Evaluation du service des photons, atomes et molécules

Rapport Hcéres

▶ **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. Evaluation du service des photons, atomes et molécules. 2009, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - CEA. hceres-02032716

HAL Id: hceres-02032716

https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02032716

Submitted on 20 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport d'évaluation

Unité de recherche :

Service des Photons, Atomes et Molécules (SPAM)

du CEA

Mai 2009

agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport d'évaluation

Unité de recherche :

Service des Photons, Atomes et Molécules (SPAM)

du CEA

Le Président de l'AERES	Section des unités de recherche
	Le Directeur
Jean-François Dhainaut	**Pierre Glorieux**

mai 2009

Rapport d'évaluation

L'Unité de recherche :

Nom de l'unité : **Service des Photons, Atomes et molécules (SPAM)**

Label demandé :

N° si renouvellement :

Nom du directeur : **Mme Cécile REYNAUD**

Université ou école principale :

CEA

Autres établissements et organismes de rattachement :

Date(s) de la visite :

19 et 20 mars 2009

Membres du comité d'évaluation

Président :

M. Christian BORDAS, Université de Lyon 1

Experts :

M. Villy SUNDSTROM, Université de Lund Suède

M. Gilles MAYNARD, LPGP, Université de Paris 11

M. Henri BACHAU, Celia, Université de Bordeaux 1

M. Sandro DE SILVESTRI, Polytechnico de Milan Italie

M. Patrice MELINON, Université de Lyon 1

M. Rainer WEINKAUF, Université de Düsseldorf, Allemagne

M. David PHILIPPS, Imperial College Londres, UK

M. Patrick MORA, CPhT, Ecole Polytechnique

Expert(s) représentant des comités d'évaluation des personnels (CNU, CoNRS, CSS INSERM, représentant INRA, INRIA, IRD...) :

M. François GUILLAUME, CoNRS

Mme Martine RICHARD VIARD, CoNRS

Observateurs

Délégué scientifique de l'AERES :

M. Jean Michel ROBBE

Représentant de l'université ou école, établissement principal :

M. Jean Paul VISTICOT, Direction des Sciences de la Matière CEA

M. Didier NORMAND, Chef de l'IRAMIS (Institut Rayonnement Matière de Saclay)

Représentant(s) des organismes :

M. Christian CHARDONNET, Institut de Physique

M. Francis SECHERESSE, Institut de Chimie

Rapport d'évaluation

1 • Présentation succincte de l'unité

- Effectif (au 1er octobre 2008) 36 permanents et 13 non permanents, dont chercheurs CEA (22), ingénieurs CEA (5), techniciens et administratifs (9), doctorants (8), post-doctorants (5)
- Nombre de HDR (12) ; nombre de HDR encadrant des thèses (5)
- Nombre de thèses soutenues (11) et durée moyenne lors des 4 dernières années (3,2 années), nombre de thèses en cours (8), taux d'abandon (0), nombre de thésards financés (8)
- Nombre de membres bénéficiant d'une PEDR (0)
- Nombre de publiants (21 parmi les chercheurs permanents + 4 parmi les ingénieurs CEA)

2 • Déroulement de l'évaluation

L'évaluation du Service des Photons, Atomes et Molécules (SPAM) du CEA s'est déroulée sur deux jours, les 19 et 20 mars 2009 sur le site de Saclay. Au cours de ces deux journées, l'activité de l'ensemble du SPAM a été évaluée. Le SPAM en tant que tel est un Service du Commissariat à l'Énergie Atomique. Il regroupe trois laboratoires dont les activités sont liées : le Centre Interaction Laser-Matière de Saclay (SLIC), le laboratoire Matière sous Conditions Extrêmes (MEC), et le Laboratoire Francis Perrin (LFP). Le LFP est une Unité de Recherche Associée (URA) entre CEA et CNRS, les deux autres entités étant purement CEA. Les missions et le mode de fonctionnement du LFP et du reste du SPAM sont donc différents et à ce titre leur évaluation doit être distinguée clairement. La suite de ce document est donc consacrée à l'évaluation du SPAM hors LFP, ce dernier laboratoire faisant l'objet d'un rapport d'évaluation séparé. Ce rapport présente donc de manière globale les équipes relevant de l'ensemble SLIC+MEC.

La première journée a été consacrée à l'exposé des directrices du SPAM et du LFP et à la visite des équipes qui ont toutes débuté par des exposés scientifiques en comité restreint. La première journée s'est terminée par la rencontre du comité avec les représentants du CEA et du CNRS. La seconde journée a permis de finir la visite des équipes avant de rencontrer les conseils représentatifs des deux laboratoires. Le comité s'est ensuite réuni à huis clos pour préparer le rapport d'évaluation ainsi que l'évaluation quantitative.

Les responsables d'équipes comme l'ensemble des membres du SPAM ont fait des choix dans leurs présentations orales et lors des visites qui ont permis une vision très complète de l'unité. Par ailleurs le comité a apprécié la grande qualité du rapport d'activité et des documents fournis sur lesquels s'appuie également ce rapport.

3 • Analyse globale de l'unité, de son évolution et de son positionnement local, régional et européen

Le Service des Photons, Atomes et Molécules est l'un des sept services de l'IRAMIS (Institut Rayonnement Matière de Saclay) qui dépend de la DSM (Direction des Sciences de la Matière). Au sein de cette structure la mission du SPAM est de conduire des recherches fondamentales autour de l'interaction laser-matière. Si l'on exclut les activités qui relèvent de la physico-chimie qui sont regroupées au sein du LFP évalué par ailleurs, le SPAM et ses deux composantes décrites ici (SLIC et MEC) a pour vocation principale de travailler dans le domaine des lasers ultrabrefs et des champs lasers intenses, domaine dans lequel le SPAM est depuis très longtemps un acteur majeur au niveau international.

La structuration actuelle du SPAM repose d'une part sur l'historique et les évolutions successives de l'unité mais aussi sur une stratégie affirmée par le CEA d'appuyer ses recherches les plus fondamentales sur un ensemble d'instruments éprouvés et sur un support technique extrêmement développé et compétent. L'existence du SLIC dont l'activité est décrite plus en détails par la suite et son rôle central dans le fonctionnement du SPAM (et dans une moindre mesure du LFP) sont en ce domaine exemplaires et ont permis à l'unité d'assurer non seulement sa place dans un domaine extrêmement compétitif au niveau mondial, mais lui ont également permis de remplir une fonction d'accueil qui assure au laboratoire les meilleures connexions tant avec la recherche académique qu'avec une entreprise de haute technologie avec laquelle des développements et des valorisations sont réalisés conjointement. Au côté du SLIC qui assure la mise au point, le développement, la maintenance et la disponibilité de trois chaînes lasers de puissance allant jusqu'à 100 TW, peuvent ainsi se développer les activités de recherche des trois équipes du MEC respectivement autour de la génération d'harmoniques d'ordres élevés et la physique à l'échelle attoseconde (équipe Attophysique), de l'optique relativiste et de l'accélération de particules par laser (équipe Physique à haute intensité) et dans une moindre mesure les plasmas denses et chauds (équipe Matière à haute densité d'énergie) dont l'activité expérimentale est cependant effectuée essentiellement auprès des TGI lasers disponibles dans d'autres centres.

Le SPAM est un laboratoire de recherche fondamentale dont l'activité est par nature très voisine d'autres laboratoires de physique d'Ile de France insérés dans le système académique et généralement associés au CNRS. En tant que structure purement CEA, le SPAM occupe une position relativement originale par rapport aux autres laboratoires du domaine. Ceci ne semble cependant pas être source de difficultés. Sans être formalisé, le lien avec le monde académique est très fort via les collaborations nombreuses avec des équipes universitaires, une participation active à l'organisation de rencontres et congrès dans la communauté nationale et internationale, une implication explicite dans l'École Doctorale d'Orsay et une implication (peut être trop modeste cependant) dans certaines filières d'enseignement. S'ajoute à cela l'association du LFP avec le CNRS et donc dans l'ensemble un partenariat équilibré avec l'Université et le CNRS que l'unité a su renforcer au cours des années récentes en particulier pour garder un lien fort avec la formation et l'accueil de doctorants. Compte tenu de cet excellent couplage avec l'extérieur, il ne semble donc pas qu'il y ait lieu d'envisager un partenariat plus formalisé avec le CNRS ou l'Université.

Le SPAM hors LFP compte 22 chercheurs CEA permanents, 5 ingénieurs CEA et 9 techniciens et administratifs. Pour un laboratoire de physique atomique et moléculaire, il s'agit d'un bon ratio ITA/chercheurs même si la distinction entre chercheurs et ingénieurs est à relativiser dans le contexte CEA. Néanmoins, compte tenu de l'importance des installations expérimentales et en particulier des chaînes lasers et de leur vocation d'accueil, l'encadrement technique est absolument à maintenir, voire à renforcer. De ce point de vue, le renfort récent par le CEA du potentiel du SPAM dans le domaine ingénieur laser doit être souligné et encouragé sur la durée. De manière générale il semble que la gestion actuelle des ressources humaines au niveau du CEA et du service permette un bon remplacement des départs. De très nombreux mouvements de personnels ont été enregistrés au SPAM durant la période évaluée. La majorité des mouvements sont liés à des mobilités internes au CEA mais des recrutements de jeunes chercheurs et techniciens ont pu être effectués et l'effectif du SPAM a augmenté de deux unités par le jeu des mobilités internes. Le nombre de doctorants (11 thèses soutenues en 4 ans, 8 doctorants actuellement) est satisfaisant et montre que le SPAM est très attractif malgré l'absence d'association avec un établissement d'enseignement supérieur. Cependant le potentiel d'encadrement (12 HDR) et surtout le caractère original et très compétitif des recherches menées au SPAM permettraient à l'évidence d'en accueillir un plus grand nombre. Ce constat est certes général en physique mais en l'occurrence le mérite des équipes qui ne comportent aucun enseignant-chercheur n'en est que plus grand.

Le budget annuel moyen hors salaires personnels permanents de l'ensemble SPAM+LFP au cours des années 2004 à 2008 excède 3 M€ par an avec une répartition très inhomogène suivant les groupes. La répartition fluctue au fil des années mais elle est maintenant voisine de 50/50 entre SPAM et LFP. Le plus gros effort se porte bien entendu sur le SLIC dont l'activité contribue directement à celle de plusieurs équipes expérimentales et à l'accueil. Ramené au nombre de chercheurs permanents, ce budget est nettement au dessus de la moyenne des laboratoires de la discipline, mais il se situe assez logiquement de manière intermédiaire entre un laboratoire de physique expérimentale habituel et un TGI. Le maintien de ces crédits relativement élevés est obtenu cependant au prix d'efforts grandissant des chercheurs du SPAM pour lever des fonds dans la mesure où le soutien récurrent du CEA est globalement à la baisse malgré un certain nombre de soutiens ponctuels importants sur le développement par exemple du laser PLFA ou du laser multitérawatt UHI. Le nombre de contrats et réseaux européens dans lequel le SPAM est impliqué est ainsi particulièrement élevé et la reconnaissance du SLIC comme European Facility est de ce point de vue exemplaire.

Le SPAM a également été particulièrement performant dans la réponse aux appels d'offres ANR et auprès de la Région Ile de France. Le succès et l'impact du RTRA Triangle de la Physique ont été également très largement reconnus par les membres du SPAM qui y trouvent par ailleurs une occasion supplémentaire de partenariat avec la communauté académique locale. Globalement l'implication et la reconnaissance du SPAM dans le tissu local, national et international est donc excellent et la politique très volontariste du laboratoire dans la réponse aux appels d'offres mérite d'être soulignée, en particulier au niveau européen où elle est exceptionnelle. La visibilité du SPAM est à l'évidence sans commune mesure avec la taille réduite de l'unité et il est tout à fait remarquable qu'un laboratoire de seulement 36 permanents, dont 27 chercheurs et ingénieurs, occupe une telle place sur la scène internationale dans le domaine des lasers ultra brefs et ultra intenses.

La production scientifique, examinée plus en détail dans la suite du rapport, est dans l'ensemble abondante et de qualité, tout particulièrement dans l'équipe ATTO impliquée dans un domaine où la compétition internationale est extrêmement relevée, mais également dans les autres équipes à proportion de leur taille ou de leur type d'activité. Une tendance générale visiblement encouragée par la hiérarchie, est de publier dans des journaux à fort impact comme Nature, Nature Physics ou Phys. Rev. Letters, revue dans laquelle 20 articles du SPAM sont parus sur la période 2004-2008.

En conclusion de cette analyse synthétique de l'activité du SPAM, les principaux indicateurs mesurant la qualité de la recherche effectuée (qualité et nombre des publications, reconnaissance nationale et internationale) sont tous excellents. L'implication dans la vie scientifique locale à travers la formation doctorale, le Triangle de la Physique, et dans la communauté nationale et internationale de la recherche à travers les collaborations locales, nationales et internationales ainsi que le couplage avec le monde socio-économique via le laboratoire conjoint Impulse avec Amplitude Technologies sont également remarquables.

4 • Analyse équipe par équipe et par projet

4.1. Équipe SLIC : « Saclay Laser-Matter Interaction Center »

L'équipe SLIC comprend une équipe laser, un bureau d'études mécaniques (1 ingénieur), un atelier de mécanique (2 techniciens) et un atelier d'électricité-électronique (1 technicien). L'équipe laser est constituée actuellement d'un staff permanent de 4 chercheurs, 2 ingénieurs et 3 techniciens. Elle comprend également un post-doctorant et un doctorant. L'équipe SLIC supporte et développe les infrastructures laser de recherche dans le domaine des temps ultracourts. Le SLIC regroupe trois chaînes lasers intenses basées sur la technologie CPA Titane Saphir : (i) LUCA qui fournit des impulsions de 45 fs de durée à 20 Hz avec une puissance crête de 1 TW ; (ii) PLFA impulsions de 32 fs à 1 kHz, 0.4 TW crête ; et (iii) UHI, récemment upgradé de 10 TW qui fournit maintenant des impulsions de 25 fs et 100 TW crête à 10 Hz. Ces trois systèmes sont construits autour d'une base de lasers commerciaux largement transformés. Les chercheurs du SLIC ont amplement développé ces systèmes à travers un intense programme de recherche et de développement afin d'atteindre un très haut niveau de performance et de fiabilité. Le système LUCA en particulier est capable d'alimenter simultanément cinq postes d'expérience. Ces chaînes ont été complétées par des étages de générations de second et troisième harmoniques, rendant ainsi disponibles des faisceaux lasers ultracourts et ultra intenses dans le visible et le proche UV. Une accordabilité plus grande à une intensité plus faible est obtenue dans le domaine visible-UV au moyen d'OPA (optical parametric amplifiers) non colinéaires. L'un des points forts du SLIC est le développement et la disponibilité de très bons outils de diagnostic (dont certains tout à fait uniques) des paramètres des impulsions lasers et tout particulièrement la durée d'impulsion, le rapport de contraste et la stabilité en phase de l'enveloppe (sur tir unique). Une attention toute particulière a été portée au facteur de contraste qui est l'un des critères limitant et l'une des clés pour réaliser des expériences dans des conditions de très haute intensité. Des contrastes aussi élevés que 10^{10} ont ainsi été récemment obtenus sur le laser UHI grâce à l'utilisation des miroirs plasmas dans le cadre d'une collaboration étroite entre les groupes SLIC et PHI. Le niveau de publications scientifiques, tant en termes de nombre que de qualité des journaux, est remarquable pour un groupe de recherche qui se consacre essentiellement aux développements technologiques.

La disponibilité d'une large palette de sources lasers combinée avec l'excellente expertise dans le développement et l'exploitation de chaînes lasers femtoseconde de haute puissance a permis au SLIC de se positionner comme l'une des meilleures installations lasers reconnue internationalement. Par ailleurs une maîtrise et un contrôle complet des paramètres lasers, tels qu'ils sont réalisés par l'équipe SLIC, est à coup sûr une stratégie gagnante pour une infrastructure lasers ouverte aux utilisateurs extérieurs. A côtés de ses propres programmes de recherches et des développements réalisés, la mission principale du SLIC est de fournir un accès aux chaînes lasers à un grand nombre d'utilisateurs du SPAM et du LFP, mais aussi à des utilisateurs extérieurs français ou européens. Les expériences les plus marquantes des autres équipes du SPAM ont été réalisées grâce aux lasers développés et mis à disposition par le SLIC. Environ 80% des 900 jours d'expériences fournis annuellement par le SLIC (total pour les 3 chaînes) sont dédiés aux utilisateurs de l'IRAMIS, et les 20% restant sont partagés également entre groupes extérieurs nationaux et européens. Le SLIC a atteint une grande visibilité en Europe en rentrant dans le réseau LASERLAB Europe financé par l'Union Européenne pour l'accueil des utilisateurs dans les meilleures installations lasers en Europe.

En ce qui concerne les autres activités de recherche menées par le SLIC, il convient de mentionner le façonnage spatial et temporel d'impulsions laser UV (flat top profile), en lien avec les programmes de recherche sur le développement des lasers utilisés pour les photocathodes de lasers à électrons libres (FEL). Sur ce plan, la participation au programme EUROFEL a été un succès. L'équipe SLIC est à présent engagée dans l'étude de la stabilisation en phase de la porteuse (carrier envelope phase : CEP) de l'impulsion laser ultracourte de haute énergie. Pour l'instant seule la stabilisation au niveau de l'oscillateur a été obtenue.

Un aspect important des activités de recherche du SLIC est la connexion étroite qui existe avec des compagnies industrielles privées du domaine des lasers et de l'optique en France (Amplitude Technologies et Fastlite), connexion qui s'appuie sur plusieurs contrats. Un laboratoire commun « Impulse » de R&D a ainsi récemment été lancé en partenariat avec Amplitude Technologies. Les travaux qui y seront menés pendant les années à venir porteront principalement sur la stabilisation en phase de la porteuse des impulsions de haute intensité.

Le projet pour les quatre années à venir repose sur de forts développements et améliorations des systèmes lasers en service aussi bien en termes d'énergie par impulsion que de contraste. Le SLIC va poursuivre son activité de façonnage d'impulsion et de faisceau en lien avec les programmes FEL. Enfin, l'un des points clés essentiels pour les développements futurs en physique à l'échelle attoseconde est la stabilisation en phase de la porteuse à haute intensité après amplification. Cet objectif doit faire l'objet d'un effort maximal dans les années qui viennent et ceci semble bien être pris en compte dans la prospective scientifique présentée par l'équipe SLIC. La mise en place du laboratoire commun Impulse permettra par exemple à l'équipe SLIC de disposer de moyens plus étendus pour mener à bien ce programme.

- Points forts :
  - Hautes performances et fiabilité des chaînes lasers femtosecondes ;
  - Haut niveau de développement technologique au sein de l'équipe pour la caractérisation des impulsions ;
  - Installation européenne ouverte aux utilisateurs de tous pays ;
  - Bons contacts avec les industriels lasers.

- Points faibles :
  - L'équipe semble un peu sous dimensionnée comparée au nombre de chaînes lasers dont le groupe a la charge, tout particulièrement pour soutenir les projets scientifiques prévus dans le projet de recherches ;
  - L'absence de stabilisation de phase de la porteuse (CEP) des impulsions de haute intensité.

- Recommandations :
  - Donner la priorité au développement de la stabilisation CEP, au prix éventuellement d'une réduction temporaire des journées d'ouverture des lignes aux utilisateurs de l'installation PLFA ;

- Poursuivre l'amélioration de la chaîne de très haute intensité UHI, qui est dès à présent l'un des tous meilleurs systèmes en termes de performances et en termes de potentiel dans le domaine de la nouvelle physique de l'interaction laser matière à très haute intensité.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A+	A+

4.2. Équipe ATTO : « Attophysique »

L'équipe ATTO est composée de neuf permanents dont un ingénieur et un technicien. Son activité se situe dans la continuation d'un axe de recherche du SPAM, développé durant ces vingt dernières années, qui porte sur la dynamique des atomes et molécules en champ laser de fort éclairement et sur l'étude des processus non-linéaires associés (génération d'harmoniques, processus d'ionisation multiphotonique en régime ATI…). L'activité du groupe s'articule autour de cinq projets, avec une bonne cohérence globale. Les thématiques de recherche se déclinent selon trois axes principaux ; (1) l'étude de la dynamique de l'ionisation des molécules et des atomes en champ laser femtoseconde (fs) dans le domaine infrarouge (IR) ; (2) la génération de sources XUV intenses et brèves et leurs applications ; (3) l'étude des propriétés du rayonnement harmonique d'ordre élevé (HHG) et de la physique attoseconde associée. On trouve dans ces trois axes de recherche une part importante dédiée à l'imagerie des molécules. Le comité a été impressionné par le nombre de collaborations nationales et internationales établies par le groupe, notamment à travers les réseaux européens, et par la qualité et le volume de sa production scientifique. Dans son domaine d'activité le groupe a joué et joue un rôle essentiel dans la communauté française et il se place parmi les meilleurs laboratoires au niveau international. Les très bons niveaux de financements obtenus, notamment avec les ANR, sont le reflet de la performance générale du groupe mais il convient aussi de noter que son leadership résulte d'un soutien et d'un investissement sur le long terme de son organisme de tutelle. Le nombre important de doctorants et post-doctorants témoigne aussi de l'attractivité du groupe. Enfin, il faut noter que les travaux réalisés s'appuient sur un ensemble d'équipements laser et optique très performants dont le développement et le support reposent sur le groupe SLIC.

Dynamique ultrarapide, sources laser XUV et imagerie : la dynamique moléculaire en champ IR fort, notamment l'ionisation multiple, implique des mécanismes complexes qui sont loin d'être parfaitement compris, même dans le cas de molécules « simples » telles que H_2 ou D_2. Il faut noter l'excellence et l'originalité des résultats obtenus, notamment sur la double ionisation de H_2 en régime fs. L'équipe a développé des techniques de détection sophistiquées lui permettant une analyse approfondie des mécanismes d'ionisation. La dynamique de l'ionisation multiple et l'imagerie en régime fs, via l'analyse des fragments (explosion coulombienne) sont des axes de recherche prometteurs. Ces efforts doivent être poursuivis, on note un seul permanent sur cette activité, l'équipe devrait être renforcée. Avec la génération d'harmoniques la perspective d'étudier l'interaction laser/matière en régime UV ultra bref (fs) et intense est ouverte, le comité encourage les projets en cours en association avec les groupes de l'Université Paris-Sud. La possibilité d'observer des processus non-linéaires dans le domaine XUV ouvre des perspectives nouvelles, dans ce contexte les études effectuées par le groupe sur l'amplification du rayonnement HHG avec les sources lasers à électrons libres (FEL) prend toute son importance. Le comité a aussi noté les perspectives ouvertes par l'utilisation du rayonnement XUV cohérent pour l'imagerie des objets nanométriques.

Émission des photons (HHG) et des électrons en régime attoseconde : l'apport important et l'expertise du groupe dans ce domaine le placent parmi les meilleures équipes au niveau international. Sa maîtrise des processus ultrarapides ouvre des perspectives d'applications, notamment pour la tomographie des orbitales moléculaires (analyse du rayonnement HHG, systèmes « auto sondés » par diffraction des électrons). Le comité a noté l'importance et l'efficacité de l'effort porté sur la simulation de la réponse macroscopique du milieu aux champs intenses. Cependant, pour passer du domaine de la métrologie à de réelles applications, on doit disposer de l'impulsion attoseconde unique avec une énergie de l'ordre du microjoule. Le comité encourage fortement les recherches dans cette direction.

– Points forts :

- Très grand dynamisme du groupe qui se traduit d'une part par l'obtention de nombreux contrats et subventions et d'autre part par un niveau de production remarquable avec de nombreuses conférences invitées et un très grand nombre de publications dans des journaux internationaux à haut facteur d'impact.
- Très bonne insertion et visibilité du groupe dans la communauté nationale et internationale, avec la participation à de nombreux réseaux, notamment européens.
- Mission de formation remplie de façon très satisfaisante, avec de nombreux doctorants et post-doctorants. Très bonne attractivité du groupe.

– Points faibles :

- La thématique « Dynamique ultrarapide de l'ionisation multiple des molécules » dont l'activité est excellente est certainement sous dimensionnée en personnel permanent.

– Recommandations :

- Renforcer la thématique « Dynamique ultrarapide de l'ionisation multiple des molécules » en personnel permanent.
- Poursuivre les efforts sur l'impulsion attoseconde unique de forte énergie.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A+	A+

4.3. Équipe PHI : « Physique à Haute Énergie »

Le groupe est composé de 7 permanents, dont 6 chercheurs et un ingénieur. L'équipe est plutôt jeune (l'âge moyen est de 43 ans, un peu en dessous de celui de l'ensemble du SPAM), et a fait preuve de beaucoup de dynamisme dans les 4 années récentes. Son activité porte sur l'interaction laser-plasma à très haute intensité, jusqu'à 10^{19} W/cm^2, en particulier à l'aide de l'installation UHI10. L'originalité du groupe tient à l'utilisation de un ou deux miroirs à plasma placés avant la cible à étudier. Chaque miroir permet d'augmenter le contraste de l'impulsion laser d'un facteur de l'ordre de 100, sans perdre notablement en intensité maximale. L'outil résultant a ainsi permis d'accéder au régime d'interaction à très haut contraste (10^9 entre le piédestal et le pic d'intensité). Les résultats obtenus dans ce régime sont tout à fait spectaculaires, et ont donné lieu à des publications très remarquées dans les meilleures revues internationales et à de nombreuses invitations dans des conférences internationales. On peut regrouper les résultats suivant trois thématiques :

- La génération d'harmoniques élevées par des cibles solides : l'étude s'est révélée suffisamment fine pour pouvoir distinguer deux régimes de génération d'harmoniques, l'émission par réflexion sur la surface de la cible mise en mouvement oscillatoire par la variation périodique de la force non linéaire exercée par le rayonnement laser, et l'émission en profondeur de la cible dans le sillage des paquets d'électrons accélérés dans l'interaction laser-plasma à chaque période laser.
- La génération de protons énergétiques par les deux faces d'une feuille ultramince (de 70 nm à 100 µm) : ce qui est particulièrement remarquable dans ces expériences est la quasi-symétrie entre émission en face arrière et en face avant pour les cibles les plus minces (en dessous de 10 µm), et la dépendance avec la polarisation, signatures à la fois du mécanisme d'accélération (expansion normale à la surface des couches extérieures contenant les protons, sous l'effet de l'attraction exercée par une population chaude d'électrons) et du mécanisme même de chauffage des électrons.

- Le sondage de plasmas denses par du rayonnement XUV correspondant à des harmoniques obtenues par interaction avec des gaz (technique de génération d'harmonique développée dans le groupe ATTO), via des mesures de réflectométrie à haute résolution temporelle, ou via de l'interférométrie utilisant deux sources d'harmoniques issues de deux jets de gaz mais mutuellement cohérentes.

Le laboratoire s'équipe d'une nouvelle chambre expérimentale, ce qui devrait doubler la capacité de l'installation UHI100 qui a succédé à UHI10. Il faut aussi souligner l'implication de l'équipe dans l'animation scientifique au sein du Triangle de la Physique, et en particulier dans la démarche de radioprotection, aussi bien au niveau du laboratoire qu'au niveau des installations en projet sur le plateau de Saclay.

Avec 5 thèses soutenues entre 2005 et 2008, l'équipe remplit parfaitement son rôle de formation à la recherche. A noter qu'une de ces thèses vient de recevoir un prix de la Société Européenne de Physique. Il faut cependant recommander à l'équipe d'accroître sa participation à la formation au niveau licence et master, actuellement très faible si l'on excepte le membre de l'équipe Professeur à l'INSTN (mais cette remarque pourrait être faite à l'ensemble du SPAM).

L'équipe a beaucoup de succès dans l'obtention de financements, et ceci est clairement dû à la pertinence de ses projets scientifiques. On peut donc à la fois la féliciter pour son efficacité, et regretter – mais ceci n'est pas de la responsabilité de l'équipe – que la multiplication des « guichets » rende cette course aux contrats particulièrement consommatrice de temps.

Le projet de recherche pour les 4 ans à venir (harmoniques d'ordre élevé : vers la physique attoseconde ; accélération ionique dans le régime de la pression de rayonnement ; accélération de protons et applications potentielles à la protonthérapie ; accélération d'électrons ; transport électronique en cible dense ; développement de diagnostics utilisant les harmoniques élevées) est équilibré et adapté aux outils expérimentaux dont dispose l'équipe.

– Points forts :
  - Thématique en émergence qui a acquis une visibilité internationale en un temps relativement court.
  - Originalité de l'approche miroirs plasmas qui a permis d'atteindre des facteurs de contraste sans précédent.

– Points faibles :
  - Faible implication dans la formation au niveau licence et master.

– Recommandations :
  - Poursuivre l'engagement dans les programmes locaux (Triangle de la physique) et nationaux ou internationaux (projets ILE/ELI, PETAL). « Physique à Haute Intensité ».

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A+	A+

4.4. Équipe MHDE : « Matière à Haute Densité d'Énergie »

Cette équipe est actuellement composée de quatre chercheurs permanents, 3 à Saclay et une chercheuse mise à disposition à Bordeaux (CELIA) depuis peu dans le cadre de la politique de développement de la physique auprès des grandes installations du CESTA décidée par la DSM. Ainsi, cette équipe devrait voir son effectif à Bordeaux augmenter de 2 chercheurs, car le plan de la DSM prévoit un recrutement chaque année sur 3 ans. Par ailleurs, cette équipe a accueilli transitoirement deux membres de l'ex Groupe d'Applications des Plasmas, avec lequel elle a participé activement jusqu'en 2006, dans le cadre du consortium Exulite, à la réalisation d'un prototype préindustriel de source EUV créée par laser pour la nano lithographie. Les performances obtenues par ce prototype sont tout à fait remarquables.

L'activité de cette équipe est centrée sur l'étude théorique et expérimentale des propriétés électroniques des plasmas denses, tout particulièrement l'émission, l'absorption et le transport de rayonnement, avec pour principal domaine d'application la fusion inertielle, les sources X et X-UV et l'astrophysique. La détermination des opacités et du transfert radiatif est un sujet qui, bien qu'étant étudié depuis de nombreuses années, reste très actuel et même primordial pour des applications telles que la fusion inertielle et l'astrophysique.

Sur cette thématique le groupe a développé trois principaux axes d'étude : les modèles théoriques pour la MHDE, la détermination expérimentale et théorique des spectres atomiques et de la dynamique associée et l'étude expérimentale de chocs radiatifs. Pour les deux premiers axes, l'équipe MHDE s'intéresse plus particulièrement au domaine des plasmas denses, proche de la WDM (Warm Dense Matter), qui soulève le plus d'interrogations au niveau théorique et de difficultés de diagnostics au niveau expérimental. Les résultats obtenus par l'équipe MHDE sur le modèle d'atome moyen applicable à ce domaine constituent une réelle avancée.

Le groupe a un savoir faire dans le domaine de la physique atomique des plasmas chauds reconnu au niveau national et international, en particulier le code d'opacité SCO qu'il a développé en collaboration avec le CEA/DAM, fait référence. Il faut également souligner la bonne cohérence existant entre les différentes activités du groupe et notamment la forte implication des théoriciens dans les travaux expérimentaux.

La majorité des projets de l'équipe sont développés dans le cadre de collaborations nationales et européennes très actives. En particulier, le groupe MHDE est porteur principal pour le développement du code d'opacité et l'étude expérimentale de ces opacités sur les installations laser de puissance (principalement celle du LULI et pour le futur les installations du CESTA-Bordeaux). Un membre de l'équipe MHDE participe également à l'étude expérimentale des chocs radiatifs dans le contexte de l'astrophysique. Des résultats très intéressants ont ainsi été obtenus sur l'installation PALS de Prague. Ces études vont se poursuivre dans le cadre d'un projet soutenu par l'ANR.

Le projet de l'équipe est centré sur des approfondissements des sujets abordés ces dernières années, avec une implication renforcée dans les études expérimentales des plasmas denses sur les installations laser de puissance en particulier dans le cadre de l'Institut Laser Plasma.

- Points forts de l'équipe :
  - L'équipe MHDE a développé un ensemble de savoirs faire complémentaires théoriques et expérimentaux de premier plan qu'elle a su faire interagir positivement pour résoudre avec pertinence les problèmes complexes posés par l'interaction rayonnement matière dans un plasma dense.
  - La diversité des modèles développés et leur validation expérimentale donne à cette équipe un champ étendu de compétences de toute première importance pour les expériences d'interaction laser-matière se rapportant à la MHDE à l'ETL et hors ETL.

- Points requérant une attention particulière :
  - En raison de la double localisation de l'équipe à Saclay et à Bordeaux, les objectifs de chaque partie et les modes de fonctionnement doivent être clarifiés afin de maintenir une bonne cohérence dans les activités de l'équipe.
  - Un savoir faire important sur le code atomique Hullac a été développé lors d'un séjour post-doctoral. La pérennisation de ce savoir faire doit être assurée.

– Recommandations :

- La MHDE est un domaine important de la physique de l'interaction laser-matière à haute intensité, en particulier pour les phénomènes hors équilibre. Les couplages de l'équipe MHDE avec les acteurs du domaine, autour de PETAL par exemple, sont encouragés
- Rester attentif au fonctionnement de l'antenne bordelaise de l'équipe MHDE.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A	A+	A	Non noté	A

5 • Analyse de la vie de l'unité

– Le management et la gouvernance :

La nature même du SPAM, service du CEA et à ce titre opéré selon le mode propre de management du CEA, conduit à une structuration et à une organisation sensiblement différentes de celles d'un laboratoire académique. Sans être strictement imposés les objectifs de l'unité sont plus clairement assignés par l'établissement. De même, les avis de la direction du laboratoire dans les évolutions de carrière des personnels sont mieux pris en compte par l'établissement et le management s'en trouve ainsi légitimement renforcé. Cela étant, compte tenu de son caractère fondamental et de ses liens forts avec le monde universitaire le fonctionnement de l'unité s'apparente souvent avec les normes académiques.

Le conseil du SPAM, dont le rôle est fondamentalement différent d'un conseil d'UMR et essentiellement circonscrit à une diffusion de l'information de la part de l'équipe de management et à un débat autour des questions de vie de tous les jours du laboratoire, se montre extrêmement satisfait du fonctionnement et de l'organisation de l'ensemble. En terme de moyens et de gestion des crédits, l'organisation en équipe donne semble-t-il toute satisfaction et seule la baisse du soutien du CEA en termes de crédits de base est discutée car, comme dans les unités relevant du CNRS, le transfert des moyens depuis les organismes vers l'ANR, s'il permet un soutien direct plus fort aux équipes, entraîne également un soutien récurrent plus faible et une moindre possibilité pour le laboratoire de lancer de vrais nouveaux projets et de prendre des risques. Pour une large part, l'activité expérimentale est organisée autour de l'utilisation des chaînes lasers du SLIC. L'organisation et l'accès des équipes aux services communs sont en ce sens exemplaires.

– Les ressources humaines :

De taille relativement modeste au regard de ses ambitions et de son impact, le SPAM constitué intégralement de personnels CEA en ce qui concerne le personnel permanent, met en œuvre une politique de ressources humaines au plus près des besoins des équipes. Le renouvellement des personnels CEA qui a été problématique il y a quelques années est maintenant mieux assuré et le fonctionnement du SPAM en est facilité. Les priorités récentes en particulier ont été mises sur le recrutement de personnels techniques pour les chaînes lasers. Si un effort doit être poursuivi, c'est bien dans ce domaine et comme cela est souligné dans la partie scientifique de ce rapport, le soutien en support technique est essentiel à la bonne marche des activités lasers intenses et à la qualité de l'accueil des utilisateurs extérieurs. Il ressort des entretiens avec les personnels qu'outre la satisfaction générale relative à l'environnement de l'unité, aux moyens et à la vie du laboratoire, au mode de promotion des agents CEA dans lequel la direction est mieux écoutée, les soucis rencontrés en terme de ressources humaines sont les mêmes que dans les laboratoires universitaires : difficulté d'attirer et de recruter des jeunes chercheurs, alourdissement des tâches administratives et multiplication des opérations de gestion, manque d'étudiants en physique…

Ce dernier point entraîne ici comme ailleurs un manque relatif de doctorants, dont le nombre est correct mais pourrait être bien supérieur compte tenu du fort potentiel d'accueil. La rencontre avec les représentants des doctorants a montré une excellente intégration dans les équipes. Les deux types de contrats (bourses CEA et allocations ministère) sont plus perçus comme un moyen supplémentaire de financer des doctorants que comme source de différentiel. Tous les doctorants sont ainsi financés à un niveau au moins égal à l'allocation ministère. La durée moyenne des thèses s'établit à 3,2 ans et les contraintes sont strictes pour ne pas dériver vers des thèses en 4 ans. Enfin, en ce qui concerne les règles d'hygiène et de sécurité, le comité a pu constater la grande rigueur du CEA en la matière et de l'avis de tous les membres de l'unité cet aspect de la vie du laboratoire est irréprochable.

– La communication :

L'animation scientifique et la communication interne à l'unité sont bonnes. Un séminaire est organisé chaque semaine (cependant comme ailleurs la participation est reconnue comme trop faible), une journée annuelle des doctorants permet aux plus jeunes de participer directement à cet aspect de la vie de l'unité, une journée de prospective (une par quadriennal) a été organisée conjointement avec le LFP à Étretat. Par ailleurs, de nombreux membres du SPAM sont impliqués dans des actions de valorisation et de communication.

6 • Conclusions

– Points forts :

Le comité a émis dans l'ensemble un jugement très positif sur l'ensemble des activités du SPAM. Il est particulièrement impressionné par la très grande visibilité et l'excellente reconnaissance internationale dont jouit le SPAM et ses équipes, par la qualité et l'étendue de ses collaborations locales, nationales et internationales, par son potentiel d'accueil excellent sur les chaînes lasers femtosecondes, par l'implication exceptionnelle du laboratoire dans des réseaux européens qui placent le SPAM, malgré sa taille réduite, au plus haut niveau de la compétition internationale dans le domaine des lasers intenses et de la physique aux temps courts.

Parmi les points forts directement liés aux activités des équipes et qui sont développés ci-dessus on doit retenir notamment :

- La disponibilité de chaînes lasers femtosecondes de haute performance très fiables et extrêmement bien caractérisées ;
- Le grand dynamisme et la très haute visibilité internationale des groupes impliqués dans la physique à l'échelle attoseconde et dans la physique à très haute intensité ;
- L'excellente représentation du SPAM dans les divers appels d'offres et dans les réseaux européens.

– Points faibles :

- Couplage trop faible avec l'enseignement supérieur ;
- Certaines équipes ou activités sont relativement sous dimensionnées en terme de potentiel humain ;
- Retard temporaire de certaines opérations lié à l'absence de stabilisation de phase de la porteuse des impulsions de haute intensité.

– Recommandations :

La recommandation essentielle que l'on peut adresser de manière générale au SPAM est qu'il faut qu'il se donne les moyens avec l'appui de sa tutelle unique CEA de rester au plus haut niveau international dans l'ensemble des activités de recherche qu'il développe. Outre les recommandations spécifiques adressées à chaque équipe, il convient également de rappeler que le développement de la stabilisation de phase de la porteuse des impulsions de haute intensité est une priorité pour le laboratoire et que la production d'impulsions attoseconde unique est un objectif incontournable pour rester dans la compétition internationale au plus haut niveau.

Note de l'unité	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A+	A+