



**HAL**  
open science

## EM2C - Laboratoire énergétique, moléculaire, macroscopique et combustion

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. EM2C - Laboratoire énergétique, moléculaire, macroscopique et combustion. 2014, École centrale des arts et manufactures, Centre national de la recherche scientifique - CNRS. hceres-02033063

**HAL Id: hceres-02033063**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02033063>**

Submitted on 20 Feb 2019

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

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



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

Section des Unités de recherche

Évaluation de l'AERES sur l'unité :

Laboratoire d'Énergétique Moléculaire et  
Macroscopique, Combustion

EM2C

sous tutelle des  
établissements et organismes :

École Centrale Paris

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS



Novembre 2013



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

Section des Unités de recherche

*Pour l'AERES, en vertu du décret du 3  
novembre 2006<sup>1</sup>,*

- M. Didier HOUSSIN, président
- M. Pierre GLAUDES, directeur de la section  
des unités de recherche

*Au nom du comité d'experts,*

- M. Bernard SAULNIER, président du  
comité

---

<sup>1</sup> Le président de l'AERES « signe [...], les rapports d'évaluation, [...] contresignés pour chaque section par le directeur concerné » (Article 9, alinea 3 du décret n°2006-1334 du 3 novembre 2006, modifié).



# Rapport d'évaluation

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous.

Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité.

Nom de l'unité :	Laboratoire d'Énergétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion
Acronyme de l'unité :	EM2C
Label demandé :	renouvellement
N° actuel :	UPR 288
Nom du directeur (2013-2014) :	M. Olivier GICQUEL
Nom du porteur de projet (2015-2019) :	M. Olivier GICQUEL

## Membres du comité d'experts

Président : M. Jean-Bernard SAULNIER, ENSMA Poitiers (représentant du CNU)

Experts :

- M<sup>me</sup> Dominique BAILLIS, INSA Lyon
- M. Charles-Henri BRUNEAU, Université de Bordeaux 1
- M<sup>me</sup> Pascale DOMINGO, Insa de Rouen (représentante du CoNRS)
- M. François DUPOIRIEUX, Onera
- M. Olivier EICHWALD, Université de Toulouse

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Hassan PEERHOSSAINI

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

- M. Hervé BIAUSSER, ECP
- M. Alain DOLLET, CNRS
- M. Benoît GOYEAU (représentant de l'École Doctorale n° 287, Sciences de l'Ingénieur)



## 1 • Introduction

### Historique et localisation géographique de l'unité

Le laboratoire d'Énergétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion (EM2C) est une unité propre du CNRS (UPR 288) rattaché à l'INSIS (section 10 du comité national du CNRS) en Institut principal, secondairement à l'INSMI (présence de 2 chercheurs de la section 41 du comité national du CNRS) et à la section 62 du CNU.

Il est installé depuis de nombreuses années sur le campus de l'École Centrale Paris (Châtenay-Malabry), et il est impliqué dans un projet de déménagement, à terme (2017) sur le campus de Saclay, opération précédée par la fusion entre ECP et Supelec (mi 2014).

Son effectif permanent est actuellement de 41 personnes et comprend (au 30/06/2013) : 16 enseignants-chercheurs, 13 chercheurs du CNRS, 4 ingénieurs de recherche, 8 autres ITA et ITARF. Il héberge par ailleurs 58 chercheurs non permanents (dont 48 doctorants, 8 post-doctorants et 2 professeurs invités) et un technicien contractuel.

Composé, à l'époque de la dernière évaluation (en 2008), de 4 équipes (combustion, physique des transferts, plasmas, nano-optique et nano-thermique), le laboratoire a sensiblement reconfiguré son périmètre depuis. On y retrouve certes les travaux sur la combustion, la physique des transferts et les plasmas hors équilibre. Mais un axe autonome de mathématiques appliquées y est maintenant identifié comme tel, en interaction forte avec les autres. Par ailleurs, si la physique des transferts demeure centrée sur le rayonnement des gaz et des plasmas, elle intègre à présent une nouvelle rubrique sur les transferts dans les milieux poreux. Enfin, suite au départ de l'équipe de nano-optique, les transferts thermiques aux nano-échelles ont également rejoint la physique des transferts.

En résumé, la structure est désormais articulée en 3 axes de recherche :

- Combustion ;
  - Physique des transferts ;
  - Plasmas hors équilibre ;
- et une activité transverse :
- Mathématiques appliquées.

### Équipe de direction

M. Olivier GICQUEL assure la direction et porte le projet, assisté en cela par M. Sébastien DUCRUIX.

### Nomenclature AERES :

ST5, Sciences pour l'Ingénieur (SPI)



## Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	16	16
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	13	13
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	12	13
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	10	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	1	
<b>TOTAL N1 à N6</b>	<b>52</b>	<b>42</b>

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	46	
Thèses soutenues	60	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité *	32	
Nombre d'HDR soutenues	4	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	19	19



## 2 • Appréciation sur l'unité

### Avis global sur l'unité

Les perspectives planétaires actuelles, en matière de production d'énergie, laissent encore envisager, pour quelques décennies, une place importante aux carburants fossiles et à la combustion. Pour chacun des trois secteurs clés de l'énergie, le bâtiment, les transports et les procédés industriels, la transition énergétique imposée par la raréfaction des énergies fossiles et la nécessité de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, demande un effort de recherche accru en particulier dans le domaine de l'amélioration de l'efficacité énergétique et celui de la production décarbonée.

Le laboratoire EM2C est clairement positionné sur les deux secteurs, transports et procédés et cible ses travaux sur l'acquisition de connaissances amont susceptibles d'offrir de solides perspectives en matière d'efficacité énergétique. En ce sens, cette unité constitue l'une de nos formations stratégiques dans le domaine de l'énergie. Elle a su réunir pour cela des compétences originales en combustion, en physique des transferts, en plasmas et les renforcer (poreux, transferts aux nano-échelles...), avec une expertise reconnue tant sur le plan des dispositifs expérimentaux de pointe qu'à celui de la modélisation et de la simulation. Fortement orientés vers la combustion et les transferts, les travaux intéressent cependant divers autres domaines tels la sûreté nucléaire, les phénomènes de ré-entrée atmosphérique, la solidification, ou encore la biologie (décontamination par plasma)...

### Points forts et possibilités liées au contexte

En termes de politique scientifique, il faut souligner l'équilibre et la cohérence entre les sciences de la combustion et la physique des transferts, complétées judicieusement par la composante « plasma ». Le tout est fortement soutenu par l'activité transverse de mathématiques appliquées, qui confère à l'ensemble une force de frappe innovante en modélisation numérique et simulation. Cet ensemble constitue un réel atout qui est à l'origine de la force du laboratoire EM2C pour aborder avec succès les enjeux de la production d'énergie dans les transports et les procédés industriels. C'est d'ailleurs là une grande originalité dans le monde académique national. Le comité d'experts souligne par ailleurs, d'une façon générale, le positionnement de travaux depuis l'échelle moléculaire, jusqu'à celle plus macroscopique et leur prolongement à l'échelle des systèmes : cette vision étendue est effectivement indispensable pour agir sur l'efficacité énergétique.

Pour illustrer l'un des nombreux points forts en combustion, nous évoquerons les progrès accomplis sur la dynamique des foyers annulaires (applications aux moteurs aéronautiques ou aux turbines à gaz). Ainsi, le banc MICCA a permis de déterminer les délais d'allumage et de caractériser les instabilités de combustion couplées aux modes azimutaux et a fait l'objet de simulations numériques instationnaires remarquables. Une avancée substantielle a également été obtenue dans le domaine des moteurs fusées à ergols liquides (programme franco-allemand REST). D'une façon générale, les bancs expérimentaux de combustion sont originaux et font largement appel aux méthodes de diagnostic innovantes, tant pour la métrologie directe, que pour le contrôle actif des instabilités de combustion, qui est une spécialité reconnue du laboratoire.

La physique des transferts est sur le point d'apporter une réponse au problème crucial de la modélisation de l'interaction rayonnement et turbulence, en particulier dans les écoulements réactifs. Elle connaît par ailleurs un succès certain dans sa nouvelle démarche unificatrice qui part de la description des mécanismes locaux, pour faciliter l'étude des couplages des différents mécanismes de transfert (rayonnement / convection et matériaux poreux, propriétés radiatives des suies, ou des mélanges suies-gaz de combustion, suies-plasmas). En termes de nano-échelles, la démonstration vient d'être effectuée avec succès, au plan expérimental, de l'existence d'un flux radiatif de champ proche amplifié de plusieurs ordres de grandeurs par rapport aux conditions de champ lointain.

Les plasmas hors équilibre ont marqué un point dans le domaine des décharges nano-seconde répétitives pulsées (projets ANR PREPA et IPER) qui ont des retombées directes pour les applications de combustion en milieu partiellement oxydé (recirculation des gaz d'échappement) ou encore pour la production d'hydrogène. Ces avancées sont de toute évidence extrêmement utiles pour la combustion de mélange pauvre assistée par plasma, ainsi que dans le domaine du ré-allumage.

Les travaux de mathématiques appliquées constituent dans ce laboratoire un modèle de collaboration interdisciplinaire, car bien qu'ayant leurs activités propres de modélisation et de développement de méthodes, les chercheurs contribuent fortement aux simulations numériques des autres axes, même s'ils sont historiquement plus liés à l'axe combustion. La méthode eulérienne multi-fluide développée ces dernières années en est un bon témoignage.



Le nombre des publications dans les revues internationales à comité de lecture est bon et sensiblement stable (2,4 en moyenne par an et par permanent). Il en est sensiblement de même des interventions dans les congrès internationaux représentatifs avec actes et comité de lecture. L'ensemble constitue un indicateur très positif. Une autre preuve de la renommée du laboratoire réside dans le nombre élevé des conférences invitées, à savoir de l'ordre d'une quinzaine par an (les invitations sont variées et non limitées à un nombre restreint de seniors). Enfin, cette excellente production scientifique est confirmée par les contributions à divers ouvrages scientifiques (contribution totale ou partielle) qui se chiffrent à une dizaine en moyenne annuelle.

Le rythme des séminaires à l'intention des doctorants est très régulier et soutenu.

Pour ce qui est du rayonnement et de l'attractivité académique, les chercheurs du laboratoire sont particulièrement impliqués dans les communautés académiques nationales et internationales. Ils sont acteurs dans de très nombreux projets (15 ANR, ADEME, OSEO, une chaire Air Liquide..., plus de 15 projets européens et internationaux) et en sont souvent leaders.

De même la visibilité de l'unité est clairement assurée en direction de l'environnement social et économique du monde des transports terrestres, aéronautiques et spatiaux ainsi que des grands partenaires de la production d'énergie.

La renommée scientifique du laboratoire EM2C et cet ensemble de relations académiques et industrielles contribuent à attirer des post-doctorants et des professeurs invités issus des plus grandes universités.

La diffusion de la culture scientifique se concrétise par la participation à diverses émissions de radio ou de télévision (France 5 : « On n'est pas des cobayes »...), ou la présence à la fête de la Science à Châtenay-Malabry.

Enfin, une réelle opportunité de développement se présente avec le projet de déménagement sur le futur campus de Saclay et le rapprochement prévu avec Supélec, mais la réussite de ce projet nécessitera un réel effort de préparation et de suivi.

### Points faibles et risques liés au contexte

Malgré la présence de quelques publications communes, une plus forte synergie est à développer entre les axes. Ce point de vue est certes à nuancer par la présence des travaux de mathématiques appliquées qui irriguent l'ensemble des recherches et des progrès récents se traduisant par une collaboration plus étroite entre l'axe combustion et l'axe transferts radiatifs. Cependant, cette situation est encore à améliorer car, et comme cela a été souligné, c'est une grande originalité, dans le milieu académique de réunir de telles compétences en combustion, transfert et plasmas au sein de la même formation.

Le taux de publication annuel est très variable d'un axe à l'autre. Si la qualité scientifique des travaux et leur reconnaissance internationale ne fait aucun doute, l'implication dans la vie académique nationale serait à renforcer : c'est le cas par exemple de l'axe physique des transferts dont l'absence est soulignée au GDR et dans les écoles thématiques concernant le rayonnement thermique.

Depuis janvier 2008, 60 thèses de Doctorat ont été soutenues soit en moyenne 11 par an, ce qui pourrait être renforcé -hors contexte déménagement- au vu de la présence des 19 HDR. Mais cette remarque doit être nuancée par deux observations. La première porte sur le nombre élevé de doctorants hors laboratoire (20% en combustion, 12 % en physique des transferts...) et la question est posée de savoir ce qu'est le véritable apport du laboratoire à leur égard. De plus, le rapport Doctorants / HDR est très variable (de l'ordre de 2 en combustion et Physique des Transferts, 3 en Mathématiques appliquées et 4 en Plasmas). Il en est de même pour le rapport Thèses soutenues /HDR qui atteint 4 sauf en Physique des Transferts où il reste à 2.

Enfin, la prise de brevets demeure faible (3 en 5,5 ans), dans un secteur où les applications industrielles sont particulièrement riches. La direction a cependant exposé des perspectives positives en termes de propriété intellectuelle, identifiant les domaines de prise de brevets potentiels. Elle a parfaitement repéré les mécanismes d'aide au dépôt (CNRS, projet de SATT à Saclay...) et n'exclut pas le cas échéant d'opérer avec d'autres partenaires.

Au cours de la visite du comité d'experts, l'ensemble des personnels du laboratoire (chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants et personnels administratifs et techniques) ont manifesté leur inquiétude quant au déménagement du laboratoire sur le plateau de Saclay. Celle-ci porte sur un risque réel de ralentissement de l'activité de recherche de l'unité lié en particulier au déménagement de près de 30 dispositifs expérimentaux (dont 4 à 5 très lourds), sur l'aménagement de la durée des thèses dans la période transitoire de déménagement et sur la prise en compte des impacts de l'opération sur la vie des personnels.





## Recommandations

Si la production scientifique est de grande qualité, l'analyse révèle des disparités entre les axes et le comité d'experts recommande d'uniformiser l'effort dans ce domaine.

Les synergies observées entre les axes sont certes en progrès, mais l'effort est à poursuivre.

La vocation « Energie » est clairement affichée dans un domaine qui regroupe les forces autour de la combustion, des transferts et des plasmas. On voit cependant poindre quelques activités à encourager, qui seraient susceptibles de mieux marquer la contribution de l'unité à la transition énergétique : pyrolyse de la biomasse et transferts dans les poreux, oxy-combustion, plasmas et production d'hydrogène, récupération d'énergie sur les gaz d'aciéries, thermoélectricité et transferts aux nano-échelles, recyclage du CO<sub>2</sub> et plasmas...

Certaines activités gagneraient à resserrer leur spectre (3 personnes pour 10 thématiques sur les poreux, ainsi que sur les plasmas). Les ouvertures vers la biologie sont à maîtriser, en évitant l'écueil d'une dispersion thématique. Il pourrait en être de même dans le domaine de la ré-entrée atmosphérique.

Au plan de la vie de l'unité, le mode de fonctionnement du conseil de laboratoire est à standardiser et un cycle régulier de séminaires « chercheurs », largement diffusé, serait le bienvenu. Un véritable plan de formation permettrait une vision pluriannuelle qui manque actuellement.

Les activités liées à la diffusion de la culture scientifique en direction du grand public pourraient s'intensifier, en bénéficiant de la proximité des grands médias parisiens. Un rapprochement pourrait également s'envisager sur ce point avec le LIED -UMR 8236 (participation à son séminaire, questions de société autour de la problématique de la combustion, de l'usage des fossiles et de l'environnement...).

D'une façon générale, la maturité du laboratoire devrait lui permettre de mieux situer sa politique scientifique ainsi que ses perspectives de développement dans le contexte national.

Concernant le déménagement, il est apparu clairement que l'équipe de direction de l'EM2C et les représentants des tutelles (directeur de l'ECP et DAS CNRS) sont tout à fait conscients des inquiétudes et des difficultés qui pourraient survenir et mènent d'ores et déjà par anticipation des actions concrètes en vue d'assurer le succès du déménagement du laboratoire et du déplacement des personnels. Le comité d'experts soutient pleinement les actions en cours, propose qu'elles diffusent rapidement auprès des personnels pour information et recommande en particulier:

- la prise de contact rapide avec la Délégation Régionale du CNRS concernée pour harmoniser les mesures d'accompagnement des personnels CNRS avec celles mises en place pour leurs homologues de l'ECP ;
- l'apport d'un personnel dédié, capable de suivre la mise en place des nouvelles salles d'expérimentation, de planifier et d'accompagner le déménagement des dispositifs expérimentaux.

Pour les doctorants, il faudra privilégier pendant cette période l'activité de simulation numérique dont on peut penser qu'elle subira moins de perturbations que l'activité expérimentale.



### 3 • Appréciations détaillées

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Les 29 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents participent tous à la production scientifique de l'unité et parmi eux, on note une proportion respectable (les deux tiers) de Docteurs d'Etat ou titulaires d'une HDR.

Les recherches présentent dans chacun des domaines, combustion, transferts et plasmas, une grande originalité et s'accompagnent d'une reconnaissance à l'échelle internationale. De nombreuses ruptures sont à souligner (contrôle actif des instabilités de combustion, paradigme des changements d'échelle dans les transferts radiatifs et poreux, décharges plasma nano-pulsées) et les publications s'effectuent dans les meilleures revues des domaines concernés.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le comité d'experts souligne le rôle de leader scientifique dans chacun des domaines concernés et les très nombreuses références que constitue EM2C pour la communauté académique de la combustion, des transferts et des plasmas. S'y ajoute la responsabilité du pilotage et le haut niveau d'implication scientifique dans de nombreux projets internationaux et nationaux.

Parmi les indicateurs attestant ce haut niveau de rayonnement, on peut mentionner la qualité des visiteurs étrangers (seniors et post-doc), la notoriété des prix et des distinctions octroyés aux membres de l'entité (IUF, Académies, prix de thèse EADS...) et celle des expertises auxquelles contribuent ses membres (CNU, CNRS, USAR, MESR, AERES, ONERA...).

#### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

S'il est un domaine où s'exerce l'attractivité de EM2C, c'est bien celui de la relation avec le milieu industriel : aéronautique, espace, nucléaire... Les partenaires viennent rechercher là un adossement aux connaissances scientifiques les plus récentes, et constituent dans le même temps un point d'accueil essentiel pour les doctorants et ingénieurs. Il s'agit de relations qui, en général, s'inscrivent dans la durée.

Cependant, les co-productions demeurent relativement faibles en nombre, en particulier en termes de brevets.

On ne note pas de création de start-up innovante.

#### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'unité

Peu abordée dans le document écrit remis aux experts, l'organisation de l'unité a été précisée lors de la visite. La fréquence des réunions du conseil de laboratoire est faible, mais des réunions collégiales ont lieu deux à trois fois par an, sans que soient indiqués leur objectif et leur relation avec le conseil de laboratoire. Par contre, en cas d'urgence, la direction s'appuie sur les 4 responsables d'axes. Il semble manquer des structures d'animation transversale et rien n'est évoqué sur les mécanismes d'incitation à l'émergence d'axes, de thèmes ou de programmes innovants.

On peut, pour conclure sur la vie du laboratoire, indiquer que la représentativité des personnels est acquise dans les instances de pilotage, et que l'unité semble fonctionner, à la satisfaction générale, dans un esprit de grande collégialité.

#### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le laboratoire est rattaché à l'École Doctorale « Sciences de l'Ingénieur » de l'École Centrale de Paris (ED 287). Des membres du laboratoire se relaient à la direction de cette ED. A noter également que plusieurs membres de l'unité ont été fortement impliqués dans la définition des futures Écoles Doctorales de l'Université de Paris Saclay. Des formations spécifiques sont organisées pour les doctorants (calcul parallèle et applications...). Un programme Erasmus Mundus d'échange de doctorants, post-doctorants et chercheurs est mis en place, entre Europe, Corée, Japon, sur la thématique Energie.



Le suivi des doctorants est bon : ceux-ci font régulièrement des exposés devant tous les chercheurs de l'unité. Ceci permet à des chercheurs d'un axe différent de s'impliquer dans la résolution des problèmes éventuellement rencontrés par le doctorant et assure également, au sein du laboratoire, une bonne diffusion des résultats obtenus. Les retards dans la soutenance sont limités et dus à l'embauche des doctorants avant même leur soutenance. Le taux d'abandon des thèses est faible (de l'ordre de 3%). L'unité se préoccupe réellement du devenir de ses doctorants, dont les activités ont été clairement précisées, pour la grande majorité de ceux qui ont soutenu depuis une date raisonnable.

Il faut souligner une contribution originale à la rédaction de nombreux ouvrages pédagogiques, couvrant la formation des élèves de l'École Centrale et les Masters.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet du laboratoire EM2C demeure positionné sur des thèmes relevant de l'énergie et des transports, domaines où les enjeux à venir sont majeurs compte tenu de l'évolution des ressources énergétiques et des défis environnementaux.

La démarche retenue est classique en sciences de l'ingénieur, équilibrant maîtrise des concepts scientifiques fondamentaux et volonté de les appliquer pour répondre aux besoins et défis des industriels. Les principaux objectifs couvrent la compréhension microscopique de mécanismes fortement couplés et leur prise en compte dans des études à l'échelle du laboratoire voire à l'échelle industrielle. Cette démarche continuera par ailleurs de mettre en œuvre une forte synergie entre études théoriques, expérimentales et numériques.

La stratégie du laboratoire s'inscrit pour l'essentiel dans une continuité, en poursuivant tout d'abord l'investissement dans les compétences fortes et établies telles que celles en rayonnement et en combustion. Elle renforcera par ailleurs les thématiques des plasmas hors équilibre, des milieux poreux et de la nano-thermique. Le développement de l'activité mathématique appliquée (calcul haute performance et modélisation stochastique) en fort lien avec les sciences de l'ingénieur, constituera un atout considérable pour le développement de méthodes numériques originales. Pour une part importante, les propositions d'action sur le moyen terme constituent un prolongement logique des activités de la période précédente : elles sont donc parfaitement légitimes et contribuent à la cohérence du projet.

Cependant, bien que présente, suite à une demande explicite du comité d'experts, la vision à plus long terme demeure peu détaillée, ce que l'on peut regretter. Le projet tente d'identifier ici divers sujets émergents, permettant de relever le défi de la raréfaction des énergies fossiles et du développement durable et sur lesquels le laboratoire souhaite s'investir. Il cite notamment la pyrolyse de la biomasse, l'amélioration de l'efficacité énergétique basée sur les nanomatériaux, les nouveaux modes de combustion, la production d'hydrogène, la microgénération d'électricité... Il ouvre donc de nouvelles perspectives très intéressantes dans le domaine de la transition énergétique et sur des sujets particulièrement pluridisciplinaires. Le laboratoire possède les compétences de haut niveau qui lui permettraient de mettre en œuvre cette partie plus innovante de sa vision stratégique. Il est en mesure d'assumer une part de prise de risque et d'être force de proposition d'innovations et de ruptures technologiques sur certaines niches à cibler. Cette double approche lui donnerait l'opportunité d'augmenter son potentiel de valorisation par la prise de brevets et/ou la création de start-up. Reste qu'il faudrait pour cela que le renforcement des synergies entre axes qui est clairement amorcé, devienne une réalité et que soient nouées des relations avec des unités ayant sur ces sujets des compétences complémentaires à celles de EM2C : le cadre du Programme Energie du CNRS est, en principe, là pour cela.

## 4 • Analyse axe par axe

**Axe 1 :** Combustion

**Nom du responsable :** M. Sébastien CANDEL

Effectifs

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	8	8
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	6	6
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	3,25	2,25
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	4	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
<b>TOTAL N1 à N6</b>	<b>21,25</b>	<b>16,25</b>

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	19	
Thèses soutenues	38	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	12	
Nombre d'HDR soutenues	3	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	9	9

## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

L'axe Combustion rassemble quatre thèmes de recherche s'intéressant à tous les aspects de la combustion, une partie des chercheurs affectés dans le dossier d'évaluation à cet axe l'étant au titre de l'activité transverse de mathématiques appliquées.

La production scientifique est soutenue et de tout premier plan, paraissant dans des journaux reconnus dans le domaine tels *Combustion and Flame*, *Proceedings of the Combustion Institute*, *Journal of Fluid Mechanics*, *Flow Turbulence and Combustion*. La visibilité de l'axe est forte sur tous les thèmes développés : on peut citer de façon non exhaustive le thème des instabilités de combustion et de leur contrôle, du bruit de combustion, la modélisation de la combustion turbulente gazeuse ou diphasique (F-TACLES, TTC), la simulation des écoulements supercritiques, la compétence sur les foyers annulaires, le développement de modèles eulériens pour le diphasique et le couplage multi-physique, etc. L'axe est également présent dans le domaine de l'oxy-combustion par l'intermédiaire d'une convention de chaire industrielle avec Air Liquide et du projet ANR OXYTEC qu'elle coordonne. Cette chaire s'intéresse en plus à deux situations non conventionnelles en combustion, la combustion des flammes swirlées à faible pouvoir calorifique, qui s'applique à l'oxydation des mélanges riches en CO, et la micro-combustion.

Des approches fondamentales et novatrices sont utilisées alliant développements, validations et applications à des problématiques industrielles. On relèvera la complémentarité des approches expérimentales et modélisations, par exemple pour la caractérisation des flammes diphasiques turbulentes (banc DELCO) ou encore l'allumage d'un foyer multi-injecteurs (foyer MICCA soutenu par l'ANR, Snecma et la DGA).

L'axe est aussi partenaire du développement collaboratif de codes de la mécanique des fluides écrits pour le massivement parallèle tels AVBP et YALES2 et est membre du GIS SUCCESS. Les modèles pour les brouillards poly-dispersés sont aussi implantés dans le code CEDRE de l'ONERA. Par ces collaborations, l'axe prouve qu'il a le souci de transférer les modélisations développées vers l'industrie par l'intermédiaire d'outils numériques solides et performants.

L'axe assure le développement de diagnostics applicables à ses expériences de validation de modèles et de compréhension de la physique. Techniquement, ces diagnostics sont au niveau de ce qui se fait de mieux actuellement dans les laboratoires de combustion (par exemple LIF haute cadence multi-espèces couplée à la diffusion de Mie) mais les moyens, aussi bien en personnel qu'en matériel, sont nettement plus limités que ceux de certains laboratoires de combustion américains (par exemple le CRF) ou allemands (par exemple le DLR), ce qui restreint les capacités d'innovation de l'axe dans ce domaine. Le comité d'experts note que l'axe s'investit essentiellement dans des techniques fournissant des informations intégrées ou des techniques d'imagerie. Les techniques donnant des informations quantitatives locales et instantanées sur les paramètres thermo-chimiques de l'écoulement sont moins mises en avant.

L'axe entretient de nombreuses collaborations avec des partenaires académiques en France et à l'étranger lui permettant de participer à de nombreux projets nationaux et internationaux, voire, dans certains cas, de les coordonner. Sur la période 2008-13, on relève des partenariats suivis avec l'IFP, le CERFACS, l'ONERA, des laboratoires du CNRS tels le CORIA ou l'Institut Camille Jordan de Lyon ou encore l'Université de Corse et à l'étranger l'Université de Darmstadt, le Center for Turbulence Research de Stanford, l'Université du Michigan, l'IST de Lisbonne, l'US Air Force. L'attractivité de l'axe se reflète dans le nombre important de post-docs accueillis sur la période ainsi que de professeurs invités étrangers.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'axe a une forte implication dans des projets nationaux et internationaux. On relève 10 contrats ANR dont 3 où un chercheur de l'axe est coordinateur, 4 participations à des projets européens et encore 9 projets sur financement public. La renommée scientifique de membres éminents du laboratoire se traduit par des conférences invitées dans des établissements ou des colloques d'excellente réputation (CalTech, Turbulent Shear Flows) et par des distinctions prestigieuses obtenues à titre individuel ou collectif : un chercheur de l'axe a obtenu 7 distinctions nationales et internationales dans la période considérée, ce qui est remarquable.

La participation des chercheurs de l'axe à la structuration de la recherche nationale est importante au travers d'une implication à la fois dans les instances du CNRS et dans celles de divers organismes liés à la recherche (IFPEN, ONERA, CERFACS, Académies, CNES, IDEX, FRAE pôle ASTech, GENCI, ...).



Trois chercheurs de l'axe participent aux comités éditoriaux de revues de très haut niveau. On peut citer "Progress in Energy and Combustion Science", "Combustion and Flame", "Proceedings of the Combustion Institute, Combustion Science and Technology". Un autre est membre depuis 2012 du comité d'organisation du « Turbulent (Non) Premixed Flame Workshop ».

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Les recherches effectuées ont de nombreuses retombées sur le secteur industriel et en premier lieu aéronautique. Un point déjà noté est que la plupart des modèles développés sont intégrés à des codes de simulation utilisés par les industriels du groupe SAFRAN pour concevoir leurs chambres de combustion, ainsi qu'au code CEDRE de l'ONERA. La participation à des projets européens (4 recensés) est de nature à favoriser la communication et le transfert vers l'industrie. De plus, le groupe accueille une chaire industrielle avec Air-Liquide et un partenariat avec AREVA a donné lieu à un brevet.

Comme les sujets d'étude sont choisis dans le souci de résoudre des problèmes mis en avant par les industriels, les travaux réalisés par l'axe ont un impact bien réel sur la conception des systèmes de combustion du domaine des transports ou de la production d'énergie. Par exemple, les travaux sur les instabilités dans les foyers aérobies ont des répercussions directes sur la conception des chambres de combustion de SNECMA Moteurs et d'autres travaux permettent à Air Liquide de mettre au point des systèmes efficaces basés sur la combustion de l'oxygène pur. D'une façon générale, le comité d'experts note que les travaux de l'axe conduisent à l'amélioration des systèmes existants grâce à une meilleure compréhension de la physique, plutôt qu'à des ruptures technologiques visibles par le grand public. Le comité note avec satisfaction que l'axe a été présent dans des actions visant à familiariser le grand public avec le monde de la recherche. Des chercheurs ont participé à la fête de la science 2013 et à une émission de télévision de vulgarisation de la science.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'axe

La taille de l'axe, 14 permanents, permet une véritable dynamique de groupe avec beaucoup d'interactions. Le nombre de chercheurs CNRS est pratiquement en équilibre avec le nombre d'enseignants-chercheurs. De plus, un équilibre est aussi trouvé entre compétences théorie/modélisation et approche expérimentale, ce qui facilite des actions conjointes entre modélisateurs et expérimentateurs.

La thématique de la combustion assistée par plasma a rapproché des chercheurs de l'axe Combustion de ceux de l'axe Plasmas. Le couplage combustion/rayonnement a aussi donné lieu à un rapprochement avec l'axe Physique des transferts avec le co-encadrement de plusieurs thèses.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le ratio nombre de chercheurs sur nombre de chercheurs habilités à diriger les recherches est de 9/14, ce qui permet un bon suivi des thèses. Pour les membres HDR de l'axe, le nombre de thèses dirigées par personne se situe entre deux et cinq, ce qui est raisonnable (la direction simultanée de cinq thèses est exceptionnelle et est due au décalage de la soutenance d'une thèse démarrée en 2009). Les doctorants qui ne restent pas dans le milieu de la recherche s'insèrent bien dans le monde industriel, particulièrement dans le secteur aéronautique (groupe SAFRAN).

Des chercheurs de l'axe ont une charge d'enseignement dans le Master Energie de l'École Centrale Paris, Master dans lequel on trouve des élèves de nationalités diverses du fait d'échanges entre l'École Centrale Paris et des universités étrangères.

Il n'y a pas de processus formel d'identification des avancées à faire passer dans l'enseignement mais ces avancées illustrent l'enseignement lorsque cela s'avère possible (LES, modèles de combustion à chimie tabulée, techniques de mesure optiques...).

Un chercheur de l'axe coordonne un programme Erasmus Mundus d'échange de Doctorants, Post-Doctorants et chercheurs. Enfin, des chercheurs de l'axe participent très activement à des actions de formation de haut niveau du type « lectures séries » de l'Institut Von Karman (VKI), du collège de Polytechnique ou d'écoles de combustion.

Pour résumer, l'implication de l'axe dans la formation par la recherche est très satisfaisante.



## Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet proposé semble tout à fait réalisable au regard de l'expertise de l'axe sur laquelle il s'appuie. Il est décomposé en cinq défis qui correspondent à des préoccupations exprimées par les industriels : (1) Dynamique et instabilités, (2) Nouveaux procédés de combustion, (3) Moteurs fusées, (4) Foyers aéronautiques et moteurs, (5) Combustion en conditions extrêmes. Chaque défi de la liste est pertinent mais le comité d'experts note que la liste proposée est inhomogène. Le premier défi « dynamique et instabilités » porte sur un domaine transversal de la recherche en combustion, alors que les quatre suivants portent sur des applications industrielles de la combustion.

Le lien avec le développement et la compréhension de nouveaux procédés industriels innovants est toujours fort et permettra de pérenniser les partenariats avec l'industrie (fours, production d'énergie, ...). De plus, le projet s'appuie sur les acquis scientifiques de la période précédente, ce qui est gage de réussite. Le vieillissement des matériaux soumis à un écoulement réactif constitue un sujet prospectif qui pourra ouvrir l'axe à des collaborations extérieures sur les matériaux.

Le projet est bien adapté aux besoins industriels grâce, entre autres, aux messages passés par SAFRAN à travers le réseau INCA. Ce réseau est utile pour appréhender les besoins des industriels et pour obtenir leur soutien lors d'un dépôt de candidature pour un programme de recherche. Le comité recommande cependant aux chercheurs de l'axe de veiller à toujours préserver l'équilibre entre recherche fondamentale et transfert vers l'industrie.

## Conclusion

Les chercheurs de l'axe Combustion accomplissent un travail de très haut niveau scientifique reconnu aux niveaux national et international. Ils possèdent des compétences inégalées qui leur confèrent un rôle de leader, entre autres, dans le domaine des études des instabilités de combustion et de leur contrôle, de la modélisation de l'interaction chimie-turbulence, et de la simulation des écoulements supercritiques. L'activité de l'axe porte à la fois sur de la modélisation avancée et des expériences novatrices servant à la validation des modèles physiques.

### ▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- la taille et les compétences complémentaires de l'axe lui confèrent une bonne assise et l'implication de l'axe transversal Mathématiques Appliquées contribue à son enrichissement ;
- les relations de l'axe avec les autres acteurs du domaine, laboratoires, institutions et partenaires industriels sont fortes ;
- des efforts ont été constatés en ce qui concerne la mise en place d'activités en interaction avec les autres thématiques de l'unité et il est souhaitable que ces collaborations s'amplifient.

### ▪ *Points à améliorer et risques liés au contexte :*

- l'axe qui n'a cessé de grandir au cours des dernières années doit cependant veiller à sa cohésion et à ne pas se fragmenter ;
- les départs en retraite doivent être anticipés pour ne pas fragiliser une partie de l'activité expérimentale.

### ▪ *Recommandations :*

Des choix industriels peuvent influencer sur le devenir de certaines activités et collaborations avec des organismes extérieurs. La collaboration avec l'ONERA sur la combustion cryotechnique date du début des années 90. C'est une collaboration de longue durée et fructueuse pour l'axe en termes de publications et d'innovations scientifiques, mais le comité d'experts note avec inquiétude que sa pérennité n'est pas assurée du fait des incertitudes pesant sur le futur de la propulsion cryotechnique au niveau européen. Ainsi, le choix de la propulsion solide, hors dernier étage, pour Ariane 6 peut assécher le financement de la recherche sur la combustion cryotechnique. Pour cette raison, il est important de prévoir, en cas d'un tel assèchement, un repositionnement de la collaboration sur un sujet porteur (combustion aérobie à très haute pression par exemple).



**Axe 2 :** Physique des Transferts

**Nom du responsable :** M. Sébastien VOLZ

Effectifs

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	6	6
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	6	6
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	3	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
<b>TOTAL N1 à N6</b>	15	12

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	18	
Thèses soutenues	14	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	10	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	7	7





L'axe Physique des Transferts est de taille sensiblement équivalente à celui de l'axe Combustion. Il se compose de 12 membres permanents (6 chercheurs et 6 enseignants-chercheurs) et n'a pas d'ingénieurs de recherche ou de techniciens en propre. Il regroupe 4 thèmes :

- T1 Rayonnement et transferts dans les gaz et plasma ;
- T2 Rayonnement des milieux poreux ;
- T3 Transferts en milieux poreux ;
- T4 Transferts aux courtes échelles dans les milieux denses.

## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifique

L'axe Physique des Transferts a évolué dans sa composition. Il a su maintenir sa réputation acquise pour la qualité de ses travaux sur les propriétés radiatives. Il possède aujourd'hui une expertise notoire tant sur les propriétés radiatives de gaz et plasmas (reconnue de longue date) que dans les milieux poreux (activité plus récente depuis 2004), et le rayonnement de champ proche. Ce large domaine de compétences en rayonnement constitue indéniablement une force et une spécificité de ce laboratoire.

On notera, parmi les faits marquants, la première preuve expérimentale quantitative du flux radiatif de champ proche. Au-delà du rayonnement de champ proche, le thème transfert aux courtes échelles dans les milieux denses s'est développé depuis le retour (sept. 2010) d'un directeur de recherche, renforcé par le recrutement d'un maître de conférences. Les activités sont bien visibles, en plein essor et très bien positionnées dans le contexte national et international.

Le recrutement en septembre 2007 d'un professeur, suivi de celui d'un directeur de recherche, tous deux spécialistes des transferts en milieux poreux a donné une nouvelle impulsion à cet axe et a conduit à une ouverture de thématique de recherche. De nouveaux projets et de nouvelles collaborations nationales et internationales ont émergé et ont manifestement enrichi l'axe. La synergie avec les autres membres du thème des transferts radiatifs en milieux poreux est amorcée. Une codirection de thèse a porté ses fruits avec le développement d'un modèle original de couplage, à l'échelle du pore, des transferts radiatifs avec les autres modes de transfert.

Des développements à la fois expérimentaux et théoriques ont été menés et confrontés notamment sur la détermination des données spectroscopiques des plasmas, sur les transferts radiatifs aux courtes échelles et sur les transferts en milieux poreux. Le thème, Rayonnement des milieux poreux, reste en grande partie théorique et pourrait être renforcé par des travaux expérimentaux.

La production scientifique est soutenue et de grande qualité. Originaux, les travaux ont permis une avancée certaine dans les domaines concernés, et possèdent un fort impact dans la communauté scientifique concernée. Cette reconnaissance est confirmée par des conférences invitées tant sur le plan national qu'international.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'axe se positionne sur des actions de Fédération, d'ANR, de programmes européens, de Labex où, pour certaines, il opère en tant que porteur.

Le haut niveau des chercheurs et des post-doctorants étrangers recrutés par l'entité ainsi que l'accueil de professeurs invités témoigne de l'attractivité de l'axe. On note la distinction d'un doctorant Lauréat 2011 du « prix de la meilleure thèse en Sciences pour l'ingénieur » de la fondation EADS sur le thème rayonnement des milieux poreux.

On souligne la participation de membres de l'axe dans des comités scientifiques de congrès. La notoriété des expertises se traduit aussi par l'implication de membres de l'axe dans des comités de revues de qualité (2 membres opèrent en tant qu'éditeur et éditeur associé dans la revue « International Journal of Heat and Mass Transfer » et un autre en tant que rédacteur en chef dans « International Journal of Thermal Sciences »). De nombreux membres de l'axe participent activement à des instances locales et nationales (directrice de la recherche de l'ECP, membre du Conseil Scientifique de l'INSIS, responsable scientifique du secteur « Sciences de l'ingénieur » (SIMI 9) dans le programme Blanc de l'Agence Nationale de la Recherche, Directeur de l'école doctorale « Sciences pour l'Ingénieur », délégué scientifique à l'AERES, directrice adjointe scientifique à l'INSIS).



L'organisation de manifestations internationales pourrait encore renforcer le rayonnement de l'axe et son rôle d'animation au sein de la communauté. Le comité regrette l'absence de représentation de l'axe au sein de la communauté radiative du GDR ACTION Concertée en Rayonnement Thermique (ACCORT) regroupant huit laboratoires universitaires ayant chacun une forte activité de recherche dans le domaine des transferts radiatifs. La même constatation peut être formulée au sujet de la prochaine école thématique Rayonnement thermique en milieu semi transparent (juin 2014).

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Les membres de l'axe ont des partenariats avec les acteurs socio-économiques (ONERA, Air-Liquide, EDF, CEA, Thales, LESAG/IRSN, Fluid Gravity Engineering). Les quatre thématiques scientifiques sont au cœur de nombreux problèmes industriels. Les outils développés répondent aux besoins des industriels et contribuent significativement au progrès des connaissances sur les problématiques concernées. À titre d'exemple on peut citer les modèles de rayonnement dans les poreux exploités par l'IRSN pour la simulation d'accidents graves de réacteurs nucléaires. L'axe est cependant davantage orienté vers la compréhension des phénomènes physiques en interaction avec les acteurs socio-économiques que vers le transfert et la valorisation.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'axe

Le laboratoire a bien soutenu l'axe par des recrutements pour en renforcer les thématiques : un professeur pour travailler sur la modélisation des propriétés radiatives des milieux poreux (permettant d'anticiper le départ en retraite d'un professeur et tenant compte aussi de la fonction de Direction de la Recherche ECP d'un membre professeur), un directeur de recherche renforçant la modélisation des milieux poreux, un maître de conférences et un chargé de recherche sur l'activité nano thermique qui était de taille critique.

Le comité d'experts a noté peu d'éléments concernant l'organisation et la vie de l'axe dans le dossier ainsi que lors de la présentation effectuée au comité d'évaluation. S'il n'était pas fait mention de responsable d'axe ni sur le site du laboratoire ni dans le dossier, cela a été précisé lors de la visite. On n'a pas noté d'animation particulière favorisant la synergie au sein de l'axe. Le comité a retenu néanmoins des discussions avec le personnel du laboratoire que les étudiants sont satisfaits de l'encadrement qui répond tout à fait à leur besoin et que l'axe semble bien fonctionner.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

L'implication dans la formation est conséquente. Quatre membres de l'axe ont des responsabilités dans des spécialités de la formation en master recherche (dont un personnel CNRS) et quatre dans la formation ingénieur de l'ECP. La direction de l'école doctorale « Science de l'ingénieur » est assurée par un professeur de l'axe. Deux enseignants-chercheurs de l'axe sont auteurs de deux ouvrages pédagogiques.

La qualité des encadrements se traduit notamment par la pertinence de la production scientifique. Les activités d'encadrements de doctorants sont de 32 thèses (14 soutenues et 18 en cours). Le nombre de post doctorants encadrés est de 10. Le nombre de membres HDR de l'axe étant de 7, cela fait une moyenne supérieure à 2 thèses en cours par HDR. Cependant on note un déséquilibre en termes de répartition avec notamment un encadrement très conséquent de 8 thèses en cours pour un même HDR sur le thème « transferts aux courtes échelles dans les milieux denses ».

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le regroupement des deux thèmes « rayonnement et transferts dans les gaz et les plasmas » et « rayonnement des milieux poreux » en un seul thème « propriétés radiatives et transferts couplés » devrait apporter davantage de cohésion, de cohérence et d'échanges en rayonnement. Un autre regroupement possible entre « Rayonnement des milieux poreux » et « Transferts en milieux poreux », favorisant aussi la synergie autour des milieux poreux, a été évoqué par le comité d'experts lors de la visite. Le regroupement retenu semble avoir été mûrement réfléchi et discuté au sein de l'axe, avec une volonté claire de rejoindre la thématique rayonnement.

Le projet scientifique pour les prochaines années est bien construit. Il s'appuie sur les acquis de la période précédente tout en élargissant les activités avec de nouveaux projets scientifiques. Les perspectives sont intéressantes. On note ainsi l'étude de milieux complexes tels que les mélanges suies-gaz, dont la question du positionnement par rapport au contexte national a été évoquée. On relève aussi l'ouverture vers de nouveaux thèmes qui portent notamment sur l'interaction avec le vivant dans le domaine des transferts en milieux poreux.



Les perspectives à cinq ans sont listées, mais une vision plus globale, avec des objectifs de résultats et de positionnement dans le champ scientifique national et international aurait été bienvenue.

La politique de recrutement du laboratoire dans les cinq années à venir soutient l'axe physique des transferts. Elle est cohérente et elle donne une priorité à l'embauche d'un MDC ou d'un CR dans le domaine du rayonnement en prévision du départ en retraite d'un Professeur membre de l'axe. Elle devrait donc permettre de pérenniser cette thématique reconnue. La thématique émergente des milieux poreux devrait également être consolidée à moyen terme tenant compte du départ en retraite d'un DR. Concernant le thème des transferts aux courtes échelles, il est en plein essor, très porteur en termes de contrats et de thèses, et il faudra peut-être accompagner cette croissance en renforçant cet axe par une embauche de professeur ou DR. Le besoin d'un support technique expérimental en rayonnement a été exprimé lors des discussions avec les chercheurs du laboratoire. Ce support semble effectivement nécessaire et permettrait en outre de renforcer le thème rayonnement poreux par des travaux expérimentaux.

## Conclusion

La qualité des travaux scientifiques de l'axe physique des transferts est excellente. Les approches et méthodes développées sont originales. Les publications se font dans des journaux de qualité.

### ▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- l'axe possède de grandes notoriété et visibilité dans le contexte national et international. -Le groupe participe activement à des projets de recherche collaboratifs, à des réseaux nationaux et internationaux ;

- on note une très forte implication des membres de l'axe dans la formation par la recherche ainsi que dans des instances nationales et internationales.

### ▪ *Points à améliorer et risques liés au contexte :*

Il faudra veiller cependant à ce que son rôle de leader au sein du GDR CNRS Européen « Thermal Nanosciences and NanoEngineering» n'amoindrisse pas celui d'animation scientifique dans la communauté nationale de la micro-nano-thermique.

### ▪ *Recommandations :*

Il est recommandé aux membres de la thématique «Rayonnement dans les poreux» de développer davantage de collaborations nationales et internationales au sein de la communauté radiative, ainsi que davantage de participations dans les réseaux tels que l'ACRT. Le projet à 5 ans est cohérent mais on aurait souhaité davantage de recul avec une vision plus claire de l'évolution du champ scientifique, des objectifs de résultats et du positionnement dans le champ scientifique national ou international.



**Axe 3 :** Plasmas hors équilibre

**Nom du responsable :** M. Christophe LAUX

**Effectifs**

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	2	2
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	1	1
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	0,75	0,75
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	3	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
<b>TOTAL N1 à N6</b>	<b>6,75</b>	<b>3,75</b>

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	9	
Thèses soutenues	8	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	10	
Nombre d'HDR soutenues	1	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	3	3



## • Appréciations détaillées

L'axe plasma hors-équilibre représente 10% des effectifs chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire. Il se compose de 3 membres permanents (1 chercheuse et 2 enseignant-chercheurs avec le soutien très actif d'une IR positionnée à 75% sur les activités du groupe).

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production et la qualité scientifique de l'axe plasma sont de très haut niveau. Quantitativement, et en se focalisant uniquement sur les publications ACL, on dénombre un total de 56 publications dans des revues internationales du domaine (PSST, IEEE-TPS, J. Phys. D, ...). Pour certaines, plusieurs permanents sont co-auteurs, ce qui témoigne d'un travail collaboratif au sein de l'axe. On peut noter (i) que le taux moyen de publications ACL par an et par chercheur permanent dépasse 3,75 et que (ii) la production scientifique des 3 permanents de l'axe participe aux alentours de 20% de la production totale (pour les revues ACL). Ces éléments factuels démontrent le dynamisme de cet axe à effectif réduit. L'impact des recherches menées est très bon puisque les travaux publiés sont régulièrement cités par la communauté des plasmiciens et parfois primés dans des conférences internationales (2 distinctions obtenues durant la période d'évaluation). On peut également souligner qu'une publication de l'axe fait partie des « Most Highly Cited Papers Award » dans la revue Plasma Sources Science and Technology.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

La qualité des recherches se traduit également par le rayonnement de l'axe tant au niveau national qu'international. En se basant sur la liste des contrats sur financement public, l'axe participe ou a participé sur la période d'évaluation à 7 projets (3 ANR, 1 Contrat UE, 2 Labex et 1 PEPS-CNRS) avec un budget représentant plus de 15,5% des financements sur contrat public du laboratoire. Cette implication diversifiée traduit l'attractivité de l'axe et la volonté des partenaires de le solliciter dans des projets collaboratifs. On peut cependant inciter les membres de l'axe à se répartir de manière plus équilibrée le portage des projets et surtout, au vu de la qualité des recherches menées et des défis proposés, à en coordonner à l'avenir. L'attractivité est confirmée par le nombre, la qualité et la provenance diversifiée (Allemagne, Slovaquie, Danemark, Australie, USA, Russie, ...) des post-doctorants et professeurs invités. On peut noter que les permanents de l'axe sont également fortement impliqués dans l'organisation et la participation à des instances de recherche et/ou administrative tant au niveau local (CA et CR ECP, Sénat académique de l'Université Paris Saclay,...), national (AERES, ANR, Réseau Plasma Froid), qu'international (Editeur associé PSST, membre d'un comité scientifique d'un Workshop international, Membre ou président de comité d'organisation de congrès internationaux, ...). On peut relever que l'un des membres de l'axe a donné la Luigi Crocco Lecture à l'Université de Princeton démontrant le rayonnement des activités de recherche de cet axe.

### Appréciation sur les interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Le partenariat industriel est présent (au travers de collaborations affichées avec EADS-Astrium et PSA ou avec des organismes publics de recherche tels que le CEA, l'ONERA ou l'IFPEN) mais ne constitue pas l'un des points forts de cet axe à cause notamment du positionnement des activités de recherche orientées en grande partie vers les mécanismes fondamentaux. Cependant, on peut noter que (i) les membres de l'axe sont co-auteurs sur les deux brevets déposés au sein du laboratoire sur la période d'évaluation et que (ii) le projet ANR FAMAC dans lequel est impliqué le groupe est coordonné par un industriel (Continental Automotive) et donc fortement orienté vers le transfert et la valorisation. Enfin, le logiciel SPECAIR, issu des travaux menés dans l'axe, est une référence dans l'analyse des émissions radiatives d'un plasma et est couramment utilisé par les chercheurs et les industriels du domaine.



Le rapport écrit ne mentionne pas formellement les modalités d'organisation de l'axe plasma. La visite sur site a cependant permis de comprendre que l'organisation de l'axe est collégiale, dans la continuité du mode de fonctionnement proposé au sein du laboratoire. Les réunions d'avancement des nombreux projets de recherche de l'axe plasma sont notamment des lieux d'échanges et de bilan. L'animation scientifique est transversale aux axes du laboratoire avec en particulier l'organisation de présentations hebdomadaires effectuées par les doctorants sur leurs travaux de recherche. Enfin, la volonté du laboratoire de regrouper dans des bureaux des doctorants travaillant sur différents domaines scientifiques dynamise les échanges d'idées et les collaborations inter-axes.

Dans la perspective d'une augmentation du nombre de permanents et surtout avec l'intégration possible de chercheurs de Supélec, il serait judicieux d'envisager de structurer plus formellement l'organisation de l'axe plasma durant la phase transitoire d'accueil et d'intégration.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

L'implication dans la formation par la recherche est très bonne. Elle se traduit par une moyenne de 2 thèses soutenues par an et un nombre de 9 thèses en cours. Deux thèses en cotutelle, l'une soutenue, l'autre en cours, montrent la collaboration effective et pérenne avec le « Center for Hypersonics » de l'Université de Queensland en Australie. On peut noter que tous les doctorants participent tous à la production scientifique et que leur insertion professionnelle est très bonne (MdC, CR, Ingénieur de Recherche, PRAG). En termes de répartition de l'encadrement entre les membres de l'axe, il serait bon que le nouveau MdC recruté puisse bénéficier à terme d'un support de thèse et d'un co-encadrement pour accompagner ses activités de recherche. Les membres de l'axe sont également impliqués dans les formations d'ingénieur de l'ECP et de Master Recherche en tant que responsable (cursus de 2<sup>ème</sup> année de l'ECP), co-responsable (2 Masters Recherches orientés énergie) ou intervenant.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

L'axe plasma sera fortement impacté par la fusion Centrale-Supélec et le regroupement envisagé au sein d'un même axe de 3 permanents de Supélec (2 enseignant-chercheurs en provenance de l'axe E3S / ESE et 1 chercheur CNRS en provenance du LGEP) avec les membres de l'axe plasma EM2C. Au travers des compétences des chercheurs de Supélec, ce regroupement devrait favoriser le développement de l'activité « décharges micro-plasmas » avec un apport favorisant notamment la confrontation expérience-modélisation et une ouverture vers de nouveaux partenariats académiques et industriels dans le domaine des plasmas et de la biologie. La priorisation affichée par le laboratoire EM2C de recruter 2 permanents lors du prochain quinquennal s'inscrit dans cette dynamique de renforcement d'un axe porteur qui participe pleinement à la visibilité et au rayonnement du laboratoire.

Vu de l'extérieur et dans le cadre de la politique de fusion des Écoles Centrale et Supélec, le regroupement au sein d'une même unité de recherche de forces travaillant sur une même thématique scientifique « plasma » est tout à fait cohérent et devrait être une évolution logique et naturelle. Cela est d'autant plus vrai que ce regroupement semble sollicité par la base, que des collaborations sur les activités plasma entre les partenaires des deux établissements sont déjà effectives et que chacun des deux pôles plasma comptabilise un faible effectif. Dans ce contexte, et bien que des questionnements légitimes puissent encore subsister à l'heure actuelle et en interne sur cette opportunité de regroupement, il serait judicieux que les laboratoires et établissements concernés convergent sur leurs exigences vis-à-vis de cette thématique de recherche et insufflent une dynamique par une démarche active et volontaire d'accompagnement.

Dans cette perspective de regroupement des forces et d'augmentation des effectifs, les défis affichés par l'axe plasma sont tout à fait pertinents. Ils s'inscrivent dans la continuité des activités actuellement menées sur la combustion assistée par plasma, l'étude des micro-décharges et des plasmas de rentrée atmosphérique. L'impulsion donnée par la fusion Centrale-Supélec, le soutien affiché du laboratoire et le maintien des fortes collaborations inter-axes devraient renforcer de manière considérable le potentiel de l'axe-plasma déjà excellent. La taille critique atteinte devrait également permettre aux membres de l'axe d'être moteurs dans la coordination de projets de recherche nationaux voire européens.



## Conclusion

- **Points forts et possibilités liées au contexte :**

- Les activités de recherche portées par l'axe plasma sont d'un très haut niveau scientifique et traduisent le dynamisme des permanents de l'axe. Elles sont le garant d'une très forte lisibilité auprès des partenaires académiques et industriels et d'un rayonnement d'excellence aussi bien au niveau national qu'international.

- **Points à améliorer et risques liés au contexte :**

L'axe est sous-doté en chercheurs par rapport à ses ambitions scientifiques.

- **Recommandations :**

L'axe plasma est un point fort du laboratoire et son renforcement par le recrutement de deux permanents est totalement cohérent vis-à-vis des défis proposés. Ce renforcement devrait également pouvoir s'appuyer sur la fusion Centrale-Supélec qui constitue une opportunité de regrouper au sein d'une même unité, les chercheurs et enseignants-chercheurs plasmas répartis actuellement dans les deux établissements. Dans ce cadre, il semble toutefois nécessaire de poursuivre la réflexion actuelle entre les deux pôles plasma concernés, les laboratoires et les tutelles de façon à mieux cerner les conditions du succès de ce regroupement et les activités de recherche porteuses de la thématique plasma en adéquation avec les affichages du laboratoire EM2C.

**Axe 4 :** Mathématiques appliquées

**Nom du responsable :** M. Marc MASSOT

**Effectifs**

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	1	1
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	2	2
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	0,5	0,5
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	2	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
<b>TOTAL N1 à N6</b>	5,5	3,5

Effectifs de l'axe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	3	
Thèses soutenues	3	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	4	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	1	1

### • Appréciations détaillées

L'activité transverse de Mathématiques Appliquées n'est pas évaluée ici en tant que champ disciplinaire du fait de la création de la Fédération de Mathématiques FR CNRS 3487 au 1<sup>er</sup> janvier 2013, dont le directeur est le responsable de cet axe. Elle n'est évaluée qu'à travers le prisme de ses collaborations avec les trois axes de recherche du laboratoire EM2C. Durant le contrat, elle a bénéficié de l'arrivée d'un CR2 en février 2011 et d'un IR2 à 50%. Les quatre membres (en rajoutant une CR1 arrivée en 2003 et un PR arrivé en 2005) sont rattachés à l'axe Combustion. Cependant des interactions avec les autres axes existent comme en témoignent quelques publications.





### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Les membres de ce groupe focalisent toutes leurs applications sur les thématiques du laboratoire et ont une production scientifique de tout premier plan. Ils publient dans les meilleurs journaux de calcul scientifique comme Journal of Computational Physics par exemple, mais aussi dans des revues d'énergétique ou de mécanique avec leurs collègues.

Parmi les points forts de ce groupe, on peut retenir les méthodes développées pour simuler des écoulements diphasiques à inclusions dispersées, ou des suivis de fronts de réaction raides, même si le champ d'application de leurs méthodes est plus vaste. Le code MUSES3D en eulérien donne des résultats très probants qui supportent parfaitement la comparaison avec les meilleurs codes lagrangiens, en particulier ceux développés au CORIA. L'impact des méthodes eulériennes dépasse largement le cadre du laboratoire car elles ont été implantées dans divers codes dont ceux du CERFACS ou de l'ONERA.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Les membres du groupe ont attiré trois professeurs associés à l'École Centrale - dont un professeur d'Iowa State avec une production scientifique impressionnante - qui ont publié avec eux plusieurs articles dans de bonnes revues. Ils ont aussi accueilli six post-doctorants. Le responsable de l'axe vient de passer un an à Stanford et participe à de nombreux projets dont trois ANR (un comme coordinateur) et un projet européen.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Les chercheurs du groupe ont fortement contribué à la création du méso-centre de calcul à l'École Centrale. Ils sont membres de la nouvelle Fédération de Recherche CNRS qui regroupe tous les chercheurs actifs en mathématiques de l'École Centrale.

Un chercheur est membre du comité national du CNRS en section 01. Un autre a été chargé de mission pour le calcul scientifique au sein du département Mathématiques, Physique, Planète et Univers du CNRS puis à l'Institut National des Sciences Mathématiques et leurs Interactions. Ce dernier assume de nombreuses responsabilités scientifiques comme membre de comités scientifiques et est en outre responsable de la spécialité de master mécanique aéronautique et spatial, mention sciences appliquées de l'École Centrale.

### Appréciation sur l'organisation et vie de l'axe

Après une période d'adaptation, le nouveau CR2 semble être maintenant bien intégré à l'axe et commence à publier avec ses collègues. Ce groupe réduit est totalement tourné vers l'interdisciplinarité qui est par ailleurs leur raison d'être dans ce laboratoire. D'abord confinées à l'axe combustion, les interactions sont maintenant plus étendues et touchent les trois axes. Les projets sont exemplaires et la symbiose entre les mathématiciens et leurs collègues est parfaite, la confrontation avec les expériences suggérant en retour des problèmes mathématiques.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Les membres de ce groupe encadrent de nombreux stages d'étudiants. Le responsable a fait soutenir quatre thèses dans la période et en encadre actuellement trois. Il a été membre du conseil scientifique du CEMRACS 2012, Centre d'Été Mathématique de Recherche Avancée en Calcul Scientifique - Méthodes numériques et algorithmes pour architectures hautes performances. Cette école d'été permet de transmettre aux jeunes doctorants et post-doctorants le savoir-faire des seniors.



## Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Sur l'aspect ingénierie qui est au centre de cette évaluation, le groupe travaille à la mise au point d'un modèle réduit permettant de décrire l'injection diphasique depuis la phase d'atomisation jusqu'à l'obtention d'un brouillard polydispersé de particules. L'enjeu est important car les temps de calcul de ces applications sont très élevés. En outre le groupe va appliquer les outils d'adaptation temps-espace récemment développés pour étudier la dynamique de l'allumage des foyers annulaires et simuler des décharges plasma en trois dimensions pour ne citer que les projets les plus marquants.

## Conclusion

Ce groupe, qui a pour mission de générer des recherches interdisciplinaires, a parfaitement réussi son intégration dans EM2C, sans perdre son identité de mathématiciens qui forme à l'École Centrale une communauté maintenant regroupée au sein de la nouvelle fédération de recherche.

### *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- les membres du groupe apportent leur soutien pour simuler des expériences qu'ils peuvent directement observer au sein du laboratoire, confronter les résultats et en retour faire émerger des sujets de recherche en mathématiques ;

- ils ont une interaction accrue avec les chercheurs des trois axes de recherche et souhaitent réellement participer à la vie du laboratoire.

### ▪ *Points à améliorer et risques liés au contexte :*

L'effectif est faible par rapport à la mission affectée à cet axe transverse.

### ▪ *Recommandations :*

C'est une expérience d'immersion parfaitement réussie qu'il faut saluer et encourager.

## 5 ● Déroulement de la visite

### Dates de la visite

Début : Jeudi 7 novembre à 09 heures  
 Fin : Vendredi 8 Novembre à 15 heures

### Lieu de la visite

Institution : École Centrale de Paris  
 Adresse : Grande Voie des Vignes, F-92 295 CHÂTENAY-MALABRY Cedex

### Déroulement ou programme de visite

L'accueil chaleureux, l'organisation efficace ont permis des échanges très ouverts avec tous. Les documents mis à disposition des experts étaient relativement complets et les exposés d'excellente qualité. Les visites, fort utiles, ont permis de se rendre compte de la qualité exceptionnelle des installations de recherche dont dispose le laboratoire et de la remarquable compétence des personnels qui utilisent ces installations. Le comité d'experts a également apprécié la maîtrise rigoureuse des conditions de sécurité.

Il a cependant jugé insuffisante l'analyse de stratégie scientifique formulée et demandé à la direction un complément d'un maximum de deux pages à ce sujet : la réponse a été fournie sous la forme d'une note d'une page.

#### Jeudi 7 novembre

8h45 - 9h00	Accueil
9h00 - 9h45	Réunion à huis clos du comité d'experts
9h45 - 10h30	Bilan présenté par l'équipe de direction du laboratoire et discussions
10h30 - 12h40	Présentations scientifiques, bilans et perspectives <i>Visite axe Combustion 30'</i> <i>Déplacement 5'</i> <i>Exposé axe Combustion 45'</i> <i>Discussions Equipe Combustion 25'</i> <i>Exposé axe transversale en Mathématiques appliquées 15'</i> <i>Discussions axe transversale en Mathématiques appliquées 10'</i>
12h40 - 14h00	Déjeuner
14h00 - 16h30	Présentations scientifiques (suite) <i>Visite axe Plasmas hors-équilibre 20'</i> <i>Visite axe Physique des transferts 15'</i> <i>Déplacement 5'</i> <i>Exposé axe Physique des transferts 50'</i> <i>Discussions axe Physique des transferts 30'</i>



*Exposé axe Plasma hors-équilibre 20'*

*Discussions axe Plasma hors-équilibre 10'*

16h30 - 16h45	Pause
16h45 - 17h15	Présentation et discussions autour des activités de formation Présentation des activités de l'Ecole Doctorale Présentation des activités Master et Ingénieur
17h15 - 18h00	Perspectives présentées par l'axe de direction du laboratoire et Discussions
18h00 - 18h45	Réunion à huit clos du comité d'experts

**Vendredi 8 novembre**

8h45 - 9h00	Accueil
9h00 - 10h30	Discussions avec les personnels du Laboratoire
9h00-9h25	Chercheurs
9h30-9h55	Doctorants
10h00-10h25	ITA
10h30 - 11h30	Discussions avec les représentants des tutelles
11h30 - 12h30	Discussions avec l'équipe de direction du laboratoire
12h30 - 13h30 -	Déjeuner
13h30 - 15h30	Réunion à huis clos du comité d'experts



## 6 • Observations générales des tutelles

Châtenay-Malabry, le 2 mars 2014

Objet : réponse de l'Ecole Centrale Paris au rapport préliminaire du comité de visite : Laboratoire  
Énergétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion – réf. : S2PUR150008225 - 0921225G

Monsieur le Président,

L'Ecole Centrale Paris, ainsi que la Direction du laboratoire, remercie le comité pour la qualité des échanges lors de la visite du laboratoire Énergétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion.

Nous avons examiné attentivement le rapport préliminaire d'évaluation du laboratoire et nous nous félicitons de l'avis très positif porté, en particulier, sur le positionnement scientifique du laboratoire.

L'établissement a bien pris notes des recommandations faites par le comité.

Vous trouverez ci-joint les remarques proposées par la direction du laboratoire et validées par l'Ecole Centrale Paris.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, nos sincères salutations.

Par délégation de H. BIAUSSER  
Directeur de l'École Centrale Paris  
Christian Fontanel  
Directeur délégué



Réponses et commentaires sur le  
rapport AERES du laboratoire EM2C  
Vague E : campagne d'évaluation  
2013-2014

Les membres du laboratoire EM2C (UPR 288 CNRS) souhaitent d'abord remercier les membres du Comité de Visite de l'AERES pour le temps consacré au laboratoire et pour l'évaluation très favorable de leurs activités. Vous trouverez ci-dessous quelques éléments de réponse concernant le rapport. Suite au préambule et afin de simplifier la lecture de ce texte, les réponses et commentaires sont exposés dans l'ordre adopté dans le rapport rédigé par le Comité.

### Préambule

Il est utile de préciser que les membres du laboratoire, en accord avec le CNRS et l'Ecole Centrale Paris, ont choisi de demander leur évaluation en se présentant comme une seule et même équipe de 29 chercheurs et enseignants-chercheurs. Ce choix a conduit à présenter un rapport dans lequel seule l'activité de recherche était décrite, par souci de clarté, sous la forme de quatre sections associées à quatre axes de recherche dont un transversal. Pour le reste des rubriques demandées, telle la contribution à l'enseignement, les informations ont été fournies sous forme globale pour l'ensemble du laboratoire.

En dépit de cette demande, le Comité a choisi d'évaluer le laboratoire sous la forme d'un regroupement de quatre équipes indépendantes. Ce choix, que nous regrettons, explique certaines des remarques et questions présentées comme des oublis par le Comité dans son rapport. En effet, le rapport d'activité que nous avons rédigé n'est pas bien adapté à ce mode d'évaluation car beaucoup des données fournies n'ont pas été ventilées suivant le critère de découpage choisi par le Comité.

Ainsi dans le format proposé par l'AERES et choisi par le laboratoire, nous n'avons pas eu à renseigner les informations suivantes alors qu'elles auraient été nécessaires au Comité pour rédiger son rapport suivant le format qu'il a retenu :

- L'investissement des membres du laboratoire dans l'enseignement n'a pas été ventilé par axe ;
- Les publications ont été rassemblées sous la forme d'une liste commune à l'ensemble de l'unité ;
- Seul le fonctionnement du laboratoire a été détaillé, le fonctionnement interne à chaque axe ne devant pas être décrit.

## Evaluation de l'unité

### Réponses aux questions de fond :

#### Dans l'Introduction (section 1)

Le rapport mentionne un axe autonome en mathématiques appliquées. Quatre chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire mènent effectivement une partie de leurs recherches en mathématiques appliquées, mais ils travaillent à l'interface entre les sciences pour l'ingénieur et les mathématiques. Pour que la partie de leur activité relevant plus spécifiquement des mathématiques appliquées soit visible et reconnue, nous la présentons simplement comme une activité transverse au laboratoire.

#### Dans l'Appréciation sur l'unité (section 2)

##### Section Points faibles et risques liés au contexte

On peut effectivement penser que le nombre de publications co-signées par des chercheurs d'axes différents pourrait être plus élevé. Il faut cependant noter qu'il y a six publications co-signées par des membres d'axe différents pour l'année 2013 soit 10% des publications du laboratoire. Il n'y en avait au mieux que deux par an sur la période 2008-2012 (moins de 5% du total pour ces années là). Par ailleurs, le système favorise les collaborations externes. De ce point de vue l'unité est largement impliquée dans ce type de projets.

Le rapport mentionne un besoin de renforcer l'implication des membres du laboratoire dans l'animation de la vie académique nationale. Les membres du laboratoire sont déjà très fortement impliqués dans le pilotage et l'animation de la communauté nationale et internationale comme l'attestent les annexes 6-5 et 6-6. Les chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire participent à une centaine d'instances nationales ce qui représente un ratio d'environ trois instances nationales par chercheur. Certaines de ces instances sont particulièrement importantes. Ainsi, certains membres du laboratoire sont ou ont été DAS de l'INSIS, chargé de mission à l'INSMI, membre du conseil scientifique du CNRS, responsable scientifique à l'ANR ou encore membre du conseil de l'AERES. Lorsqu'un choix s'impose (nous ne pouvons malheureusement pas participer à tout), le choix est souvent fait de privilégier les instances internationales afin d'augmenter le rayonnement de la communauté française à l'étranger.

Le rapport mentionne une absence de participation à une école thématique traitant du rayonnement thermique. Il nous semble tout d'abord que ce point devrait apparaître uniquement dans la section dédiée à l'évaluation de l'axe Physique des transferts. Par ailleurs, si ce point est exact, il faut noter que le laboratoire EM2C assure depuis 20 ans environ son rôle de transfert de connaissances avancées, issues de son expertise en rayonnement des gaz et particules, par le biais d'une semaine complète de formation permanente à l'ECP. Tous les trois ans environ cette formation est dispensée à des ingénieurs de recherche et des universitaires. La prochaine est programmée en juin 2014.

Le Comité semble douter de l'intérêt d'encadrer des doctorants hors laboratoire. Nous avons effectivement des doctorants rattachés administrativement au laboratoire par l'Ecole Doctorale, principalement à l'ONERA et à l'IFPEN. Parmi ceux-ci, seuls ceux ayant comme directeur un HDR de l'unité ont été inclus dans les chiffres présentés dans le rapport. Ces doctorats sont effectués dans le cadre de collaborations fortes avec nos partenaires. Ils contribuent pleinement au transfert de connaissances vers des partenaires qui ont vocation à traiter, en coopération complète, les problèmes étudiés à des échelles plus proches de l'application industrielle que celles accessibles en laboratoire (moteurs complets, chambres de combustion réelles, écoulements supersoniques, ...).

La moitié des activités du laboratoire concerne la modélisation et la simulation, thématiques pour lesquelles la prise de brevet est souvent impossible. Ceci explique en partie le faible nombre de brevets déposés. Cependant, nous allons poursuivre nos efforts pour mieux identifier au sein de nos activités les développements potentiellement brevetables.

Les inquiétudes liées au transfert du laboratoire à Saclay sont justifiées. Pour limiter au maximum l'impact de ce déménagement sur les activités et projets de recherche et faire en sorte que cette opération soit un succès, nous avons mis en place depuis deux ans une équipe composée de plusieurs membres du laboratoire (dont le directeur adjoint) qui travaille sur ce sujet.

##### Section Recommandations

En phase avec la recommandation du Comité, nous allons continuer nos efforts pour augmenter les synergies entre les différentes thématiques scientifiques présentes au laboratoire. C'est bien dans cet



état d'esprit que le choix a été fait de présenter le laboratoire comme une seule et même équipe. L'évolution positive du laboratoire à ce sujet est concrétisée par le nombre croissant de publications faisant intervenir au moins deux chercheurs de deux axes différents en 2013 : 6 pour 62 (10%). Des liens pérennes existent, sources de travaux communs à venir.

On peut préciser que le Conseil du Laboratoire se réunit quatre fois par an ce qui semble être un fonctionnement standard pour un laboratoire comme le nôtre.

Le laboratoire accueille un grand nombre de séminaires «chercheurs» (une vingtaine en 2013), nous améliorerons à l'avenir notre communication vers l'extérieur à ce sujet.

Dans le cadre de l'évaluation, l'AERES ne demande pas au laboratoire de fournir son plan de formation pluriannuelle. Celui-ci n'a donc pas été transmis aux membres du Comité.

Les membres du laboratoire participent à de nombreuses activités de diffusion de la culture scientifique ce qui a d'ailleurs été identifié parmi les points forts de l'unité par le Comité. Nous veillerons à renforcer cette activité dans les années à venir. Nous pourrions aussi envisager comme il est demandé de participer au séminaire du LIED -UMR 8236 CNRS-Université Paris 7. Nous n'avons pu le faire par le passé ni l'évoquer dans notre rapport ou même lors de la visite, ce laboratoire n'ayant été créé comme FRE que le 1er janvier 2013 (ce qui laissait peu de temps pour établir des collaborations), puis transformé en UMR le 1er janvier 2014.

### Dans les Appréciations détaillées (section 3)

Cette partie du rapport est un résumé de l'appréciation générale. Les réponses apportées précédemment restent donc valables pour cette section.

#### Section **Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans**

Le Comité a demandé à la direction du laboratoire de rédiger une note de prospective scientifique sur les «10 ou 20 prochaines années». Nous tenons à préciser que cela ne fait pas partie des demandes officielles de l'AERES. Nous pensons donc que cette note (quelle que soit sa taille) ainsi que l'analyse qui pourrait en être faite ne devraient pas faire partie de la version finale du rapport d'évaluation du laboratoire.

Le Comité souhaite que le laboratoire utilise le Programme Energie du CNRS pour mettre en œuvre des synergies avec d'autres laboratoires français. Le laboratoire a participé à ce programme durant la période d'évaluation dans le cadre du projet Cocoracopha (2007-2010). ). Nous tenons à rappeler que le programme Interdisciplinaire Energie du CNRS a été arrêté depuis 2 ans et qu'il a été remplacé par une action coordonnée par l'institut INSIS du CNRS à travers sa cellule Energie.

## Corrections factuelles

### Dans l'Introduction (section 1)

Le nombre de publications par an et par permanent n'est pas de 1,80 mais de 2,04. Ce chiffre est obtenu à partir de la moyenne des données suivantes : 62/29 (2013), 49/28 (2012), 51/25 (2011), 31/21 (2010), 56/20 (2009), 41/20 (2008), le nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs ayant fortement varié sur la période concernée.

## Axe Combustion

### Réponses aux questions de fond :

#### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le rapport mentionne que les doctorants s'insèrent naturellement dans le monde industriel et particulièrement dans le groupe SAFRAN. Il est vrai que 5 doctorants sur les 38 qui ont soutenu au cours de la période considérée ont été recrutés par Safran (ce qui correspond à 13%) mais le spectre des industriels qui embauchent les docteurs de l'unité est bien plus large et il comprend notamment Air Liquide, Alstom, Dassault Aviation, General Electric et United Technologies. On pourra à ce sujet consulter les listes de postes occupés par nos doctorants dans les annexes du rapport.

Le rapport mentionne la contribution des chercheurs de l'axe au Master Energie de l'ECP. Il est utile de rappeler que les chercheurs de l'axe combustion portent également l'intégralité de la formation en aéronautique et espace dispensée à l'Ecole Centrale Paris. La synergie entre formation et recherche a toujours été un atout décisif dans le développement de l'unité. Elle a notamment permis de recruter de nombreux ingénieurs ECP comme doctorants.

#### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le rapport mentionne la nécessité de préserver l'équilibre entre recherche fondamentale et transfert vers l'industrie. Ce souci d'équilibre est bien dans l'esprit de l'ensemble des chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire, avec comme objectif général de faire progresser le front des connaissances tout en avançant les applications au travers d'un dialogue continu avec les industriels.

#### Conclusion

Le départ en retraite de deux membres de l'axe est effectivement une préoccupation pour les personnels du laboratoire. Des discussions régulières avec les tutelles sont engagées pour éviter que ces départs ne déstabilisent l'activité de recherche au laboratoire.

Nous sommes évidemment conscients de l'impact des choix technologiques faits pour le futur lanceur Ariane 6. Au-delà des applications en combustion cryotechnique qui subsisteront (moteur VINCI), les développements réalisés dans le cadre de la simulation des écoulements en conditions de gaz réels (transcritiques ou supercritiques) seront facilement adaptés dans un futur plus ou moins proche à d'autres problématiques scientifiques, technologiques et industrielles (injection à très haute pression dans l'automobile ou l'aéronautique, CO<sub>2</sub> supercritique pour le stockage ou l'extraction de ressources fossiles, applications dans le domaine biomédicale, etc.).

### Corrections factuelles

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La chaire industrielle Air Liquide s'intéresse à l'oxy-combustion à haute pression et n'inclut ni les recherches concernant les flammes à faible pouvoir calorifique, ni celles associées à la micro-combustion. Ces deux thématiques de recherche sont bien traitées au laboratoire mais ne relèvent pas de cette chaire.

#### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le ratio nombre de chercheurs sur nombre de chercheurs habilités à diriger des recherches est de 14/9 et non de 9/14.

## Axe Physique des transferts

### Réponses aux questions de fond :

Il est mentionné dans le rapport que l'axe ne comprend pas de techniciens en propre. Ceci est tout à fait normal, les techniciens du laboratoire (hors IR) ayant un rôle de support pour l'ensemble des activités que nous conduisons, aucun n'est affecté à un axe.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le rapport mentionne une nouvelle fois une absence de participation à une école thématique concernant le rayonnement. Nous rappelons (voir les réponses générales) que le laboratoire EM2C assure depuis 20 ans environ son rôle de transfert de connaissances avancées, issues de son expertise en rayonnement des gaz et particules, par une semaine complète de formation permanente à l'ECP. Il faut de plus noter que le laboratoire EM2C a été à l'origine de la création de l'action concertée en rayonnement thermique qui a fédéré l'ensemble des laboratoires français reconnus travaillant dans le domaine.

### Conclusion

Nous percevons plutôt le rôle de leader au sein du GDR CNRS Européen «Thermal Nanosciences and NanoEngineering» comme une réelle opportunité pour le laboratoire et l'ensemble de la communauté française que comme un risque pour celle-ci.

Concernant le rayonnement des milieux poreux, l'effort sera d'abord porté dans les cinq années du contrat sur la caractérisation radiative et sur le couplage avec les autres modes de transfert de divers types de milieux statistiquement hétérogènes (généralement également statistiquement anisotropes) : isolants fibreux pour les très hautes températures, pastilles de catalyseurs au voisinage de parois... A notre connaissance, aucune étude n'a été entreprise sur ce jour à ce sujet. Cela constitue donc un challenge majeur. A terme, les transferts couplés aux interfaces du milieu global, sujet également extrêmement délicat, devraient être traités, en relation avec le thème « milieux poreux ». Ces études fondamentales sont déterminantes pour l'industrie gazière et l'isolation à très haute température.

### Corrections factuelles

### Appréciation sur la production et la qualité scientifique

Le thème transfert aux courtes échelles dans les milieux denses a également été renforcé durant la période par le recrutement d'un chargé de recherche CNRS.

## Axe Plasmas hors Equilibre

### Réponses aux questions de fond :

#### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le nouveau Maître de Conférences assure actuellement le co-encadrement de plusieurs thèses. Cette information n'était pas disponible dans le rapport, le choix de ne mentionner que les directeurs de thèse officiels (et donc nécessairement HDR) ayant été retenu.

#### Conclusion

Les effectifs de cet axe sont effectivement réduits. Contribuer à son renforcement fait partie des priorités du laboratoire.

### Corrections factuelles

#### Appréciation sur les interactions avec l'environnement social, économique et culturel

La remarque sur l'animation scientifique transversale aux axes est pertinente, mais elle concerne l'ensemble du laboratoire et devrait se trouver dans la section sur l'appréciation de l'unité et non dans l'appréciation de cet axe de recherche.

## Activité transverse en mathématique appliquée

Réponses aux questions de fond :

### Conclusion

L'effectif de quatre personnes sera porté à cinq à la rentrée prochaine grâce à l'ouverture d'un poste de Maître de Conférences par l'ECP sur cette thématique.

**Olivier GICQUEL**  
Directeur  
du Laboratoire EM2C

