



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux
Ionisés – GREMI

sous tutelle des
établissements et organismes :

Université d'Orléans

CNRS (INSIS principal)

Janvier 2011



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux
Ionisés – GREMI

sous tutelle des
établissements et organismes :

Université d'Orléans

CNRS (INSIS principal)

Le Président de l'AERES

Didier Houssin

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

Janvier 2011



Unité

Nom de l'unité : Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés (GREMI)

Label demandé : UMR CNRS

N° si renouvellement : 6606

Nom du directeur : M. Jean-Michel POUVESLE

Membres du comité d'experts

Président :

M. Khaled HASSOUNI, Université Paris 13, Villetaneuse

Experts :

Mme Marie-Claude CASTEX, CNRS, Villetaneuse

Mme Corinne CHAMPEAUX, Université de Limoges, Limoges (représentante du CNU)

Mme Agnès GRANIER, CNRS, Nantes

M. Pascal ANDRE, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand

M. Jean-Pierre BŒUF, CNRS, Toulouse (représentant du CoNRS)

M. Pascal CHABERT, CNRS, Palaiseau

M. Pierre VERVISCH, CNRS, Rouen

Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Hassan PEERHOSSAINI

Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M. Youssoufi TOURE, Président de l'Université d'Orléans

Mme Anne LAVIGNE Vice-Présidente du Conseil Scientifique de l'Université d'Orléans

M. Patrick LEQUERE, Conseiller du Directeur Scientifique de l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) du CNRS

M. Patrice SOULLIE, Délégué Régional du CNRS pour la Région Centre Poitou Charente



Rapport

1 • Introduction

- Date et déroulement de la visite :

La visite du GREMI s'est déroulée les 13 et 14 janvier 2011.

La première journée de la visite a concerné les aspects bilan. Après une première réunion à huis clos du comité, une présentation en séance plénière du bilan général de l'unité a été effectuée par le directeur. S'en est suivi une discussion entre les membres du Comité et le directeur sur différents aspects de ce bilan.

La deuxième partie de la matinée a été consacrée à la présentation des thématiques de recherches qui s'inscrivent dans le cadre de l'axe '*Plasmas et lasers en interaction avec des surfaces*' et à une partie des thématiques émergeant dans l'axe '*Plasmas énergétique et rayonnement*'. Une première réunion de synthèse à huis clos du comité de visite a eu lieu en fin de matinée.

La séance de l'après-midi s'est déroulée en quatre temps. La première partie de l'après-midi a été consacrée à la finalisation de la présentation des thématiques de l'axe '*Plasmas énergétique et rayonnement*', ainsi que les présentations de l'axe '*Plasmas haute pression*' et de l'axe transverse '*Théorie, modélisation et simulation*'.

Ensuite, le comité a effectué une visite d'un peu plus de deux heures des installations expérimentales du GREMI sur le site d'Orléans.

La troisième partie de l'après-midi a été consacrée à la présentation du bilan et du projet de la fédération EPEE. Cette présentation a eu lieu en séance plénière en présence des directeurs des trois laboratoires impliqués dans la fédération, GREMI (M. J. M. POUVESLE), ICARE (M. I. GOKALP) et PRISME (M. C. ROUSSEL).

La journée s'est terminée par une réunion de synthèse à huis clos du comité de visite.

La seconde journée a commencé par la présentation du projet de laboratoire dans le cadre de la demande d'une nouvelle contractualisation. La rencontre avec les représentants des personnels a eu lieu en trois phases de 20 minutes chacune : Chercheurs/Enseignants-chercheurs, Ingénieurs/Techniciens et doctorants/postdoctorants. L'ensemble des membres de la catégorie de personnel concernée était présent lors de chaque rencontre.

Le comité de visite a eu l'occasion d'échanger avec les tutelles. L'Université d'Orléans (UO) était représentée par son Président M. Youssoufi TOURE et par la Vice-Présidente du Conseil Scientifique Mme. Anne LAVIGNE. Le CNRS était représenté par M. Patrick LEQUERE, Conseiller auprès du Directeur Scientifique du Département INSIS et M. Patrice SOULLIE, Délégué Régional CNRS pour la Région Centre Poitou Charentes.

Le comité de visite s'est ensuite réuni à huis clos pour une synthèse finale. La visite s'est terminée à 15h30.

Le Comité a particulièrement apprécié l'accueil, l'implication et la disponibilité des membres du GREMI lors des deux journées de visite. Cet accueil a permis au Comité de Visite de travailler dans des conditions sereines.

Le comité, en accord avec le délégué AERES, a jugé plus pertinent, compte tenu de la taille relativement modeste du laboratoire et pour des raisons techniques, d'évaluer le GREMI en s'appuyant sur la structuration proposée dans le projet 2012-2015, à savoir un axe '*Procédés plasmas et lasers – couches minces et nanomatériaux*', que l'on notera axe I, et un axe '*Développement de sources plasmas pour de nouvelles applications*', que l'on nommera axe II.

Soulignons que les axes ont été probablement mis en place pour les besoins de l'évaluation, car la structuration de la recherche au GREMI s'appuie surtout sur la notion de thèmes et opérations. On retrouve dans le descriptif du projet la quasi-totalité des thèmes décrits dans le bilan. La seule différence tient au fait que le projet regroupe dans l'axe II intitulé '*développement de sources plasmas pour de nouvelles applications*' les thèmes des axes '*Plasmas énergétiques et rayonnement*' et '*Plasmas haute pression*' du bilan.



- Historique et localisation géographique de l'unité et description synthétique de son domaine et de ses activités :

Le Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés (GREMI) est une unité de recherche mixte qui a deux tutelles : l'Université d'Orléans (l'UO) et le CNRS (Institut National des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes, INSIS).

Le GREMI est aujourd'hui un laboratoire bi-localisé avec un bâtiment de 3000 m² sur le campus de La Source à Orléans et un second bâtiment de 400 m² situé sur le site de Bourges. Il faut souligner à ce stade que cette situation de bi-localisation résulte d'un événement majeur qu'a connu le laboratoire lors du dernier quadriennal, à savoir l'intégration des chercheurs du Laboratoire d'Analyse Spectroscopique et d'Energétique des Plasmas (LASEP, ex-EA 3269 de l'UO) qui est situé sur le site de Bourges.

L'activité scientifique du GREMI concerne le développement et l'étude de procédés plasmas et de dispositifs de décharges électriques pour des applications diverses : les matériaux, les sources de rayonnement, l'énergétique, le transport, et, depuis plus récemment, le biomédical. L'activité du GREMI est à très forte composante expérimentale. Elle porte sur le développement de systèmes complexes, des réacteurs à plasma ou laser et de dispositifs de décharge, dont l'étude fait appel à l'analyse d'un grand nombre de phénomènes souvent couplés. L'activité du GREMI porte aussi bien sur l'investigation de questions fondamentales liées aux phénomènes et aux effets de couplage intervenant dans les systèmes développés que sur l'intégration de ces dispositifs au niveau d'applications technologiques. De ce point de vue l'activité du GREMI se situe pleinement dans le domaine des Sciences Pour l'Ingénieur avec une sensibilité 'Engineering Physics'.

- Equipe de Direction :

L'équipe de direction est constituée du Directeur, M. Jean-Michel POUVESLE, et de la Directrice-Adjointe Mme. Chantal LEBORGNE. Cette équipe s'appuie sur un Conseil Scientifique. Compte tenu de la taille relativement modeste du laboratoire, 15.5 ETP de chercheurs, l'équipe de direction a opté pour un Conseil Scientifique comprenant l'ensemble des chercheurs du laboratoire. Ce conseil travaille dans le cadre de séances de 'Brainstorming'. L'équipe de direction s'appuie également sur un Conseil de Laboratoire constitué de 13 membres, 2 membres de droits, le directeur et la directrice adjointe, 7 membres élus (3 membres du collège chercheur, 2 membre IT et 1 doctorant et 1 postdoctorant) et 4 membres nommés.

- Effectifs de l'unité (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	19*	18*
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	6	6
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaire 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	37	--
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	11.5	11
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	3 (ETPT)**	
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	26	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	20	19***

*Un enseignant-chercheur exerçant de hautes fonctions au Ministère de la recherche, sans activité de recherche et rattaché au GREMI est comptabilisé dans les effectifs

**ETPT = équivalent temps plein travaillé

*** Un enseignant-chercheur est rattaché uniquement à l'axe transverse dans la structure du projet



Le personnel permanent du GREMI comprend 19 Enseignants-chercheurs de l'UO (9 PU et 10 MCF), 6 chercheurs CNRS (2 DR et 4 CR), 8 IT CNRS (4 IR, 1 IE, 1 AI et 2T), 5 BIATIOS de l'UO (1 IE, 2 AI, 1 AGT et 1 SAEN). Le GREMI compte en outre un Professeur Emérite.

Le GREMI a accueilli 36 chercheurs et enseignants-chercheurs à titre temporaire lors du dernier quadriennal. On compte en particulier 26 post-doc provenant en partie d'institutions extérieures à Orléans, 2 ATER de l'UO, un visiteur longue durée et 5 chercheurs sur contrat. Actuellement, l'Unité compte 11 post-doctorants. La durée de séjour de ces post-doctorants varie entre 6 mois et 3 ans avec une moyenne aux alentours de 1.5 an. Par ailleurs, le GREMI a accueilli 8 personnels techniques contractuels à hauteur de 3 ETPT lors du dernier quadriennal. Enfin, le GREMI compte aujourd'hui 26 doctorants et a fait soutenir 24 thèses au cours des quatre dernières années.

Ainsi le GREMI est aujourd'hui composé d'un peu plus de 70 personnes qui se distribuent à peu près à parts égales entre personnels permanents et non permanents. Les ressources en personnel statutaires permanents rattachés au GREMI en équivalent temps plein travaillé (ETPT) sont de 15.5 ETPT chercheurs et 11.5 ETPT IT.

Les chercheurs CNRS sont tous évalués en section 10 (Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation) . Les enseignants-chercheurs du GREMI émargent essentiellement aux sections 62 (Energétique et Procédés, 8 EC) et 63 (Génie Electrique, Electronique, Photonique et Systèmes, 8 EC) du CNU. On note un enseignant-chercheur émargeant à la section CNU 33 (Chimie des Matériaux) et deux à la section 30 (milieux dilués et Optique). Ce profil disciplinaire du laboratoire est tout à fait cohérent avec les thématiques de recherche qui y sont abordées.

Le GREMI a eu une politique volontaire d'augmentation de son potentiel de chercheurs et enseignants-chercheurs habilités à diriger des recherches (HDR). En effet, 7 habilitations ont été soutenues lors du dernier quadriennal.

2 • Appréciation sur l'unité

- Avis global sur l'unité:

Le GREMI est un laboratoire reconnu dans le domaine des procédés plasmas, des procédés laser et de la physique des décharges électriques. Il fait partie d'un groupe relativement restreint de laboratoires français qui développe des recherches dans le domaine des procédés plasma/laser avec une sensibilité 'Engineering Physics' très présente dans les pays anglo-saxons et relativement rare en France. De ce point de vue, le GREMI occupe un champ de recherche stratégique, avec des enjeux importants. De ce fait le laboratoire doit être soutenu et développé.

Le GREMI sait mobiliser ses compétences pour se positionner de manière intelligente sur des problématiques d'actualité dans les domaines des nanomatériaux, de la microélectronique, de l'énergie, du transport, de l'environnement et du biomédical. Le laboratoire a su en particulier identifier dans ces domaines technologiques très larges, les projets porteurs de problématiques amonts et fondamentales dans ses disciplines de cœur que sont la physique des décharges électriques, l'interaction plasma-surface, l'interaction laser-surface et la physique des plasmas réactifs. Le GREMI a su ainsi assurer un équilibre entre recherche fondamentale et recherche à finalité technologique. Cet équilibre est attesté par la concomitance d'un niveau élevé de publications dans des revues de haut rang (PRL, Physics of Plasma, APL, etc.) et d'une forte implication du laboratoire dans des collaborations avec les industriels de divers secteurs.

Le GREMI a su utiliser un contexte local très favorable, i.e., 3 pôles de compétitivité, 3 pôles régionaux, une fédération de recherche et un soutien régional direct significatif, pour développer des recherches dans son cœur de métier sur des objectifs structurants au niveau régional et national. Ce contexte amène le laboratoire à intervenir dans un nombre important de projets collaboratifs fortement pluridisciplinaires en partenariat avec les industriels et des laboratoires de l'UO et de l'Université de Tours. Ce contexte renforce la pertinence des recherches menées au GREMI en lui donnant l'opportunité d'intervenir sur des problématiques technologiques qui ne peuvent être abordées par un seul laboratoire. De ce point de vue, le soutien régional compte beaucoup dans la vie du GREMI, et donne au laboratoire les moyens d'une politique de recherche très ambitieuse.



Fort de ce soutien régional, le GREMI a su se positionner dans le peloton de tête au niveau international sur un nombre significatif de thématiques scientifiques telles que les plasmas poudreux, les procédés de dépôts métalliques ultramincs et de gravure profonde, les procédés laser, la dépollution et valorisation énergétique par plasma, les sources de rayonnement et, plus récemment, les plasmas pour la médecine.

Le GREMI jouit d'une forte reconnaissance et d'une grande visibilité au niveau international. Ce niveau de reconnaissance et de visibilité est assez exceptionnel si on considère la taille relativement modeste du laboratoire. Le laboratoire reçoit régulièrement la visite de personnalités scientifiques de premier plan pour des périodes pouvant aller jusqu'à un an. Le GREMI est également attractif vis-à-vis des jeunes chercheurs. Il accueille actuellement plus d'une dizaine de post-doctorants et 24 doctorants en provenance de diverses institutions nationales et internationales.

Le GREMI est fortement impliqué dans les divers cursus de formations de l'Université d'Orléans aussi bien sur le site orléannais (Polytech' Orléans et Faculté des Sciences), que berruyer (Faculté des Sciences et IUT). Plusieurs membres du GREMI ont des responsabilités pédagogiques importantes et sont membres des différents conseils de l'université (CA, CS et CEVU).

- **Points forts et opportunités :**

- **Points forts :**

- L'activité du GREMI se caractérise par une production scientifique de grande qualité couvrant un large spectre de revues allant de la physique (PRL, APL, PoP) à l'ingénierie (« Journal of Power Sources » et « AICHE Journal »). Elle se caractérise également par une prise directe avec le monde industriel sur des problématiques technologiques d'avenir et avec des collaborations perennes impliquant plusieurs entreprises, *comme* STMicroelectronics, INEL, Renault, etc. De ce point de vue, le GREMI répond parfaitement à ce que l'on attend d'un laboratoire SPI.

- Le GREMI bénéficie d'un excellent niveau de reconnaissance et de rayonnement à l'international sur un nombre significatif de thématiques : plasmas poudreux, dépôt/gravure par plasma, procédés laser, plasma-médecine, plasmas réactifs pour la valorisation énergétique et la dépollution, etc.

- L'organisation du laboratoire, de taille relativement modeste, permet une forte fluidité inter-thèmes, une grande réactivité et une forte capacité d'adaptation aux thématiques émergentes.

- Le GREMI possède une forte capacité à promouvoir la pluri- et l'interdisciplinarités, que ce soit en interne à travers des collaborations inter-thèmes qui ont permis au laboratoire de réaliser des premières, ou en externe à travers des collaborations avec des laboratoires travaillant dans d'autres domaines : mécanique, combustion, aérodynamique, biologie, médecine, etc.

- Le laboratoire possède une réelle capacité à aller jusqu'au bout du développement technologique sans sacrifier les aspects fondamentaux. Cette capacité apparaît dans les développements de sources X ou EUV, des procédés de dépôt/gravure, des procédés de dépollution, etc.

- L'activité de recherche du laboratoire est caractérisée par une prise de risque optimale et un positionnement pertinent sur les thématiques émergentes. L'engagement sur la thématique plasma-médecine est à ce titre un bon exemple. Le laboratoire a su en effet mobiliser les ressources en interne et construire un réseau de collaborations avec les chercheurs du secteur biomédical pour occuper une place de premier plan sur une thématique en plein essor.

- **Opportunités :**

- L'intégration du LASEP constitue l'un des points marquants du dernier quadriennal. Le comité de visite a pu constater que cette intégration s'est passée dans de bonnes conditions. Cette intégration permet au GREMI d'augmenter ses ressources humaines sur au moins deux thématiques de recherche : les plasmas poudreux et les plasmas thermiques (arcs ou torches). Le laboratoire devrait saisir ces opportunités pour : (i) proposer une structuration pertinente sur la thématique plasma poudreux, qui jouit d'une forte reconnaissance au niveau international, de manière à la valoriser encore plus et (ii) regrouper les fortes compétences plasmas thermiques en exploitant le contexte local très favorable, notamment sur des applications liées à l'énergie, pour faire émerger un groupe fort et de premier plan au niveau international.



Le positionnement du laboratoire sur la nouvelle discipline plasma-médecine en plein essor à l'international constitue un réel atout. Le laboratoire a su mobiliser ses compétences et mettre en place un réseau de collaborations pertinent pour aborder des recherches dans cette discipline. Ceci lui a permis d'être reconnu à l'international parmi les centres les plus actifs dans le secteur et de jouer un rôle structurant au niveau national à travers la direction d'un GDR dédié à cette thématique. Le laboratoire doit cependant rester attentif à l'évolution-développement de cette discipline encore récente. Les exigences qu'implique le développement de cette thématique, notamment les aspects liés à la manipulation d'animaux, peuvent impacter de manière significative la vie du GREMI. Le laboratoire doit en outre rester vigilant sur la nature de sa contribution dans cette thématique en mettant en exergue les problématiques dans sa discipline de base : la physique des décharges et la physico-chimie des plasmas.

Les collaborations locales, que ce soit dans le cadre de la fédération Energie Propulsion Espace Environnement (EPEE), du Centre d'Etude et de Recherche Technologique en Microélectronique (CERTeM), des pôles de compétitivité ou des pôles régionaux, permettent de renforcer la pertinence des recherches du laboratoire. Celui-ci peut en effet contribuer de manière significative à des projets fortement pluridisciplinaires, difficilement abordables par un seul laboratoire. Ces projets sont en outre souvent liés à des secteurs-clés comme la nano-électronique, l'énergie, le transport, la santé. Ces collaborations qui concernent la quasi-totalité des thématiques du laboratoire doivent être pérennisées et renforcées.

Les membres du GREMI, permanents et non permanents, ont clairement exprimé leur entière satisfaction de travailler dans ce laboratoire. Le bilan du GREMI en termes de préparation des doctorants à l'intégration du milieu professionnel académique ou industriel est excellent. La plupart des doctorants soutiennent leur thèse avec plusieurs publications dans des revues et participations à des congrès. A part, un cas exceptionnel, tous ont au moins une publication dans une revue. En outre, à deux exceptions près, tous les doctorants du GREMI sont insérés dans le milieu professionnel.

- **Points à améliorer et risques :**

Le GREMI est un laboratoire à forte composante expérimentale. Le comité de visite a pu apprécier le parc d'expériences dont dispose le laboratoire. La conception et la réalisation des réacteurs à plasmas et dispositifs de décharge relativement lourds nécessitent un soutien technique important. Or le GREMI a déjà perdu 1 personnel IT lors de ce quadriennal, et devrait voir partir à la retraite trois autres personnels dans les deux ans.

Ces départs risquent de s'accompagner d'une perte de compétences qui constituerait de l'avis du Comité un risque important pour le laboratoire. Il est absolument essentiel que toutes les solutions qui permettent d'éviter cette perte de compétences et de sauvegarder le potentiel IT du GREMI soient examinées et mises en œuvre. Il en va de l'avenir du laboratoire.

Le comité de visite a constaté que l'intégration du LASEP est en très bonne voie. Le caractère bilocalisé du laboratoire reste cependant un point de fragilité qui nécessite une attention particulière aussi bien sur les aspects opérationnels que scientifiques.

Le laboratoire, malgré une taille relativement modeste, a une activité foisonnante. Il existe cependant un réel risque de surchauffe qui peut porter préjudice au laboratoire et à la qualité de sa recherche. En effet, le contexte local très favorable amène un nombre de projets peut-être trop important en regard de la taille de l'unité. Le danger d'une telle situation serait une dispersion thématique trop importante et la perte de l'équilibre fragile entre les aspects fondamentaux et appliqués.

L'organisation choisie par le GREMI présente l'avantage d'être flexible et génératrice d'interactions en associant le plus grand nombre à travers un Conseil Scientifique ouvert à l'ensemble des personnels chercheurs. Cette organisation, qui a le soutien des membres du laboratoire, présente cependant l'inconvénient de l'absence de responsabilités intermédiaires identifiées (au moins au niveau des axes, éventuellement au niveau des thèmes) et d'une structure de conseil légère (constituée de quelques membres).

- **Recommandations:**

Le comité de visite salue l'effort de structuration effectué dans le projet. Cet effort a conduit à une diminution du nombre d'axes et de thématiques de recherche. Il recommande au laboratoire d'aller encore plus loin sur l'exploitation des synergies et de réfléchir sur la mise en place d'une structuration avec un nombre de



thème/opération plus réduit compatible avec la taille relativement modeste du laboratoire. En particulier, l'intégration du LASEP offre la possibilité d'augmenter le potentiel sur les thématiques liées aux plasmas poudreux et aux plasmas thermiques. Ceci ne devrait pas s'accompagner d'une augmentation du nombre de thèmes ou opérations. Des possibilités de synergie et regroupement de compétences existent également au niveau de l'axe II.

Le comité de visite a pu apprécier l'implication du GREMI dans les problématiques de recherche finalisée. Cette implication est encouragée par un soutien régional important qui cible ses objectifs en termes de secteurs technologiques. Dans ce contexte, il est absolument nécessaire que le laboratoire veille à garder l'équilibre entre recherche fondamentale et recherche à caractère finalisé. L'axe transverse devrait en particulier aider à conserver cet équilibre.

Une attention particulière doit être accordée à l'équilibre de l'activité de recherche et de la vie de laboratoire. Dans un contexte associant un soutien régional très favorable en termes de projets et de ressources en personnels permanents quasi-constantes, voire en légère diminution, une réflexion doit être menée sur la manière d'aborder les appels d'offre régionaux de manière à garder un nombre de projets raisonnable compte-tenu de la taille du laboratoire, avec un équilibre entre les différents appels d'offre : Région, ANR, Europe et contrats industriels directs.

Le GREMI doit continuer à construire un lien entre les sites d'Orléans et de Bourges. Cela passe par des initiatives sur les aspects opérationnels d'équilibrage entre les deux sites. L'opération sur la mise à niveau des aspects hygiène et sécurité sur le site de Bourges est un bon exemple de ce type d'équilibrage. La construction du lien entre les deux sites nécessite également une plus forte intégration scientifique, notamment sur les thèmes liés aux plasmas poudreux et aux plasmas thermiques présents sur les deux sites.

Le comité de visite a pu apprécier le degré de fluidité et de flexibilité que confère l'organisation actuelle du GREMI à l'unité. Cette organisation ne permet cependant pas de proposer des responsabilités intermédiaires aux membres de l'unité et d'assurer une structure officielle légère sur laquelle peut s'appuyer le Directeur pour piloter l'unité. Le Comité scientifique recommande la définition de responsabilités intermédiaires au niveau des axes de recherche, éventuellement au niveau des thèmes. Le comité recommande également la mise en place d'un conseil restreint ou d'un bureau du conseil scientifique dans sa forme actuelle, qui puisse être sollicité et réuni rapidement par le directeur.

Les discussions avec les membres du personnel ont fait apparaître la nécessité de travailler encore plus sur la communication entre permanents et doctorants. Il est essentiel que des échanges puissent avoir lieu sur le rôle des écoles doctorales, le statut du doctorant et son positionnement vis-à-vis de son école doctorale et son laboratoire, les différents aspects du métier de chercheur et enseignant-chercheur, du rôle du Directeur d'un laboratoire, etc. La clarification de ces différents points devrait aider à lever certains malentendus qui sont apparus lors des entretiens avec les personnels. Soulignons que la mise en place de responsabilités intermédiaires devrait naturellement faciliter la communication avec les doctorants.

- **Données de production :**

(cf. http://www.aeres-evaluation.fr/IMG/pdf/Criteres_Identification_Enspts-Chercheurs.pdf)

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2 dans la colonne projet	24
A2 : Nombre de producteurs parmi les autres personnels référencés en N3, N4 et N5 dans la colonne projet	2
A3 : Taux de producteurs de l'unité $[A1/(N1+N2)]^*$	96%
A4 : Nombre d'HDR soutenues (cf. Formulaire 2.10 du dossier de l'unité)	7
A5 : Nombre de thèses soutenues (cf. Formulaire 2.9 du dossier de l'unité)	36



3 • Appréciations détaillées :

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :
 - Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :

Pertinence

Les recherches entreprises au GREMI se situent dans le domaine du développement et l'étude de procédés plasmas, de procédés laser et de dispositifs de décharges électriques. Ces recherches sont essentiellement à caractère expérimental, même si des activités de modélisation sont menées dans certains thèmes. Elles visent quatre domaines technologiques, les (nano) matériaux pour la microélectronique, l'énergie, l'environnement, le transport et, depuis plus récemment, le biomédical.

La pertinence des recherches du GREMI peut être analysée à deux niveaux :

Au niveau local les recherches se situent dans un contexte très structurant avec la présence de plusieurs pôles de compétitivité et pôles régionaux qui regroupent des laboratoires académiques et des entreprises. Cette structuration régionale donne aux recherches effectuées par le GREMI une forte pertinence en termes d'objectifs à finalité technologique ou applicatives dans les secteurs de la microélectronique, de l'énergie, de l'environnement, du transport et du biomédical. Le GREMI est en effet un acteur majeur dans plusieurs projets de recherche pluridisciplinaires associant laboratoires et entreprises sur des objectifs technologiques souvent stratégiques. Nous pouvons citer à titre d'exemples les travaux sur l'électronique du futur, la synthèse et métrologie des nanoparticules, les piles à combustibles (PAC), la valorisation énergétique de la biomasse et la dépollution, l'efficacité énergétique, le transport et l'application des plasmas au biomédical.

Au niveau national/international, le GREMI a su s'appuyer sur le contexte local favorable pour se positionner de manière originale et pertinente sur des problématiques amont présentant un intérêt fondamental majeur pour la communauté scientifique travaillant sur les plasmas et laser.

Nous pouvons citer par exemple, et la liste n'est pas exhaustive :

- les travaux sur les plasmas poudreux qui combinent des aspects dynamiques de systèmes complexes, nanomatériaux et nanotechnologies.
- les travaux sur l'interaction laser/surface et plasma/surface qui, grâce à une approche éminemment pluridisciplinaire ont permis de proposer des méthodes originales permettant le diagnostic de l'interaction plasma-surface, aussi bien du point de vue transfert d'énergie que de cinétique de chimie de surface.
- les travaux sur le dépôt de couches minces métalliques qui ont permis d'obtenir à la fois de réelles innovations en terme d'élaboration de piles à combustibles et des résultats fondamentaux de premier plan sur la diffusion anormale dans les matériaux poreux.
- les travaux sur le développement de sources à plasma pour des applications dans les domaines de la dépollution, de la valorisation énergétique (production de H₂ et combustion) et du contrôle d'écoulements. Le GREMI a su utiliser son expertise en développement de sources à décharge pour se positionner de manière pertinente dans le domaine des procédés de traitement chimique (dégradation ou synthèse).

Enfin le positionnement du GREMI sur la thématique plasma-médecine, en plein essor à l'international, est pertinent puisqu'il s'appuie sur les compétences reconnues dans le développement de sources de décharges non thermiques à la pression atmosphérique et la mise en place d'un réseau de collaborations aux trois niveaux régional/national/international permettant d'associer les compétences : Physique/biologie/médecine.

Originalité

L'originalité des recherches effectuées au GREMI résulte principalement de trois facteurs :

Il y a tout d'abord la capacité du laboratoire à se positionner sur le front de la connaissance dans son cœur de métier. Cette capacité s'appuie notamment sur le savoir-faire expérimental du GREMI dans le domaine du



développement et du diagnostic de systèmes de décharge. Ce savoir-faire lui permet d'occuper rapidement une position de première place au niveau international à chaque fois qu'il se positionne sur une application émergente des décharges électriques. On retrouve cette caractéristique notamment pour les thématiques de recherche liées aux développements de nouvelles sources à pression atmosphérique (PA) avec des études visant un large spectre d'applications : rayonnement, médecine, transport, valorisation énergétique, dépollution.

La seconde source d'originalité provient du positionnement du laboratoire sur des problématiques fondamentales de physique des plasmas, physique des décharges ou d'interaction plasma surface. On retrouve ainsi des travaux très originaux et fortement reconnus dans le domaine des plasmas poudreux, de l'interaction plasma/surface (dépôt de films ultraminces en milieu poreux et gravure profonde) et de diagnostics de plasmas thermiques.

Enfin une part de l'originalité provient du positionnement du laboratoire sur un grand nombre de thèmes inter- et pluridisciplinaires. Cette pluridisciplinarité peut être interne à travers l'association de plusieurs compétences ou thématiques de recherche. Des résultats remarquables ont été obtenus sur la mise au point de techniques de fluxmétrie pour caractériser l'interaction plasma-surface et laser-surface, la modélisation des phénomènes de diffusion anormale lors de dépôts métalliques dans les poreux ou encore le diagnostic des plasmas thermiques. L'axe transverse sur la modélisation joue d'ailleurs un rôle structurant important à ce niveau. Cette pluridisciplinarité est également générée par les collaborations avec d'autres laboratoires dans le cadre de structures régionales ou de collaborations internationales. On retrouve à ce niveau les travaux menés sur la valorisation énergétique (combustion de mélange enrichi en hydrogène ou valorisation de la biomasse), le transport, la dépollution et la thématique émergente plasma-médecine.

Qualité

Le comité de visite a pu apprécier la grande qualité des résultats obtenus par le GREMI sur un nombre significatif de ses thèmes de recherche. Cette qualité est d'ailleurs facilement déchiffrable à travers la production scientifique de haut niveau et/ou la pérennité des relations avec certains acteurs industriels.

Une analyse fine montre clairement que des résultats de premier plan, avec un impact important dans la communauté scientifique internationale, ont été obtenus lors du dernier quadriennal sur les thèmes suivants :

- Plasma poudreux.
- Dépôt de couches ultraminces sur les surfaces de matériaux poreux (application PAC).
- Gravure profonde pour la microélectronique.
- Diagnostics de l'interaction plasma-surface ou laser-surface par des techniques de fluxmétrie.
- Dépollution et valorisation énergétique par plasma à pression atmosphérique.

Des résultats de grande qualité ont également été obtenus sur :

- Le dépôt de couches minces par ablation laser.
- L'initiation de la combustion et le contrôle d'écoulement par plasma.
- Le diagnostic des plasmas d'arc.

Le comité de visite a également apprécié les avancées du laboratoire dans la thématique plasma-médecine qui a démarré lors de ce quadriennal. Le GREMI est déjà clairement identifié comme un acteur majeur dans cette thématique et ce, au niveau international.

– Quantité et qualité des publications, communications, thèses, brevets prioritaires et autres productions :

La production scientifique du GREMI lors du dernier quadriennal (les derniers 4.5 ans exactement) compte 148 articles à comité de lecture. Ce chiffre correspond à une moyenne de 9.87 ACL/ETPT sur le quadriennal (4.5 ans), soit encore 2.2 ACL/ETPT/an.

Ces articles sont publiés dans un large spectre de revues. On trouve des revues de physique fondamentale, e.g. PRL, Phys. Rev. E, Phys. Rev. B, etc., des revues de physique générale, e.g. Appl. Phys. Lett., J. Appl. Phys., J. Phys. D, des revues de physique des plasmas, PSST, Phys. Plasma, Contrib. Plas. Phys., Plasma Chem. Plasma Proc., etc. et des revues de matériaux, énergétique et procédés, AIChE, J. Elect., Power source, Thin solid films, Surf. Science, etc. On trouve également une quinzaine d'articles publiés dans des journaux de communauté à impact plus restreint.



Ces données appellent plusieurs remarques :

- Le laboratoire publie dans ce que l'on trouve de mieux comme journaux de la communauté plasma (facteur d'impact entre 2 et 3).
- Le laboratoire publie dans des journaux de physique fondamentale à très fort impact dans la communauté Physique/Sciences pour l'ingénieur (au-dessus de 3).
- Le spectre de revue de grande qualité atteste de la forte pluridisciplinarité du laboratoire et de sa capacité à promouvoir de manière pertinente différents thèmes de recherche.
- Le chiffre de 2.2ACL/ETPT/an est très élevé si on considère la discipline de recherche (SPI), le caractère fortement expérimental de l'activité du GREMI et le rang des revues visées.

Une analyse plus fine de cette production montre que l'axe I qui représente 60 % du personnel du laboratoire (en ETPT) est à l'origine de 66 % des publications. On note aussi que l'axe I publie en moyenne dans des revues à plus fort impact. Cette différence entre les axes I et II provient d'une part de la nature même des recherches menées, i.e. les travaux de l'axe I se prêtent plus facilement à un fort taux de publications, et du démarrage de la thématique plasma médecine qui a mobilisé une part importante des ressources de l'axe II.

Le laboratoire a en outre présenté ses travaux dans le cadre de conférences invitées à 63 manifestations. Parmi ces manifestations 38 sont des grands congrès internationaux reconnus, alors que 25 sont des congrès nationaux ou workshops internationaux. Une analyse fine montre que 38 invitations (60% du total), parmi lesquelles 27 (71% du total) à des grands congrès internationaux bien établis, concernent les recherches de l'axe I. Par ailleurs, même si certaines thématiques ont un poids important dans le bilan de conférences invitées, on remarque que l'ensemble des thématiques du GREMI a bénéficié d'invitations à des congrès ou workshops lors du dernier quadriennal.

Dans tous les cas, le nombre d'invitations est élevé puisqu'il correspond à 4.1 invitation/ETPT sur le quadriennal (et 2.45 invitations/ETPT si on prend en compte uniquement les congrès internationaux bien reconnus). Comparé à ce que l'on trouve dans les laboratoires de la même discipline, ces chiffres sont élevés, ils témoignent d'un fort rayonnement et d'une excellente santé scientifique surtout lorsque l'on considère que presque toutes les thématiques du GREMI ont bénéficié d'au moins une invitation lors du dernier quadriennal.

Les membres du GREMI ont cosigné 185 communications avec actes à des congrès (164 internationaux et 21 nationaux). Ils ont effectué 103 communications orales et 97 communications par affiche. Cela correspond à environ 12 communications/ETPT sur le quadriennal (soit encore 3 communications/ETPT/an). Ce chiffre témoigne également du dynamisme des équipes du GREMI.

La production scientifique compte en outre la contribution à la rédaction de 10 ouvrages spécialisés et d'une vingtaine d'ouvrages de vulgarisation. Les chercheurs de l'axe II ont été notamment fortement impliqués dans cet aspect de la production scientifique (7 ouvrages spécialisés sur les 10 et 14 ouvrages de vulgarisation sur les 20).

Le GREMI a fait soutenir 24 thèses lors du dernier quadriennal, soit 1.54 doctorant/permanent (ETPT), 1.33 doctorant/HDR en fin de quadriennal ou encore 2.18 doctorant/HDR en début de quadriennal. A l'exception du cas particulier d'un doctorant retraité, tous les doctorants du GREMI ont soutenu avec au moins une publication, souvent 2 ou 3, parfois encore plus. Ils ont tous cosigné plusieurs communications à des congrès internationaux. La durée des thèses est de l'ordre de 3 ans ($\pm$ 3 mois) à l'exception de deux cas où les thèses se sont prolongées une année supplémentaire. L'insertion professionnelle des docteurs ayant fait leur thèse au GREMI est très satisfaisante : 8 travaillent dans le privé, 6 dans le milieu académique, 2 dans des collectivités et 5 effectuent des post-docs.

Le GREMI a une politique affirmée de publications et dépôts de brevets. 11 brevets prioritaires et 21 extensions internationales concernent les thématiques suivantes :

- Les applications de Piles à combustible.
- La gravure profonde en microélectronique.
- Le dépôt de films métalliques ultra minces pour des applications d'adhérence et de décoration.
- Le système de génération de « plasma ball » pour des applications en plasma-médecine.
- La métrologie des nanoparticules en milieu plasma.
- La soudure MIG.



- Conclusion

L'ensemble de ces chiffres montre que la production scientifique du GREMI est de très haut niveau, voire exceptionnelle pour certaines thématiques. Elle a un impact fort au niveau international. Elle est dynamique et diversifiée. Cette production concerne un spectre large de revues et congrès qui vont de la physique fondamentale à l'ingénierie et les matériaux. L'analyse de cette production montre que le GREMI possède une très bonne maîtrise de son cœur de métier, la physique des plasmas, doublée d'une réelle ouverture qui lui permet de mener une recherche pluri- et interdisciplinaire. La quasi-totalité des thèmes de recherche développés au GREMI contribuent à ce niveau de production scientifique, même si les thématiques de l'axe I semblent au moins quantitativement un peu plus productives en termes d'ACL et de conférences invitées. Enfin, ce haut niveau de production scientifique est d'autant plus remarquable qu'il concerne pour l'essentiel des travaux de nature expérimentale qui demandent un travail d'investissement important et de longues périodes de préparation.

- Qualité et pérennité des relations contractuelles :

Le GREMI est un laboratoire académique fortement tourné vers les aspects de valorisation. Ce laboratoire a su tisser depuis fort longtemps des relations contractuelles fortes avec les industriels installés dans la région Centre. Il faut souligner à ce stade le rôle structurant de la Région Centre qui encourage et pérennise les collaborations avec les industriels. En moyenne sur les quatre dernières années, le budget non consolidé du GREMI est de l'ordre de 2.26 M€. Les contrats qui associent les industriels sont de trois types : financement des collectivités territoriales, financement à travers des pôles de compétitivité, et financements privés directs.

Le montant annuel moyen de ces financements est de l'ordre de 1.29 M€ (dont 183 k€ de financements directs et 100 k€ à travers des pôles de compétitivité). Cela montre le rôle de la région dans l'établissement et la pérennisation de relations avec les industriels.

Ainsi le GREMI totalise 35 actions de partenariat impliquant des PME-PMI. A titre d'exemple, on relève des relations solides et pérennes avec STMicroelectronics – Tours sur les thématiques procédés laser et gravure profonde, avec INEL sur les thématiques liées aux sources de rayonnement, avec la CILAS sur les sources de lumière et les plasmas poudreux, avec Renault et PSA sur les problématiques liées à la dépollution, avec Schneider Electric et EDF sur les disjoncteurs et les problèmes d'arc électrique, avec la SAGEM sur les aspects diagnostics par plasma, avec l'Air Liquide sur les aspects soudage et enfin les entreprises du secteur de la Cosmétique pour des applications de décoration par films métalliques. Le GREMI a également établi des relations avec des petites et moyennes entreprises dans le cadre de différents projets de recherche comme par exemple l'éclairage, le développement de PAC, etc.

Ces relations avec l'industrie se traduisent notamment par le financement de plus d'une dizaine de bourses CIFRE sur le dernier quadriennal.

- Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :

- Nombre et renommée des prix et distinctions octroyés aux membres de l'unité, y compris les invitations à des manifestations internationales :

Comme évoqué précédemment, les personnels du GREMI ont été invités à donner des conférences à 66 manifestations lors du dernier quadriennal. Parmi ces manifestations, on compte 39 congrès bien établis et reconnus par de larges communautés scientifiques. Certaines de ces conférences sont plénières et ont concerné des congrès rassemblant quelques centaines de participants.

Certains membres du GREMI ont reçu des prix et distinctions. On peut citer le prix Tremplin Recherche du Sénat et le prix de l'International Plasma Chemistry Society.

Les doctorants du GREMI ont également obtenu des prix à diverses manifestations :

- Le prix Roland Coelho de la Société Française d'Electrostatique et le School of Physics Alumni Postgraduate prize.
- Le prix de 3^{ème} meilleur jeune physicien de la république tchèque.
- Les prix de meilleures présentations par affiche ou oral aux congrès de la SFP 2006 et au CIP 2009.
- Une proposition au Coburn and Winter Studen Prize de l'AVS.



– Capacité à recruter des chercheurs, post-doctorants ou étudiants de haut niveau, en particulier étrangers :

Sur les 26 doctorants actuellement présents au GREMI, 11 ont eu leur Master à Orléans, 10 dans d'autres universités Françaises et 5 doctorants viennent de l'étranger (Algérie, Belgique/Royaume-Uni, Chine et Allemagne).

Il y a eu deux recrutements de personnels permanents, un chercheur CNRS en section 10 et un Professeur des Universités en 33^{ème} section CNU, au cours du dernier quadriennal.

Lors du dernier quadriennal, le GREMI a accueilli 24 contrats post-doctoraux assurés par huit post-doctorants ayant obtenu leurs thèses à Orléans, huit dans d'autres laboratoires français et 6 à l'étranger (2 d'Allemagne, 1 de Roumanie et 3 d'Algérie).

Enfin, le GREMI a eu la visite de plus d'une quarantaine de scientifiques étrangers (Professeurs ou chercheurs) pour des durées dépassant un mois. Certains de ces visiteurs, une dizaine, sont des scientifiques qui se positionnent au premier plan au niveau international.

– Capacité à obtenir des financements externes, à répondre à ou à susciter- des appels d'offres, à participer à l'activité des pôles de compétitivité :

Comme évoqué précédemment, le budget moyen annuel non consolidé du GREMI est de 2.26 M€. Les dotations des tutelles représentent 200 k€/an. Les financements obtenus par l'intermédiaire des collectivités sont de l'ordre de 1M€/an, avec notamment une dizaine de projets obtenus sur appels à projets régionaux (APR) pendant le quadriennal. Les financements obtenus de l'ANR représentent 300 k€/an avec une dizaine de projets pendant le quadriennal. Les financements obtenus des pôles de compétitivités sont de 100 k€/an. Les contrats directs avec l'industrie amènent un financement moyen annuel de 183 k€/an. La part moyenne annuelle des contrats européens et internationaux se monte à 260 k€/an.

Ces chiffres, rapportés au nombre de permanents chercheurs (15 ETPT) montrent clairement que le GREMI a une forte capacité à obtenir des financements. Le laboratoire répond avec succès aux appels d'offre de l'ANR et de la communauté européenne, participe à l'activité d'au moins trois pôles de compétitivité (S2E2, Cosmetic Valley et Elastopôle) et garde une part significative de relations contractuelles directes avec les industriels.

– Participation à des programmes internationaux ou nationaux, existence de collaborations lourdes avec des laboratoires étrangers :

Le GREMI a participé à deux programmes européens sur la propulsion plasmique et le contrôle aérodynamique des écoulements, deux grands programmes internationaux sur les plasmas poudreux, 1 COST, 1 GDRE et 1 GDRI sur les aspects liés à la dépollution et la valorisation énergétique par plasma et 4 programmes d'échange Hubert Curien.

Le GREMI a des collaborations avec des laboratoires de 16 pays. On note quelques collaborations significatives et pérennes avec échange d'étudiants et de chercheurs ou participation à des programmes internationaux, avec des laboratoires américains, e.g., Drexel (plasma médecine), Universités de Californie Berkeley et du Minnesota (plasma poudreux), australiens (dépôt de films ultramines métalliques et plasmas poudreux) et allemands (plasma poudreux).

– Valorisation des recherches, et relations socio-économiques ou culturelles :

Comme évoqué précédemment le GREMI a une politique de recherche tournée vers la valorisation, que ce soit à travers des contrats directs avec une quarantaine d'entreprises, des projets soutenus par la Région Centre et associant des industriels ou encore par des relations privilégiées avec des institutions hospitalières dans le cadre du développement de la thématique plasma-médecine.

Rappelons que cette politique de valorisation a conduit au dépôt de 11 brevets avec 21 extensions à l'international.



Enfin les membres du GREMI se sont beaucoup impliqués dans la rédaction d'ouvrages ou d'articles de vulgarisation (de l'ordre d'une vingtaine). Ils se sont également impliqués dans des actions de communication envers le grand public et les élèves des écoles et collèges. Ces actions de communications font appel à des interventions orales, la réalisation de démonstration et la participation à des films à large diffusion.

- **Appréciation sur la gouvernance et la vie de l'unité:**

- **Pertinence de l'organisation de l'unité, qualité de la gouvernance et de la communication interne et externe :**

Le GREMI possède une équipe de direction constituée du directeur et du directeur adjoint. Le Conseil de laboratoire est constitué de 13 membres, 2 membres de droit, 7 membres élus et 4 membres nommés. Compte tenu de la taille relativement modeste de l'unité, le laboratoire a opté pour un Conseil Scientifique regroupant l'ensemble des membres chercheurs de l'Unité. Le laboratoire est organisé en délégations, services généraux et thématiques de recherche. Les délégations prennent en charge les aspects Hygiène et sécurité, Infrastructure, Formation, Communication et Animation scolaire. Les services généraux distinguent le secrétariat et la gestion, l'informatique, l'électronique, l'optique, la mécanique et l'instrumentation. La recherche est organisée en 8 thématiques de recherche dont l'une transversale porte sur la théorie, modélisation et simulation. Ces thématiques qui définissent réellement la structuration de la recherche du GREMI ont été regroupées en trois axes de recherches dans le bilan et deux axes de recherche dans le projet pour les besoins de l'évaluation. Le comité de visite a décidé d'effectuer une évaluation des axes tels qu'ils figurent dans le projet.

Le Directeur sollicite très régulièrement le conseil de laboratoire, tous les 2 mois à peu près. Un procès-verbal des conseils est communiqué à l'ensemble des personnels. Le Conseil scientifique travaille dans le cadre de séances de Brainstorming.

Les niveaux de responsabilités intermédiaires sont bien définis dans le cas des services généraux et délégations. Ces responsabilités ne sont par contre définies qu'au niveau des opérations sur la partie recherche (pas de responsables de thèmes ou d'axes).

Ce choix organisationnel qui reçoit le soutien de l'ensemble des membres du GREMI est justifié par la taille relativement modeste de l'unité et par la volonté de décroisonner les thématiques de manière à assurer de la fluidité et des projets inter-thématiques.

Malgré tout, le comité de visite recommande la mise en place d'un conseil scientifique restreint pouvant être sollicité de manière régulière dans des délais très courts. Le comité recommande également la définition de responsabilités intermédiaires au niveau des axes de recherche ou des thématiques.

La prise en compte des aspects hygiène et sécurité est optimale et le laboratoire a fait un gros effort dans ce domaine avec la volonté affichée d'une mise à niveau du site de Bourges. Les crédits consacrés à ce poste lors de ce quadriennal sont de l'ordre de 200 k€. L'unité est dotée d'un CHS qui compte 9 membres et doté d'un petit budget. Le rôle de ce conseil est d'identifier les risques et contribuer à la proposition de solutions.

Les actions de formation restent très soutenues et en augmentation significative sur le dernier quadriennal. L'unité est dotée d'un plan de formation qui répertorie les besoins et décline les objectifs et priorités de l'unité quant à la formation de ses agents. Les formations suivies par les personnels du GREMI concernent les aspects Prévention, hygiène et risques (82 formations), les formations en développement personnel (52 formations) et les formations scientifiques et techniques (62 formations).

Enfin la réussite de l'intégration du LASEP doit beaucoup à la qualité de la gouvernance du GREMI.

- **Pertinence des initiatives visant à l'animation scientifique, à l'émergence, à la prise de risques :**

Le GREMI est un laboratoire de taille relativement modeste qui a clairement choisi une organisation flexible permettant une fluidité entre les différents thèmes de recherche. L'animation scientifique est menée à trois niveaux : le conseil scientifique, le conseil de laboratoire et les thèmes/projets de recherche. L'équipe de direction intervient directement à tous ces niveaux. Il est clair que ce mode d'organisation, qui tient beaucoup au dynamisme de l'équipe de direction, a favorisé l'émergence d'un grand nombre de projets inter-thèmes souvent interdisciplinaires et avec



une réelle prise de risque. Nous pouvons citer par exemple le projet associant les thèmes plasmas poudreux et sources de lumière et visant à déterminer les morphologies de nanoparticules, le projet associant les thèmes gravures profondes et plasma non thermique visant le développement de MHCD et les projets associant les thèmes procédés de dépôt par laser et par plasmas sur le développement de diagnostics d'interaction plasma-surface par des techniques de fluxmétrie. Enfin, l'initiative visant à l'émergence du thème plasma-médecine est très pertinente. Cette opération a été conduite avec beaucoup de professionnalisme scientifique.

– Implication des membres de l'unité dans les activités d'enseignement et dans la structuration de la recherche en région :

Les enseignants-chercheurs du GREMI sont impliqués dans les enseignements à Polytech' Orléans, à l'UFR Sciences de l'UO sur les sites d'Orléans et de Bourges et enfin à l'IUT de Bourges. De même, 4 chercheurs et 3 ingénieurs de recherche participent également à des enseignements au niveau de l'université.

Les enseignants du GREMI ont assuré des responsabilités de 3 Masters PSPI, ICMS et AMD et 2 spécialités de Master. Ils sont également responsables de la licence sciences physiques et techniques. En outre un grand nombre de membres du GREMI sont responsables de modules et d'options d'enseignements de l'UO. Un membre du GREMI a été administrateur et directeur adjoint de Polytech' Orléans lors du dernier quadriennal. Un autre membre assure la direction de l'antenne de Bourges de l'UFR sciences. Enfin trois membres du laboratoire font partie du CA, du CS et du CEVU de l'UO.

L'unité est bien sûr impliquée dans la formation par la recherche de jeunes stagiaires (29/an).

Le GREMI est fortement impliqué dans la structuration de la recherche en région que ce soit à travers les appels d'offre régionaux, les structures et pôles régionaux, comme le CERTeM, la plateforme ALhiance ou le pôle AVR, les pôles régionaux Imagerie Centre, SOLEIL Centre et Bioénergie Centre ou encore la fédération EPEE.

La plupart des projets de recherche du GREMI associent des laboratoires ou des industriels de la Région Centre. Enfin, d'un point de vue scientifique, le GREMI a su s'intégrer à la politique de recherche régionale de manière pertinente en restant sur son expertise de cœur avec un esprit d'ouverture lui permettant d'aborder des projets pluridisciplinaires.

Recommandations

La principale recommandation que l'on peut faire à ce niveau concerne le nombre trop important de projets. Il est absolument nécessaire, dans ce contexte de fort soutien régional, que le laboratoire garde un équilibre entre les différents appels d'offre : Région, ANR, Europe et contrats industriels directs.

- **Appréciation sur la stratégie et le projet :**

- Existence, pertinence et faisabilité d'un projet scientifique à moyen ou long terme :

Le GREMI propose un projet de recherche centré sur ses compétences de cœur, la physique des décharges électriques, les procédés plasmas et les procédés laser. Ce projet structure la recherche en six thèmes scientifiques regroupés en deux axes de recherche verticaux et un axe transverse qui fait le lien entre l'ensemble des thèmes.

Les axes scientifiques ont été construits sur la base du type de compétences scientifiques développées et la nature des problématiques amont. En effet l'axe I concerne plutôt des procédés plasmas basse pression ou laser visant l'élaboration de (nano) matériaux, alors que l'axe II concerne essentiellement des recherches sur le développement de sources de décharge électrique et l'étude de plasmas à la pression atmosphérique non thermiques et thermiques pour des applications dans les secteurs de l'énergie l'environnement, le transport et le biomédical.

L'axe transverse vient soutenir les recherches du laboratoire sur des aspects diagnostics, théorie, modélisation et simulation. Cet axe vise à permettre au laboratoire, dont l'activité reste essentiellement de nature expérimentale, d'utiliser les développements les plus récents en termes d'approches, de logiciels commerciaux ou libres dans les domaines des écoulements réactifs ou de la simulation moléculaire. L'objectif est de soutenir l'interprétation des résultats expérimentaux ou de contribuer au développement et au dimensionnement de nouvelles expériences.



D'un point de vue opérationnel, délégations, service et conseils, le projet proposé garde l'essentiel de l'organisation actuelle.

Le projet proposé est très pertinent. Il s'appuie clairement sur les compétences de cœur du GREMI pour aller traiter des problématiques émergeant des grandes préoccupations économiques et sociétales dans les domaines de l'énergie, du transport, de l'environnement, des nanotechnologies et du médical.

Ce projet s'appuie sur un large cadre de collaboration et d'un soutien local, notamment régional, qui permettent d'envisager sereinement sa mise en œuvre.

La structuration thématique proposée dans le projet permet de donner une meilleure lisibilité aux recherches effectuées au GREMI.

On note également dans le projet, l'amorce de plusieurs ouvertures au niveau de certaines thématiques de recherche. A titre d'exemple, la thématique plasma poudreux s'ouvre des perspectives intéressantes dans le domaine de la manipulation et la métrologie des nanoparticules avec des implications dans le domaine de la sécurité pour les nanotechnologies. De même les recherches dans le domaine des procédés laser et plasmas pour l'élaboration des matériaux se positionnent de plus en plus fortement dans le domaine des nanomatériaux/nanotechnologies pour la microélectronique. Enfin, le prochain quadriennal devrait connaître un développement de la thématique plasma-médecine et le positionnement du laboratoire sur cette thématique devrait se préciser.

Recommandations

Le comité de visite recommande fortement deux choses :

- La mise en place d'une structure de conseil légère. Cette structure peut se présenter sous la forme d'un conseil scientifique restreint ou d'un bureau du conseil scientifique tel qu'il existe dans sa forme actuelle.
- La définition de responsabilités intermédiaires au niveau des axes ou des thèmes de recherche

Par ailleurs, et comme évoqué précédemment, le contexte local très favorable (peut-être trop favorable) amène un nombre de projets peut-être trop important en regard de la taille de l'unité. Le danger d'une telle situation serait la perte de l'équilibre fragile entre les aspects fondamentaux et appliqués.

Le comité de visite recommande que le laboratoire mène des réflexions visant à évaluer les risques de surchauffe, évoqués à plusieurs reprises dans ce rapport, et examiner les moyens de garder, dans un contexte riche en appels à projets, un équilibre entre recherches amont et appliquée. Le comité de visite recommande de définir des moyens et actions permettant d'éviter ce risque. Le laboratoire peut mener des réflexions dans deux directions :

- Tout d'abord réfléchir sur des modalités de coordination des réponses aux appels d'offre qui tiennent compte de la charge sur les personnels, des équilibres recherche fondamentale-recherche appliquée et de l'équilibre entre les différents appels d'offre région/ANR/industrie/Europe-international.
- Continuer l'effort déjà initié sur d'éventuels réduction/regroupement/mutualisation autour de certaines thématiques scientifiques, notamment dans l'axe II où des possibilités de synergie existent entre plusieurs thèmes.

– Cohérence du projet avec l'environnement territorial (en termes de thématique et de soutien au transfert technologique)

Le projet proposé est en forte cohérence avec l'environnement territorial. Les finalités identifiées dans le projet s'appuient sur un réseau de collaborations académiques et industrielles dans la Région Centre.

On peut citer le premier cercle de collaborations, comprenant le GREMI, ICARE et PRISME, au sein de la fédération EPEE. Ce réseau permet d'intégrer les recherches du GREMI dans des projets réellement pluridisciplinaires dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement.

Nous avons ensuite un second cercle de collaborations associant des acteurs industriels et académiques régionaux autour de structures comme le CERTeM. Ce second cercle donne toute sa pertinence aux recherches menées sur les matériaux, les nanotechnologies et la microélectronique.



Enfin nous avons une structure régionale pertinente associant des entreprises, le CHR d'Orléans et le CHU de Tours qui viennent soutenir le thème plasma-médecine.

Ces structures de collaborations permettent de soutenir le transfert technologique qui s'appuie sur les structures de l'UO et de la DR Centre et Poitou-Charentes du CNRS. Deux cellules de transfert technologiques ont en particulier été mises en place par l'UO pour assister le transfert technologique entre le GREMI et les sociétés INEL (projet Nanomorph pour la caractérisation morphologique des nanoparticules) et MHS/MID (projet PACoplasma de conception de nouvelles piles à combustible).

– Existence et pertinence d'une politique d'affectation des moyens :

L'affectation des moyens financiers ne pose pas de problèmes particuliers. Le laboratoire dispose d'un volant financier important qui lui donne une large palette de possibilités.

En ce qui concerne les moyens humains, il y a clairement un risque au niveau IT. Il y a en effet trois départs à la retraite programmés à court terme plus un départ qui a déjà eu lieu. Il est à craindre que ces départs ne soient pas remplacés par des postes statutaires. Le GREMI doit pouvoir envisager une réflexion sur l'affectation de moyens, et ce même de manière temporaire, à la sauvegarde de son potentiel IT et des compétences techniques nécessaires à la mise en œuvre de sa recherche.

Le personnel enseignant-chercheur devrait également connaître un nombre significatif de départ à la retraite (4 au total) entre la fin de ce quadriennal et le début du prochain. Ces départs devraient a priori être remplacés. La réaffectation de ces postes devrait bien sûr prendre en compte les aspects scientifiques. Elle devrait également respecter les équilibres entre les sites d'Orléans et de Bourges. Il est en effet clair que le maintien d'une recherche de qualité sur le site Bourges ne peut se faire qu'à partir d'un niveau minimal des ressources humaines présentes sur le site berruyer. Le GREMI doit tenir compte de cette contrainte. En outre, la politique d'affectation de ces postes d'enseignants-chercheurs pourrait être utilisée pour renforcer l'intégration des recherches sur les sites de Bourges et d'Orléans.

– Originalité et prise de risques :

Le projet de recherche proposé comprend plusieurs points d'originalité et de prise de risques qui découlent souvent du caractère pluri- ou interdisciplinaires de la recherche menée au GREMI. A titre d'exemple, les thématiques de recherche sur le dépôt métallique et diffusion dans des poreux sont à l'interface entre physique des plasmas et théorie du transport et sont de ce fait sources d'originalités. L'action commune sur le diagnostic de la morphologie de nanoparticules par rayon X est fortement structurante et comporte une réelle prise de risque. Les recherches menées sur les procédés laser et de gravure pour des applications en microélectronique (intégration 3D) nécessitent la levée d'un grand nombre de verrous, comportent une réelle prise de risque et devraient être sources d'originalité.

De même, l'intégration des recherches sur les aspects énergie, transport et environnement dans un réseau de collaboration large permettant de traiter des problématiques pluridisciplinaires sur des systèmes technologiques en conditions d'utilisation est également sources d'originalité et de prise de risque (combustion moteur, arc électrique, traitement plasmas d'effluents). Enfin, la thématique plasma médecine qui devrait rentrer dans sa phase de maturation lors du prochain quadriennal comprend une large prise de risque et peut amener des résultats fortement originaux.

4 • Analyse équipe par équipe et/ou par projet

4.1 – Equipe : Procédés plasma et laser - couches minces et nanomatériaux

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	8	7
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	4	4
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	19	--
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	4*	3*
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	15	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	10	9

* Le chiffre correspond aux agents exerçant une activité dans les thématiques de l'axe et ne rend pas compte de l'EPTP en IT.

NB : Certains chercheurs et enseignants-chercheurs émergent aux deux axes

L'axe I du GREMI, intitulé "Procédés plasmas et laser – couches minces et nanomatériaux", est organisé selon trois thèmes, comprenant chacun deux ou trois opérations de recherche. Ceci correspond à la poursuite des actions de recherche menées dans cet axe au précédent quadriennal (précédemment intitulé "Plasmas et laser en interaction avec les matériaux") avec les mêmes acteurs mais avec une structuration en thèmes différentes de celle affichée au précédent quadriennal (à savoir : interaction lasers/matériaux, Interactions plasmas basse pression, plasmas poudreux).

Les thèmes et opérations de l'axe I, tels que définis dans le projet et qui seront retenus pour la suite de ce rapport sont les suivants :

- **Thème I.1 Stockage, conversion d'énergie et matériaux nouveaux**
 - Opération I.1.1 Photovoltaïque et électronique transparente
 - Opération I.1.2 Piles à combustibles et Microbatteries
 - Opération I.1.3 Nouveaux alliages haute entropie
- **Thème I.2 Nanotechnologies**
 - Opération I.2.1 Gravure de Matériaux par plasma
 - Opération I.2.2 Interconnexions électriques et drains thermiques
 - Opération I.2.3 Traitement de surface par laser et Pyro-réfectométrie rapide
- **Thème I.3 Plasmas poudreux**
 - Opération I.3.1 Croissance, comportement et fonctionnalisation de nanopoudres
 - Opération I.3.2 Métrologie de nanopoudres et caractérisation de nanomatériaux



Les activités de recherche de cet axe ont été essentiellement menées sur la période par 8 enseignants chercheurs, 1 professeur émérite et 4 chercheurs (dont 10 HDR) et 4 ingénieurs avec la contribution de deux enseignants chercheurs dont l'activité principale concernait l'axe II. Ces chercheurs appartiennent aux sites d'Orléans (10) et de Bourges (3). On compte ainsi 8 opérations de recherche, qui sont le plus souvent menées par 2 à 4 chercheurs (C ou EC). Chaque chercheur intervient le plus souvent dans 2 ou 3 opérations de recherches.

Thème I.1 – Stockage, conversion d'énergie et matériaux nouveaux

Le premier thème " Stockage, conversion d'énergie et matériaux nouveaux" se décline en trois opérations de recherche.

L'opération I.1.1 concerne le dépôt de couches minces d'oxydes transparents conducteurs pour des applications en photovoltaïque et électronique transparente. Elle fait suite à l'activité "Faisceaux énergétiques (laser électrons) et matériaux ; application au dépôt de couches minces d'oxyde par faisceaux d'électrons et par ablation laser" du précédent quadriennal. C'est une activité dynamique qui explore les phases particulières d'oxydes (TiOx, ZnO..) obtenues par PLD nanoseconde et dont la force vient de l'excellente maîtrise des procédés lasers nanosecondes. Elle a été menée en collaboration avec STMicroelectronics, INSP-Paris 6, XLim-Limoges et l'Institut National de Physique des Plasmas Lasers et Radiation de Bucarest On compte pour cette thématique 12 ACL et 6 conférences invitées pour 3 EC, 2 IE, 3 doctorants et 1 post-doctorant.

L'opération I.1.2. est dédiée aux dépôts de matériaux pour piles à combustibles : couches métalliques catalytiques ultraminces obtenues par PVD pour piles PEMFC et couches minces de Zircone Yttrée YSZ pour piles SOFC déposées par PLD et PVD. Cette activité de recherche (opérations I.2.2./I.2.4. dans le bilan)est développée en collaboration avec l'IEM-Montpellier et MID Dreux pour les piles PEMFC et le CEA-Ripault pour les piles SOFC. Le point fort de cette opération est d'associer recherche fondamentale et réalisation de démonstrateur de piles à combustibles, expérience et modélisation, en obtenant dans les deux cas des résultats marquants. Cette activité extrêmement dynamique, se traduit dans une production scientifique remarquable en quantité et qualité : 22 ACL, une trentaine d'actes de Congrès à comité de lecture, 8 conférences invitées dans des conférences internationales et 10 conférences invitées dans Journées ou manifestations nationales pour 2 C, 1 AI et 5 doctorants et 3 post-doctorants. 2 EC dont l'activité principale se situe sur d'autres thématiques contribuent également à cette opération. On note également le dépôt de 3 brevets.

L'opération I.1.3. (opération I.2.3./I.2.4. dans le bilan) concerne le dépôt par pulvérisation magnétron d'alliages métalliques "haute entropie" anti-adhérents et la décoration de flacons de parfum pour la cosmétique. Cette dernière activité s'est développée dans le cadre d'une collaboration avec l'industrie du luxe (LVMH), implantée en région Centre. Du fait du contexte de protection des résultats (brevet déposé) et confidentialité, elle n'a pas fait l'objet de publications, si ce n'est une présentation dans un salon spécialisé. On compte pour l'activité de recherche relative aux alliages "haute entropie" anti-adhérents, qui sera poursuivie par la suite, 6 ACL et 2 brevets déposés. L'ensemble de l'activité a été mené par 2 C et 1 AI (également impliqués dans l'opération I.1.2) et un post-doctorant. 1 EC dont l'activité principale se situe sur d'autres thématiques contribuent également à cette opération.

Thème I.2 – Nanotechnologies

Les trois opérations du thème I.2 "Nanotechnologies" sont très fortement connectées aux activités de la région dans le domaine de la Microélectronique (pôle de compétitivité S2E2 et le CERTeM qui regroupe 4 laboratoires CEA/CNRS/Université de Tours).

Elles se sont développées, aux niveaux régional et national, dans le cadre de plusieurs APR, thèses CIFRE (avec STMicroelectronics-Tours et AMMS-Annecy) et 3 projets ANR. Ces activités (opérations I.2.1, I.1.2 et I.1.3 dans le bilan) ont bénéficié sur le précédent quadriennal d'un financement conséquent qui permet au GREMI de disposer d'équipements performants tant pour la mise en œuvre et caractérisation des procédés que l'analyse des matériaux. Le laboratoire s'est notamment équipé d'un Microscope électronique à balayage à effet de champ très performant.

L'opération de recherche I.2.1. "gravure profonde pour la réalisation de vias et de capacitances 3D", a poursuivi son étude de la gravure cryogénique du Silicium, spécialité historique du laboratoire, et développé de nouveaux procédés de gravure tels que la gravure du GaN en plasma chloré, pour répondre aux besoins des développements de l'industrie microélectronique : procédés plus robustes, nouveaux matériaux... Le point fort de cette activité de



recherche liée à des procédés industriels de gravure est de développer une recherche expérimentale de qualité sur la compréhension des mécanismes de gravure et d'interaction plasma/surface.

Les avancées significatives apportées grâce à cette compréhension de mécanismes de gravure, lui confèrent une reconnaissance aux niveaux national et international qui devrait s'amplifier dans le futur.

Cette activité de recherche, menée par un MCF, 1 IR et 1 PR émérite, 5 doctorants et 3 post-doctorants est extrêmement dynamique et productive : 10 ACL (dans les meilleures revues du domaine), 2 conférences invitées dans des conférences internationales et 2 brevets.

L'opération de recherche I.2.2. "Interconnexions électriques et drains thermiques" (opération I.1.2. dans le bilan) est dédiée au dépôt de nanomatériaux nouveaux capables de conduire efficacement les forts courants électriques et la chaleur pour la microélectronique de puissance, tels que des matériaux à base de nanotubes de carbone (NTC). Cette recherche tire son originalité et son fort potentiel de l'association de compétences en procédés plasmas et laser, en thermique et en matériaux.

Cette opération de recherche, menée par 3EC, 3 doctorants et 4 post-doctorants a demandé un très gros effort expérimental, tant pour la mise en œuvre du procédé de synthèse de NTC (couplant PLD et PECVD) que pour la caractérisation des propriétés de conduction électrique et thermique des tapis de NTC. Son implication dans un nombre important de projets régionaux et nationaux (APR et ANR) atteste de la qualité de cette recherche. Cependant, du fait du très gros effort expérimental qui a été nécessaire, on note un nombre limité d'ACL (2) sur le précédent quadriennal. Ce fort investissement "expérimental" devrait sans aucun doute porter ses fruits en terme de résultats et production scientifique dans un futur proche.

La troisième opération de ce thème "Traitement de surface par laser et Pyro-réflectométrie rapide" consiste au développement d'un diagnostic thermooptique rapide permettant un contrôle in situ et résolu en temps durant l'interaction laser. Ce diagnostic consiste à coupler la pyrométrie infrarouge rapide et la réflectométrie résolue en temps. L'activité de recherche comprend deux volets : le développement du diagnostic (métrologie rapide...) et son utilisation pour caractériser les phénomènes thermodynamiques induits par irradiation laser ou mesurer la conductivité thermique de matériaux complexes. Ce diagnostic de Pyro-réflectométrie rapide est en premier lieu développé et mis en œuvre sur les procédés laser et les matériaux synthétisés au GREMI. Mais cette activité dépasse largement ce cadre puisqu'elle fait l'objet de collaborations régionales (APR) et nationales (ANR, projet avec IBS-Marseille) pour différents matériaux et procédés microélectroniques. Il s'agit d'une action de métrologie très originale et très prometteuse menée par 3 EC, 2 IE et 2 doctorants qui a déjà conduit à 9 ACL, 6 actes de congrès avec comité de lecture et 2 conférences invitées dans des conférences internationales.

Thème I.3 – Plasmas poudreux

Les activités du thème « Plasmas poudreux » du GREMI sont divisées en deux opérations dans le projet de laboratoire (Opération I.3.1 « Croissance, comportement et fonctionnalisation de nanopoudres », Opération I.3.2 « Métrologie de nanopoudres et caractérisation de nanomatériaux »). Ces activités initiées au GREMI dans les années 90 ont été animées de façon très dynamique par un enseignant-chercheur et un chercheur. Le rayonnement de cette équipe en termes de publications ACL (27 dont 2 publications dans Phys. Rev. Lett.) et de conférences invitées (11) est tout à fait exceptionnel. Trois enseignants-chercheurs du LASEP dont la qualité des travaux est également excellente mais avec un taux de publications plus dans la norme (4 ACL) sont venus renforcer ces activités.

Les thématiques de recherche de ces équipes vont des aspects fondamentaux des plasmas poudreux (cristaux Coulombiens, instabilités de formation et de transport des poudres, processus de charge etc...) à des aspects plus applicatifs comme la synthèse de nanocristallites de taille bien déterminée, la nanostructuration de couches minces par incorporation de particules générées dans le plasma, la métrologie de détection de nanoparticules et la formation de particules dans les plasmas carbonés.

La qualité scientifique des travaux du GREMI dans ce domaine est reconnue au niveau international et les équipes sont impliquées dans des programmes internationaux prestigieux (expériences en microgravité dans la station spatiale internationale en collaboration avec le Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics) et collaborent également avec le Plasma Physics Group de l'Université de Sydney. Pour les aspects applicatifs, l'équipe est très impliquée dans des collaborations nationales : LPICM de l'Ecole Polytechnique pour le développement de couches nanostructurées, LGPPTS pour la croissance de couche d'oxyde d'étain, LNIO et laboratoire SPAM du CEA pour des études de photoluminescence de particules carbonées.



L'opération 1.3.2 « Métrologie de nanopoudres et caractérisation de nanomatériaux » correspond à une activité de recherche qui a été initiée assez récemment. C'est une activité à fort challenge tant au niveau scientifique que stratégique, puisque le développement industriel à grande échelle des nanopoudres dépend en grande partie de la capacité de les détecter et de la possibilité de prouver leur non toxicité.

Les chercheurs du GREMI sont au centre d'une collaboration avec l'entreprise CILAS et la Région Centre (ANR) qui vise à développer une technique de mesure in situ en temps réel de la taille de nanoparticules en suspension. En parallèle, une activité visant à étudier l'influence de la morphologie des nanopoudres sur leur toxicité a été initiée en collaboration avec la société INEL. Bien que très récente, cette activité a déjà donné lieu à 3 ACL et un brevet est en cours de dépôt. Le succès rapide de cette activité illustre les compétences du GREMI en termes de diagnostics des milieux complexes.

En résumé tant sur le plan purement scientifique que pour les applications l'activité « plasma poudreux » est un thème d'excellence du GREMI, qui bénéficie d'un rayonnement et d'une dynamique remarquables. L'arrivée des membres de l'ex-LASEP doit permettre de créer des synergies et de maintenir dans l'avenir une activité de haut niveau dans ce domaine.

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production :**

L'ensemble de l'activité de recherche est très dynamique et a conduit sur la période à une publication scientifique d'excellente qualité avec 100 ACL (nombreuses de premier rang (Phys Rev Lett, Journal of Applied Physics, Applied Physics Letters...), 38 conférences invitées (dont 27 dans des conférences internationales). Ces recherches ont fait l'objet d'une politique de valorisation très soutenue avec 8 Brevets déposés (et un en cours de dépôt). Enfin 14 thèses ont été soutenues sur la période et 15 thèses sont actuellement en cours.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

- **Intégration du GREMI dans son environnement**

Toutes les thématiques de recherche développées dans cet axe sont fortement connectées aux laboratoires et entreprises de la région Centre. Les activités du thème "Stockage, conversion d'énergie et matériaux nouveaux" se développent en collaboration étroite avec le CEA Le Ripault (piles SOFC), MID-Dreux Innovation (piles PMFC) et le pôle de compétitivité Cosmetic Valley (couches de décoration). Toutes les activités de recherche du thème "Nanotechnologies" sont développées en lien étroit avec STMicroelectronics, le CERTeM et le pôle de compétitivité S2E2. Enfin, les recherches sur les plasmas poudreux s'intègrent également au contexte régional à travers des relations avec la CILAS (métrologie des nanopoudres) et INEL (toxicité des nanopoudres).

Cette recherche est également développée en collaboration avec différents laboratoires français (INSP-Paris 6, IMN-Nantes, IEM-Montpellier, LPICM-Palaisseau...) dans le cadre de collaborations, projets ANR (5 projets sur la période) et de GDR (PACTE, SURGECO...).

Les personnels de cet axe sont fortement impliqués dans la vie de l'université d'Orléans et de ses formations. Citons les tâches de chargé de mission à la formation continue et l'apprentissage, Vice-présidence déléguée à l'insertion professionnelle et aux relations entreprises, Direction des relations scientifiques de Polytech'Orléans, Direction de la Fédération de recherche EPEE. Plusieurs personnels sont membres des instances locales (CEVU, CA).

- **Rayonnement à l'international et attractivité**

Les relations établies au niveau international sont d'une grande richesse et concernent souvent des institutions et universités d'excellence : Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (Garching - Allemagne), Plasma Physics Group (Sydney - Australie), Institut National de Physique des lasers, plasmas et radiations (Bucarest - Roumanie), Space Plasma, Power and Propulsion (SP3) group (Canberra, Australie)... Notons l'implication de chercheurs du GREMI dans des programmes internationaux prestigieux concernant des expériences en microgravité dans la station spatiale internationale en collaboration avec le Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics.

Enfin, les doctorants et les post-doctorants recrutés au GREMI ont pour la plupart étudié (master, thèse, autre post-doc) dans un établissement autre que l'Université d'Orléans, en France ou à l'étranger, ce qui traduit l'attractivité des activités de recherche de l'axe.



Les équipes de l'axe ont accueilli plusieurs scientifiques de renom appartenant à des institutions prestigieuses pour des périodes allant de 1 mois à 1 an. Ces visites démontrent clairement l'attractivité des recherches menées dans le cadre de cet axe, notamment sur les thématiques dépôt de matériaux pour piles à combustibles, nanotechnologies et plasmas poudreux.

Le potentiel en chercheurs permanents de cet axe est resté à peu près stable. Notons que l'axe a bénéficié d'un recrutement CNRS sur le concours général. Le candidat retenu avait effectué sa thèse en cotutelle entre les Universités d'Orléans (GREMI) et l'Université de Canberra (SP3) et deux post-doctorats en France et en Australie. L'axe a également bénéficié d'un recrutement de Professeur en externe.

Enfin, signalons que cet axe a produit des docteurs de très haut niveau qui ont pu intégrer le CNRS ou l'université dans d'autres régions.

- **Appréciation sur le projet :**

Le projet de l'axe I comprend les mêmes thématiques de recherches que précédemment mais avec une nouvelle organisation, basée sur les domaines d'application des procédés étudiés. Il est proposé de structurer ses activités en 3 thèmes : 'Stockage, conversion d'énergie et matériaux nouveaux', 'Nanotechnologies' et 'Plasmas poudreux'. Le thème 'Plasmas poudreux', qui a accueilli récemment l'arrivée des personnels de Bourges choisit un regroupement des personnels sur deux projets communs.

Cette structuration s'accompagne d'une évolution notable de certaines thématiques avec la perspective de nouvelles stratégies prometteuses. A titre d'exemple, la thématique plasma poudreux, qui était plutôt centrée sur des problématiques purement fondamentales d'une part, et sur des aspects élaboration de matériaux d'autre part, évolue résolument vers des études ciblant les aspects fonctionnalisation, métrologie et toxicité des nanopoudres dans un contexte de fort développement des nanotechnologies et de fort besoin de contrôle des nanoparticules. De même les recherches dans le domaine des procédés laser et plasmas pour l'élaboration ou la gravure des matériaux se positionnent de plus en plus fortement dans le domaine des nanomatériaux et des nanotechnologies pour la microélectronique, avec l'ambition de travailler dans des conditions adaptées en regroupant un certain nombre de moyens expérimentaux dans une salle propre. On peut citer de nouvelles orientations au niveau des procédés plasmas/laser : la découpe laser, les couches minces d'oxydes de conversion pour le photovoltaïque et les alliages métalliques non adhérents à haute entropie.

Les projets proposés dans le cadre de l'axe I sont en prise directe avec le contexte régional qui soutient fortement la recherche du GREMI. L'ensemble des thèmes de l'axe I continuent à bénéficier des partenariats avec des entreprises et laboratoires académiques implantés en région Centre.

Ce fort partenariat renforce la pertinence du projet de recherche de cet axe. Pour que les thèmes de recherche émergeant dans cet axe gardent leur positionnement de premier plan sur certaines questions fondamentales, il faudra veiller à maintenir l'équilibre entre recherche fondamentale et recherche à finalité technologique dans un contexte local très favorable mais qui peut présenter l'inconvénient de tirer vers l'application.

A titre d'exemple, le partenariat étroit avec STMicroelectronics, engagé dans le précédent quadriennal, et concernant tout particulièrement le thème "nanotechnologies" va se poursuivre en relation avec le projet Connectique 3D du site industriel. Le développement de cette thématique nécessite de nouvelles compétences scientifiques, ce qui est très prometteur. Il faut cependant veiller à décliner et mettre en exergue, à partir de ces projets inspirés par des objectifs technologiques, des problématiques amonts qui nourrissent le projet scientifique à long terme de la thématique.

- **Conclusion :**

- Avis global sur l'équipe :

- recherche très dynamique associant une recherche fondamentale (notamment dans le domaine des plasmas poudreux et du dépôt de couches ultraminces en milieu poreux) à une recherche applicative fortement couplée aux entreprises de la région Centre.



- des thématiques de recherches originales, associant souvent des compétences complémentaires de chercheurs (par exemple mesure des propriétés thermiques de matériaux, diagnostic thermo-optique in situ résolu en temps, mesure du flux d'énergie transmis par un plasma à une surface).
- excellent niveau de production scientifique.
- excellente valorisation des résultats obtenus.
- forte attractivité de l'axe I vis-à-vis des visiteurs et post-doctorants étrangers.
- forte reconnaissance internationale tout particulièrement dans le domaine des plasmas poudreux, de la gravure profonde en microélectronique et du dépôt de couche minces pour piles à combustibles (PEMFC et SOFC).

– Points forts et opportunités :

- dynamisme de tous les chercheurs, ingénieurs, techniciens de l'axe I.
- beaucoup de collaborations académiques au niveau national et international avec des institutions et universités d'excellence (Garching, Sydney, Canberra, Bucarest, Kiel, Mons...)
- très forte connexion au tissu industriel régional,
- financements publics nationaux et régionaux (ANR et APR) et industriels qui lui permettent de disposer d'équipements performants,
- un projet pertinent, structuré selon des domaines d'application, qui s'appuie sur les compétences de cœur de l'axe et bénéficie d'un contexte régional très positif avec un large tissu de collaborations industrielles et académiques.
- le projet comporte des ouvertures pertinentes pour certaines thématiques de l'axe : plasmas poudreux, procédés pour les micronanotechnologies (gravure profonde...), dépôt de films minces pour piles à combustibles.

– Points à améliorer et risques :

- le projet, éminemment pluridisciplinaire, laisse présager une part plus importante de l'activité consacrée à la caractérisation des matériaux et nanomatériaux déposés ou gravés par procédé plasmas ou laser. Il faut cependant que ceci ne se fasse pas au détriment de l'étude des aspects procédés, diagnostics du plasma et des interactions plasma/surface qui sont au cœur des compétences et de la reconnaissance du GREMI.
- Il faudra mettre en avant des objectifs de recherches "fondamentaux" en soulignant les objectifs et défis au-delà des problématiques de court terme liées aux applications technologiques.

– Recommandations :

- veiller à maintenir l'équilibre entre recherche fondamentale et recherche applicative liée aux entreprises locales dans certains thèmes qui, du fait du contexte régionale très favorable peuvent laisser les aspects fondamentaux passer au second plan.
- poursuivre le développement de projets, autour des plasmas poudreux, associant les chercheurs des sites de Bourges et d'Orléans afin de créer des synergies et de maintenir dans l'avenir l'excellence dans ce domaine.
- Il est clair que dans la définition du projet de laboratoire, les aspects fondamentaux se retrouvent au niveau des axes de recherche. Il est dès lors important de donner une réelle identité à l'axe de recherche pour renforcer la visibilité des problématiques amonts qui y sont traitées. Les problématiques fondamentales fédérant l'activité de recherche doivent être clairement identifiées et mises en avant. L'axe I, avec une production scientifique de premier plan, une reconnaissance internationale et des préoccupations communes autour des plasmas basse pression hors équilibre et leur interaction avec des surfaces et des matériaux, ne devrait avoir aucun mal à mettre en avant des problématiques amonts qui fédèrent et identifient les chercheurs qui y émergent. Ceci est d'autant plus aisé que l'ensemble de ces personnels est impliqué dans un même projet fédérateur d'aménagement d'une salle propre pour l'analyse des micro et nanomatériaux élaborés.



- Certaines thématiques de cet axe devraient valoriser leurs recherches dans le cadre de programmes internationaux, notamment européens, de manière à équilibrer leurs implications aux trois niveaux régional/national/international.

4.2 – Intitulé de l'équipe : Développement de sources plasmas pour de nouvelles applications

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	11	10
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	2	2
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	18	--
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	5*	4*
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	--	
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	11	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	10	8

* Le chiffre correspond aux agents exerçant une activité dans les thématiques de l'axe et ne rend pas compte de l'EPTP en IT.

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :

L'axe II du GREMI, intitulé « Développement de sources plasmas pour de nouvelles applications », est organisé en trois thèmes contenant chacun trois opérations. Chaque opération est composée de 1 à 5 permanents (chaque permanent pouvant être affecté à plusieurs opérations) et est dirigée par un responsable chercheur ou enseignant-chercheur. L'axe II, tel que défini dans le projet du laboratoire combine les axes II et III de la précédente structuration, décrite dans le rapport scientifique. La structure de l'axe (telle que définie dans le projet de laboratoire) est la suivante :

- **Thème II.1 Plasma et énergie**
 - Opération II.1.1 Propulsion
 - Opération II.1.2 Décharges d'arcs
 - Opération II.1.3 Modification d'écoulements
- **Thème II.2 Chimie des plasmas et environnement**
 - Opération II.2.1 Valorisation des composés hydrogénés/hydrocarbonés – Biomasse
 - Opération II.2.2 Traitements d'effluents
 - Opération II.2.3 Allumage de la combustion
- **Thème II.3 Plasma/imagerie-biologie-surfaces**
 - Opération II.3.1 Sources X et XUV
 - Opération II.3.2 Plasma médecine
 - Opération II.3.3 Microdécharges.



Thème II.1 – Plasma et énergie

Dans le thème II.1 « Plasma et énergie », l'opération II.1.1 « Propulsion » comprend deux aspects présentés précédemment en deux opérations distinctes, l'une concernant l'étude d'un petit moteur à effet Hall à aimants permanents, et l'autre les phénomènes associés à l'érosion des céramiques des propulseurs. Ces travaux s'effectuent dans le cadre du GDR « Propulsion par plasma dans l'espace ». Le GREMI a joué un rôle de premier plan dans ce GDR avec des travaux d'excellente qualité scientifique et de fort impact. La production scientifique a ensuite décliné, mais l'arrivée d'un enseignant-chercheur du LASEP redonne une impulsion à cette thématique. On compte pour cette thématique 4 ACL et une vingtaine de publications dans des actes de conférences avec comité de lecture pour 3 EC permanents (dont André Bouchoule jusqu'en 2007), 1 IE, deux post-doctorants et deux doctorants.

La thématique arc électrique et plasmas à haute pression qui est regroupée dans l'opération II.1.2 « Décharges d'arcs » du projet était déclinée en 4 opérations dans l'ancienne structuration :

- Arcs dans le réseau de distribution électrique et dans l'allumage de la combustion
- Arc de soudage MIG-MAG
- Plasmas d'arc électrique : diagnostics des zones périphériques
- Diagnostic laser des plasmas haute pression

Les applications industrielles abordées sont l'allumage automobile, la soudure, l'aéronautique et le rayonnement d'arc électrique sur les lignes de transport. Le point fort de cette thématique est l'acquisition reconnue de compétences dans le domaine du diagnostic du plasma et de l'arc électrique. Sans être exhaustif on peut citer les compétences de diffusion laser Thomson, l'ombroscopie, la spectroscopie d'absorption et d'émission, les diagnostics électriques, le diagnostic par indice de réfraction, la spectroscopie moléculaire.

Une grande partie de ces compétences a été apportée par l'intégration du LASEP de Bourges. Il y a en outre la compétence historique du GREMI sur les arcs de disjoncteurs notamment avec la société Schneider Electric. La direction du GREMI dans son projet a su mettre à la disposition de l'ensemble du personnel ces compétences au travers de l'axe transversal. Au niveau de l'arc électrique des études plus poussées sur la périphérie de l'arc où peu de mesures ont été réalisées. Ces études amènent un volume d'informations utiles à l'ensemble de la communauté scientifique académique et industrielle.

On compte pour cette thématique 18 ACL, 2 conférences invitées et une trentaine de publications dans des actes de conférences avec comité de lecture pour 8 EC permanents (dont certains contribuent à d'autres opérations), 1 IR, quatre post-doctorants et une dizaine doctorants.

Les plasmas étudiés dans l'opération II.1.3 « Modification des écoulements » du projet sont des plasmas hors-équilibre générés par des décharges à barrière diélectrique (DBD) de surface. L'objectif est de modifier un écoulement par transfert de quantité de mouvement (éventuellement d'énergie) induit par les DBD dans la couche limite. L'équipe collabore étroitement avec une équipe de l'Institut PRISME de l'Université d'Orléans qui apporte les compétences en aérodynamique. Les travaux de l'équipe sont bien intégrés dans l'effort de recherche actuel national et international grâce à la participation au programme Européen PLASMAERO qui a débuté en 2009. La production scientifique est abondante et de bonne qualité même si la notoriété de ces travaux n'a pas encore atteint celle de l'équipe de l'Institut PPRIME à Poitiers qui travaille sur ces sujets depuis longtemps.

On compte pour cette thématique 10 ACL, et une quinzaine de publications dans des actes de conférences avec comité de lecture pour 2 EC permanents (également impliqués sur les thématiques autour des arcs), 1 chercheur, 1 IR (impliqué également sur les thématiques de recherche sur les arcs, deux post-doctorants et quatre doctorants).

Thème II.2 – Chimie des plasmas et environnement

Le thème II.2 de l'axe II, « Chimie des plasmas et environnements » est divisé en trois opérations : « Valorisation des composés hydrogénés/hydrocarbonés – Biomasse », « Traitements d'effluents », et « Allumage de la combustion ». Ce thème de recherche, majoritairement associé par le passé à la destruction de COV en faible concentration par procédé plasma froid, se trouve enrichi par de nouvelles orientations liées à la combustion : élaboration par procédé plasma de carburants alternatifs et compréhension des processus d'allumage dans les moteurs à combustion interne dans le contexte actuel des nouvelles stratégies de combustion où l'initiation de la combustion est un challenge important. Les procédés plasmas mis en oeuvre se caractérisent par une complexité



expérimentale importante tant dans leur réalisation que dans leur possibilité d'analyse. Dans ce contexte la production scientifique de cette équipe est très satisfaisante. Les remarquables performances en rendement de transformation des procédés développés méritent d'être signalées. Les acteurs de ce thème sont bien identifiés dans la communauté scientifique relevant de leur activité et bénéficient de soutiens contractuels tant nationaux (ANR, programme énergie du CNRS) qu'Européen. Le projet de recherche est en continuité des activités présentes. La volonté exprimée de collaborer sur le site d'Orléans avec des équipes de combustion et de développer la modélisation est à encourager. On peut regretter que ne soit pas plus mis l'accent sur la caractérisation in situ de la phase plasma qui autoriserait une validation plus argumentée de la modélisation.

On compte pour cette thématique 7 ACL, 4 conférences invitées, et une vingtaine de publications dans des actes de conférences avec comité de lecture pour 2 EC permanents, 1 IR, deux CDD et 3 doctorants.

Thème II.3 – Plasma/imagerie-biologie-surfaces

Dans le thème II.3 « **Plasma/imagerie-biologie-surfaces** » de l'axe II, l'opération II.3.1 « Sources X et XUV » concerne depuis plusieurs années des sources de rayonnement X, EUV et UV originales. Dans le domaine X, deux sources ont été étudiées : une source continue de type ECR (résonance cyclotronique électronique) émettant un rayonnement X dans le domaine 5-200 keV et un flash X monochromatique, intense qqs 10^{10} photons/impulsion. Dans le domaine EUV (5-20 nm) le développement d'une source, émettant vers 13.5 nm, a été initié par les besoins de la lithographie nouvelle génération. Elle repose sur la création impulsionnelle d'un plasma très chaud confiné dans un tube capillaire (durée de l'émission EUV environ 70 ns). La source EUV industrialisée par la société INEL (PROXIMA 135) est utilisée dans une collaboration GREMI/Institut d'Astrophysique pour tester différents détecteurs (photodiodes et électromètre). Ce rapprochement avec l'IAS et Soleil est intéressant pour la préparation de futures expériences de métrologie sur rayonnement synchrotron. Enfin, une étude financée dans le cadre d'un contrat de recherche avec AUPEM SEFLI et FART a porté sur l'optimisation de l'efficacité énergétique d'enseignes lumineuses sans mercure excitées en régime d'impulsions électriques. Ce sujet, d'intérêt très sociétal, a fait l'objet d'une thèse (S. Point) financée par l'ADEME. S'il n'est plus poursuivi au GREMI, il a permis à l'équipe II.2.3. de développer des dispositifs prometteurs (alimentations impulsionnelles HT compactes et efficaces) pour la production de plasmas DBD ou à pression atmosphérique.

Ces sources énergétiques, basées sur des décharges électriques, de taille modeste, ont des performances remarquables qui permettent des applications nouvelles et très variées. L'équipe possède des compétences techniques de haut niveau qui lui permettent d'optimiser et de valoriser par des brevets ces différentes sources. Elle a ainsi développé des collaborations fructueuses avec plusieurs industriels (sociétés INEL et Gemitec) qui exploitent les brevets.

Malgré cette bonne dynamique de recherche, on note un certain déficit de publication de l'opération II.3.1 puisque les aspects « sources EUV » (qui constituaient une opération à part entière dans l'organisation précédente) n'ont donné lieu qu'à des présentations (invitées) dans des conférences (aucun ACL) et les aspects « décharges luminescentes sans mercure » (qui constituaient également une opération distincte) comptent 2 ACL (et de nombreuses conférences invitées).

La créativité de l'équipe lui a permis de s'engager très récemment et avec succès dans un nouveau domaine de recherche, relatif aux applications des plasmas à la biologie et à la médecine (opération II.3.2 « Plasma médecine »). Ainsi, en association avec des biologistes et des médecins, elle développe maintenant (projet APR Plasmed obtenu en septembre 2008) les applications biomédicales des plasmas froids hors équilibre à la pression atmosphérique (PFPA). Deux types de décharges sont étudiés : des décharges à barrière diélectrique à potentiel flottant (FE-DBD) qui agissent sur des cibles rapprochées (situées à quelques mm de la source) et les balles de plasma (plasma Gun). Ce dernier dispositif (breveté en 2007) est unique en son genre car il permet de créer des plasmas qui se déplacent à grande vitesse sur des distances de quelques cm à plus d'un mètre. Ceux-ci présentent des caractéristiques intéressantes pour de nouvelles applications thérapeutiques : activité antitumorale, endoscopie,...

Les résultats qui concernent la "Première démonstration d'un effet antitumoral des plasmas" ont été retenus dans les Faits Marquants 2010 de l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) du CNRS. Les travaux n'en sont qu'à leur début et il existe un besoin énorme de travaux expérimentaux et de modélisation. Un programme international (Université Drexel à Philadelphie) se met en place et le GREMI apparaît déjà comme un acteur privilégié et reconnu. Par ailleurs, sur le plan national, l'originalité de cette recherche a été consacrée par l'obtention d'un projet ANR 2010 (PAMPA). L'équipe est également impliquée dans le nouveau GDR ABioPlas « applications

biomédicales des plasmas ». Le nombre de publications sur ces activités est encore modeste en raison du démarrage relativement récent de cette thématique (deux ACL) mais on compte déjà plusieurs conférences invitées sur le sujet.

Ainsi pour l'ensemble des travaux de cette équipe Plasma/imagerie-biologie-surfaces, on compte 4 ACL, 14 invitations à des conférences et manifestations nationales et internationales, et 4 publications dans des actes de conférences avec comité de lecture pour 1 EC permanent, 2 chercheurs (dont le DU), 1 IR(parti à la retraite en 2009), 1 AI, deux post-doctorants et six doctorants.

L'activité « Microdécharges » (opération II.3.3) a débuté en 2006 en collaboration avec un enseignant-chercheur de l'University of Texas Dallas (UTD). Cinq permanents (trois enseignant-chercheurs, un ingénieur de recherche et un assistant ingénieur) sont impliqués dans cette opération de recherche. Une thèse soutenue en 2009 (2006-2009) a montré qu'il était possible d'allumer une matrice de microplasmas sans résistance de Ballast individuelle, en limitant la surface d'extension de la décharge sur la cathode. Cette thèse a été l'occasion de nouer des liens avec des membres du Laboratoire de Spectrométrie Physique (LSP) de Grenoble et du Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie (LAPLACE) de Toulouse. Depuis 2009, l'activité est financée par l'ANR JCJC SIMPAS (Systems of Integrated MicroPlasma Arrays). Le projet de recherche vise à réaliser des matrices de microdécharges à partir de silicium structuré en utilisant les moyens techniques qu'offre cette plateforme technologique. Malgré une recherche active sur ce sujet, la production scientifique est encore limitée (1 ACL en 2008) en raison du démarrage relativement récent de cette activité et des moyens humains limités qui lui ont été affectés jusqu'à présent.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**

D'une manière générale, les équipes de l'axe II développent des recherches en interaction très forte avec des équipes de recherche extérieures nationales ou internationales dans le cadre de GDR (GDR « Propulsion », GDR ABioPLAS), programme Européen FP7 (PLASMAERO), ANR (PAMPA, SIMPAS), ou de collaborations industrielles. On note également une excellente intégration des travaux de l'axe II dans l'environnement local (collaboration avec les laboratoires PRISME et ICARE, Fédération Epée, nombreux soutiens de la région).

La bonne intégration des recherches sur des actions nationales et internationales permet un bon rayonnement de l'ensemble de l'axe II, avec une croissance rapide du rayonnement des travaux de l'opération 'Plasma médecine », en plein essor.

Les personnels de cet axe sont fortement impliqués dans la vie de l'université d'Orléans, de ses formations et au national et à l'international. Outre les nombreuses responsabilités au niveau des Licences et Masters, on peut citer les tâches de directeur d'antenne de l'UFR Sciences, de directeur des relations scientifiques de Polytech'Orléans, Responsable du Pôle scientifique de l'UO « Energie, Matériaux, Géosciences et Environnement », membre du CS de l'UO, membre du CS de l'EDST, directeur d'un GDR, ainsi que Président de l'International Plasma Chemistry Society et Vice-Président de l'Internal Society for Plasma Medicine ».

Attractivité : moyenne de 10 doctorants pour 2 chercheurs, 8 enseignants-chercheurs (soit 6 ETPT), sur les 4 ans.

- **Appréciation sur le projet :**

L'axe II du projet reprend globalement le contenu des axes II et III de l'organisation précédente, décrite dans le rapport scientifique, avec une structuration des opérations qui semble plus pertinente que la précédente. L'unité de l'axe est liée à l'aspect « innovation en termes de production et caractérisation des sources plasma ».

Le laboratoire continuera ses recherches en propulsion en interaction avec le GDR mais ne semble pas considérer la poursuite de ces activités comme élément essentiel du projet puisqu'il la conditionne par la pérennité du GDR propulsion (qui ne sera sans doute pas renouvelé sous sa forme actuelle). Les travaux sur le contrôle d'écoulement par plasma seront poursuivis en lien étroit avec PRISME et ICARE, et dans le cadre du projet Européen PLASMAERO.

Tout en continuant ses travaux sur les sources de rayonnement très énergétiques, le GREMI investit fortement dans l'activité « Plasma médecine » pour laquelle il se positionne comme leader en France et acteur important au niveau international. L'étude des microplasmas continue également dans le cadre d'une opération que le laboratoire souhaite renforcer, et dans le cadre d'applications à définir.



Les activités « chimie des plasmas et environnement » prennent de nouvelles orientations intéressantes, liées à la combustion.

L'ensemble du projet de l'axe II est cohérent, et permettra au laboratoire de renforcer les acquis tout en développant des recherches dans de nouvelles directions prometteuses.

- Conclusion :

- Avis global sur l'équipe :

Les travaux menés dans le cadre de cet axe II sont de très bonne qualité scientifique. Ils s'intègrent bien dans le contexte local autour des problématiques liées au secteur de l'énergie, de l'environnement, du transport et de la médecine. Ces travaux bénéficient du cœur de savoir faire du GREMI : le développement de nouvelles sources de décharges. Ils ont pour objectifs l'étude de ces sources et leur utilisation dans diverses applications. De fait, les travaux de l'axe II sont caractérisés par une forte inter- et pluridisciplinarité. Les équipes travaillant sur les thématiques de cet axe ont une forte capacité d'évolution et de positionnement sur les thématiques émergentes. Le positionnement sur la thématique plasma-médecine ou encore les problématiques de valorisation de la biomasse constituent un bon exemple. L'axe II porte également une forte expertise en diagnostic des plasmas d'arc qui regroupent des chercheurs des deux sites et qui là encore a su évoluer vers l'étude des problématiques d'érosion dans les propulseurs à effet Hall.

Le GREMI est reconnu au niveau international sur un grand nombre de thématiques émergeant à l'axe II. On peut citer notamment les sources de photons, les plasmas pour la médecine, la dépollution et la valorisation énergétique.

- Points forts et opportunités :

- Expertise en développement de nouvelles sources de décharges et plasmas
- Très fort dynamisme
- Positionnement pertinent sur des problématiques pluri- et interdisciplinaire
- Excellente intégration dans le contexte local
- Très bon rayonnement à l'international sur un nombre significatif de thématiques qui bénéficient d'un grand nombre d'invitations à des congrès.
- Très bonne production scientifique sur des recherches portant sur des systèmes très proches de l'application technologique (traitement de la biomasse, dépollution moteur, contrôle de l'écoulement, plasmas d'arc, etc.).
- L'intégration du LASEP amène des opportunités d'évolution et de développement des thématiques arc et propulsion.

- Points à améliorer et risques :

- Même si la production scientifique est bien au-dessus de la moyenne, voire très bonne, pour certaines thématiques, une marge de progrès existe sur les publications d'ACL pour quelques thèmes de cet axe (comparativement à l'axe I). En particulier, la maturation des thématiques plasma-médecine et microdécharge devrait permettre de remonter le nombre d'ACL.
- Le nombre de thématiques est peut-être un peu élevé en comparaison des ressources en permanents.
- Le contexte régional très favorable amène un grand, peut être trop grand, nombre de projets. Cela peut rendre difficile le maintien de l'équilibre entre recherches appliquée et fondamentale.

- Recommandations :

- Le groupe doit profiter de la maturation des thématiques plasma-médecine et microdécharge qui devraient permettre d'augmenter le nombre d'ACL.
- Le groupe doit réfléchir à une réduction/regroupement de certains thèmes ou opérations. En particulier, avec l'intégration du LASEP, le laboratoire a la capacité de mettre en place un groupe de grande envergure sur les



décharges d'arc et les plasmas thermiques. De même l'intégration du LASEP doit initier une réflexion sur le thème propulsion.

- Le groupe et le laboratoire doivent réfléchir à une politique lui permettant d'appréhender les nombreux appels à projets auxquels il a la possibilité de répondre.
- Les chercheurs émergeant à cet axe font preuve de beaucoup de dynamisme sur des sujets pluridisciplinaires. Il est absolument nécessaire que ces chercheurs gardent une part importante de leur énergie pour développer leur savoir-faire de cœur : la conception, la réalisation et la caractérisation de nouvelles sources de décharges électriques et plasmas.



Notation

Intitulé UR / équipe	C1	C2	C3	C4	Note globale
Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés (GREMI)	A+	A+	A+	A+	A+
<i>Procédés plasma et laser- couches minces et nanomatériaux</i>	A+	A+	Non noté	A+	A+
<i>Développement de sources plasma</i>	A	A+	Non noté	A	A

C1 - Qualité scientifique et production

C2 - Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement

C3 - Gouvernance et vie du laboratoire

C4 - Stratégie et projet scientifique

Statistiques de notes globales par domaines scientifiques

(État au 06/05/2011)

Sciences et Technologies

Note globale	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	Total
A+	6	9	12	8	12	11	58
A	11	17	7	19	11	20	85
B	5	5	4	10	17	8	49
C	2	1	2				5
Total	24	32	25	37	40	39	197
A+	25,0%	28,1%	48,0%	21,6%	30,0%	28,2%	29,4%
A	45,8%	53,1%	28,0%	51,4%	27,5%	51,3%	43,1%
B	20,8%	15,6%	16,0%	27,0%	42,5%	20,5%	24,9%
C	8,3%	3,1%	8,0%				2,5%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Intitulés des domaines scientifiques

Sciences et Technologies

ST1 - Mathématiques

ST2 - Physique

ST3 - Sciences de la terre et de l'univers

ST4 - Chimie

ST5 - Sciences pour l'ingénieur

ST6 - Sciences et technologies de l'information et de la communication



UNIVERSITÉ D'ORLÉANS

LE PRESIDENT

Orléans, le 5 avril 2011

Référence à rappeler : DRED/MFC/n° 2011-287

Votre référence :

B2012-EV-0450855K-S2UR120001503-RT

Affaire suivie par : Marie-Françoise Combeau

☎ 02 38 41 71 97

📠 02 38 49 46 12

📧 direction.recherche@univ-orleans.fr

Monsieur Pierre Glorieux

Directeur de la section des unités de recherche

AERES

Objet : commentaires sur le rapport d'évaluation du laboratoire GREMI

Monsieur le Directeur,

L'Université d'Orléans, en accord avec la tutelle CNRS, ainsi que l'ensemble des personnels du GREMI et son équipe de direction, tiennent à remercier les membres du comité de visite pour le travail d'analyse approfondi du laboratoire qu'ils ont réalisé et traduit dans un document à la fois très pertinent et riche en enseignements pour la conduite de l'unité dans les années à venir.

Ils apprécient bien sûr l'impression générale extrêmement positive que traduit le rapport, reconnaissance du travail accompli, mais aussi l'analyse des points à améliorer et des risques conduisant à un certain nombre de recommandations, notamment concernant la structuration, la meilleure définition de responsabilités intermédiaires et la mise en place d'un conseil restreint. Celles-ci seront très précieuses pour encore améliorer la marche de l'unité et son efficacité. Pour une unité à forte composante expérimentale telle que le GREMI, le travail ne pourra se faire dans les meilleures conditions que si, comme le souligne le rapport, le remplacement des nombreux IT partant à la retraite est assuré, ce à quoi s'emploieront les tutelles.

L'effort d'intégration scientifique des personnels de Bourges sera bien sûr poursuivi comme cela est indiqué dans la partie projet. L'Université et le laboratoire sont très conscients des difficultés associées à la problématique multi-sites et veilleront dans ce cadre à renforcer encore plus la synergie entre les groupes travaillant sur des thématiques proches. Plus généralement, le projet du laboratoire définit un nombre réduit de thématiques et d'opérations par rapport à celui du quadriennal en cours, avec des forces de recherches équivalentes entre les deux grands axes. On note avec satisfaction, la bonne concordance générale entre l'appréciation de l'unité et les recommandations données dans le document et l'auto-analyse présentée par le laboratoire au travers de ses bilan et projet.

Dans le rapport, on peut seulement regretter que, dans la partie 4, consacrée aux analyses équipe par équipe, les deux points « Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement » et « Appréciation sur le projet », entre autres, ne soient pas développés de manière équivalente pour les deux équipes analysées, l'intégration dans l'environnement, les nombreuses relations industrielles et internationales n'étant notamment pas mises en valeurs pour la deuxième équipe.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes meilleures salutations.

Youssoufi Touré