

02

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES, THÉORIES ET MODÈLES

Hendrik-Jan HILHORST
Président

LA PHYSIQUE THÉORIQUE : L'UNITÉ DANS LA DIVERSITÉ

Jean-Claude Adam
Patrick Aurenche
Jean-François Berger
Francis Bernardeau
Sergio Ciliberto
Nathalie Deruelle
Emilian Dudas
Peter Forgacs
Daniel Gandolfo
Krzysztof Gawedzki
Antoine Georges
Thierry Gousset
Odile Heckenauer
Marc Knecht
Marie-Christine Levy-Noel
Jacques Magnen
Henri Orland
Philippe Roche
Michel Vittot
Marie-Christine Levy-Noel

La section 02 *Phénomènes physiques, théories et modèles* – souvent brièvement appelée *Physique théorique* – regroupe des théoriciens des domaines les plus divers de la physique ; les méthodes issues de chaque branche de la physique étant ainsi utilisées pour faire progresser d'autres thématiques. Si la physique des particules élémentaires constitue son noyau historique, ses contours d'aujourd'hui incluent des champs de recherche beaucoup plus vastes. Dans un schéma très simplifié, on peut considérer que c'est la théorie des champs qui fait le lien entre le noyau traditionnel et les autres domaines, pour la plupart plus phénoménologiques, de la Section.

La recherche en physique théorique peut être analysée selon plusieurs critères :

– son spectre va des théoriciens des particules élémentaires, qui étudient la matière à son niveau le plus microscopique, jusqu'à ceux dont les recherches portent sur la cosmologie à l'échelle de l'univers ;

– certains chercheurs font des recherches sur les lois fondamentales (gravitation, interactions électrofaibles et fortes, chromodynamique quantique, théorie des cordes), d'autres s'intéressent aux systèmes à grand nombre de degrés

de liberté comme on en rencontre en physique du solide ou dans les fluides et plasmas, d'autres encore aux systèmes complexes que l'on trouve à l'interface de la physique avec la biologie. La section comprend aussi des spécialistes, d'une part, des modèles numériques et, d'autre part, des modèles expérimentaux ;

– finalement, dans toutes ces branches de la physique, il y a des chercheurs qui travaillent au plus près de la réalité et qui comparent leurs conclusions aux données expérimentales et observationnelles, et d'autres qui prennent plus de recul et essayent de dégager des principes généraux, ou de consolider les bases mathématiques de la théorie là où cela est nécessaire. L'éloignement relatif de ces derniers par rapport aux expériences, et leurs travaux plus abstraits, doivent être respectés au même titre qu'il le sont dans le cas d'un mathématicien.

L'unité dans toute cette diversité réside dans les méthodes employées ; dans l'approche qui consiste à oser formuler des théories de premier ordre (qu'elles soient fondamentales, de type champ moyen, variationnelles, ou autre encore) captant les mécanismes essentiels et rendant compte des phénomènes dominants, et puis à traiter les très nombreuses complications qui restent par une vaste gamme de techniques d'approximation.

Dans ce qui suit, on présente d'abord la physique théorique par thématiques (§ 1), étant entendu qu'il est impossible d'être exhaustif et que ce découpage est artificiel, les mêmes objets d'études pouvant apparaître dans plusieurs thématiques. Ensuite on considère les aspects interdisciplinaires (§ 2) de la physique théorique, ainsi que ses échanges internationaux et avec l'université (§ 3). Suivra une conclusion générale (§ 4).

1 – DISCIPLINES ET THÈMES

1.1 PHYSIQUE DES PARTICULES

Les objectifs en physique des particules visent, d'une part, à fournir un cadre théorique pour les programmes expérimentaux en cours ou en projet, et, d'autre part, à étudier les conséquences phénoménologiques et les possibilités de tester de nouvelles idées sur la structure des interactions fondamentales aux très petites échelles. Plusieurs thèmes principaux, qui présentent souvent des aspects communs, peuvent être distingués :

La physique des saveurs lourdes

(Voir § 1.3 La compréhension de l'interaction forte (physique hadronique))

Plusieurs expériences, BaBar au SLAC, Belle à KEK et LHCb au CERN fourniront une palette complète de données permettant d'affiner nos connaissances sur le secteur des quarks du modèle standard : violation de CP dans le secteur des mésons B, nombre de générations de quarks. L'exploitation de ces données expérimentales implique que nos connaissances théoriques, notamment en ce qui concerne les aspects non-perturbatifs des interactions fortes, soient encore améliorées, à la fois par le développement de méthodes analytiques et de méthodes pour la réalisation de calculs numériques de grande ampleur pour les théories de jauge sur réseau. L'expérience acquise de ce point de vue dans le traitement de problèmes théoriques similaires dans le secteur des kaons fournira un point de départ utile.

Tests du modèle standard auprès des collisionneurs

Le point focal de la physique des particules pour les années à venir concerne le secteur de brisure de la symétrie électro-faible

et les tests directs du modèle standard. En particulier, la recherche du boson de Higgs sera poursuivie, au Tevatron d'abord, puis au LHC.

Un aspect important lié à la physique auprès de ces collisionneurs concerne le contrôle du fond hadronique des interactions fortes, élément crucial pour l'interprétation des données. Le calcul précis de tels processus nécessite le développement de nouveaux outils analytiques et numériques adaptés au domaine cinématique ouvert par les futurs collisionneurs.

Extensions du modèle standard

De nombreux indices laissent à penser que le modèle standard de physique des particules n'est qu'une partie valable à basse énergie d'une théorie beaucoup plus complète. L'extension supersymétrique minimale du modèle standard a constitué jusqu'à récemment le cadre favori pour étudier la nouvelle physique. Il convient cependant d'explorer plus avant d'autres possibilités, versions supersymétriques non-minimales, théories non-supersymétriques, avec secteur fort de brisure de la symétrie électrofaible, ou secteur de Higgs étendu, théories et modèles avec dimensions supplémentaires, par exemple. Ce domaine de recherche fait preuve d'une très grande vitalité au niveau international. Les résultats expérimentaux attendus au LHC devraient permettre de valider certaines de ces nouvelles idées théoriques. De même, les observations astrophysiques (matière noire, rayons cosmiques de très hautes énergies) apportent des contraintes cruciales sur la nouvelle physique (*Voir* § 1.2 Nature et propriétés de la matière noire et Phénomènes cosmiques de haute énergie).

Les premières indications expérimentales d'oscillations de neutrinos ouvrent également une fenêtre sur de la physique au-delà du modèle standard. Les approches théoriques visant à mieux comprendre la structure du secteur leptonique et à interpréter les résultats expérimentaux seront développées.

Phénoménologie des supercordes

(*Voir* § 1.4 Théorie des champs et des cordes, gravité quantique)

La théorie des supercordes a connu, ces dernières années, des développements conceptuels importants. Une étude systématique de ses conséquences pour la physique à basse énergie ainsi que les implications cosmologiques (dimensions supplémentaires, univers branaires, etc.) constituent une direction de recherche à explorer davantage.

La plupart de ces thèmes comportent un lien étroit avec les activités expérimentales en physique des particules ou en cosmologie et en astrophysique. Dans les années à venir, on s'attend à une arrivée massive de résultats de grande précision aussi bien dans les expériences hors accélérateurs, en astroparticules et en cosmologie observationnelle, qu'auprès des collisionneurs avec la mise en service du LHC. Une participation importante de la communauté des théoriciens à la réflexion sur les projets d'accélérateurs futurs (collisionneur linéaire, usines à neutrinos, etc.) ou des expériences hors accélérateurs doit être maintenue, voire développée.

Plasma quark-gluon

(*Voir* § 1.3 Les états de la matière à des pressions et des densités extrêmes)

À l'interface avec la physique nucléaire, ce thème concerne l'étude des interactions fortes dans des régimes de températures et de densité où une phase de déconfinement est attendue. Le développement de méthodes de théorie des champs à température finie et leurs applications au calcul d'observables pertinentes permettant de signer la formation d'un plasma de quarks et de gluons sont indispensables pour l'interprétation des résultats des futures expériences de collisions d'ions lourds à Brookhaven (RHIC) ou au CERN (ALICE, CMS). Le développement de méthodes pour l'étude de systèmes quantiques hors équilibre est aussi nécessaire.

1.2 COSMOLOGIE ET ASTROPHYSIQUE DES HAUTES ÉNERGIES

Cosmologie et physique de l'univers primordial

Avec la mesure détaillée des propriétés statistiques des fluctuations de température du fond diffus cosmologique à 3 K, la cosmologie observationnelle ouvre une nouvelle fenêtre sur la physique des hautes énergies. Les résultats des expériences satellites en cours (MAP) ou à venir (Planck) devraient permettre de contraindre de plus en plus directement les propriétés de l'univers primordial au moment de la phase inflationnaire. De nombreux travaux théoriques ont été menés pour examiner les propriétés physiques d'un univers inflationnaire. Il reste que l'identification de l'inflaton (s'il existe vraiment), et de ses couplages éventuels avec les autres champs, est sans doute, avec l'élucidation du problème de la constante cosmologique (*Voir* la suite), un des chantiers les plus importants de la cosmologie théorique.

Il faut aussi noter qu'un nouveau cadre théorique est apparu ces dernières années, la cosmologie branaire, issu de la phénoménologie des super-cordes. On peut s'attendre à une poursuite active de travaux d'investigation autour de ce nouveau paradigme qui peut potentiellement bouleverser notre conception de l'univers primordial.

Nature et propriétés de la matière noire

La cosmologie franchirait incontestablement une étape décisive si les particules qui composent la matière noire pouvaient être détectées et identifiées ! Des instruments de détection pourraient apporter une réponse à cette question dans les années à venir, Edelweiss pour la recherche directe de matière noire, ou le LHC en permettant

la découverte de la supersymétrie. Cela étant l'identification de la matière noire dans les cadres actuels des modèles physiques au-delà du modèle standard et la détermination de ses propriétés fines, interaction éventuelle de celle-ci avec elle-même ou avec la matière baryonique, sont des enjeux de physique théorique qui intéressent aussi bien les physiciens des particules que les astrophysiciens (*Voir* § 1.1 Extensions du modèle standard et Phénoménologie des supercordes).

Nature et propriétés de l'énergie noire

Les mesures récentes de la manière dont la luminosité de supernovae lointaines décroît avec le redshift, montrent de façon de plus en plus convaincante que l'expansion de l'univers est actuellement accélérée. Ce résultat, combiné aux observations des anisotropies du rayonnement de fond à 3 K, conduit à conclure que 70 % du contenu matériel de l'univers serait sous forme d'« énergie noire », constante cosmologique ou champ de « quintessence ». Expliquer cette « énergie noire » dans le contexte de théories fondamentales est devenu un enjeu majeur de la cosmologie.

Les ondes gravitationnelles

La recherche des ondes gravitationnelles est un enjeu majeur de physique fondamentale. Les projets LIGO et VIRGO visent à la détection directe des trains d'onde émis au moment de la coalescence de binaires compactes. La préparation de ces détections est un travail d'investigation aussi bien analytiques (développement de schémas d'approximation adéquats permettant d'obtenir des résultats en champ gravitationnel fort) que numériques.

Ce domaine d'étude est amené à se développer avec la montée en puissance de VIRGO et surtout grâce aux perspectives ouvertes par le projet LISA.

Phénomènes cosmiques de haute énergie

Les études phénomènes cosmiques de hautes énergie peuvent aider à comprendre la physique des neutrinos (Antares), avec des retombées potentiellement importantes pour la cosmologie, tandis qu'une étude expérimentale systématique des rayons cosmiques de très haute énergie (expérience AUGER) peut fournir des indications sur la physique au-delà du modèle standard (*Voir* § 1.1 Extensions du modèle standard).

Des travaux théoriques se développent qui cherchent à comprendre les mécanismes d'émission de ces particules ainsi que les propriétés de propagation ou de diffusion de ces particules dans le milieu inter-galactique ou inter-stellaire.

1.3 PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Le noyau atomique reste l'un des laboratoires privilégiés où sont testées les théories fondamentales de la physique comme la chromodynamique quantique, et les techniques de résolution du problème à N corps. Les théoriciens nucléaires, tout en continuant à fournir le cadre théorique des programmes expérimentaux de physique nucléaire, appliquent fréquemment les techniques qu'ils développent à d'autres systèmes quantiques de taille finie et à l'astrophysique. Les grands thèmes de recherche en physique nucléaire sont aujourd'hui :

La compréhension de l'interaction forte (physique hadronique)

(*Voir* § 1.1 La physique des saveurs lourdes)

Cette ligne de recherche a pour objectif de réaliser la transition entre les modèles d'interaction effective non relativiste utilisés dans les

approches quantitatives de structure nucléaire et la théorie de la chromodynamique quantique (QCD). L'une des méthodes les plus puissantes utilisée à l'heure actuelle est la théorie chirale des perturbations, une théorie effective des hadrons décrivant le secteur à basse énergie de la QCD dans le régime du confinement des quarks. Abondamment appliquée à l'analyse des systèmes mésoniques et à de nombreux processus faisant intervenir un seul nucléon, cette approche est en cours d'extension aux systèmes de plusieurs nucléons, avec comme objectifs la structure des hadrons au sein du milieu nucléaire et la nature de leurs interactions mutuelles. Il s'agit d'un thème à caractère interdisciplinaire où les interlocuteurs sont les théoriciens du Modèle Standard et les physiciens des particules.

La structure des noyaux et des états nucléaires loin de la stabilité

La mesure des propriétés d'un nombre croissant de noyaux et d'états nucléaires « exotiques » a fait apparaître des phénomènes inattendus : déplacement ou disparition des nombres magiques, inversion de parité, halos et peaux de neutrons, molécules nucléaires, brisures spontanées de nouvelles symétries, nouveaux types de radioactivité, tétraneutron, qui remettent en cause les idées traditionnelles de la structure des noyaux. De nouvelles approches ont été développées : Shell Model Monte Carlo, Quantum Molecular Dynamics, méthodes de couplage des états liés au continuum, hamiltoniens aléatoires, afin de décrire les noyaux exotiques et répondre à des questions de fond concernant la nature de la force nucléon-nucléon effective, l'évolution des corrélations – appariement, sous-structures a – avec l'« exotité » du système et les limites d'existence des noyaux. Ce thème est en relation étroite avec l'astrophysique : genèse des éléments chimiques par les processus « r » et « rp », nature de la croûte des étoiles à neutrons, interactions neutrino-noyaux.

Les états de la matière à des pressions et des densités extrêmes

(Voir § 1.1 Phénoménologie des supercordes)

La connaissance du diagramme des phases de la matière nucléaire dense et chaude est l'un des grands défis de la physique nucléaire actuelle. Elle nécessite d'explorer les propriétés de l'interaction forte à des échelles de distances très différentes et intervient de façon essentielle dans la compréhension de phénomènes de l'astrophysique – dynamique des explosions de novae et de supernovae, limite en masse des étoiles à neutrons, nature de la matière noire – et de la cosmologie : description de l'univers primordial, structures à grande échelle de l'univers. Ce programme de recherche s'appuie sur les résultats des expériences de collisions d'ions lourds depuis l'énergie de Fermi (~ 100 AMeV) jusqu'au domaine ultra-relativiste (> 100 AGeV). Les approches théoriques sont fortement interdisciplinaires : dynamique de l'interaction entre deux noyaux, modélisations thermo- et hydrodynamique des systèmes mésoscopiques denses et chauds, QCD sur réseau. Des phénomènes critiques prédits par la théorie tels que la transition de « déconfinement » conduisant à un plasma de quarks et de gluons à des températures de l'ordre de 160-175 MeV, ainsi que la transition liquide – gaz et l'instabilité spinodale à basse température ont été observés expérimentalement.

Le noyau vu comme un système quantique fortement corrélé de taille finie

Il s'agit d'une activité nouvelle, en interaction avec la physique de la matière condensée, la physique atomique et la physique statistique. D'une part, les concepts et les techniques du problème à N corps nucléaire sont appliquées à d'autres systèmes finis que le noyau parmi lesquels on peut citer : les agrégats atomiques, les « clusters » et gouttelettes d'hélium, les atomes bosoniques et fermioniques dans des pièges magnétiques. Inversement, les méthodes de la

physique statistique – hamiltoniens et matrices aléatoires, approches spectrales et transition vers le chaos – ont fourni récemment une vue nouvelle des propriétés globales des systèmes nucléaires. Ces courants de fertilisation croisée entre la physique nucléaire et les autres disciplines ont également suscité une nouvelle approche des corrélations dans les systèmes finis. Ils participent également à l'amélioration de techniques numériques comme la diagonalisation de grandes matrices.

L'interface avec les applications

Grâce aux progrès réalisés dans les approches de la structure des noyaux, les prédictions théoriques sont de plus en plus utilisées dans l'évaluation de données nucléaires inaccessibles à l'expérience. Par ailleurs, un certain nombre de théoriciens nucléaires participent aux groupes de réflexion concernant les dispositifs de production électronucléaire innovants et les techniques d'incinération des déchets nucléaires. Le domaine bio-médical, avec les techniques d'imagerie et les traitements par faisceaux de particules, bénéficie également des apports de la physique nucléaire aussi bien théorique qu'expérimentale.

On s'attend à ce que les axes de recherche vers la compréhension de l'interaction forte (physique hadronique, la structure des noyaux et des états nucléaires loin de la stabilité, et les états de la matière à des pressions et des densités extrêmes (Voir ci-dessus) se poursuivent d'une façon soutenue dans les années qui viennent, incités en partie par l'intense activité expérimentale à prévoir auprès de grands instruments actuellement en service tels que RHIC, CEBAF, GSI, RIKEN, les lignes SPIRAL au GANIL et REX-ISOLDE au CERN, ou en projet : futur détecteur ALICE auprès du LHC, projets ISOL en Europe et outre Atlantique, futurs accélérateurs ELFE en Europe et JFH au Japon, notamment. Le thème du noyau vu comme un système quantique fortement corrélé de taille finie, le plus récent, est en plein développement grâce à l'implication de plus en plus grande des physiciens nucléaires à des activités à caractère interdisciplinaire. Le domaine

des applications est sans doute promis à un bel avenir étant donné le contexte politico-énergétique international et la demande sociale dans le domaine biomédical.

1.4 PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

Traditionnellement, la physique mathématique traitait les questions physiques qui pouvaient être reformulées comme des problèmes mathématiques dont les solutions permettaient une interprétation physique. Plus récemment, on étend ce nom à tous les domaines de la physique théorique à fort contenu mathématique. Selon les mathématiques utilisées, on peut distinguer dans la physique mathématique une direction plus géométrique et algébrique et une autre plus analytique. Dans la première direction les grandes lignes de recherche restent :

- théorie des champs et des cordes, gravité quantique ;

- systèmes intégrables.

Et dans la deuxième :

- mécanique quantique non relativiste ;

- mécanique statistique à l'équilibre et hors équilibre ;

- systèmes dynamiques et équations non linéaires aux dérivées partielles.

Ces lignes traditionnelles continuent de se développer, de s'interpénétrer, et de trouver des applications nouvelles en physique et en mathématiques, illustrant bien le caractère intrinsèquement interdisciplinaire de la physique théorique.

Théorie des champs et des cordes, gravité quantique

(Voir § 1.1 Phénoménologie des supercordes)

La recherche d'une théorie quantique de toutes les interactions (gravité incluse) basée

sur la théorie des cordes continue d'être un sujet d'activité soutenue. Elle influence fortement les domaines plus traditionnels comme la théorie des champs ou la relativité. La découverte des vides branaires et du réseau de dualités entre les théories des cordes et des champs dans des dimensions différentes ont bouleversé le paysage connu. Les recherches récentes sur les aspects fondamentaux de la théorie se concentrent sur la géométrie non commutative sous-jacente, sur la stabilité des vides et les effets dynamiques et sur les relations entre supercordes et théories de jauge. Une autre tendance marquant la théorie des cordes, bien représentée en France, est l'effort de trouver des implications testables au-delà du modèle standard et/ou cosmologiques. Cet effort, essentiel pour l'avenir de la théorie, ne devrait pas reléguer au second plan les recherches sur les aspects fondamentaux des (super-)cordes car le progrès de ces dernières conditionne les applications physiques possibles. L'outil principal de la théorie des cordes reste toujours la théorie conforme des champs, aussi largement appliquée dans la physique de la matière condensée et reliée à l'approche récente dite « SLE » dans la théorie de probabilité promise à un bel avenir. Les approches plus directes à la quantification de gravité, basées sur des modèles discrets (comme « mousses de spin ») continuent aussi d'être développées intensivement et méritent d'être soutenues.

Systèmes intégrables

Les progrès récents dans la théorie de systèmes intégrables, l'autre domaine important d'une coloration algébrique de la physique mathématique, viennent surtout du développement des modèles de (grandes) matrices et de l'étude du rôle des symétries quantiques de dimension infinie. Une percée importante, en bonne partie réalisée en France, dans la recherche de formules exactes pour les fonctions de corrélation des modèles intégrables a ouvert une direction prometteuse. Les systèmes intégrables ont récemment trouvé des applications nouvelles

dans la physique de la matière condensée, dans la théorie des cordes et des champs et en physique des hautes énergies (en QCD).

Mécanique quantique non relativiste

Dans l'étude mathématique de systèmes quantiques non relativistes, les recherches sur le chaos quantique et l'analyse des systèmes étendus à basse température continuent d'occuper une place importante, avec des applications aux systèmes mésoscopiques et désordonnés et, de plus en plus, à l'informatique quantique. Les méthodes de la théorie des systèmes intégrables, comme indiqué plus haut, permettent d'étudier une série de problèmes en dimension un (interaction avec des impuretés, point quantique, chaînes quantiques, problèmes de transport). Même ici on retrouve des applications de la géométrie non commutative (effet Hall, charges fractionnaires, etc.). Les méthodes analytiques multiéchelles apportent d'importants résultats sur les systèmes en dimension plus élevées (liquide de Fermi, condensation de paires, etc.). Toutes ces méthodes permettent d'avancer dans la compréhension du comportement des systèmes réels.

Mécanique statistique à l'équilibre et hors équilibre

De nouveaux progrès sont enregistrés dans le domaine de la mécanique statistique à l'équilibre : systèmes frustrés, états non Gibbsiens, statistique des objets étendus (percolation, polymères, interfaces, etc.). Mais dans la dernière période l'étude mathématique des modèles de la mécanique statistique à l'approche de l'équilibre ou hors équilibre s'est particulièrement développée et commence à dégager quelques principes généraux qui déterminent la physique de tels systèmes et permettent de mieux comprendre comment les lois macroscopiques de la physique des milieux continus surgissent de la description microscopique. Les modèles mathématiques

simplifiés servent aussi pour élucider le comportement des systèmes loin de l'équilibre, sujet important de la physique théorique (les matériaux amorphes et leur vieillissement, les milieux granulaires, fractures, la matière molle) ainsi que la turbulence hydrodynamique. Ces sujets promettent de devenir des sources importantes de problèmes pour la physique mathématique.

Systèmes dynamiques et équations non linéaires aux dérivées partielles

Des progrès importants ont été accomplis dans l'étude des systèmes non linéaires étendus classiques, déterministes ou statistiques. Les idées de la théorie de systèmes dynamiques chaotiques adaptés à certains systèmes de nombre infini de degrés de liberté permettent d'expliquer des comportements spatio-temporels de plus en plus compliqués des systèmes réels, surtout en dimensions basses. Ils ont trouvé aussi des applications importantes dans la relativité générale. Ces recherches sont promises à un bel avenir.

En général, on note l'importance grandissante dans la physique mathématique des outils non commutatifs (symétries quantiques, très grandes matrices, algèbres d'opérateurs). Dans beaucoup de sujets analytiques de la physique mathématique on observe aussi le rôle croissant de l'analyse numérique. Même utilisé comme un outil secondaire, l'ordinateur est en train de changer durablement le profil typique du physicien-mathématicien.

1.5 SYSTÈMES À GRAND NOMBRE DE DEGRÉS DE LIBERTÉ

Cadre général

Les lois fondamentales de la physique sont souvent à l'œuvre ensemble et en interaction les unes avec les autres dans des environnements

complexes : le noyau de l'atome, la matière supraconductrice, la cellule en biologie, etc. Il s'agit dès lors d'inventer de nouvelles méthodes théoriques : des arguments statistiques, la simulation numérique, des extensions de la théorie, etc. Les études de ces systèmes ont pour trait commun de faire surgir des phénomènes nouveaux dont l'existence n'était pas *a priori* prévue par les lois fondamentales. Dans ces cas, on parle aujourd'hui de *systèmes complexes* et de *lois émergentes*.

De nombreuses thématiques nouvelles ont leur origine dans trois domaines traditionnels de la physique théorique :

- (i) la théorie des champs, développée à l'origine pour des problèmes quantiques en interaction ;

- (ii) la mécanique statistique ;

- (iii) la physique non linéaire, qui concerne plusieurs disciplines scientifiques souvent très différentes, et qui trouve son unité dans des concepts mathématiques tels que ceux d'instabilité, ceux issus de la théorie des équations différentielles (ordinaires et aux dérivées partielles) et de la théorie des bifurcations.

Ces trois domaines de la physique théorique ont, ensemble, largement dépassé leurs cadres théoriques originels, si bien que leurs frontières sont devenues floues.

De nombreux sujets de recherche sont maintenant ancrés dans deux voire trois de ces thématiques.

Ainsi, par exemple :

- (i) les problèmes de fermions en interaction dans les systèmes macroscopiques ou mésoscopiques sont à cheval entre la théorie des champs et la mécanique statistique ;

- (ii) la dynamique de systèmes désordonnés, les problèmes hors équilibre (comme fracture, flambage, friction), et la physique des milieux granulaires relèvent de la mécanique statistique et de la physique non linéaire.

Souvent, les recherches dans ces thématiques ont dépassé le cadre de la physique et

ont trouvé des applications à d'autres disciplines (géologie, biologie, finances). L'ensemble de ces développements a été très important tant en France qu'au niveau international ; ils ont conduit à des rapprochements entre laboratoires et équipes, à la création d'instituts de recherche pluridisciplinaires, ainsi qu'à la mise en place de nouveaux enseignements.

Problèmes à N corps quantiques et physique du solide

(Voir § 1.3 Le noyau vu comme un système quantique fortement corrélé de taille finie)

L'étude des systèmes de particules quantiques en interaction reste un problème majeur dont l'importance pour la physique nucléaire a été soulignée au § 1.3 (Le noyau vu comme un système quantique fortement corrélé de taille finie). C'est également une question centrale en théorie de la matière condensée. Cette thématique a connu de nombreux développements depuis une dizaine d'années en raison des questions soulevées par la découverte et l'étude expérimentale de matériaux comme les oxydes de cuivre supraconducteurs, les composés de fermions lourds, les conducteurs organiques, les composés magnétiques présentant une frustration géométrique, etc. Le domaine connaît actuellement une forte croissance, avec l'élaboration de nano-objets comme les fils quantiques, les points quantiques, les nanotubes de carbone, les conducteurs moléculaires ou les bio-molécules (ADN).

Dans tous ces matériaux, la dimensionalité réduite renforce les effets des interactions entre électrons et rend le problème particulièrement ardu. Il est donc impératif de disposer d'outils théoriques performants, tant analytiques que numériques. Ce domaine a connu des succès théoriques spectaculaires. On peut citer par exemple : la compréhension des systèmes unidimensionnels (liquides de Luttinger) par des méthodes de théorie des champs (bosonisation, intégrabilité), la théorie de l'effet Hall quantique fractionnaire, l'application des théories conformes aux problèmes d'impuretés

quantiques (systèmes Kondo, points quantiques, etc.), et le développement de nouvelles théories de champ moyen (bosons « esclaves », champ moyen dynamique) pour traiter les interactions (ces dernières méthodes ont en particulier conduit à une compréhension détaillée de la transition métal-isolant de Mott).

Ces succès ne doivent pas masquer l'ampleur des progrès qui restent à faire, et l'importance et la difficulté des questions ouvertes dans ce domaine. Il n'existe pas à ce jour de théorie des cuprates supraconducteurs qui fasse l'objet d'un consensus, et sans doute de nouvelles méthodes doivent-elles être inventées pour y parvenir. Les méthodes numériques (algorithmes de Monte Carlo quantique de diverses formes, algorithmes de Lanczos, etc.), qui jouent un rôle croissant dans le domaine, se heurtent aux gigantesques tailles des espaces de Hilbert et aux problèmes de signe dans le cas des fermions. En ce qui concerne les calculs de structure électronique des solides, les méthodes de fonctionnelle de densité utilisant l'approximation de la densité locale sont satisfaisantes, mais sont mises en échec dans le cas de fortes corrélations électroniques. Très récemment, un effort interdisciplinaire entre spécialistes de ces méthodes et théoriciens des fermions fortement corrélés a permis des progrès significatifs dans ce domaine, rapprochant ainsi les modèles théoriques des applications aux matériaux réels. Dans le domaine des nano-systèmes, la flexibilité des dispositifs expérimentaux permet l'étude des corrélations électroniques dans des régimes fortement hors d'équilibre qui restent largement à explorer du point de vue théorique.

L'étude théorique des fortes corrélations électroniques est ainsi un domaine extrêmement actif, et il importe de souligner que c'est l'expérience, et, en amont, la découverte de nouveaux matériaux et l'élaboration de nouveaux dispositifs qui assure cette vitalité. Dans de nombreux cas, les enjeux technologiques de cette interface entre la physique des solides et la physique théorique sont considérables, qu'il s'agisse des propriétés électroniques remarquables de certains oxydes de métaux de transition (supraconductivité, magnétoré-

sistance, thermoélectricité), de l'électronique de spin ou des applications potentielles des nanotubes de carbone.

Enfin, de nouveaux champs d'application de ce domaine de la physique théorique semblent s'ouvrir avec le développement d'une « physique de la matière condensée » dans la physique des condensats de Bose et des atomes froids. En témoigne la réalisation expérimentale récente d'un isolant de Mott de bosons par piégeage dans des réseaux optiques. Ces nouveaux développements expérimentaux ne manqueront pas d'ouvrir de nouveaux champs de recherches théoriques.

Physique statistique

(Voir § 1.4 Mécanique statistique à l'équilibre et hors équilibre, et ci-dessus Problèmes à N corps quantiques et physique du solide)

La physique statistique, développée il y a plus de cent ans pour expliquer les propriétés des fluides en termes de leurs constituants microscopiques, a traversé plus d'un siècle tout en se trouvant à chaque fois de nouveaux domaines d'application. Une véritable révolution est intervenue à partir du début des années 1970 avec l'étude des transitions de phases à l'aide des méthodes de renormalisation et de la théorie statistique des champs (Voir § 1.4). La physique statistique interpénètre aujourd'hui tous les domaines de la physique où des considérations statistiques sont nécessaires. Ses apports à ces disciplines sont relevés, entre autres, aux § 1.4 Mécanique statistique à l'équilibre et hors équilibre, et ci-dessus problèmes à N corps quantiques en physique du solide, ainsi que Physique non linéaire, et on n'y reviendra pas ici.

Parallèlement, depuis deux décennies, une énorme diversification des applications de la physique statistique a vu le jour. Au paragraphe suivant (puis § 2) on indiquera la portée de cette diversification, qui a fait que la physique statistique joue aujourd'hui un rôle de pivot entre la physique et plusieurs autres sciences. *La physique statistique comme une voie de l'interdisciplinarité.*

L'extension des applications de la physique statistique a concerné dans un premier temps l'étude de toutes sortes de phénomènes dynamiques : c'est la physique statistique dite hors d'équilibre. Elle comprend des sujets aussi divers que la description particulière de systèmes de réaction-diffusion, l'écoulement de granulaires (*Voir* ci-dessous Physique non linéaire), la croissance d'agrégats, etc.

Une impulsion très importante est ensuite venue de l'étude de systèmes dits « désordonnés », c'est-à-dire dont de nombreux degrés de liberté sont gelés aléatoirement. Un exemple en est constitué par le problème du verre de spin, qui a surgi dans des expériences en physique du solide et devenu le paradigme le plus célèbre en théorie des systèmes désordonnés.

À partir de là, il a été découvert que les nouvelles méthodes développées pouvaient être appliquées à des questions surgissant dans des domaines sans rapport direct avec la physique. La physique statistique est ainsi devenue un pont, voire une superstructure, qui relie la physique à de nombreux autres domaines scientifiques. Quelques-uns des liens interdisciplinaires qui ont résulté de ces nouveaux développements sont mentionnés § 2.

Liens avec la physique expérimentale

Les progrès récents dans notre compréhension de la physique des systèmes vitreux sont d'un intérêt pratique direct pour des systèmes physiques tels que les réseaux de vortex dans les supraconducteurs ou les parois de domaines dans les systèmes magnétiques. Des questions ouvertes dans ce domaine concernent les connections entre ces concepts et ceux développés pour d'autres systèmes tels que les vrais verres, les milieux granulaires, la fracture, la friction. Il ne fait aucun doute que cet effort doit être poursuivi dans les années futures et que l'on sent un domaine qui est prêt à murir et à donner d'importants résultats.

Physique non linéaire

Plasmas

En physique des plasmas, la théorie est en interaction forte avec les expériences ; elle se met, entre autres, au service des grands projets (ITER, LMJ). Outre des plasmas créés au laboratoire, elle s'occupe des plasmas spatiaux et astrophysiques. Dans cette discipline, l'outil numérique est très développé. Des codes sont nécessaires, selon les situations, à tous les niveaux de description, allant des codes particuliers aux codes fluides. Le calcul massivement parallèle est indispensable pour les applications les plus avancées.

Turbulence

La turbulence hydrodynamique a reçu et reçoit encore beaucoup d'attention de la part de la communauté, intérêt en partie influencé par une tendance internationale, mais qui est aussi une suite thématiquement logique à l'étude des instabilités hydrodynamiques. Pendant les années passées plusieurs aspects de la turbulence ont été étudiés et ont permis d'établir des collaborations non seulement entre expérimentateurs et théoriciens mais aussi entre les membres de communautés différentes. Par exemple la visualisation de structures cohérentes est un succès reconnu de cette activité. L'importance de ces structures sur les propriétés statistiques de la turbulence est un problème très étudié, mais encore très mal compris. Sur le plan théorique des modèles simplifiés (modèle en couche, modèle de Kraichnan) ont permis d'éclaircir plusieurs problèmes de la statistique de la turbulence (exposants anormaux, flux d'énergie). Toutefois beaucoup de problèmes restent encore ouverts et des nouvelles directions de recherche (théoriques et expérimentale) sont en train de se développer grâce à la mise au point de nouvelles techniques expérimentales. C'est le cas de la turbulence Lagrangienne, de la turbulence anisotrope, de la magnétohydrodynamique et de l'effet dynamo.

Milieux granulaire

L'étude des fluctuations de grandeurs globales (puissance injectée, flux de chaleur) dans les milieux granulaires et en turbulence et dans les systèmes non linéaires est un sujet de grande importance et d'actualité parce qu'elle permet de vérifier sur des systèmes plus réalistes les nouvelles théories qui relient, sous certaines conditions très restrictives, les propriétés de la distribution de probabilité de grandeurs globales à la dynamique chaotique du système non linéaire. L'étude des milieux granulaires doit son importance à ce qu'elle relie plusieurs aspects de la physique non linéaire (dynamique dissipative, formation des motifs) à des aspects proches à ceux de la mécanique statistique et à des problèmes de micromécanique (lois des contacts, ponts capillaires). Enfin la propagation des ondes dans ces milieux désordonnés est encore un problème ouvert.

Chaos

La théorie du chaos à basse dimensionnalité est une thématique importante qui continue de connaître des développements importants en physique et en mathématique. Par exemple on essaie de développer des codes numériques fiables pour le calcul de la stabilité de systèmes complexes (e.g. système solaire) et d'avoir une meilleure compréhension des techniques de contrôle du chaos qui peuvent avoir des applications technologiques importantes.

2 – INTERFACES

L'interdisciplinarité de la physique théorique apparaît quand on considère la longue liste de thèmes d'interface qui y sont étudiés, même si certains de ceux-ci ne regroupent que de très petites équipes : information quantique,

méthodes de simulation, optimisation combinatoire, algorithmique et complexité, codes de correction d'erreurs, cognosciences, biophysique, éconophysique, etc.

La physique théorique au CNRS continue de contribuer, à un essaimage thématique : la Section 02 a vu des départs de ses chercheurs, ces cinq dernières années, vers des laboratoires des sections 03, 04, 05, 06, 13, 14 et 30. Des arrivées, moins nombreuses ont eu lieu. Ces trois dernières années, cinq nouveaux laboratoires ont demandé d'être désormais évalués, pour ce qui est de leurs activités théoriques, par la 02 comme section secondaire. Les physiciens théoriques jouent ainsi pleinement leur rôle dans le tissu de la recherche française : la modification continue de ses contours est la preuve de sa vitalité.

2.1 THÉMATIQUES INTERDISCIPLINAIRES

Les grands champs interdisciplinaires

Le développement de la physique au cours du xx^e siècle s'est accompagné de sa spécialisation dans diverses branches. On peut dès lors parler d'interdisciplinarité au sein même de la physique.

L'interdisciplinarité au sein de la physique théorique

Même si nombre de ses chercheurs sont effectivement spécialisés, la physique théorique sait toujours faire fructifier dans ses divers champs disciplinaires les avancées obtenues dans l'un d'eux. Les échanges entre elle et la physique nucléaire et l'astrophysique en sont un exemple : étude de l'équation d'état de la matière nucléaire et structure des étoiles à neutrons ; étude de la matière à des densités extrêmes et dynamique des explosions de supernovae. D'autres études comme celle des fermions en interaction dans les systèmes

macroscopiques ou mésoscopiques, qui marie théorie des champs et mécanique statistique, ou celles de la dynamique des systèmes désordonnés, des systèmes hors équilibre (fracture, flambage, friction) ou de la physique des milieux granulaires qui marient la mécanique statistique et la physique non linéaire, s'appuient sur des sous-disciplines qui avaient par le passé des domaines d'application distincts.

Physique expérimentale

La théorie est indissociable des expériences. La physique non linéaire, la physique du solide et la physique des interactions fondamentales sont des domaines où l'échange entre les deux est très fort. Les théoriciens de ces domaines se trouvent d'ailleurs répartis sur la Section 02 et les sections expérimentales correspondantes. L'appartenance à une même unité de recherche, ainsi que les rencontres dans le cadre d'autres structures (type GDR), favorisent naturellement le développement des deux facettes de la discipline. La reconnaissance et l'évaluation de tels échanges ne sont pas toujours faciles. Il semblerait ainsi utile, par exemple, d'installer entre les sections 02 et 03 une structure commune permettant aux théoriciens nucléaires et des particules d'être évalués par leurs pairs.

Mathématiques

La physique théorique entretient des relations privilégiées avec les mathématiques. Un premier exemple est la théorie des cordes qui continue d'être une source d'idées mathématiques originales, en topologie, en géométrie différentielle, en théorie des algèbres d'opérateurs. Son outil principal reste la théorie conforme bidimensionnelle des champs, mais l'accent s'est déplacé vers la théorie conforme à bord. La nouvelle tendance, qui va certainement s'accroître à l'avenir, est le développement de l'interface entre les cordes et la géométrie non commutative (qui décrit la géométrie des « branes » où vivent les extrémités des cordes). Un second

exemple est l'étude des équations aux dérivées partielles qui constituent un sujet traditionnel d'importance scientifique durable au contact de l'analyse et des mathématiques appliquées. Ces équations interviennent principalement en mécanique classique (équations de Boltzmann, d'Euler, de Navier-Stokes) et en mécanique quantique (équation de Schroedinger). L'équation de Schroedinger dans un potentiel aléatoire est un bon exemple de problèmes à la frontière de l'analyse et de la théorie des probabilités qui peut aussi bénéficier de l'apport de la théorie des champs. Même si une stratégie unique d'approche des équations de la physique mathématique n'existe pas, on observe un rôle croissant des méthodes d'analyse micro-locale ou multi-échelles proches des idées du groupe de renormalisation de la mécanique statistique.

Nouvelles interfaces

Algorithmique et complexité ; cognisciences

L'optimisation combinatoire est l'un des domaines où se rencontrent l'informatique, les mathématiques et la physique statistique. Cette dernière discipline a contribué, en particulier, des méthodes développées dans l'étude des « verres de spin ». Typiquement, elles permettent de reformuler un problème d'optimisation comme un problème de recherche de l'état fondamental d'un hamiltonien. Les multiples applications feront l'objet de recherches aussi dans les années à venir.

En cognisciences, l'étude de réseaux de neurones formels a hautement bénéficié des mêmes méthodes.

Informatique quantique

Il s'agit d'un domaine dont personne ne peut encore cerner les promesses, et où la physique théorique devra avancer main dans la main avec les expérimentateurs et les informaticiens.

Éconophysique

Dans le domaine de la finance, la modélisation des fluctuations des produits financiers profite de nouvelles approches qui ont leur origine dans la physique statistique.

Biologie

La physique statistique trouve de nombreuses applications dans les sciences biologiques. Les domaines tels que la théorie et la modélisation du repliement des protéines, le lien entre les théories de l'évolution et les problèmes d'optimisation, ainsi que l'étude des réseaux de neurones sont maintenant bien établis. De plus, les biologistes sont confrontés aux problèmes des très grandes bases de données provenant du séquençage des génomes et des méthodes expérimentales à très haut débit. La physique statistique peut contribuer à la résolution de ces problèmes en développant de nouvelles méthodes d'analyse et d'interprétation des données et en proposant de nouveaux modèles et théories pour comprendre les systèmes biologiques complexes.

Ainsi, en biologie structurale, la physique statistique a permis des avancées importantes dans la compréhension du repliement et de la dynamique des molécules biologiques, telles que les protéines, l'ADN ou l'ARN, ainsi que dans l'assemblage de ces biomolécules dans des structures plus grandes telles que les membranes ou le cytosquelette.

En bioinformatique, la physique statistique a permis de reformuler les problèmes d'analyse de séquences et les algorithmes d'alignement et de recherche dans les bases de données en terme de problèmes de polymères dans des milieux désordonnés. De même, la compréhension des puces à ADN est liée au problème du « clustering » en optimisation, lequel a une formulation simple en mécanique statistique.

Enfin, la mécanique statistique et la physique du non-linéaire s'appliquent naturellement aux modèles d'évolution et de géné-

tique, tels que les modèles à paysage neutre ou la théorie des quasi-espèces, aux modèles de dynamique stochastique en génétique des populations, ou à la coévolution dans les modèles d'écologie. De même, la théorie des réseaux s'applique aux réseaux génétiques et métaboliques.

Finalement, citons l'application de concepts de matière condensée aux études des moteurs moléculaires, du repliement des protéines, de la mécanique des longues molécules (protéines et ADN) ou au problème du codage dans l'ADN. Une approche plus macroscopique permet aussi de considérer des entités complexes (organismes entiers, ensemble de cellules) et de caractériser leur comportement à grande échelle : philotaxie, propagation des ondes dans un nerf et fibrillation.

L'impact de la physique sur la biologie, limité il y a encore quelques années en raison de barrières de langage et de culture, est en train d'avoir des conséquences importantes et visibles sur son développement.

2.2 ÉVALUATION ET RECRUTEMENT

L'évaluation d'une recherche bi- ou multidisciplinaire est souvent difficile. La méthode la plus simple et la plus directe pour une section du Comité National semble consister à faire appel aux compétences de membres d'autres sections. D'autres procédures seraient imaginables, mais ne devraient pas alourdir le fonctionnement des diverses instances.

Ce problème apparaît de la même façon lors d'un recrutement sur poste interdisciplinaire. Les Commissions InterDisciplinaires récemment installées, qui concernent des interfaces spécifiques, n'aident en rien aux recrutements interdisciplinaires ponctuels, assez fréquents, entre la physique théorique et telle ou telle autre discipline. Les jurys mixtes, non autorisés par les textes aujourd'hui en vigueur, seraient sans doute dans certains cas la meilleure garantie d'un bon recrutement.

3 – PARTENARIATS, ÉCHANGES, RECRUTEMENTS

La « conjoncture » de la physique théorique est codéterminée par l'environnement dans lequel la recherche scientifique est effectuée. Si la direction du CNRS ne peut pas influencer directement sur les découvertes scientifiques, elle le peut par contre sur cet environnement. C'est pourquoi, dans ce troisième chapitre, on abordera quelques aspects concrets et importants pour la recherche scientifique au quotidien.

3.1 CNRS ET UNIVERSITÉ

Les physiciens théoriques au CNRS sont au nombre de 250 à 300 ; ceux dans les universités sont en nombre à peu près comparable.

Il y a beaucoup à dire sur les liens entre le CNRS et l'Université. Les plans quadriennaux permettent sans doute une meilleure coordination entre les deux organismes. On se limitera ici aux échanges que sont les accueils temporaires d'enseignants-chercheurs au CNRS, ou de chercheurs à l'Université.

Université → CNRS

On peut constater qu'en physique théorique le nombre de demandes faites par des universitaires pour une délégation ou un détachement auprès du CNRS dépasse (d'un facteur deux, typiquement) la capacité d'accueil de ce dernier. Il faut s'attendre à ce que le nombre de ces demandes augmente de façon importante dans les années à venir. L'une des raisons en est le recrutement, ces dernières années, de jeunes maîtres de conférences dont la vocation d'enseignant va de pair avec une forte ambition en recherche. Les conditions de travail actuelles à l'université ne permettent guère l'épanouissement de ces jeunes scientifiques, pour qui une

demande de délégation équivaut parfois à un cri d'alarme. Les postes d'accueil CNRS accordés à ces jeunes auront pour effet de libérer un potentiel de recherche des plus vigoureux.

Les universités font souvent état de difficultés causées par ces délégations et détachements : perturbation de la continuité de l'enseignement, impossibilité d'attirer des vacataires, faiblesse du remboursement par le CNRS, etc. Ces difficultés doivent être prises au sérieux ; cependant, ce n'est pas dans l'intérêt des universités de les prendre comme prétexte pour empêcher cette mobilité temporaire. Le recul que prend un enseignant par rapport à son enseignement, sera à la fin bénéfique à celui-ci.

CNRS → Université

De nombreux chercheurs CNRS souhaitent participer à l'enseignement universitaire. Il semblerait donc logique que des échanges de service entre universitaires et chercheurs CNRS soient fréquents. Il n'en est rien, et les difficultés déjà relevées ci-dessus méritent de faire l'objet de discussions entre le CNRS et l'Université.

Pour ce qui est de la mobilité « permanente » du CNRS vers l'Université en section 02, celle-ci est tout d'abord limitée par le faible nombre de postes de professeur mis au concours en physique théorique. Rien ne permet de s'attendre à ce que cette situation change profondément dans les années à venir.

3.2 DIMENSIONS EUROPÉENNE ET INTERNATIONALE

Il convient d'insister très fortement sur l'importance pour les laboratoires de recherche des postes d'accueil pour des visiteurs étrangers. L'obtention et le financement de ces échanges est une tâche qui coûte cher en temps et en énergie aux laboratoires, qui, cependant,

n'ont d'autre choix que de payer ce prix. On pense à l'émiettement des sources financières, chacune avec ses contraintes (Europe de l'Est, Russie, pays du tiers monde, francophonie, région, département, etc.), et chacune distribuant de petites sommes mais avec de longs dossiers à remplir. La simplification des procédures devrait être un but constant.

Accueil de chercheurs confirmés

Il existe des besoins à la fois en accueil de courte durée et en accueil de longue durée. En physique théorique, domaine où l'absence d'investissements en équipement expérimental confère aux chercheurs une grande flexibilité thématique, ces accueils constituent l'artère par laquelle un laboratoire reçoit de nouvelles idées et commence de nouvelles collaborations internationales. Le fait que les dotations attribuées à un laboratoire se mesurent en mois – visiteur plutôt qu'en années – visiteur par an, indique la pénurie de ces possibilités d'accueil. Évidemment, ce problème implique également les universités, dont les contributions aux postes d'accueil varient, suivant le cas, entre raisonnables et quasi-nulles.

Accueil de chercheurs postdoctoraux

Tout aussi important est l'échange de postdoc. Les liens scientifiques et personnels noués par les jeunes chercheurs postdoctoraux français partis à l'étranger continuent dans beaucoup de cas à leur profiter encore très longtemps après leur retour en France. Les jeunes docteurs français profitent beaucoup des postes postdoctoraux disponibles à l'étranger, sans que leur pays offre les mêmes possibilités aux étrangers. La règle, dans la communauté internationale de la physique des particules, est l'attribution de postes postdoc d'une durée de deux ans ; la section souhaite que ce même type de poste puisse être offert aux jeunes docteurs venant de l'étranger. L'initiative récente du Ministère qui consiste à rendre disponible au CNRS des postes postdoctoraux

de 18 mois est très bienvenue ; encore faut-il que le calendrier de la procédure soit adapté pour permettre de recruter les meilleurs candidats sur ces postes : les offres de postdoc sont, au niveau international, faites en janvier pour des contrats débutant en septembre/octobre de la même année.

Somme toute, il est *indispensable* qu'une fraction des postes CNRS reste disponible pour des accueils à tous les niveaux : postdocs et visiteurs senior de courte et longue durée. Si une position de principe amenait le CNRS à ne pas vouloir multiplier et gérer, au sein de l'organisme, les postes « précaires » que sont les postdoc, il faudrait que l'existence de ceux-ci soit assurée d'une autre manière, à discuter entre les organismes de tutelle.

La politique du Département SPM consistant à favoriser des structures comme les GDR, aide à satisfaire de façon tout à fait complémentaire au besoin d'échanges sur le plan national et, depuis peu, européen.

Recrutements et départs internationaux

Recrutements

Il ne saurait être question d'« excellence » dans quelque domaine que ce soit de la physique théorique, que par référence à un cadre mondial. Aujourd'hui, en section 02 du CNRS, cette dimension internationale est manifeste dans l'origine des candidats recrutés, à tous les niveaux (CR2, CRI, DR). Précisons qu'il n'est pas question ici de la nationalité de ces candidats, mais des pays où ils ont effectué leurs études, doctorat compris. Au niveau « jeunes chercheurs » (CR2) l'europanisation progresse fortement ces dernières années. Les conséquences de cette évolution demandent à être analysées en détail, par exemple en ce qui concerne l'impact sur la fréquentation des filières « recherche » (DEA et thèse) des universités françaises : quel attrait auront les filières recherche françaises si les postes CNRS sont offerts à de jeunes brillants physiciens

formés à l'étranger et dont le pays d'origine ne pratique pas la même politique d'ouverture que la France ?

Départs

Si les départs à l'étranger de chercheurs CNRS ne frappent pas par leur nombre, ils le font, quand ils ont lieu, par le haut niveau des scientifiques concernés. Alors que, jusqu'à un certain point, ces départs font partie de la vie normale, ils sont aussi motivés, en physique théorique, par le nombre beaucoup trop restreint de promotions à haut niveau, comme le signale avec insistance, et depuis de nombreuses années, la Section 02.

4 – L'AVENIR DE LA PHYSIQUE THÉORIQUE

Le périmètre de la section 02 change assez rapidement, accompagnant en cela l'évolution de la physique. La section s'en félicite. En ce moment, les poids relatifs de l'astrophysique et de la physique du solide sont en augmentation. La physique statistique joue pleinement son rôle de véhicule interdisciplinaire d'idées. La section s'est ouverte depuis de nombreuses années à des expérimentateurs. Elle s'est ouverte aussi vers les mathématiques, elle cherche à nouer des relations avec la biologie, etc.

La section a progressé, au cours de la dernière décennie, à tel point sur la voie de l'interdisciplinarité que, au début de la mandature en cours, elle s'est rendue compte de son devoir d'assurer aussi le rajeunissement de son noyau traditionnel, la physique des particules, où, avec la mise en service prochaine du Large Hadron Collider, on peut prévoir que de nombreux résultats expérimentaux auront bientôt besoin d'interprétation.

Un résumé des thèmes porteurs pour le futur évoqués dans ce rapport, peut être le suivant :

- cadres théoriques pour les expériences auprès des grands collisionneurs ;
- théorie au-delà du modèle standard et conséquences phénoménologiques ;
- interface entre la physique nucléaire et ses applications ;
- physique mathématique ;
- problèmes à N corps quantiques ;
- physique non linéaire proche des expériences ;
- diversification interdisciplinaire de la physique statistique ;
- etc.

La dernière entrée de cette liste sert à ne pas faire oublier au lecteur qu'en dépit de toute politique scientifique, la recherche fondamentale continuera à nous réserver des tournants imprévus.

