



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur
l'unité :

Complexe de Recherche Interprofessionnel en
Aérothermochimie CORIA

sous tutelle des
établissements et organismes :

Université de Rouen

INSA de Rouen

CNRS

Novembre 2010



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Complexe de Recherche Interprofessionnel en

Aérothermochimie CORIA

sous tutelle des

établissements et organismes :

Université de Rouen

INSA de Rouen

CNRS

Le Président de l'AERES

Didier Houssin

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

Novembre 2010



Unité

Nom de l'unité : Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie CORIA

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : 6614

Nom du directeur : M. Abdelkrim BOUKHALFA

Membres du comité d'experts

Président :

M. Michel LANCE, LMFA, Université Lyon 1

Experts :

M. Jacques BOREE, LEA, ENSMA Poitiers

Mme Nadine AUBRY, Carnegie Mellon University, Pittsburgh

M. Gérard LAVERGNE, ENSAE, ONERA

M. Alain GLEIZES, Institut Laplace, Université Paul Sabatier, Toulouse

Mme Christine ROUSSELLE, Université d'Orléans

M. Michel CHAMPION, LCD Poitiers, CNU

M. Pierre HALDENWANG, M2P2, Université de Marseille, CoNRS

Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Hassan PEERHOSSAINI

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

M. Cafer OZKUL, Président de l'Université de Rouen

M. Jean-Louis BILLOËT, Directeur de l'INSA de Rouen

M. F. FAURE, Administrateur Délégué DR CNRS

Mme Béatrice BISCANS, INSIS CNRS



Rapport

1 • Introduction

- Date et déroulement de la visite :

La visite du CORIA par le comité AERES s'est déroulée les 2 et 3 novembre 2010, dans les locaux de l'Unité. Le Comité a apprécié l'excellente organisation de ces deux journées, la qualité de son accueil et la bonne ambiance dans laquelle cette évaluation s'est effectuée. L'emploi du temps, très chargé, a été parfaitement respecté, ce qui a permis aux membres du Comité d'assister à des exposés scientifiques de grande qualité, à des présentations d'expériences bien préparées, et plus généralement d'interagir efficacement avec toutes les composantes de l'Unité et ses tutelles.

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

Le CORIA a été créé en 1985 et résulte du regroupement du Laboratoire de Thermodynamique, fondé en 1965 par P. Valentin, du LESP, du LAME et du LMFN en une seule entité, associée à l'INSA de Rouen, à l'Université de Rouen et au CNRS. Installé originellement sur plusieurs sites, le laboratoire a bénéficié d'un regroupement géographique et de locaux neufs (10 500 m²) lors du déménagement de l'INSA et de l'Université sur le campus du Madrillet en 2001. Le Laboratoire est positionné sur l'étude des systèmes énergétiques de combustion efficaces et propres. Il développe un large spectre de recherches, depuis la compréhension et la modélisation des phénomènes physiques dans les milieux réactifs, turbulents ou diphasiques, jusqu'aux recherches finalisées avec des partenariats industriels. Le CORIA possède une longue histoire dans ce dernier domaine, avec la création d'un centre technique, le CERTAM, en 1991, et celle de l'Institut Carnot ESP en 2007.

- Equipe de Direction :

L'équipe de direction est constituée du Directeur, A. BOUKHALFA, Professeur à l'INSA de Rouen, du Directeur Adjoint, Claude ROZE, Professeur à l'Université de Rouen.



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

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	44	44
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	11	9
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	1	2
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	28	28
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	11	11
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier bilan de l'unité et formulaire 2.7 du dossier projet de l'unité)	64	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	36	36

2 • Appréciation sur l'unité

- Avis global:

Le CORIA s'est affirmé au fil des années comme un centre d'excellence sur les milieux réactifs et la combustion et s'impose maintenant comme un des laboratoires européens phares dans le domaine. Son impact sur la simulation numérique des écoulements réactifs et diphasiques et sur les diagnostics optiques est reconnu internationalement. Le laboratoire présente une production scientifique d'excellente qualité, mais offre surtout un exemple remarquable d'équilibre entre recherche amont et valorisation, avec un très fort impact dans le monde industriel. Le laboratoire a réorganisé ses activités de recherche en trois départements bien équilibrés, qui possèdent chacun des domaines d'excellence à forte visibilité. Leur mise en place est trop récente pour juger des effets sur les synergies internes entre groupes thématiques, mais la politique du CORIA va bien dans ce sens. Le laboratoire assume son rôle de principal pôle régional de recherche en ingénierie, et se trouve au coeur de toutes les opérations importantes de structuration régionale, en matière de recherche ou de formation. L'évolution du laboratoire depuis sa dernière évaluation est très positive, tant du point de vue des indicateurs quantitatifs que de ses choix politiques et de ses orientations scientifiques. Le comité tient à féliciter l'ensemble du personnel du CORIA et l'équipe de Direction pour avoir su amener le laboratoire au niveau des meilleures équipes internationales, tout en confortant son rôle de pôle régional et national. Le CORIA est incontestablement exemplaire par le nombre et la qualité de ses relations partenariales avec le monde industriel, et peut légitimement ambitionner le rôle de laboratoire de référence en combustion et milieux réactifs.



- **Points forts et opportunités :**

Le CORIA possède la capacité de développer des diagnostics expérimentaux innovants, tout en étant en pointe sur la modélisation et la simulation des écoulements dans les systèmes complexes réactifs ou diphasiques. Son organisation interne et sa faculté de mutualisation des moyens et des savoirs est un atout. Sa position particulière et unique le place au centre de toutes les politiques régionales de développement scientifique et économique. Enfin et peut-être surtout, il existe manifestement un esprit CORIA, avec un fort sentiment d'appartenance et beaucoup d'enthousiasme, qui participent largement à la réussite du laboratoire.

- **Points à améliorer et risques :**

Les disparités entre la production scientifique des personnes devraient s'estomper. Les sollicitations contractuelles sont très fortes, mais le CORIA a montré qu'il savait maintenir l'équilibre. Néanmoins, il faut rester vigilant sur ce point. Le Laboratoire est attractif, mais il devra veiller à le rester avec la montée en puissance de Saclay. Les compétences scientifiques du CORIA présentent une faiblesse dans les aspects plus théoriques de ses champs de recherche, qui manquent pour mieux exploiter certains résultats numériques ou expérimentaux. Les collaborations internationales sont nombreuses, mais peu sont formalisées. La démographie du laboratoire n'est pas inquiétante, mais le recrutement de jeunes chercheurs est à favoriser, tout en offrant des perspectives de promotion aux plus anciens, ce qui est une équation difficile à résoudre.

- **Recommandations au directeur de l'unité :**

L'équipe de direction a accompli un remarquable travail de fond pour réorganiser les opérations de recherche de manière plus visible et rationnelle. La nouvelle structuration du laboratoire doit maintenant apporter une réelle plus-value, ce qui signifie qu'elle doit s'accompagner de moyens incitatifs pour des opérations transverses. Le laboratoire doit bien évidemment garder son rang de pôle régional à forte visibilité internationale, mais sa proximité des centres d'excellence de la région parisienne est aussi un atout à exploiter.

- **Données de production :**

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

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2 dans la colonne projet	48
A2 : Nombre de producteurs parmi les autres personnels référencés en N3, N4 et N5 dans la colonne projet	2
A3 : Taux de producteurs de l'unité $[A1/(N1+N2)]$	91%
Nombre d'HDR soutenues	6
Nombre de thèses soutenues	65
Autre donnée pertinente pour le domaine (à préciser...)	



3 • Appréciations détaillées :

Le CORIA a su au fil des années développer une personnalité propre et originale. Son positionnement scientifique est au cœur des problématiques actuelles en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie et de minimisation des impacts environnementaux. Le monde industriel est d'ailleurs le premier à reconnaître les compétences du laboratoire dans ce domaine à travers un nombre très important de collaborations. Les recherches portent d'une manière générale sur les milieux fluides réactifs, avec un centrage fort sur la combustion et les plasmas. L'originalité du laboratoire est d'appuyer cette thématique aux forts enjeux économiques par des compétences bien reconnues en mécanique des fluides diphasiques et/ou turbulents, et une expertise véritablement unique sur les diagnostics optiques. Cette dernière est fondée sur la maîtrise de toute la chaîne, depuis le concept issu de l'Optique théorique jusqu'à la réalisation de sources laser. La simulation numérique a atteint un haut niveau de maturité, avec des « premières » remarquables dans le domaine de la simulation de la combustion à l'aide de la LES, et de la simulation directe de l'atomisation de jets liquides. Ces avancées ont largement contribué à asseoir le rayonnement international du laboratoire, qui avait déjà su se forger une solide réputation grâce à sa créativité dans le développement de méthodes expérimentales en combustion. Plusieurs membres du laboratoire sont lauréats de distinctions ou de prix scientifiques (1 IUF, 3ème prix Bull Joseph Fourier,...).

Le taux de production du CORIA est globalement très bon avec, dans la période, 316 articles dans des revues à comité de lecture, 72 conférences invitées, 309 communications avec actes dans des congrès internationaux, 4 brevets, une licence de logiciel et 108 rapports de contrats. 64 thèses ont été soutenues. Le laboratoire n'a que 6 chercheurs non publiant sur 53, parmi lesquels 4 d'entre eux occupent des postes à fortes responsabilités administratives et un est en congé longue maladie. Le taux de production moyen est de 1,45 article/an, mais présente une assez forte variabilité entre équipes et entre chercheurs.

L'attractivité du laboratoire peut se mesurer par la qualité de ses recrutements, mais aussi par l'excellente image des doctorants qu'il produit et qui concourent sur les postes de chercheurs en France.

Le laboratoire affiche un taux de réussite élevé sur les programmes ANR et les programmes européens (21 projets ANR pour la période).

La valorisation des recherches du CORIA auprès du monde industriel est tout à fait remarquable. Le Laboratoire jouit d'une situation privilégiée au sein de l'« Automotive Valley » et joue un grand rôle clé dans le pôle de compétitivité Mov'eo, au niveau de l'animation scientifique et de la gouvernance. Le rayonnement du CORIA n'est pas que régional, et les collaborations avec les grands groupes sont très nombreux. Le laboratoire est au cœur de l'Institut Carnot ESP, qu'il a d'ailleurs porté.

Le CORIA assume bien son rôle de pôle de recherche régional en Ingénierie, et se retrouve au cœur de toutes les opérations de structuration de la recherche locales. Plusieurs de ses membres occupent des positions de haute responsabilité dans les établissements d'enseignement supérieur (Présidence de l'Université de Rouen), ou dans les instances régionales (DRRT). Le CORIA s'est ainsi retrouvé au centre du CPER, dont l'incidence financière s'est révélée très importante pour le laboratoire. Le laboratoire à cette occasion a piloté la fédération de recherche IEPE visant à renforcer les interactions entre les laboratoires de la Région Haute-Normandie. Cette fédération a fonctionné correctement, mais n'a pas réussi à modifier le paysage local de manière significative, en partie à cause de l'éparpillement géographique des équipes.

D'une manière générale, la stratégie du laboratoire s'inscrit majoritairement dans une logique régionale, ce qui est compréhensible compte tenu de sa situation quasi-hégémonique et de la pression de ses établissements de tutelle. Cependant, le CORIA gagnerait à afficher une plus grande proximité avec les centres d'excellence parisiens. Les liens avec l'ECP sont anciens, mais on n'identifie pas nettement d'autres collaborations. Le CORIA peut et doit être un des moteurs d'un Axe « Seine » dans le schéma général du développement de la recherche en Ile de France.

L'Unité s'est réorganisée en 2008 en trois Départements (DER, TASC, DOL), eux-mêmes constitués de deux à trois groupes thématiques. Si l'on retrouve en filigrane l'organisation précédente en thèmes scientifiques, force est de constater qu'avec cette nouvelle structure, les recherches menées au laboratoire gagnent en lisibilité. La mise en place de ces départements est trop récente pour en juger les effets avec suffisamment de recul, mais l'impression générale laissée par la visite est que cette organisation recueille une large adhésion des personnels du laboratoire, et en contrepartie suscite une véritable attente en termes de synergies internes. Certaines activités, comme l'Optique, y ont gagné en visibilité, en cohérence et également en sérénité.



L'animation scientifique apparaît très dynamique, avec des structures comme le Conseil scientifique de l'Unité, et l'observatoire des thèses, qui montre l'importance accordée aux doctorants dans l'Unité. Les séminaires internes et le colloque des doctorants rythment la vie scientifique de l'Unité. En revanche, les séminaires externes ne sont pas organisés au niveau de l'Unité, ce qui devra sans doute être corrigé. La communication interne et externe du laboratoire est bien organisée, avec en particulier la diffusion de la CORIA-Lettre.

La gouvernance de l'Unité s'appuie largement sur les instances du laboratoire et s'attache à la bonne mutualisation des moyens. Le rôle des ITA et BIATOSS est particulièrement crucial dans l'Unité, et le comité de visite a pu apprécier le professionnalisme et l'implication du personnel technique et administratif du CORIA. L'existence de services mutualisés pour l'ensemble des chercheurs est incontestablement une réussite qu'il faudra conforter.

Sur le plan de la formation, le CORIA est force de proposition pour de nombreux enseignements, à l'INSA et à l'Université, mettant à profit son fort positionnement sur les grands enjeux industriels et économiques, comme l'Energie, la Propulsion ou l'Environnement.

- **Appréciation sur le projet :**

Le CORIA présente un projet avec les mêmes contours que pour le bilan de l'Unité. Le projet scientifique affiche ainsi une continuité logique avec le précédent quadriennal, tout en proposant des développements nouveaux et intéressants, qui sont discutés dans la suite de ce rapport. Les orientations visent à conforter le rôle des nouveaux départements de recherche, et à mettre en place des projets structurants pour l'Unité. La plateforme Diagnostics Avancés en Fluides et Matériaux, proposée en Equipex, à vocation plus régionale, serait un bel aboutissement des travaux du CORIA dans le domaine. Le pôle simulation numérique traduit la nécessité d'avoir encore plus de mutualisation dans le domaine, au niveau des outils et des méthodes. Les ambitions du laboratoire dans l'appel à projet Investissements d'Avenir sont grandes mais légitimes.

4 • Analyse équipe par équipe et/ou par projet

Département : « Ecoulements réactifs »

Responsable : Luc VERVISCH

Le Département Ecoulements Réactifs résulte du regroupement des thèmes Combustion, Plasmas et Pollution atmosphérique, sources et impacts, du précédent quadriennal en une seule entité organisationnelle. Ces thèmes se retrouvent, avec des évolutions significatives, dans les trois groupes de recherche thématiques définis au sein du Département ER : GT1 (analyse expérimentale de la combustion), GT2 (modélisation et simulation numérique de la combustion), GT3 (Physico-Chimie des milieux plasmas). La réunion de ces composantes historiques du laboratoire constitue un ensemble scientifiquement cohérent de masse critique, comparable aux principales équipes européennes en combustion, avec 23 enseignants-chercheurs et chercheurs et 2 ingénieurs. Globalement, la production scientifique est excellente tant en quantité qu'en qualité, avec 110 articles dans des revues à comité de lecture. La visibilité internationale est attestée par 25 conférences invitées sur la période examinée. Le Département est au cœur des préoccupations actuelles en matière d'Energie, et se trouve très sollicité par les grands groupes industriels. Il est également très présent au niveau de l'ANR et des grands programmes nationaux et européens. On détaillera dans ce qui suit le bilan de ses groupes thématiques.

Groupe GT1 : Analyse expérimentale de la combustion

Le groupe est composé de 11 enseignants chercheurs (12 dans le projet), de 3 chercheurs CNRS (2 dans le projet) et 1 ingénieur contractuel. Il accueille 31 doctorants et 5 post-docs, pour 8 HDR. Il est composé d'expérimentateurs, dont les activités de recherche reposent sur la compréhension, la caractérisation et la maîtrise de la combustion appliquée aux moteurs à combustion interne de type automobile, aux moteurs aéronautiques et aux brûleurs industriels.



Les thématiques de recherche, réunies selon trois axes, offrent un panorama assez vaste : étude des flammes, allumage d'un mélange à la propagation, acoustique et contrôle de la combustion, combustion des milieux fortement dilués, et études relatives aux incendies.

L'ensemble des études du groupe présente deux points communs : l'utilisation de diagnostics optiques sophistiqués, et l'existence de dispositifs expérimentaux lourds, qui nécessitent une activité contractuelle suffisante pour être maintenus.

Les publications du groupe ciblent les meilleures revues de la discipline, toutefois le nombre sur la période, calculé sur la base des revues ACL, apparaît assez modeste au regard du potentiel humain, avec environ 0,6 publication par an et par chercheur. Tous les chercheurs du groupe sont produisant. Les doctorants sont inclus dans les publications et sont tous auteurs d'au moins une revue à comité de lecture.

Le groupe entretient des liens très forts avec les EPST et les grands groupes industriels, ce qui donne pour la période la participation à 9 contrats ANR. Le nombre de contrats industriels est très important (plus de 30 rapports en 4 ans), et les partenariats s'inscrivent dans la durée, grâce notamment à la forte implication du groupe dans le pôle de compétitivité Mov'eo. Cependant, on ne note qu'un seul dépôt de brevet.

Il a su recruter trois nouveaux Maîtres de conférences venant d'autres laboratoires de combustion, ce qui dénote une attractivité certaine. Un autre élément de rayonnement est la participation à 3 programmes européens.

Les membres du groupe s'impliquent fortement dans la vie du laboratoire et les activités universitaires, avec souvent des responsabilités importantes.

Groupe GT2 : Modélisation et simulation numérique de la combustion

Le groupe « Modélisation et Simulation Numérique de la Combustion » est composé de deux chercheurs CNRS, trois enseignants-chercheurs et d'un ingénieur contractuel. Une vingtaine de doctorants et trois post-doctorants ont participé aux travaux de cette équipe de recherche sur la période concernée par l'évaluation.

Le groupe Modélisation et Simulation Numérique de la Combustion est plus spécialement tourné vers la combustion turbulente. Les pistes principales de simplification se déclinent en trois points principaux : la réduction de la complexité des phénomènes chimiques, le développement et/ou l'amélioration de codes de simulation directe et aux grandes échelles, le développement de modèles de transport et de combustion de sous-maille. Le groupe a développé dans ce but des outils de calcul innovants, tirant un profit maximum des machines de calcul les plus puissantes disponibles en France et à l'étranger. Ces travaux débouchent naturellement sur de nombreuses collaborations avec le secteur industriel dans les domaines de l'aéronautique, de l'automobile ou des brûleurs industriels.

La production scientifique est de grande qualité, et importante avec 1.5 publications dans les revues internationales par an et chercheur, et un bon nombre de conférences invitées dans les colloques internationaux. On note néanmoins que cette production repose principalement aujourd'hui sur les deux seniors du groupe. Cette situation devrait rapidement évoluer suite aux recrutements récents. La plupart des doctorants sont auteurs d'un article dans une revue.

Les travaux débouchent naturellement (ou sont parfois directement motivés par) de nombreuses collaborations avec le secteur industriel dans les domaines de l'aéronautique, de l'automobile ou des brûleurs industriels. On compte 11 contrats (ANR, industriels, PCRD, IFP...) au sein de l'équipe et plusieurs autres en collaboration avec le groupe « Plasmas » et le groupe « études expérimentales »

La reconnaissance acquise par le groupe tant dans la communauté internationale de la combustion que dans le monde industriel doit être saluée. Ce groupe, bien que relativement resserré sur le plan quantitatif, joue en effet un rôle de premier plan au niveau mondial dans le développement des méthodes de calcul des écoulements turbulents réactifs. Cela est confirmé par plusieurs conférences invitées et des relations étroites avec d'autres centres d'excellence, en France et à l'étranger (Centre sur la Turbulence de l'Université de Stanford).



Groupe GT3 : Physicochimie des milieux plasmas

Malgré la taille modeste de l'équipe (3 ES et 1 chercheur CNRS), les travaux effectués sont nombreux et de qualité ; il s'agit d'une recherche de pointe qui s'appuie sur un parc remarquable d'installations expérimentales et d'instruments de diagnostic. Les travaux concernent à la fois des plasmas fortement hors d'équilibre (plasmas froids impulsions) et des plasmas thermiques ou quasi-thermiques (arcs, torches à plasma, LIPS), alors que les études sur les plasmas de rentrée atmosphérique concernent des milieux en déséquilibre modéré. Les compétences sont donc très diverses.

Les recherches développées sur les décharges impulsives hors d'équilibre couvrent différents types d'applications, en particulier la destruction des composés organiques par décharges HT ultra courtes et l'allumage des mélanges réactifs.

L'ensemble de ces activités se traduit par un excellent taux de publication, puisque l'on note 41 publications dans les revues internationales sur la période, soit environ 2.3 publications par chercheur et par an. Le groupe est bien présent dans la communauté nationale, via des contrats ANR ou avec le CNES et l'ESA sur les propriétés des plasmas de rentrée. On note aussi des contrats avec la SNECMA, en collaboration avec le groupe GT1. La reconnaissance du groupe est attestée par les colloques et rencontres organisés par l'équipe.

Les projets de recherches sont intéressants et pertinents, que ce soient ceux liés aux plasmas de rentrée, qui permettent à l'équipe d'avoir un créneau de recherche tout à fait original et une visibilité au niveau européen, aux procédés qui peuvent être très complémentaires de l'activité de l'Unité dans le domaine de la combustion (allumage assisté par plasma et procédés de dépollution).

- **Appréciation sur le projet du Département Ecoulements Réactifs :**

Compte tenu de sa création récente, le projet du Département n'est encore que la collection des projets des groupes thématiques, et l'on espère voir émerger rapidement une véritable politique d'ensemble. Ceci dit, les projets proposés sont dans la continuité des précédentes études mais ciblent très pertinemment un certain nombre de thèmes porteurs dans lesquels le CORIA peut revendiquer un leadership. Citons la mésocombustion, la combustion sans flamme, la dilution par le CO₂, les mélanges stratifiés, ainsi que les stratégies de stabilisation de flammes. La simulation numérique de la combustion reste un enjeu considérable, et les développements vers la combustion diphasique et cryotechnique sont très pertinents. La diffusion du code YALES2 dans la communauté est une initiative intéressante. Les projets sur les plasmas de CO₂ apparaissent bien positionnés, l'ouverture sur les plasmas de bord d'ITER est intéressante, mais les moyens humains de GT3 étant limités il faudra sans doute faire des choix.

- **Conclusion :**

- **Avis :**

Le regroupement des activités en combustion et en plasmas au sein d'une même entité confère une identité très forte au Département Ecoulements Réactifs qui s'affirme comme un pôle incontournable en combustion. La coexistence de compétences de très haut niveau tant dans le domaine des diagnostics optiques que des simulations numériques est unique en France, et met ce département au niveau des meilleures équipes internationales. La création du département est cependant récente et sa notoriété repose encore essentiellement sur celle des équipes et des individualités qui le composent. Il s'agira donc pour le futur de favoriser les interactions entre les trois groupes thématiques afin que le tout dépasse la somme des parties. Dans le détail, GT1 est historiquement très reconnu pour son expertise en combustion expérimentale via les diagnostics optiques, qui servent également à développer de nouvelles applications. Il existe une bonne synergie entre les trois grandes thématiques abordées par les chercheurs de ce groupe, même si l'association entre combustion en milieu dilué et incendie semble un peu artificielle. Le Groupe GT2 s'avère très actif et à fort rayonnement international. Il est actuellement en expansion, suite à des recrutements judicieux de jeunes chercheurs. GT3 est un petit groupe qui a une activité tout à fait originale au sein de l'Unité, avec d'une part une activité spécifique et reconnue sur le plan international sur les plasmas de rentrée atmosphérique et d'autre part des recherches expérimentales et numériques sur des procédés qui intéressent les recherches en combustion faites par ailleurs dans l'unité.



▪ Points forts et opportunités :

Le Département rassemble des compétences uniques sur les moyens de diagnostics optiques en combustion, sur la structure et la dynamique des flammes, sur la simulation numérique de la combustion et sur les applications des plasmas. Son créneau scientifique sera encore très porteur de nombreuses années. Il a su acquérir une forte reconnaissance nationale et internationale.

▪ Points à améliorer et risques :

La production scientifique, globalement excellente, est répartie inégalement entre les chercheurs et les GT. Ceci est particulièrement sensible pour GT1. Le Département, en tant que nouvelle structure, devra trouver sa propre dynamique en favorisant et organisant les synergies entre ses GT. Si l'évolution démographique est bonne pour GT1 et GT2, elle risque de devenir critique pour GT3 après le départ à la retraite du DR CNRS qui s'annonce, en particulier pour ses collaborations avec les autres groupes du Département.

▪ Recommandations :

Groupe GT1 : Si la qualité de la production scientifique ne fait aucun doute, la quantité pourrait être renforcée par une meilleure valorisation des nombreux résultats obtenus. On peut aussi s'interroger sur la pertinence d'aller jusqu'à l'utilisation d'un moteur à accès optiques : le groupe jouit déjà d'une large reconnaissance par les industriels grâce ses compétences sur la combustion dans des conditions proches de celles que l'on rencontre dans un moteur réel, tout en sachant en maîtriser les paramètres et n'a gère besoin d'être plus tiré vers l'aval. Enfin, il serait bon d'associer les chercheurs travaillant sur la thématique « incendie » aux différents projets du groupe

Groupe GT2 : Le groupe a une activité intense avec les partenaires industriels. Il faudra qu'il veille à conserver dans l'avenir l'équilibre qu'il a aujourd'hui entre recherche à caractère fondamental sur les interactions combustion - turbulence - cinétique chimique, et leur modélisation, et les aspects plus appliqués concernant le développement de codes de calculs de plus en plus puissants et applicables à des ensembles de phénomènes de plus en plus complexes. Au vu de ses compétences, et sa force d'action le groupe doit pouvoir envisager de développer de façon fructueuse les collaborations internes, avec le département « TASC » en particulier (combustion dans les écoulements diphasiques ou dans les écoulements super critiques, ...)

Groupe GT3 : Les approches scientifiques adoptées pour traiter les problèmes sont variées puisqu'elles sont d'ordre théorique, expérimental ou numérique. Il est évidemment souhaitable que ces équilibres soient préservés dans l'avenir, peut être au prix d'une diminution du nombre d'études engagées.

4.1 Département « Turbulence, Atomisation, Sprays et Chaos (TASC) »

Responsable : Christophe DUMOUCHEL

Ce département se compose de 3 groupes, GT4 Turbulence et mélange (animatrice: Luminita Danaila), GT5 Atomisation et sprays (animateur: Francois-Xavier Demoulin) et GT6 Dynamique des systèmes en bio-médecine (animateur: Christophe Letellier).

Le département TASC est constitué de 16 chercheurs permanents: 5 professeurs, 3 directeurs de recherche CNRS, 7 maîtres de conférences (dont 3 HdR) et 1 chargé de recherche (HdR). Durant le quadriennal, 44 doctorants et 13 post-doctorants ont aussi fait partie de l'équipe. Parmi les doctorants, on compte 23 étudiants actuels et 19 étudiants qui ont défendu leur thèse pendant le quadriennal. Ceci représente une moyenne de 2.75 doctorants et 0.81 post-doctorant par chercheur permanent sur les quatre dernières années.

L'objectif de ce département est l'étude des écoulements et systèmes complexes, y compris les instabilités, la turbulence, le mélange et les écoulements multiphasiques, particulièrement dans le contexte de l'atomisation.



Les études couvrent l'aspect fondamental aussi bien que la recherche appliquée, et utilisent un nombre de méthodes scientifiques comprenant non seulement des méthodes expérimentales fines mais aussi de la simulation numérique à haute performance et des approches théoriques qui incluent des analyses non linéaires et statistiques et des approches multi-échelles. La suite de ce rapport est organisée selon les groupes thématiques.

GT4 Turbulence et mélange

Ce groupe a une place naturellement importante dans un laboratoire principalement centré sur la combustion. Tous ses chercheurs permanents sont actifs, voire très actifs, en termes de recherche.

L'objectif de ce groupe thématique est l'analyse physique des écoulements turbulents et du mélange, ceci dans un large spectre de situations physiques. Si les écoulements réactifs sont assez peu présents, les écoulements incompressibles et compressibles, éventuellement hétérogènes en densité ou à viscosité variable sont considérés.

Dans ce contexte, on soulignera la volonté de ce groupe de s'intéresser à la structure du mélange dans des situations modèles représentatives de ces classes d'écoulements. La caractérisation des champs fluides et de mélange est alors traitée dans ses aspects cinématiques couplés et dans ses aspects dynamiques, en produisant une analyse statistique des paramètres pertinents pour le mélange et le micro-mélange. Dans la grande tradition du CORIA, on notera la dynamique commune entre les développements théoriques et les approches expérimentales fines, mettant en œuvre les techniques les plus modernes, en liaison d'autres chercheurs dans le département « écoulements réactifs ». Par contre, les approches numériques sont quasi uniquement dédiées aux écoulements compressibles sans interaction avec le reste du groupe.

Sans remettre en cause la qualité des recherches menées et l'activité de publication à haut niveau de certains des membres de ce groupe, on souligne ici qu'il a été difficile de percevoir la structuration et les interactions des travaux des différents chercheurs. Certains n'ont pas ou très peu de publications cosignées avec les autres membres permanents de l'équipe.

La capacité de description fine de la structure des écoulements (libres ou confinés), de leurs propriétés à grande et petite échelle et du mélange est un point fort important reconnu internationalement. De plus, la volonté affichée d'intégrer l'utilisation du code compressible « choc wave » dans les développements théoriques sur la modélisation de la dissipation en écoulement à viscosité variable paraît un élément de cohésion future. Le développement de la simulation de la turbulence compressible en milieu confiné semble également être un axe porteur. Finalement, lors des actions de développement de nouvelles techniques de mesures en collaboration avec d'autres axes du laboratoire, on a l'impression que l'impact majeur de ce groupe doit plus se concentrer sur l'analyse physique fine.

GT5 Atomisation et sprays

Les recherches conduites dans ce groupe traitent de la modélisation des sprays depuis l'intérieur des systèmes d'injection jusqu'à la combustion. Elles s'appuient sur de la simulation numérique, des approches expérimentales et théoriques. L'amélioration de la compréhension des processus physiques intervenant au cours de l'injection du carburant et leur modélisation sont incontournables pour l'optimisation des foyers des systèmes propulsifs afin de réduire la consommation et les émissions polluantes.

La simulation numérique de l'injection depuis l'amont de l'injecteur jusqu'à la combustion est maintenant abordée par des approches du type LES et l'absence de modèles de fragmentation primaire pose des problèmes au niveau de la représentativité des interactions entre phases. Il est donc maintenant crucial de modéliser ce chaînon manquant.

Les travaux de simulation numérique directe menés dans ce groupe sur l'atomisation de jets liquides sont d'un très haut niveau scientifique (parmi le ou les meilleurs à l'échelle mondiale). Le CORIA a tous les atouts pour être le leader dans ce domaine, et pour devenir le premier laboratoire à réaliser un injecteur virtuel. Il dispose de techniques expérimentales permettant la caractérisation de milieux très denses. Les banques de données expérimentales associées à celles obtenues par des mesures virtuelles sur des résultats de DNS (projet ADOS) seront être mises à profit pour la validation de modèles d'atomisation primaire.



GT6 Dynamique des systèmes en biomédecine

Ce groupe s'est constitué à partir de compétences acquises antérieurement au CORIA à propos de l'analyse, par systèmes dynamiques, de signaux complexes. La construction d'un système dynamique, continu ou discret, à partir de séries expérimentales fournit un modèle, lequel met alors en évidence le caractère déterministe sous-jacent à ces données expérimentales. Le modèle peut être ensuite exploité à des fins de prédiction ou de contrôle.

Au cours de ces dernières années l'équipe a pris délibérément l'orientation biomédicale, ce qui lui donne le statut d'équipe «émergente» au sein du CORIA.

Sa composition est réduite à trois personnes, lesquelles assurent, de surcroît, d'importantes responsabilités pédagogiques. L'équipe comporte une demi-douzaine de doctorants ou post-doctorants. Par ailleurs, elle a la responsabilité d'animer le GdR 2984, «Dynamique et Contrôle des Ensembles Complexes» (DYCOEC), ainsi que la co-organisation des rencontres annuelles du non-linéaire à l'IHP.

Pour ce qui est des champs d'application, ce groupe mène une collaboration suivie avec le Service de Pneumologie de l'Hôpital de Bois-Guillaume. Les études concernent l'analyse des interactions patient-ventilateur dans le cadre de la ventilation non-invasive. Ces applications dans le domaine de l'ingénierie médicale procurent au CORIA un nouveau domaine d'application. L'équipe s'intéresse depuis peu à l'identification des événements cardio-respiratoires des nourrissons (afin de prévenir la mort subite), en particulier la dynamique cardiaque. La production scientifique est excellente, avec 35 publications ACL, un brevet et une monographie scientifique.

- **Appréciation sur le projet du Département TASC:**

Le projet du département TASC apparaît solide et réaliste. Nombre d'actions sont dans la continuité du précédent programme, d'autres représentent des ouvertures originales. L'évolution du code ARCHER vers les méthodes de frontières immergées est une excellente idée qui permettra de calculer l'aérodynamique interne et externe d'un injecteur, ce qui serait une première. Le couplage de la simulation de l'atomisation en DNS et du développement du spray en LES est aussi une piste prometteuse. Ces thématiques pourront bénéficier lieu à des compétences de DOL pour la validation expérimentales. La turbulence à viscosité variable est un champ original assez peu couvert et très pertinent pour les applications à la combustion. La turbulence compressible offre également encore beaucoup de questions non résolues.

- **Conclusion :**

- **Avis :**

Ce département peut s'appuyer sur des équipes à forte reconnaissance nationale et internationale. Il est au meilleur niveau mondial sur la simulation de l'atomisation de jets liquides, et de brouillards de gouttes évaporantes. Il possède une excellente expertise sur les écoulements turbulents, qu'il lui faudrait encore mieux exploiter en interne. L'activité sur les systèmes dynamiques s'est fortement recentrée sur la biomédecine, et porte sur un créneau applicatif pointu mais important. Là encore, la restructuration récente du CORIA en départements ne permet pas encore d'en mesurer l'effet sur la dynamique interne, mais les composantes du département présentent une excellente production, des perspectives de développement très prometteuses, et sont maintenant dans une configuration qui leur permettra d'aborder plus efficacement les nombreux défis scientifiques qu'elles se sont fixés.

- **Points forts et opportunités :**

L'atomisation, et plus généralement la préparation du mélange avant allumage, est un point fort historique du CORIA, que le département reprend à son compte. Les enjeux industriels associés à cette thématique sont considérables. Les compétences en simulations numériques des interfaces sont au meilleur niveau international.



▪ Points à améliorer et risques :

Le département doit trouver sa personnalité, au-delà de l'excellence de ses équipes. La préparation du mélange est un thème fédérateur qui reste encore à organiser. La cohésion interne du GT4 est à améliorer, tous les talents doivent pouvoir s'exprimer. Le GT6 est thématiquement assez découplé du reste, ce qui n'est pas un problème tant qu'il est clairement intégré dans la politique scientifique et de répartition des moyens de TASC.

▪ Recommandations :

Il faudra certainement renforcer le potentiel humain autour des recherches théoriques sur l'atomisation primaire, les milieux diphasiques denses et les régimes de combustion en écoulement diphasique.

Les phénomènes très complexes mis en jeu demandent des efforts de recherche conséquents pour atteindre l'objectif d'une simulation numérique complète des sprays en combustion. Une forte synergie entre les groupes et les trois départements est à encourager pour atteindre cet objectif.

Les recherches en Turbulence sont très actives et d'excellente qualité. Cependant, c'est sur l'unité et la complémentarité des travaux et approches que devraient porter les efforts de ce groupe. Il devra aussi afficher une spécificité plus nette dans la communauté déjà vaste de la Turbulence, et la turbulence de fluides à propriétés variables semble être une bonne enseigne.

L'équipe « Biomédecine » possède indéniablement une thématique scientifique très originale, mais qui repose sur le dynamisme et le rayonnement d'un seul chercheur. A l'heure où la plupart des laboratoires de mécanique des fluides s'ouvrent sur les applications à la Santé et aux Biosciences, le CORIA devra envisager le renforcement de cette équipe émergente qui risque à terme de se trouver marginalisée dans l'Unité.

4.2 Département Optique et Lasers (DOL)

Responsable : Gérard GREHAN

Le département Optique et Lasers (OL) regroupe deux équipes existantes travaillant dans les domaines de l'interaction laser-particules, des diagnostics en milieux denses et du développement de sources laser. Il est constitué de 10 enseignants-chercheurs plus un professeur émérite, 1 DR CNRS, et accueille une douzaine de doctorants pour 6 HDR. Les thématiques de recherche sur la métrologie des particules et des milieux denses associant une grande maîtrise théorique et numérique et un savoir-faire expérimental très pointu sont originales, pertinentes et très bien reconnues internationalement. L'objectif affiché du département qui est de constituer un pôle de référence international en diagnostics optiques de milieux diphasiques est ambitieux mais légitime. Par ailleurs, le développement de sources femtoseconde par fibre optique est original et l'équipe a déjà levé des verrous scientifiques et technologiques.

Les publications du département DOL dans des revues internationales sont globalement très satisfaisantes voire excellentes, par leur qualité et leur nombre, même si on observe des fortes disparités dans les taux de publication des enseignants-chercheurs. Il faut toutefois remarquer un nombre faible de thèses soutenues.

Une bonne partie du département développe des recherches relativement fondamentales, de sorte qu'on dénombre assez peu de collaborations industrielles directes.

Plusieurs chercheurs du département ont une renommée scientifique bien établie comme en témoignent les conférences invitées présentées dans différentes manifestations. Le succès aux appels d'offre de type ANR est indéniable et le département participe à 4 projets européens. Il faut enfin noter au niveau régional un projet soutenu par le pôle de compétitivité à vocation mondiale Mov'eo et au niveau international une collaboration soutenue avec la Chine, pourvoyeuse de doctorants chinois de bon niveau scientifique.



Groupe GT7 : Interaction lumière-particules

En ce qui concerne plus particulièrement le groupe GT7, ses forces résident dans la maîtrise complète de l'ensemble de la chaîne de mesure, ceci pour des techniques explorées extrêmement exigeantes en termes de précision. Il est fait une utilisation complémentaire de la théorie, de la simulation à divers niveaux de simplification et de l'expérimentation. Parmi les éléments notables du bilan, on notera l'implication dans le développement de l'holographie numérique étendue à des écoulements confinés ou à des gouttes d'indices et d'absorption quelconques. On soulignera également l'élaboration d'une nouvelle méthode de mesure de la température moyenne et des gradients d'une goutte de faible taille en évaporation/en combustion par couplage de deux techniques optiques (LIF et Arc-en-ciel).

Groupe GT8 : Sources laser et diagnostics en milieux denses

Le groupe GT8 présente deux types d'activités distinctes mais complémentaires à terme. Le développement de lasers femtoseconde à fibre et à haute puissance, est original et s'appuie sur un savoir-faire quasi unique de l'équipe qui a conduit à établir un record de performance pour ce type de dispositif.

Les autres recherches, plus nombreuses, concernent l'étude de l'interaction entre la lumière et des ensembles de particules, ces derniers objets se rencontrant dans de nombreuses applications industrielles. Les techniques proposées de diagnostic, fondées sur l'utilisation d'impulsions ultra-courtes sont très originales et trouvent leur pertinence dans la diversité des configurations étudiées et à travers une démarche rigoureuse associant un volet numérique à un large éventail d'expériences dont certaines sont de conception nouvelle.

- **Appréciation sur le projet du département DOL :**

D'un point de vue purement scientifique le projet du département DOL apparaît bien construit et pertinent, en s'appuyant sur les fortes compétences des groupes. Commune à l'ensemble du département, la maîtrise de la technique femtoseconde, qui permettra de s'affranchir de la diffusion multiple, sera un atout supplémentaire pour la caractérisation d'une goutte/particule ou amas en milieu très dense et en régime fortement instationnaire. Cette technique sera aussi étendue à la mesure de nanoparticules (suie par exemple). Les coopérations entreprises au niveau national, européen et international rendent ce projet femtosecondes très porteur pour l'avenir. Des choix devront toutefois certainement être nécessaires parmi les nombreuses pistes ouvertes. Ainsi au sein du GT7 les thèmes « microfluidique » (appréhendé par holographie numérique et pour des particules ayant des propriétés physiques très variées), « thermochimie des milieux dispersés », ainsi que « diagnostics résolus en temps » nous paraissent porteurs et importants pour le CORIA. Au sein du GT8 le développement des « techniques innovantes avec des impulsions ultra brèves » est bien sûr un axe très pertinent. La spécificité de l'équipe sur la conception et le développement d'un laser femtoseconde à fibre doit également être encouragée bien que ce soit un projet à risque. Enfin les liens du groupe avec les partenaires industriels et avec les quatre groupes du CORIA doivent être recherchés et privilégiés.

- **Conclusion :**

- **Avis :**

Le département rassemble deux équipes dont les thématiques scientifiques sont très mêlées, et qui constitue un ensemble unique en France de compétences allant de l'Optique théorique aux diagnostics dans les milieux diphasiques et la combustion. Lorsque la synergie entre les deux composantes GT7 et GT8 sera réalisée, ce département, qui brasse beaucoup d'idées nouvelles sur les diagnostics optiques, jouera sans doute un rôle déterminant dans l'élaboration de l'instrumentation du futur, dans les milieux dispersés denses mais aussi les écoulements à petite échelle.



▪ Points forts et opportunités :

Un point fort incontestable est l'excellence internationale sur divers aspects liés aux diagnostics optiques de milieux diphasiques et en particulier la maîtrise théorique, numérique et expérimentale de la conception de lasers femtoseconde et de leurs utilisations dans des méthodes sophistiquées de diagnostic.

Malgré un effectif réduit, ce groupe a le potentiel de conduire à un très bon niveau scientifique un projet de développement d'un nouveau type de diagnostic depuis les recherches amont jusqu'à l'application. Enfin, la plateforme de diagnostics optiques FIAG-DM, et la création d'une filière de formation en Ingénierie vont renforcer l'attractivité de l'équipe.

▪ Points à améliorer et risques :

Le Département fait preuve de beaucoup de créativité et occupe un créneau scientifique porteur. Il en résulte en contrepartie une certaine dispersion des activités.

On note également le faible nombre de doctorants et de thèses soutenues. Enfin, compte tenu du caractère très pointu des techniques optiques mises en oeuvre, le besoin de recrutement d'ingénieurs est manifeste.

▪ Recommandations :

L'ensemble du département affiche une double volonté de collaborer, d'abord à l'intérieur du département lui-même issu de plusieurs petites équipes, et en parallèle, avec les autres groupes du CORIA. Le nouveau découpage du laboratoire en départements est très récent et des premiers résultats dans cette voie de coopération peuvent être notés. Cependant au vu du découpage qui apparaît quelque peu arbitraire entre les groupes GT7 et GT8, et du positionnement central intéressant de ce département par rapport aux autres groupes du laboratoire, un effort tout particulier devra être réalisé dans le cadre du projet du département DOL au cours du prochain contrat, pour dégager les axes essentiels et cimenter davantage les activités du groupe et pour favoriser les échanges avec les autres équipes du CORIA.



Intitulé UR / équipe	C1	C2	C3	C4	Note globale
Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie	A+	A+	A+	A+	A+
Ecoulements réactifs	A+	A+	Non noté	A+	A+
Turbulence, atomisation, sprays et chaos	A+	A+	Non noté	A+	A+
Optique et lasers	A+	A+	Non noté	A	A+

C1 Qualité scientifique et production

C2 Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement

C3 Gouvernance et vie du laboratoire

C4 Stratégie et projet scientifique

Statistiques de notes globales par domaines scientifiques (État au 06/05/2011)

Sciences et Technologies

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

Intitulés des domaines scientifiques

Sciences et Technologies

ST1 Mathématiques

ST2 Physique

ST3 Sciences de la terre et de l'univers

ST4 Chimie

ST5 Sciences pour l'ingénieur

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

Rouen, le 31 mars 2010

Le Président

À

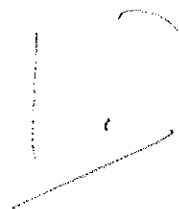
Monsieur Pierre Glorieux
Directeur de la section des unités de recherche
Section 2-AERES
20, rue Vivienne
75 002 Paris

Réf. : S2UR 120001253-Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie-0761904G-

Monsieur,

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint les réponses formulées par le directeur de l'unité de recherche CORIA à l'évaluation faite par l'AERES.

Veillez recevoir, Monsieur le Directeur, l'assurance de ma considération distinguée.



Pour le Président

Cafer ÖZKUL



Réponse au rapport du Comité AERES du Laboratoire CORIA-UMR6614

La direction du CORIA et l'ensemble du personnel du laboratoire remercient les membres du Comité d'Évaluation et le représentant de l'AERES pour la qualité des analyses et de l'intérêt manifesté par tous les experts aux différentes activités du laboratoire. Le rapport rend fidèlement compte des activités des équipes, du fonctionnement de l'unité, de l'état d'esprit des membres du laboratoire et de son positionnement national et international.

Les membres du laboratoire ont tout particulièrement apprécié les recommandations du comité liées au renforcement de certaines thématiques théorique (écoulements diphasiques et optique) ainsi qu'à sa stratégie de positionnement par rapport à l'Île de France.

Concernant la première recommandation, le renforcement des aspects théoriques des recherches des trois départements constituant l'Unité est une des priorités du laboratoire. Dès la rentrée universitaire 2012, un Professeur des Universités sera recruté sur un poste affecté par l'Université de Rouen pour le renforcement des activités dans le domaine des écoulements diphasiques.

D'un point de vue du positionnement du laboratoire au niveau national et notamment vis à vis des projets structurants en Île de France, le CORIA fait partie des projets structurants de l'axe Seine. Il est identifié comme le laboratoire spécialisé en Diagnostics et Simulation des écoulements diphasiques et des fluides réactifs tout comme le laboratoire EM2C de l'ECP. L'implication du CORIA dans les pôles de compétitivités MOVEO, ASTech et le réseau INCA monte clairement la place centrale du laboratoire dans les domaines de la formation et de la recherche scientifiques.

Les propositions exprimées par l'Unité dans le cadre des appels à projets 'Investissement d'avenir' dans les volets 'Équipements d'Excellence' et 'Laboratoires d'excellence' répondent à cette préoccupation de positionnement national et international. Le CORIA fait partie du Labex EMC3 'Energy for Materials and Clean Combustion Center' regroupant les laboratoires Normands sur les thématiques des matériaux pour l'énergie et la combustion propre retenu dans le premier appel à projet.

La direction du Laboratoire considère ce rapport d'évaluation comme un outil précieux pour le pilotage de l'Unité.

Je vous prie d'agréer, cher collègue, l'expression de mes sincères salutations.

Saint Etienne du Rouvray, le 29 mars 2011.

M.A. Boukhalfa
Directeur du CORIA UMR-6614

