Paris-Sud (J.-F. Mercier, S. Nonnenmacher, S. Wallon) - Magistère de Physique de l'ENS (J.-B. Zuber, J. Zinn-Justin)

• Grandes Ecoles

- Ecole Polytechnique (R. Balian, J.-P. Blaizot, B. Duplantier, T. Jolicœur ; par ailleurs, T. Garel et J.Y. Ollitrault sont examinateurs au concours d'entrée.

- ENS (J.-M. Drouffe est examinateur)

- Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées (G. Ripka)

- Ecole des Mines de Paris (B. Giraud)

• DEA

- Champs, Particules, Matière, Paris 6, 7, 11 (J.-M. Luck, J.-Y. Ollitrault)

- Physique Quantique (J.Y. Ollitrault)

- Dynamique des Fluides et des Transferts (Ch. Normand)

- DEA de Mathématiques de l'Université Paris 7 (J.-B. Zuber)

- Ecole Doctorale de l'ENS (B. Duplantier)

- Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (IUSTI), Marseille (J.-M. Luck)

- DESS de biologie et de pharmacologie du vieillissement, Université de Marne-la-Vallée (M. Gingold)

• Cours ayant donné lieu à publication

- R. Balian, "De la mécanique statistique hors équilibre aux équations de transport" Ecole internationale Joliot-Curie, [T96/143]

- M. Bauer, "Douze leçons sur les théories conformes", Beg-Rohu, 1997

- E. Guitter, "Méthodes de théorie des champs pour les polymères et les membranes polymérisées", Beg-Rohu, 1997 [T97/126]

- D. Kosower, "QCD Perturbatif", Ecole des Houches, 1997

- J.-P. Blaizot, "QCD at finite temperature" Ecole des Houches, 1997 [T97/138]

- J.-P. Blaizot "The quark-gluon plasma and nuclear collisions at high energy" Ecole des Houches, 1996 [T97/143]

- J.-P. Blaizot "Le probème à N corps. Approches non relativistes", Ecole internationale Joliot-Curie, 1997 [T97/143]

- G. Ripka, "La structure des noyaux et des particules", ENSTA, 1998

- J.-M. Drouffe, "Applications de la théorie des champs aux phénomènes critiques" Ecole d'été Beg-Rohu, 1997 [T97/102]

- J. Zinn-Justin, "Développement de la théorie des champs dans la limite de grand nombre de composants", Taiwan, 1997 [T97/018]

- J. Zinn-Justin, "Intégrale de chemin en mécanique quantique: introduction", Magistère de l'ENS, 1997 [T96/137]

• Cours du vendredi au SPhT, Saclay

- J. Zinn-Justin, "Théorie des champs et phénomènes critiques. Développements à N grand", 1996

- D. Bernard, "Introduction aux systèmes quantiques intégrables", 1997

- F. Bernardeau, "Cosmologie, la formation des grandes structures de l'univers", 1998

ÉDITION SCIENTIFIQUE

Des physiciens du SPhT contribuent en tant que rédacteurs en chef, éditeurs, ou membres des bureaux éditoriaux, à diverses revues scientifiques.

- **Europhysics Letters** (B. Duplantier)
- **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences** (R. Balian)
- **Nuclear Physics A** (J.-P. Blaizot jusqu'en 1998)
- **Nuclear Physics B** (J. Zinn-Justin)
- **Nuclear Physics B[FS]** (B. Duplantier)
- **Journal of Physics A** (J.-M. Luck, J. Zinn-Justin (éditeur en chef))
- **International Journal of Modern Physics E** (M. Rho)
- **Journal de Physique** (F. David, H. Orland)
- **Journal of Stat. Physics** (J.-M. Luck)
- **European Physical Journal B** (H. Orland)
- **Annales de l'IHP** (V. Pasquier)
- **Fortschritte der Physik** (J. Zinn-Justin)
- **Physica A** (A. Gervois)
- **Physics Letters B** (J.-P. Blaizot)
- **Série "Texts and Monographs in Physics" (Springer)** (R. Balian)

Par ailleurs, R. Balian et J. Zinn-Justin sont membres du Conseil d'administration des Editions de Physique; J. Zinn-Justin et F. David coéditent les Compte-Rendus des Sessions de l'Ecole d'Eté de Physique Théorique des Houches. J. Zinn-Justin est membre de la Commission des publications de l'EPS.

Les secrétariats scientifique et administratif assurent, dans la mesure du possible, le soutien à toutes ces activités.

LIVRES

J.-P. BLAIZOT "*Symétries et Physique microscopique*", Ellipses, 1998 (avec J.-C. Tolédano)

G. RIPKA, "*Quarks bound by chiral fields – The quark structure of the vacuum and of light mesons and baryons*", Oxford Scientific Publications, 1997.

ACTIONS DE VULGARISATION

• Mathématiques et sciences de la Nature (Académie des Sciences et bulletin de la Société Mathématique de France) (R. Balian)

• Emissions de télévision (TV5), de radio (France-Culture) (R. Balian)

• Participation au Comité de Rédaction de la revue *Images de la Physique* (J.-Y. Ollitrault)

• Participation au Comité de Rédaction de *Phases Magazine* (J.-P. Blaizot, M. Gingold)

• Vidéo-cassette sur le Congrès de la SFP 1997 (R. Balian)

• "Renormalization group analysis", article dans l'Encyclopédie Mathematica, Kluwer 1997 (D. Iagolnitzer)

• Interview sur France-Culture (Th. Jolicœur)

• Article dans les "Images de la Recherche", numéro spécial "fullérènes", édité par le CNRS (Th. Jolicœur)

• "The fundamental story interaction under the microscope", Europhysics New 28 (1997) 124 (R. Peschanski)

• Conseiller Scientifique pour "De cause à effet", série de quarante émissions de quinze minutes sur les lois fondamentales de la physique et leurs applications au quotidien, diffusée sur "la Cinquième" (M. Bauer)

• Journal du SPhT (M. Bauer et J.-M. Luck)

ORGANISATION DE CONFÉRENCES OU D'ÉCOLES

• Deuxièmes rencontres Claude Itzykson, Saclay 1997 (M. Bauer et D. Bernard)

• Troisièmes rencontres Claude Itzykson, Saclay 1998 (M. Bauer et Ph. Di Francesco)

• Congrès général de la SFP, Paris 1997 (R. Balian)

• 3rd Bologna Workshop: "CFT and integrable models", Bologne, Oct. 97 (D. Bernard)

• Membre du comité scientifique des rencontres de Moriond 1998 "Fundamental parameters in cosmology" (F. Bernardeau)

• Atelier au Centre de Physique des Houches : "Innovation options in the field of nuclear fission energy", 27/04-1/05/1998 (P. Bonche)

• INPC 98 (août 1998) (P. Bonche)

• Atelier au Centre de Physique des Houches : "Nuclear matter in various phases and transition", avril 1998 (J.-P. Blaizot)

• STATPHYS 20 (A. Gervois, D. Iagolnitzer)

• Ecole de Physique des Houches : "Topological aspects of low dimesional systems", 1998 (Th. Jolicœur)

• Ecole de Physique des Houches : "Trends in Nuclear Physics 100 years later", 1996 (J.-P. Blaizot)

• Ecole de Physique des Houches : "Probing the standard model of fundamental interaction", 28/07-5/09/97 (A. Morel, avec R. Gupta et E. de Rafaël)

• Ecole de Gif, sept. 97 et sept. 98 (H. Navelet)

• 10th International Couette-Taylor Workshop, Paris 16-18/07/97 (Ch. Normand, avec J.E. Wesfried)

• "Rencontres jeunes chercheurs" de la division de physique nucléaire de la SFP, Aussois, déc. 96 et déc. 97 (J.-Y. Ollitrault)

• Workshop à Trieste: "Membranes Proteins and their Interactions", 1996 (H. Orland)

• Conférence européenne à l'ISI (Turin): "Euroconference on Protein Folding and Structure Prediction", 1998 (H. Orland)

• Workshop "Deep inelastic scattering at small x", Durham 96, Madrid 97, Zeithen 98 (R. Peschanski)

• Texas meeting, Paris, Dec. 98, comité local (R. Schaeffer)

• Theoretical Cosmology, Ulyanoush, Russie, sept. 97 (R. Schaeffer)

• Atelier au Centre de Physique des Houches "Field Theory", Juin 98 (J.-B. Zuber)

• APCTP Workshop "Astro-hadron physics", Seoul, Corée 25-31 Oct. 1997 (M. Rho)

Par ailleurs, F. David est directeur de l'Ecole d'Eté de Physique Théorique des Houches.

COLLABORATIONS INSTITUTIONNALISÉES

A l'intérieur du CEA

De par sa vocation pluridisciplinaire, le SPhT participe à 5 "segments" CEA :

- Unification des Interactions Fondamentales (seg. 31)
- Structure du Nucléon et des Noyaux (seg. 32)
- Evolution des Etoiles et des Galaxies (seg. 33)
- Ordre et Chaos (seg. 36)
- Matériaux et Microstructures (seg. 37)

Dans la nouvelle segmentation qui apparaît fin 1998, il participera aux 6 segments :

- Physique des particules
- Physique nucléaire
- Astrophysique
- Chimie et ingénierie moléculaire
- Nanophysique et science des matériaux
- Cryogénie, supra conductivité et magnétisme

GDR

- "Physique des milieux hétérogènes complexes" (A. Gervois)
- "Fermions fortement corrélés" (T. Jolicœur, H. Orland)
- "Modélisation des assemblages moléculaires complexes" (H. Orland, T. Garel, J.-M. Drouffe)
- "Cosmologie et grandes structures" (F. Bernardeau, R. Schaeffer)
- "Structure interne des étoiles et des planètes géantes" (R. Schaeffer)
- "Ordre et chaos dans la matière" (Ch. Normand)
- "Systèmes colloïdaux mixtes" (B. Duplantier)
- "Gedeon" (P. Bonche)
- "Supersymétrie" (Ph. Brax, resp. du groupe "saveur") (M. Chemtob)

Programmes Européens

• **PROCOPE** (Allemagne)

- "Structure de Phase et Analyse en Particules en Théorie Quantique des Champs" (J. Bros, D. Iagolnitzer)
- "Chiral models of baryons and mesons" (G. Ripka)

• **PICASSO** (Espagne)

- "Brisure de symétrie et de supersymétrie" (C. Savoy, E. Dudas)

• **Réseaux CE**

- "Foams" (A. Gervois)

- "Conformal Theory" (P. Di Francesco, D. Bernard, J.-B. Zuber)

- "Investigations in random geometries : from interfaces to quantum gravity" (P. Di Francesco, I. Kostov, F. David, J.-B. Zuber)

- "Stability and Universality in Classical Mechanics" (P. Moussa)

- "Structure du proton" (R. Peschanski)

- "Flavordynamics" (C. Savoy)

Autres Programmes Internationaux

- Allocation de Recherche de l'OTAN pour collaborations avec le laboratoire SLAC (USA) (D. Kosower); avec A.V. Chubukov, Madisson (USA) (Th. Jolicœur) ; avec l'Arménie (I. Kostov, J.-B. Zuber)

-Programme BALATON (Hongrie), "Théorie des systèmes désordonnés : verres de spin" (C. De Dominicis, T. Garel)

- Programme Paris-Oxford (G. Ripka)

- Bourse von Humboldt (G. Ripka : Bochum, Heidelberg, Munich ; M. Rho : GSI, Munich)

- PICS, puis Convention d'Echanges franco-polonais (R. Schaeffer : Institut Copernic de Varsovie)

- Programme Concerté de Collaboration Scientifique franco-polonais (E. Dudas, C. Savoy)

- Programme "Fermion masses and mixing" franco-américain (E. Dudas : University of Florida)

- Programme Franco-Autrichien "Amadeus" (J.-P. Blaizot)

- Contrat avec l'Université d'Osaka et le Ministère Japonais de la Recherche (Th. Jolicœur)

ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE

• **CEA**

· Conseil Scientifique du CEA, Conseil d'Administration du LLB (R. Balian)

· Conseil de Direction de la DSM (M. Bergère, puis R. Peschanski)

· Conseils de laboratoire

DAPNIA (A. Morel)
CSTS du SPhN (J.-P. Blaizot)
CSTS du SPP (J. Zinn-Justin)
CSTS du SAP (R. Schaeffer, J. Zinn-Justin)
Comité d'évaluation du CESTA, Bordeaux (R. Balian)

· Conseils Scientifiques de segments

Segment 32 (Physique Nucléaire), responsable P. Bonche
Segment 33 (Evolution des Etoiles et des Galaxies), membre R. Schaeffer

· Comité scientifique de programme "Réacteurs et Combustibles" (P. Bonche)
· Comité scientifique de programme "Cycle du combustible" (G. Ripka)
· Programme ISAAC et INCA (P. Bonche)

• CALCUL SCIENTIFIQUE AU CEA
· Comité des utilisateurs de l'informatique du CEA (A. Billoire)
· Comité Simulation et Téraflop (A. Billoire)
· Conseil Scientifique pour le Calcul Centralisé de la DSM (A. Billoire, J. Zinn-Justin)
· Comité d'exploitation du C90 (O. Golinelli)
Par ailleurs, J.-M. Normand participe régulièrement aux réflexions de la Direction Informatique sur l'évolution des calculateurs centralisés. A la demande du Haut-Commissaire, J.-M. Normand a conduit une mission d'expertise sur l'utilisation de l'informatique au sein de la DSV (mars-juin 1997).

• CNRS
· Comité des Sciences Physiques (R. Balian, président)
· Conseil du Département SPM (J.-P. Blaizot, J.-B. Zuber)
· Comité National (section 02) (J.-B. Zuber, président)

• MENESR
· Conseil des Très Grands Equipements Scientifiques (R. Balian)
· Chargé de mission au MENESR (A. Billoire)
· Comité d'attribution des bourses de thèses MENESR (A. Morel)
· Commission d'habilitation des DEA (J. Zinn-Justin jusqu'en janvier 1998)
· Comission de spécialistes (section 29), Universités de Nantes, et de Paris-Sud (J.-P. Blaizot)
· Conseil scientifique du programme MENESR pour les thésards polonais (R. Schaeffer)

• CONSEILS SCIENTIFIQUES DE LABORATOIRE
· Conseil Scientifique de l'ENS - Lyon (R. Balian)
· Conseil Scientifique de l'ENSLAPP (F. David)
· Conseil Scientifique du CPT-Marseille (J.-B. Zuber)
· Conseil Scientifique du GANIL (P. Bonche)
· Conseil Scientifique du Hochleistungrechnungszentrum (HLRZ, KFA, Julich) (J. Zinn-Justin)
· Conseil Scientifique Extérieur du Laboratoire de Physique Théorique du JINR, Dubna (J. Zinn-Justin)
· Conseil Scientifique du DARC-Meudon (R. Schaeffer)
· Conseil Scientifique du laboratoire de physique théorique de l'ENS (J.-B. Zuber)
· Conseil Scientifique de l'IHES (J.-B. Zuber)
· Comité du SPS du CERN (J.-P. Blaizot)
· Conseil Scientifique Extérieur du Laboratoire de Physique Théorique de Strasbourg (J. Zinn-Justin)

• **DIVERS**

· R. Balian est président de la Société Française de Physique

· J.-P. Blaizot a présidé le Comité de direction de l'ECT* (European Centre for Theoretical Studies in Nuclear Physics and Related Areas, Trento, Italie) jusqu'au 31/12/97.

· F. David est directeur de l'Ecole d'Eté de Physique Théorique des Houches

· B. Duplantier est directeur adjoint de l'Institut Henri Poincaré

· J.-B. Zuber est président de la section 02 du Comité National du CNRS

· Comité de programmes de l'IDRIS

- "Systèmes Modèles" (R. Lacaze)
- "Systèmes Moléculaires Organisés et Biologie" (H. Orland)

· Conseil Scientifique de l'IDRIS (R. Lacaze)

· Comité Scientifique du GDR "Fermions fortement corrélés" (T. Jolicœur)

· Comité Scientifique du GDR "Gedeon" (P. Bonche)

· Comité Scientifique du GDR "Structure interne des étoiles" (R. Schaeffer)

· (Co)Responsable de GDR "Assemblages Moléculaires Complexes" (H. Orland)

· Comité d'attribution des bourses CERN (R. Peschanski)

· Conseil d'administration de l'Ecole des Houches (R. Balian, J. Zinn-Justin)

· Conseil d'administration de l'IHES (J. Zinn-Justin, représentant du Haut-Commissaire)

· "Assessment Board" de l'Académie des Sciences de la République Tchèque (G. Ripka)

· Responsable du CESEN, Cercle d'études sur l'énergie nucléaire (P. Bonche)

· Rapporteur pour le programme de la D.F.G. "Fermions, dynamique sur réseaux" (J. Zinn-Justin)

· Conseil scientifique du PICS Franco-Polonais, puis de la Convention d'échange CNRS-Académie polonaise (à partir de 1995) (R. Schaeffer)

LE GROUPE DE DOCUMENTATION SPhT-SPEC

Notre bibliothèque "de proximité" s'est vue confortée comme un des pôles essentiels pour la physique théorique. Elle est riche actuellement de plus de 8700 ouvrages et souscrit à plus de 150 abonnements à des revues scientifiques.
Suite au départ à la retraite d'Andrée Bonnerot, le comité de sélection des acquisitions est maintenant animé par Bruno Savelli : rassemblant des physiciens du service, ce comité maintient la qualité du fonds. Ce fonds a été rècemment enrichi par plusieurs ouvrages "hérités" de la bibliothèque du LNS – Laboratoire National Saturne – et de l'INSTN – Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires qui ont été fermées.
Parmi toutes ses activités, Jeanine Delouvrier a assuré l'essentiel de la bonne tenue des locaux, du matériel et des ouvrages. Claudine Verneyre assure la maintenance informatique locale et gère la base des annonces de séminaires.
Le secrétariat scientifique a été reconstitué par le recrutement de Josiane Beucher. Avec Liliane Dumets, elle gère les publications, et participe au secrétariat d'édition d'une revue scientifique.
Le serveur Web externe du SPhT (`http://www-spht.cea.fr`) a éé ouvert. Nous y transférons journellement l'essentiel des informations créées en interne : listes, textes des publications, annonces de séminaires ..., généralement interrogeables par des formulaires.
Le groupe de documentation joue un rôle très important dans l'activité du SPhT.

Josiane BEUCHER (Secrétariat scientifique), arrivée en 1996
Andrée BONNEROT (Ingénieur, SPEC), partie à la retraite en 1997
Jeanine DELOUVRIER (Bibliothèque)
Liliane DUMETS (Secrétariat scientifique)
Marc GINGOLD (Responsable du groupe)
Bruno SAVELLI (Bibliothèque)
Claudine VERNEYRE (Informatique)

LE SECRÉTARIAT ADMINISTRATIF

Le secrétariat administratif est assuré par A.M. Arnold et S. Zaffanella. Ses tâches comportent entre autres certains aspects de la gestion des personnels permanents, le traitement des dossiers administratifs et l'accueil des visiteurs (une tâche sans cesse plus lourde), l'organisation des missions des physiciens, le traitement direct des achats.

Anne-Marie ARNOLD
Sylvie ZAFFANELLA

L'INFORMATIQUE AU SPhT

Le système informatique est commun au SPhT et au Département de Recherches sur l'Etat Condensé, les Atomes et les Molécules (DRECAM). La gestion en est assurée par une équipe interdépartementale de 4 membres. Une $5^{ème}$ personne assure un support spécifique SPhT. L'architecture retenue, à base de serveurs Unix, de terminaux X et de PC, permet à l'équipe système d'assurer l'administration de plusieurs dizaines de serveurs et stations et de plusieurs centaines de terminaux X répartis sur l'ensemble du site de Saclay. Le système est en constante évolution pour s'adapter aux besoins des utilisateurs et suivre les progrès technologiques.

Les serveurs

Le support des postes de travail et les services interactifs sont assurés par des serveurs Sun UltraSparc. Les calculs moyens sont effectués en batch sur des serveurs Sun UltraSparc, un modèle biprocesseur étant entièrement réservé à cet usage. Le SPhT dispose en propre de 2 stations Sun destinées en priorité au calcul formel avec les logiciels MacSyma et Mathematica et aux applications graphiques, ainsi que d'une station SGI O2.

Les postes de travail

Le poste de travail standard est le terminal X. La majorité des postes est équipée d'écrans couleur 17" ou 20". Deux serveurs Windows multi-utilisateurs (WinCenter) permettent aux utilisateurs de disposer des logiciels bureautiques standards sur leur terminal X. Un certain nombre de PC et de MacIntosh permettent de répondre à des besoins spécifiques. L'utilisation d'un logiciel serveur X-Window, permet d'accéder au système Unix dans les mêmes conditions que les terminaux X.

Le calcul centralisé

Les physiciens disposent pour leurs gros calculs des moyens de calcul centralisé du CEA : un Cray C94 quadri-processeur et un Cray T3E à 256 processeurs. Les projets importants font l'objet d'un examen au niveau DSM par un Comité scientifique qui juge de la validité du projet et de l'adéquation avec les machines (possibilités de vectorisation et de parallélisation) et alloue un contingent d'heures par semestre. Les utilisateurs peuvent se connecter en interactif ou soumettre les travaux en batch à partir du système local. Citons parmi les projets importants du SPhT des simulations en mécanique statistique et en théorie de jauge sur réseaux, des calculs de conformation de protéines et des calculs de structure nucléaire

Communication et information

Les physiciens utilisent l'ensemble de la panoplie des outils d'accès au réseau : surtout messagerie, connexion, transfert de fichiers, News, Web. Un serveur WWW interne permet aux utilisateurs d'accéder aux bases de la documentation SPEC-SPhT (recherche d'ouvrages, listes de prétirages, rapports, ...). Un serveur WWW externe a été ouvert, permettant la présentation du Service et de ses activités.

Catherine BOURGOIS
Anne CAPDEPON
Laurent de SEZE
Claudine VERNEYRE
François MARABELLE (jusqu'au 1er septembre 1997)
Jean-Claude CARRÉ (jusqu'au 1er février 1998)

PHYSICIENS DU SERVICE DE PHYSIQUE THÉORIQUE

Roger BALIAN (CEA) (directeur de recherche DSM, et conseiller scientifique)
Michel BAUER (CEA)
Michel BERGERE (CNRS)
Lorenzo BERGOMI (CEA) (en mobilité externe)
Denis BERNARD (CNRS)
Francis BERNARDEAU (CEA)
Claude BERVILLIER (CNRS)
Daniel BESSIS (CEA) (conseiller scientifique)
Alain BILLOIRE (CEA)
Jean-Paul BLAIZOT (CNRS)
Paul BONCHE (CEA) (directeur de recherche DSM)
Philippe BRAX (CEA)
Jacques BROS (CEA) (conseiller scientifique)
Marc CHEMTOB (CNRS)
Henri CORNILLE (CNRS) (éméritat)
François DAVID (CNRS)
Cirano DE DOMINICIS (CEA) (conseiller scientifique)
Bernard DERRIDA (professeur à l'ENS et conseiller scientifique au CEA)
Philippe DI FRANCESCO (CEA)
Jean-Michel DROUFFE (CEA) (expert senior DSM)
Bertrand DUPLANTIER (CEA)
Bertrand EYNARD (CEA)
Thomas GAREL (CNRS)
Michel GAUDIN (CEA) (conseiller scientifique)
Annie GERVOIS (CNRS)
Bertrand GIRAUD (CEA)
Olivier GOLINELLI (CEA)
Riccardo GUIDA (CEA) (depuis 01/04/1998)
Emmanuel GUITTER (CEA)
Daniel IAGOLNITZER (CEA)
Thierry JOLICŒUR (CNRS)
Hannah KLUBERG-STERN (CNRS) (décédée en décembre 1997)
David KOSOWER (CEA)
Ivan KOSTOV (CNRS)

Robert LACAZE (CNRS)
Jean-Marc LUCK (CEA) (expert senior DSM)
Kirone MALLICK (CEA) (depuis 01/09/1997)
Madan Lal MEHTA (CNRS)
André MOREL (CEA) (conseiller scientifique)
Pierre MOUSSA (CEA)
Henri NAVELET (CEA)
Christiane NORMAND (CNRS)
Jean-Marie NORMAND (CEA)
Jean-Yves OLLITRAULT (CNRS)
Henri ORLAND (CEA)
Vincent PASQUIER (CEA)
Robert PESCHANSKI (CEA) (expert senior DSM)
Mannque RHO (CEA) (expert senior DSM)
Georges RIPKA (CEA)
Carlos SAVOY (CNRS)
Richard SCHAEFFER (CEA) (expert senior DSM)
Didina TEODORESCU (CEA) (depuis janvier 1997)
André VOROS (CEA) (expert senior DSM)
Jean ZINN-JUSTIN (CEA) (directeur de recherche DSM)
Jean-Bernard ZUBER (CEA) (directeur de recherche DSM)

POSTDOCS

Belyaev Viatcheslav
Creagh Steven
Dudas Emilian
Gonzalez-Ruiz Alejandro
Guida Ricardo
Maassarani Ziad
Monthus Cécile
Orlandini Enzo
Penc Karlo
Tateo Roberto
Wynter Thomas

MILITAIRES DU CONTINGENT

Charles Laurent
Lafforgue Laurent

VISITEURS DE COURTE ET MOYENNE DURÉE

Abe Yasuhusba, Université de Kyoto (Japon)
Abel Steven, Université de Bruxelles (Belgique)
Aharony Amnon Sackler, Tel Aviv (Israel)
Ahn Changrim, Université de Séoul (Corée du Sud)
Aldabe Fermin, Université d'Alberta (Canada)
Aldazabal Gerardo, Université de Madrid (Espagne)
Andelman David, Université de Tel Aviv (Israël)
Aouidef Ahmed, Université de Tokyo (Japon)
Armesto Nestor, Université de Hambourg (Allemagne)
Bartels Joachim, Université de Hambourg (Allemagne)
Berg Bernd, Université de Floride (Etats-Unis)
Berker Nihat, M.I.T. (Etats-Unis)
Bern Zvi, UCLA (Etats-Unis)
Bershadsky Michael, Université de Harvard University (Etats-Unis)
Bhanot Gyan, IBM, Yorktown (Etats-Unis)
Bharadwaj Somnath, Mehta Research Institute (Inde)
Bialas Andrzej, Université Jagellonne de Cracovie (Poland)
Boilley David, Ganil, Caen
Boosé Dominique, Stagiaire CNRS, Strasbourg
Borchers Hans, Institut de Physique Göttingen (Allemagne)
Boucher Jean-Paul, Laboratoire C.M.I., Grenoble
Bowick Mark, Université de Syracuse (Etats-Unis)
Broniowsky Wojtech, Université de Cracovie (Pologne)
Buffenoir Eric, Université de Montpellier
Burukhov Itamar, Université de Tel Aviv (Israël)
Buschbeck Brigitte, Académie des Sciences de Vienne (Austriche)
Buslaev Vladimir, Saint-Peterbourg (Russie)
Carbonel Jaume, ISN, Grenoble
Carlucci Domenico, ENS de Pise (Italie)
Chodorowski Michal, Copernicus Center, Varsovie (Pologne)
Chubukov Audrey, Université du Wisconsin, Madison (Etats-Unis)
Ciafaloni Marcello, Universit'e de Florence (Italie)

Das Saurya, Institut de Science Mathematique, Madras (Inde)
de Bievre Stephan, Université des Sciences de Lille
De Toro Arias Samuel, LPMC Université de Nice
Dixon Lance, SLAC, Stanford (Etats-Unis)
Dobry Ariel, Institut Rosario (Argentine)
Dokshitzer Yuri, INFN, Milan (Italie)
Doniach Sebastian, Université de Stanford (Etats-Unis)
Dorey Patrick, Université de Durham (Grand-Bretagne)
Dotsenko Victor, Institut Landau, Moscou (Russie)
Eaton William, NIH, Bethesda (Etats-Unis)
Efremov Anatole, JINR, Dubna (Russie)
Ekert Artur, Université d'Oxford (Grande-Bretagne)
Eletsky V, L. ITEP, Moscou (Russie)
Elstner Norbert, Université de Santa Cruz (Etats-Unis)
Göerster Dietrich, Université de Bordeaux
Geronimo Jeffrey, Atlanta (Etats-Unis)
Giannoni Marie Joya, IPN, Orsay
Ginsparg Paul, Laboratoire de Los Alamos (Etats-Unis)
Givindarajan Suresh, Université de Bonn (Allemagne)
Goeke Klaus, Université de Bochum (Allemagne)
Gorski Krzysztof, Université de Varsovie (Pologne)
Goulard Bernard, Université de Montreal (Canada)
Gousset Thierry, NIKHEF, Amsterdam (Pays-Bas)
Grassia Paul, Université de Stanford (Etats-Unis)
Gupta Rajan, Los Alamos (Etats-Unis)
Hannay John, Université de Bristol (Grande-Bretagne)
Heenen Paul-Henri, ULB, Bruxelles (Belgique)
Holsschneider Matthias, Université de Marseille-Lumigny
Hone Dan, Santa Barbara (Etats-Unis)
Janke Wolfhard, Université de Leipzig (Allemagne)
Jauslin Hans, Université de Bourgogne, Dijon
Jeannerot Rachel, Université du Sussex (Grande-Bretagne)
Joanny Jean-François, Institut Charles Sadron, Strasbourg
Johnson Peter, University of Wales, Swansea (Grande-Bretagne)
Jonckheere Thibaut, ENS de Lyon (étudiant DEA)
Kataev Andrei, ITEP, Moscou (Russie)
Kharzeev Dimitri, Université de Bielefeld (Allemagne)
Kim Ka-Hae, Université de Tokyo (Japon)
Kistler Werner, Université Technique, Munich (Allemagne)
Kittel Wolfran, Université de Nimègue (Pays-Bas)

Klasen Michael, DESY (Allemagne)
Kondor Imre, Institut Eötvös, Budapest (Hongrie)
Koulovassipoulos Vassilis, E.C.M., Barcelone (Espagne)
Kubodera Kuniharu, Université de Caroline du Sud (Etats-Unis)
Kuduvely Hari, Institut Weizmann, Rehovot (Israël)
Kuraev Edward, Université de Saint-Petersbourg (Russie)
Lamarcq Julien, Supélec, Metz
Landshoff Peter, DAMPT Cambridge (Grande-Bretagne)
Lapedes Alan, Los Alamos (Etats-Unis)
Latremoliere Franck, Université d'Oxford, Grande-Bretagne
Laure Patrice, Institut non Linéaire, Nice
Le Goll Frédéric, Ecole Polytechnique, Palaiseau
Leclair André, Université Cornell, Ithaca (Etats-Unis)
Leonidov Andreï, Institut Lebedev, Moscou (Russie)
Lesage Frédéric, University Park, Los Angeles (Etats-Unis)
Lukash Vlademir, CERN, Genève (Suisse)
Lukyanov Sergeï, Université Cornell, Ithaca (Etats-Unis)
Magnoli Nicodemo, Département de Physique, Université de Gênes (Italie)
Magro Marc, Physique Théorique, ENS, Lyon
Mantica Giorgio, Université de Côme (Italie)
Marinari Enzo, Université de Cagliari (Italie)
Marrel Thibault, Ecole Polytechnique, Palaiseau (DEA)
Matvenko Alexander, JINR, Dubna (Russie)
Matytsin Andrei, Université du Massachusetts (Etats-Unis)
McLerran Larry, Minneapolis (Etats-Unis)
Mehta Anita, Laboratoire Clarendon, Oxford (Grande-Bretagne)
Mercat Christian, Université de Strasbourg
Meunier Jean-Louis, Sophia-Antipolis, Nice
Meyer Jacques, IPN, Lyon
Mezincescu Gheorghe, Université de Bucarest (Roumanie)
Morris Tim, Université de Southampton (Grande-Bretagne)
Moschella Ugo, Université de Côme (Italie)
Mutabazi Innocent, Université du Havre (France)
Netz Roland, Institut Max-Planck, Teltow (Allemagne)
Nieuwenhuizen Theo, Laboratoire Van-der-Waals-Zeeman (Pays-Bas)
Normand Bruce, Université de Bâle (Suisse)
Nowak Maciek, Université de Cracovie (Pologne)
O'Connor Denjoe, Cinvestav (Mexique)
Opperman Reinhold, Université de Wurburg (Allemagne)
Otsuka Takaharu, Université de Tohoku (Japon)

Partouche Herve, CERN, Genève (Suisse)
Peigné Stéphane, NORDITA, Copenhague (Danemark)
Petersson Bengt, Université de Bielefeld (Allemagne)
Pillet Claude-Alain, Université de Genève (Suisse)
Pimentel Iveta, Université de Lisbonne (Portugal)
Pittel Stuart, Bartol Research Foundation (Etats-Unis)
Poilblanc Didier, IRSAMC, Toulouse
Polyakov Maxim, Université de Bochum (Allemagne)
Riotto Antonio, CERN, Genève, (Suisse)
Rittenberg Vladimir, I.C.T.P., Trieste (Italie)
Robbins Jonathan, Université de Bristol (Grande-Bretagne)
Rujan Pal, Université d'Oldenburg (Allemagne)
Ryskin Mikhail, Institut Nucléaire, Saint-Petersbourg (Russie)
Sabatier Pierre, Département de Mathématique, Faculté de Montpellier
Saleur Hubert, U.S.C., Los Angeles (Etats-Unis)
Saraceno Marcos, CNEA, Buenos-Aires (Argentine)
Schollwöck Ulrich, Université de Munich (Allemagne)
Sfetsos Konstandinos, CERN, Genève, (Suisse)
Shaposhnikov Mikhail, CERN, Genève, (Suisse)
Shirkov Dmitri, Dubna (Russie)
Singh C.P., Université de Benares (Inde)
Smilga Andrei, ITEP, Moscou (Russie)
Sorensen Erik, IRSAMC (Danemark)
Srinivasan Bhargavi, ICMCB, Université de Bordeaux
Starobinsky Alexei, Institut Landau, Moscou (Russie)
Staudacher Matthias, CERN, Division Théorie, Genève (Suisse)
Strikman Mark, Penn State University (Etats-Unis)
Szapudi Istvan, Université de Durham (Grande-Bretagne)
Takigawa Noburu, Université Tohuku (Japon)
Temesvari Tamas, Institut Eötvös, Budapest (Hongrie)
Theumann Alba, Institut de Phyique, Porto Alegre (Brésil)
Thuillier Franck, LAPP, Annecy-le-Vieux
Tonegawa Tohru, Université de Tokyo (Japon)
Vacca Gian Paolo, Université de Bologne (Italie)
Vainshtein Arkady, Université du Minnesota (Etats-Unis)
Van Heenen Leo, Université Technique, Munich (Allemagne)
Vanderheyden Benoit, Université de l'Illinois (Etats-Unis)
Veneziano Gabriele, CERN, Division Théorie, Genève (Suisse)
Venugopalan Raju, Institut Niels Bohr (Danemark)
Viano Giovanni-Alberto, Université de Gênes (Italie)

Walter Stephan, Institut Max-Planck, Dresden (Allemagne)
Weiguny Achim, Université de Munster (Allemagne)
Weston Robert, Departement de Mathématiques, Durham (Grande-Bretagne)
Whittington Stuart, Université d'Oxford, Oxford (Grande-Bretagne)
Willbrand Karen, Institut Max-Planck, Teltow (Allemagne)
Zamolodchikov Aleksey, Université de Montpellier II
Zirnbauer Martin, Université de Cologne (Allemagne)