

SECTION 4 ATOMES ET MOLECULES – OPTIQUE ET LASERS – PLASMAS CHAUDS

Président
Serge Reynaud

Membres de la section
Christophe Blondel
Gilles Bourhis
Claude Camy-Peyret
Marc Douay
Xavier Garbet
Pierre Gilliot
Laurent Guillemot
Jean-Michel Hartmann
Sylvie Jacquemot
Pierre Labastie
Emily Lamour
Juan-Ariel Levenson
Brahim Lounis
Jean Oberlé
Hélène Perrin
Joël Plantard
Pascale Roubin-Morch
Robert Saint-Loup
Fernand Spiegelman
Christoph Westbrook

INTRODUCTION

Les recherches menées dans la section ont un intérêt sociétal multiforme, avec d'une part des avancées impressionnantes dans la compréhension du monde dans lequel nous vivons et d'autre part un vaste spectre d'applications dans de nombreux domaines. Ces recherches se déroulent dans des structures de tailles variées : équipes, laboratoires, instituts... Les expériences ont souvent une échelle correspondant à une petite équipe, mais les grands instruments - en particulier les sources de lumière comme SOLEIL ou les sources d'ions - y prennent une place grandissante de même que les moyens techniques mis en commun, par exemple les « centrales de technologie » ou les « plates-formes lasers ». Certaines activités se déroulent même aujourd'hui dans le cadre de grands programmes internationaux : programmes d'observation de l'atmosphère, programmes pour la fusion, détection des ondes gravitationnelles pour ne citer que quelques exemples.

Si elles restent enracinées dans les modes historiques d'organisation typiques de la « physique légère », ces activités ont donc bien changé depuis l'époque où presque toutes les expériences se déroulaient « sur une table » (*table-top experiments*). Le passage à des modes d'organisation interdisciplinaire a aussi conduit à une évolution considérable, pour ne pas dire une révolution, du paysage des disciplines de la section 04 depuis une bonne vingtaine d'années.

*Nota bene*¹

¹ *Le travail de conjoncture et prospective, une des activités importantes de la section, a été marqué par de nombreux attermoissements, revirements et contretemps depuis le début de notre mandat de 4 ans. Dans ces conditions, ce travail n'a jamais pu faire l'objet d'une large discussion dans la communauté. Les labos, GDR, équipes souhaitant enrichir ce travail ou y réagir sont invités à envoyer leurs remarques au président de la section.*

Les équipes travaillant à l'interface avec une autre discipline sont aujourd'hui majoritaires, cet interface pouvant concerner la chimie, la biologie et la médecine, l'environnement et l'univers, les sciences de l'information et de l'ingénierie, ou bien aussi d'autres domaines de la physique : matière condensée, interactions fondamentales, physique nucléaire et des particules...

Souvent identifiées aux études « fondamentales » de systèmes « simples », les activités de la section 04 se sont depuis des années élargies vers des objets de plus en plus complexes, molécules d'intérêt biologique, nano-objets, structures interfaciales, environnement atmosphérique, plasmas de fusion ou condensats, cette liste non exhaustive étant à nouveau donnée à titre d'exemple. Tout en restant presque toujours au voisinage de questions dont l'intérêt fondamental est bien identifié, ces activités ont aussi créé ou rencontré des applications de plus en plus variées, par exemple mais pas seulement dans le domaine des matériaux et des sources pour l'optique, ou dans celui de l'instrumentation (voir le document de « conjoncture » pour un état des lieux plus explicite).

La stratégie globale reste donc claire avec d'une part un soutien qui doit rester vigoureux pour toute équipe qui se situe au meilleur niveau mondial dans son domaine, et d'autre part une prise en compte du développement foisonnant d'interfaces avec d'autres domaines scientifiques ou avec des enjeux technologiques ou sociétaux.

Les parties qui suivent contiennent des éléments de positionnement puis de stratégie proposés après travail dans des groupes puis validation par la section. Ce document ne prétend être ni exhaustif, ni définitif. Les propositions qu'il contient sont susceptibles d'évoluer ou de s'enrichir lors de la préparation, en cours, du « plan stratégique » du CNRS...

ELEMENTS DE « POSITIONNEMENT »

Dans certains domaines de la physique atomique, les équipes du CNRS occupent des positions reconnues internationalement de « leaders ». C'est le cas pour les développements autour des atomes froids, par exemple avec les horloges à atomes froids, ou les recherches sur l'intrication quantique et la transition quantique/classique.

En ce qui concerne l'optique quantique, l'information quantique, la métrologie fondamentale et les nanosciences, la communauté française est bien placée au plan international et joue souvent un rôle pionnier. Les équipes du CNRS se trouvent par exemple bien placées, dans une compétition internationale intense, sur des sujets comme la mesure des constantes fondamentales, la condensation de Bose-Einstein, le traitement de l'information quantique.

La communauté française conserve un rôle international de premier plan dans nombre de domaines couverts par la physique moléculaire, qu'ils soient fondamentaux ou aux interfaces avec les disciplines connexes. L'école française de la spectroscopie moléculaire, même si ses effectifs se sont réduits, continue à apporter une contribution importante aux développements fondamentaux mais aussi à l'enrichissement et à l'amélioration des bases de données spectroscopiques, qui jouent un rôle essentiel dans les programmes d'observation des environnements atmosphérique, astrophysique, planétologique ou, pour prendre un exemple lié aux applications industrielles, dans les études sur les milieux en combustion.

La communauté de physique moléculaire apporte aussi des contributions reconnues sur les études portant sur la compréhension de la réactivité, la dynamique, la thermodynamique, la fragmentation et la nucléation des agrégats et nanoparticules, le contrôle cohérent de la

réactivité moléculaire. L'étude de molécules froides a donné lieu à de belles « premières » et des travaux remarquables ont fait progresser de façon significative les travaux sur l'auto-organisation de molécules ou de particules, la nucléation et la croissance, les modélisations et simulations de dynamique moléculaire aux interfaces avec la chimie et la biophysique.

Dans le domaine des collisions, la communauté française s'est impliquée dans plusieurs grands projets européens, dont ARIBE (Accélérateurs de Recherche Interdisciplinaire avec des ions de Basse Energie) au GANIL à Caen, et FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) au GSI en Allemagne, qui lui donnent une très bonne visibilité internationale.

La communauté optique de la section 04 perpétue une longue tradition d'excellence tant pour le développement de nouveaux concepts que d'instruments de plus en plus performants, souvent au contact d'équipes de la section 08. L'évolution très rapide du domaine amène à maturité de nouvelles interfaces avec des disciplines variées, dans lesquelles elle joue un rôle très actif en diffusant des concepts, des techniques, du savoir-faire vers des domaines allant de la chimie à la biologie en passant par l'ingénierie.

Après avoir joué un rôle moteur dans la découverte et le développement de sources à fluctuations quantiques contrôlées, la communauté française a été pionnière dans la réalisation de sources de photons uniques ou dans certains aspects de la cryptographie quantique. L'étude des propriétés optiques des micro- et nano-structures est un domaine en plein essor dans lequel la contribution de la communauté française se situe au meilleur niveau. C'est le cas des expériences pionnières en plasmonique et de celles sur les nanoparticules métalliques. Dans le domaine de la dynamique nonlinéaire spatiale et temporelle, en optique nonlinéaire en général, la communauté conserve une position de pointe sur

certains systèmes micro- et nano- structurés à fort potentiel.

Dans le développement de l'interface optique et biologie, notre communauté a joué un rôle moteur dans l'utilisation des sources laser ultracourtes et l'introduction de nouvelles techniques spectroscopiques ou de contrôle notamment pour l'étude de la dynamique structurale des protéines. De nouvelles microscopies optiques ont été développées. Des techniques d'imagerie novatrices, ayant de réels potentiels d'applications médicales, continuent à être proposées et testées avec relation avec le milieu médical.

La France et le CNRS sont très en pointe dans le domaine de la production par laser et de l'utilisation de sources secondaires de rayonnement et de particules, comme en témoignent les nombreuses premières expérimentales, la surcharge en termes de demandes d'accès des installations laser... Le premier laser 100TeraWatt/picoseconde a par exemple été construit sur le sol français et les installations françaises se distinguent par leur flexibilité et leur polyvalence. Dans ce contexte, les projets foisonnent, témoignant d'une grande vitalité.

Dans le domaine des plasmas chauds, la décision de construire ITER à Cadarache et la volonté du ministère de la défense d'ouvrir le Laser MégaJoule (LMJ) ont des implications profondes, tant sur l'organisation de la communauté académique que sur l'évolution de ses thématiques de recherche. Les équipes CNRS, qui disposent de compétences fortement pluridisciplinaires et de savoir-faire éprouvés, tant sur le plan expérimental qu'en théorie et modélisation, doivent jouer un rôle complémentaire de celui joué par le CEA en développant des programmes d'accompagnement permettant la valorisation des installations de laboratoire qu'elles opèrent, et qui sont indispensables à la conduite d'études « de base » ou pour la formation, et en favorisant une

recherche spécifique, comme celle sur les matériaux sous irradiation. Ces différents aspects doivent lui permettre de jouer son rôle dans la meilleure exploitation scientifique et le succès technique de ces importants investissements.

Dans le domaine de la fusion magnétique, plusieurs UMR collaborent avec le CEA via un réseau de Laboratoires de Recherche Conventionnés organisés autour de 5 axes : théorie, études expérimentales, interaction plasma-paroi, physique atomique et ondes. Ceci permet une bonne coordination des différents programmes, l'accès au tokamak Tore Supra du CEA/DRFC et l'intégration aux structures européennes. Le CNRS se trouve ainsi incorporé dans un tissu dense de laboratoires impliqués dans le programme fusion, en particulier autour du JET.

Dans le domaine de la fusion inertielle, la communauté française a développé depuis des années un programme scientifique qui lui a permis d'être internationalement reconnue grâce notamment au constant maintien à niveau de ces installations (LULI...). Elle a été pionnière dans de nombreux domaines et bénéficie de nombreuses et fructueuses collaborations européennes (au travers par exemple des programmes *Access*), et d'importantes collaborations avec le CEA/DAM, actuellement renforcées au sein de l'Institut Laser-Plasma. L'émergence de nouveaux projets aux Etats-Unis et au Japon contribuera certes au succès de la maîtrise de la fusion inertielle, mais également à une dilution de l'influence de la France dans ce domaine. Sa participation au projet européen HiPER pourrait constituer une étape déterminante pour éviter cet écueil.

D'une manière générale, transverse par rapport aux différents domaines évoqués ci-dessus, les activités de nature théorique jouent un rôle extrêmement important dans la section 04. Les activités de modélisation et de simulation numérique produisent également des résultats remarquables dans plusieurs domaines. Le maintien de ces activités, dans la section 04 en contact étroit avec les équipes expérimentales, est

un des éléments déterminants de sa capacité à produire de nouveaux concepts ou de nouveaux progrès expérimentaux.

ELEMENTS DE « STRATEGIE »

La plupart des équipes correspondant à la section 04 sont regroupées dans des laboratoires ayant une identité à la fois scientifique, géographique et administrative même si le fonctionnement de ces structures correspond à des réalités variées. La section s'est exprimée à plusieurs reprises contre la volonté, exprimée en particulier par le précédent DG, de favoriser un fonctionnement uniforme en « très grandes unités » (TGU), répondant à une logique plus administrative que scientifique. Des regroupements de laboratoire peuvent néanmoins avoir lieu quand ils correspondent à une logique scientifique et que les équipes constituant la nouvelle structure ont exprimé leur accord...

La section a également recommandé la mise en place de structures fédératives souples, à un niveau local ou thématique, qui peut être un bon moyen de mettre en commun des compétences. Cette méthode, déjà utilisée sous des formes diverses (voir quelques exemples dans la suite de ce document), fournit des solutions plus efficaces sur le plan scientifique quand les structures mises en place sont régulièrement évaluées par les sections du Comité National, ce qui a pour effet de limiter la dispersion et l'émiettement de structures mises en place sans réel contrôle, par exemple par les collectivités locales.

Un bon exemple récent est celui des fédérations nationales mises en place autour des programmes de fusion, afin de favoriser la participation à ces programmes de l'ensemble du tissu scientifique français et des organismes de recherche. La cohérence de cette participation est cruciale, entre autres pour permettre aux équipes académiques françaises de prendre toute leur part dans la science qui sera faite sur les très grands instruments de la fusion. Ces fédérations peuvent également être ouverte sur l'Europe par le biais

de « *memoranda of understanding* » ou de l'association EURATOM-CEA et gérer des lieux d'accueil mixtes à proximité des grands instruments.

Dans le domaine des nanosciences, des structures coopératives ont été mises en place, sous forme de GDR qui seront régulièrement évalués. Des moyens mutualisés y sont disponibles qui doivent permettre de réels progrès dans les recherches dans ces domaines. Les couplages entre équipes de différents domaines, par exemple milieux dilués-condensés, physique-chimie-technologie, physique-maths-science de l'information, etc. se sont beaucoup développés récemment, et il est souhaitable qu'ils se renforcent encore.

L'incitation au développement de collaborations entre physiciens, chimistes et biologistes s'est également renforcée et son développement doit permettre de progresser encore sur l'enjeu que constitue le développement d'expériences vraiment adaptées aux problèmes scientifiques qui sont abordés. La mise en place de plateformes optimisées pour les expériences portant sur des échantillons biologiques est elle aussi une solution à étudier avec soin. Elle peut s'inspirer d'expériences de « plateformes laser » existantes mettant en commun lasers, dispositifs de collisions, techniques de pièges, ou encore moyens de caractérisation...

Il est également important de veiller à la persistance et au développement de moyens de calcul importants et également aux synergies pour le développement de codes, en relation avec d'autres communautés utilisant les mêmes techniques ou des techniques voisines.

Un problème général est celui de l'évaluation des recherches interdisciplinaires. Les perturbations récentes de la structure du CNRS ne nous ont pas rapprochés d'une solution. Le décloisonnement aux interfaces entre départements reste un objectif à atteindre, sous des formes et avec des méthodes correspondant à

la réalité et à la diversité des activités scientifiques menées de part et d'autre de ces frontières.

Un des moyens privilégiés d'une telle politique a été dans le passé la mise en place de GDR ou de réseaux thématiques, puis de programmes interdisciplinaires pilotés par le CNRS, et il est urgent que ce processus soit relancé. Ceci demande bien évidemment un financement CNRS supplémentaire par rapport à celui dont disposent aujourd'hui les laboratoires. On ne peut en revanche attendre d'un financement sur objectifs qu'il conduise naturellement à l'émergence de nouvelles interfaces scientifiques.

Les sujets de recherche de longue haleine qui ont été développés au cours des années, en particulier ceux qui correspondent à une réelle prise de risque de la part des scientifiques, jeunes ou moins jeunes, qui s'y engagent, ont particulièrement bénéficié de la stabilité que confère le statut CNRS. Cet avantage du système français est aujourd'hui menacé par une relative perte d'attractivité, qui n'empêche pas le CNRS de continuer à recruter d'excellents chercheurs par une compétition d'un niveau très élevé, ainsi que par la multiplication exponentielle des statuts précaires qui sont contradictoires avec des programmes scientifiques ambitieux.

L'évolution des effectifs dans certains domaines est inquiétante tant elle risque de conduire rapidement à d'importantes pertes de savoir-faire. La position de la section ne consiste pas à prôner la reconduction à l'identique les populations actuellement existantes. De fait, les procédures de recrutement actuelles amènent des évolutions significatives de ces populations. Il faut néanmoins attirer l'attention sur le fait que la situation démographique actuelle, avec les départs à la retraite programmés, met en péril la conservation de certaines compétences qui peuvent jouer un rôle essentiel dans l'émergence et le progrès de nouvelles thématiques ou d'interfaces avec d'autres disciplines.

Si une structuration plus efficace des communautés peut contribuer à apporter des solutions, le renouvellement du potentiel humain est incontournable. Ceci est vrai en particulier, mais pas seulement, dans des domaines où la communauté a à faire face à des demandes fortes venant par exemple des grands programmes spatiaux, qu'ils soient liés à l'observation de la Terre, à la planétologie ou à l'astrophysique, ou au démarrage des très grands instruments de la fusion au cours de la prochaine décennie.

En anticipation de ce problème, il est urgent de réfléchir à des plans de formation nationaux, tel que celui mis en place actuellement dans le domaine des sciences de la fusion. Afin de préserver les intérêts des jeunes chercheurs, qu'ils soient futurs recrutés ou non, avec ceux des laboratoires et équipes d'accueil, il serait nécessaire de façon plus générale de consacrer des efforts plus systématiques au couplage entre formation et recherche.

Dans les domaines correspondant à des thématiques nouvelles ou à des interfaces interdisciplinaires, le renouvellement se fait naturellement surtout par recrutement, même si on peut encourager - et voir se réaliser dans quelques cas - des mouvements de chercheurs expérimentés avec un impact évidemment important pour l'équipe d'accueil.