



# DEC - Département d'Études des Combustibles

## Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. DEC - Département d'Études des Combustibles. 2011, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - CEA. hceres-02030237

**HAL Id: hceres-02030237**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02030237>**

Submitted on 20 Feb 2019

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

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



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur  
l'unité :

Département d'Etudes des Combustibles (DEC)

sous tutelle des  
établissements et organismes :

Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies  
Alternatives (CEA)

Mars 2011



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

Section des Unités de recherche

## Rapport de l'AERES sur l'unité :

Département d'Etudes des Combustibles (DEC)  
sous tutelle des  
établissements et organismes :

Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies  
Alternatives (CEA)

Le Président de l'AERES

**Didier Houssin**

Section des unités  
de recherche

Le Directeur

**Pierre Glorieux**

Mars 2011



# Unité

Nom de l'unité : Département d'Etudes des Combustibles

Label demandé :

N° si renouvellement :

Nom du directeur : M. Philippe BROSSARD

# Membres du comité d'experts

Président :

M. Habibou MAITOURNAM, Ecole Polytechnique, Palaiseau

Experts :

M. Patrick BLANPAIN, AREVA NP, Lyon

M. Patrick DAVID, CEA/DAM, Monts

M. Jean-Marc HEINTZ, CNRS-UPR 9048, Bordeaux

M. Rudy KONINGS, European Commission, JRC-ITU, Karlsruhe, (Allemagne)

Mme Agnès SMITH, ENSCI, Limoges

M. Carlo VITANZA, Institut for Energiteknikk, Halden (Norvège)

# Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Christophe GOURDON

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

M. B. BONIN (DEN)

M. A. PORRACHIA (DISN)



# Rapport

## 1 • Introduction

- Date et déroulement de la visite :

La visite du Département d'Etudes des Combustibles (DEC) du CEA s'est déroulée sur le site de Cadarache les 15 et 16 mars 2011. Elle a comporté des exposés généraux (sur la stratégie, la mise en œuvre de la recherche au Centre de Cadarache et la présentation du DEC), les présentations des six axes thématiques du DEC, des visites de laboratoires, des rencontres avec le personnel, les doctorants et la Direction. Plus précisément, les exposés généraux ont été :

- Une présentation de la visite par M. Bernard BONINN),
- La présentation de la stratégie par la Direction d'Objectif (DOB) par M. Alain PORRACHIA (DISN),
- La présentation du centre de Cadarache par M. Philippe BROSSARD, représentant le Directeur du Centre de Cadarache M. MAZIERE,
- la présentation du DEC par M. Philippe BROSSARD (Responsable du Département).

Ensuite dans l'ordre suivant, et sur les deux jours de la visite, ont eu lieu les présentations des six thèmes ci-dessous :

- thème 2 : «la conception des combustibles» par Sylvie PILLON ;
- thème 3 : «les fabrications, caractérisations et mesures de propriétés associées» par Philippe SORNAY ;
- thème 4 : «les irradiations expérimentales» par Daniel PARRAT ;
- thème 5 : a) «la caractérisation des combustibles irradiés» par Jean NOIROT et b) «les analyses chimiques et radiochimiques» par Philippe BIENVENU ;
- thème 1 : «la recherche de base sur les combustibles» par Philippe GARCIA ;
- thème 6 : «la modélisation et la simulation» par Renaud MASSON.

Chacune de ces présentations a été d'une durée de 30 mn (à l'exception de celle du thème 5 qui a duré 45mn) et a été suivie d'une discussion de 30 mn.

Deux laboratoires (le LEFCA et le LECA-STAR) ont été visités par le Comité. Ce dernier a enfin eu des rencontres de 30mn avec des représentants des personnels ingénieurs, chercheurs et techniciens et des représentants des doctorants et post-doctorants. Un entretien final avec la Direction du DEC a clos la visite.

Le comité tient d'emblée à saluer le DEC pour la clarté, la précision et l'exhaustivité des documents relatifs à l'évaluation, qui lui ont été adressés.

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

Au sein de la Direction de l'Energie Nucléaire (DEN) du CEA, le Département d'Etudes des Combustibles (DEC) est chargé des études sur le combustible nucléaire, plus précisément de la conception de ce produit, sa fabrication, sa qualification, sa caractérisation et sa tenue. La spécificité du DEC est donc liée à la réalisation d'un produit. Cette mission passe par une compréhension intime du comportement du combustible, en réacteur dans les situations nomales, incidentelles et accidentelles, mais aussi après la fin de l'irradiation pour le stockage, l'entreposage et le recyclage. Elle exige un travail de modélisation multiéchelle et multiphysique associant expérimentations (notamment



en réacteur) et simulations numériques. Un effort important est mis dans la capitalisation des résultats acquis sur une plateforme mutualisée avec différents partenaires du DEC.

Le DEC compte quatre services :

- le Service d'Analyse et Caractérisation du comportement des combustibles (SA3C) comptant quatre laboratoires,
- le Service Plutonium, Uranium et Actinides Mineurs (SPUA) composé de quatre laboratoires,
- le Service d'Etude et de Simulation du Comportement des Combustibles (SESC) regroupant quatre laboratoires,
- le Service Leca-Star (SLS) comptant trois laboratoires, et une Cellule « Projets » (CP).

Il a été créé en 1990 et est basé à Cadarache. La stratégie de « dénucléarisation des sites urbains » a conduit, à partir de cette date, au transfert à Cadarache de certaines activités des sites de Grenoble et de Saclay. La structure actuelle du DEC date de 2004, avec en 2009 une réorganisation des services SLS et SA3C.

La réflexion menée par le DEC pour son évaluation par l'AERES l'a conduit à regrouper ses activités en six thèmes qui sont ceux présentés dans la section précédente. C'est bien entendu cette présentation thématique qui sera retenue pour l'analyse de la production et du projet.

- **Equipe de Direction**

L'équipe de direction du département comprend le chef de Département et son adjoint, cinq assistants («Qualité, Enseignement, Formation», «Sûreté, Sécurité, Environnement», «RH, Communication» et «Budget») et un secrétariat. Les chefs des quatre services et le responsable de la « Cellule projets » sont rattachés directement à l'équipe de direction. Le DEC compte de l'ordre d'un tiers d'experts dans sa population d'ingénieurs-chercheurs : 32 experts, 17 experts-seniors, 1 qualifiés de directeur de recherche - expert international, et 4 chercheurs habilités à diriger des recherches (HDR).

- **Effectifs de l'unité**

Sur la base du découpage thématique proposé lors de la visite, on aboutit au tableau de répartition suivant :

Thématique	T1	T2	T3	T4	T5	T6	DEC
Ingénieurs-chercheurs	16	13	24	6	31	38	128
Techniciens	1	1	32	1	44	4	83
Doctorants	5	0	9	0	1	1	16
HDR	1	0	1	0	0	2	4



Sur la base des formulaires déposés à l'AERES, il est possible de renseigner le tableau au format classique de l'AERES, les personnels étant affectés à la ligne N2 (EPIC) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	158	158
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaire 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	164	164
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	16	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	4	

L'écart sur les chiffres des effectifs entre les 2 tableaux (par exemple 128 ingénieurs-chercheurs dans le premier contre 158 dans le second) provient du fait que certains personnels sont considérés comme hors thématiques, du fait de leur affectation à d'autres actions, comme notamment des opérations d'assainissement ou de démantèlement.

## 2 • Appréciation sur l'unité

- Avis global sur l'unité

L'avis global sur l'unité est très favorable. Les équipes du DEC ont des compétences techniques et scientifiques solides, et un fort potentiel d'innovation et d'expertise ; elles montrent un dévouement et un enthousiasme appréciables. La qualité des travaux y compris des thèses de doctorat est élevée. La production scientifique est bonne, même si la part d'articles dans les revues à comité de lecture devra être accrue. Le DEC dispose aussi d'installations de haut niveau voire uniques dont certaines doivent être promues au niveau international. Les équipes sont de premier plan au niveau mondial (notamment dans le domaine des études multi-échelles des combustibles nucléaires), avec une bonne reconnaissance internationale (caractérisation et analyses). Une forte intégration entre les équipes, et avec d'autres équipes du CEA, est notée.

- Points forts et opportunités

- Dialogues étroits entre la théorie et les expériences, synergie entre les équipes ; existence de projets fédérateurs.
- Liens solides avec des partenaires académiques en France et en Europe ; participation importante à des programmes collaboratifs nationaux et internationaux.
- Installations expérimentales de haut niveau, voire uniques.
- Haut niveau scientifique ; doctorants de qualité, bien encadrés.
- Compétence et savoir-faire sur la modélisation multiéchelle et multiphysique, sur des dispositifs d'irradiation.
- Vaste programme de capitalisation des acquis expérimentaux, théoriques et numériques.
- Démarche de construction d'expertise et valorisation de cette filière ; bonne gestion des carrières.



- **Points à améliorer, risques et recommandations**

Compte tenu de sa mission, de la qualité de ses moyens et de son haut niveau d'expertise, le DEC doit continuer à être une force de proposition en matière d'analyse de scénarios incidentels et accidentels, et d'une manière générale à innover en matière de sûreté. Il doit donc veiller à ménager plus d'espace de recherche propre « long terme » et d'initiative à ses ingénieurs-chercheurs.

Le comité a aussi noté les points à risque ou à améliorer suivants.

- Améliorer la capacité à collaborer assez tôt dans l'activité de conception avec les équipes qui élaborent les combustibles pour vérifier la viabilité d'un concept.
- Les relations avec l'industrie doivent être améliorées pour assurer un soutien à long terme de la recherche de base ; de nouveaux partenaires industriels recherchés.
- Optimiser les collaborations intra CEA dans le domaine des outils de simulations multi-échelles.
- Evaluer et si possible réduire les risques de doublon.
- Augmentation de la capacité d'accueil de thésards ou post-doctorants de certains thèmes.
- Publications dans les revues à comité de lecture à accroître.
- Réduire la lourdeur administrative, et notamment améliorer les procédures d'obtention de moyens (notamment pour l'achat de petits matériels et les missions en Europe).

- **Données de production :**

Les données de production scientifique sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Thématique	T1	T2	T3	T4	T5	T6	DEC
Publications RCL	70	5	46	10	46	20	197
Actes de congrès	86	41	90	50	78	58	403
Brevets	0	6	12	0	3	0	21
Ouvrages	6	18	10	7	5	9	55
<b>Rapports techniques</b>	87	116	210	84	348	257	<b>1102</b>
Thèses de doctorat	4	0	4	0	2	4	14

NB : Sur la base de 158 ingénieurs-chercheurs, l'indice de publication annuel moyen est alors de 0,43 environ pour les publications dans les revues à comité de lecture, brevets et ouvrages et de 1,7 pour l'ensemble des rapports et notes techniques.





Le caractère « produisant » d'un chercheur-ingénieur a été déterminé en tenant compte non seulement du nombre d'articles dans des revues à comité de lecture, mais aussi, à la différence des laboratoires académiques, du nombre des notes et rapports techniques.

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2 dans la colonne projet	139
A2 : Nombre de producteurs parmi les autres personnels référencés en N3, N4 et N5 dans la colonne projet	
A3 : Taux de producteurs de l'unité $[A1/(N1+N2)]$	0,88
A4 : Nombre d'HDR soutenues (cf. Formulaire 2.10 du dossier de l'unité)	3
A5 : Nombre de thèses soutenues (cf. Formulaire 2.9 du dossier de l'unité)	14

### 3 • Appréciations détaillées

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production

#### Thème 1 – La recherche de base sur les combustibles

La démarche du DEC pour la compréhension du comportement du combustible et des mécanismes physiques sous-jacents est pertinente : elle combine des calculs de structure électronique et de simulations de dynamique moléculaire, avec des expériences sur la diffusion des gaz de fission, de l'oxygène et de l'hélium dans des combustibles tels que l'UO<sub>2</sub> en utilisant une variété d'outils. Le DEC occupe dans ce domaine une position de premier plan. Son expertise est axée sur les calculs DFT de la structure électronique et sur une bonne collaboration DEC/DPC dans le domaine de la dynamique moléculaire. Les publications parues dans d'excellentes revues de physique et nucléaire sont très bonnes en qualité et en quantité avec un bon impact dans la communauté.

#### Thème 2 – conception des combustibles

L'activité de ce thème est essentiellement technologique et porte sur le design des combustibles. Face aux risques d'échec ou d'arrêt de programme par les Directions, générateurs de frustration, l'équipe sait rebondir. Cette activité a généré un nombre conséquent de rapports techniques, quelques publications, un nombre appréciable de communications à des congrès, de contributions à des ouvrages et de brevets.

#### Thème 3 – Fabrications, caractérisations et mesures de propriétés associées

Les recherches menées sont pertinentes, et combinent des études expérimentales et numériques de haut niveau. Elles ont conduit à des résultats très significatifs, notamment sur les particules Triso multicouches, les mécanismes d'homogénéisation du Pu des combustibles MOX par ajout de chrome, la réactivité et la rhéologie de poudres d'oxydes lors de leur écoulement. Les chercheurs sont dynamiques. Ils ont su développer au niveau national des collaborations suivies avec des laboratoires de 13 universités (GNR Matinex, etc), et au niveau international des collaborations avec des laboratoires de 1er plan, en particulier dans le cadre de Gen IV (INL, ORNL).

#### Thème 4 - Les irradiations expérimentales

L'équipe est relativement petite, bien intégrée dans son environnement, et en forte interaction avec les autres équipes du DEC et du DER. Son impressionnante production eu égard au nombre restreint de chercheurs-ingénieurs (6) illustre cette intense collaboration. Cette activité est stratégique avec un haut niveau d'innovation technique, car l'irradiation expérimentale exige toujours des solutions novatrices. Elle implique des liens étroits et durables avec l'industrie nucléaire et les opérateurs des réacteurs d'essai.



Au cours de la discussion au sein du comité de l'AERES, la délégation a estimé que l'équipe pourrait mieux promouvoir les installations du CEA au niveau international pour de nouveaux programmes d'irradiation. Un autre point noté concerne la possibilité d'étendre son interaction avec les utilisateurs potentiels au niveau international ainsi que son rayon d'action à la phase initiale de promotion et de mise en place de nouvelles irradiations. Les risques de duplication des efforts avec d'autres unités du CEA (ou avec les utilisateurs) peuvent exister.

#### Thème 5 – Caractérisation des combustibles irradiés et analyses chimiques et radiochimiques

Ces équipes se situent nettement à la pointe de l'état de l'art relatif à leurs domaines. Elles ont développé des techniques analytiques innovantes. Leurs méthodes d'analyse et leurs résultats font référence. Elles répondent parfaitement aux problématiques actuelles que sont par exemple l'impact des forts taux de combustion sur les fonctionnements normaux ou accidentels, la transmutation et le stockage à long terme des déchets radioactifs.

La production scientifique est excellente même si l'essentiel est constitué de notes techniques. L'industrie nucléaire ou les organismes européens ou internationaux financent près de la moitié ces activités. La vitalité de la recherche nucléaire en France sur les réacteurs et combustibles actuels et du futur, la qualité des moyens et potentiels du DEC et la rareté des laboratoires équivalents sont une garantie d'activités pérennes de ces équipes.

#### Thème 6 – La modélisation et la simulation

C'est d'abord un travail de modélisation complexe, multiéchelle et multiphysique. Les approches développées sont pertinentes, avec le souci d'amélioration constante de leurs performances et d'intégration de différentes incertitudes relatives aux données physiques comme aux paramètres des modèles. Le comité a apprécié le soin particulier qu'apportent les équipes à la validation des développements sur des bases continuellement enrichies, à leurs participations à des benchmarks internationaux, et enfin à la capitalisation des acquis au sein d'une plateforme mutualisée avec les différents partenaires. La production scientifique est de qualité, mais le comité recommande une augmentation des publications dans des revues à comité de lecture, un élargissement des collaborations académiques nationales et internationales.

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

Les ingénieurs-chercheurs du DEC ont obtenu 10 distinctions (Prix SFEN, Médailles DEN, Best Paper Award, Outstanding Paper, etc.) sur la période 2006-2010. Le DEC est leader dans certains domaines de recherche ; Il est l'initiateur et le coordinateur du projet européen F-BRIDGE ; il participe à de nombreux programmes collaboratifs nationaux et internationaux. Il arrive à attirer en thèse de bons étudiants, quoique essentiellement français.

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

La gouvernance de l'unité est bonne avec une communication interne dynamique avec des réunions et des séminaires techniques et scientifiques en nombre suffisant pour susciter des vrais dialogues. Le personnel est bien informé des priorités. Les doctorants sont épanouis ; ils ont une association permettant de faire connaissance et d'organiser diverses activités.

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

Dans son projet scientifique le DEC a clairement identifié les enjeux scientifiques et techniques des prochaines années, ainsi que les verrous importants susceptibles d'être rencontrés. Ce projet est issu de la « démarche d'innovation » mise en place, et qui part des grandes orientations stratégiques et intègre les blocages identifiés par les ingénieurs-chercheurs (démarches « top-down » et « bottom-up »). Il faudra veiller à laisser plus de place à l'initiative des ingénieurs-chercheurs. Le comité a apprécié le travail de définition, thème par thème, des objectifs à atteindre et des méthodes à mettre en œuvre. Il a noté qu'une attention particulière continuera à être portée par la Direction à la gestion des compétences critiques.



## 4 • Analyse thème par thème

- Thème 1 : La recherche de base sur les combustibles
- Responsable : M. Philippe GARCIA
- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	16	16
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	1
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	5	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	1	0

NB : Informations transmises, en complément du formulaire, lors de la visite (22-23 mars 2011) sous forme de carte d'identité du Thème 1.

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

La compréhension du comportement du combustible et des mécanismes physiques sous-jacents constitue un défi scientifique majeur, le combustible nucléaire étant un matériau complexe soumis à des conditions extrêmes de température et d'irradiation. Les efforts entrepris dans ce domaine par le DEC sont très prometteurs, notamment parce qu'ils couplent des approches expérimentales et des simulations, à différentes échelles. La démarche du DEC, qui s'intéresse à l'évolution de la microstructure et à la structure des défauts, est pertinente : c'est la bonne approche. Le travail montre une combinaison intelligente des calculs de structure électronique et de simulations de dynamique moléculaire, avec des expériences sur la diffusion des gaz de fission, de l'oxygène et de l'hélium en utilisant une variété d'outils. En outre, la proximité de grandes installations, telles que l'ESRF et SOLEIL offre un énorme potentiel.

Dans le monde, peu d'équipes travaillent dans ce domaine ; le DEC y occupe une position de premier plan au cours de ces dernières années. En particulier, la méthode de contrôle des matrices d'occupation développée permet de bien traiter le problème de l'état électronique fondamental de l'UO<sub>2</sub>. L'expertise du DEC est fortement axée sur les calculs DFT de la structure électronique, mais une bonne collaboration DEC/DPC dans le domaine de la dynamique moléculaire et la modélisation thermochimique existe.

La qualité et la quantité de la publication de ce thème sont très bonnes. Un grand nombre d'articles ont été publiés dans d'excellentes revues du domaine physique (par exemple, Phys. Rev.) et du domaine nucléaire (par exemple, *Journal of Nuclear Materials*), avec un bon impact dans la communauté. Le nombre de thèses est bon pour un effectif relativement faible, et leur qualité est très bonne.



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

Le rôle de leader du DEC dans le domaine de la recherche fondamentale sur le combustible nucléaire apparaît très clairement dans le projet européen F-BRIDGE qu'il porte. Le DEC a été l'initiateur et le coordinateur de ce projet, ce qui représente un impact scientifique important. A travers ce projet, le DEC dispose d'une large et excellente base de collaboration européenne dans le domaine de la recherche fondamentale sur les combustibles nucléaires, et conforte son rôle de leadership. Grâce au groupe d'experts de l'OCDE/AEN sur la modélisation multi-échelle, cette collaboration s'étend aux États-Unis et au Japon ; le DEC est leader dans ce groupe aussi.

La grande qualité du travail attire également des étudiants de haut niveau, même s'ils sont essentiellement français.

Le financement extérieur du programme de recherche fondamentale sur les combustibles nucléaires, du DEC et d'autres départements du CEA, est indubitablement un grand succès à travers le projet européen F-BRIDGE dont le retour financier a été important lors de ces quatre dernières années.

- **Appréciation sur le projet**

La recherche fondamentale sur les combustibles nucléaires est bien intégrée dans le plan global de travail du DEC. Il vise à une meilleure compréhension des mécanismes régissant l'évolution du combustible à travers la recherche fondamentale et des simulations. Au sein du DEC comme de la DEN, une vision claire existe pour ce thème disposant de personnel suffisant pour atteindre ses objectifs. Du point de vue expérimental, l'accès à la ligne MARS, à SOLEIL pour étudier des combustibles irradiés donne une perspective motivante à ce travail gratifiant à haut risque.

- **Conclusion**

- Avis global sur l'équipe :

L'équipe a réussi à devenir un acteur mondial de premier plan dans le domaine des études multi-échelles des combustibles nucléaires. La qualité des travaux est élevée, y compris celle des thèses de doctorat. La production scientifique est bonne, tout comme la reconnaissance scientifique dans la communauté nucléaire internationale.

- Points forts et opportunités :

- Des liens solides avec les partenaires académiques en France et en Europe.
- Des dialogues étroits entre la théorie et les expériences.
- Installations expérimentales uniques, en particulier la ligne MARS.
- Bien intégré dans le programme de développement du combustible nucléaire du DEN, au sein duquel les interactions avec d'autres activités peuvent être développées.

- Points à améliorer et risques :

- Absence de microscopie électronique à transmission sur matériaux d'actinides irradiés dans le département ; disponible uniquement grâce à la collaboration internationale.
- Les relations avec l'industrie doivent être améliorées pour assurer un soutien à long terme pour cette activité et communiquer les avantages et les limites de l'approche multi-échelle. Des attentes trop grandes sont les plus grands risques pour cette recherche.
- Optimiser les collaborations intra CEA dans le domaine des outils de simulations multi-échelles.



- Thème 2 : conception des combustibles
- Responsable : Mme Sylvie PILLON
- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	-	-
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	13	13
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)	-	-
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	1
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	-	
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	0	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	0	0

NB : Informations transmises, en complément du formulaire, lors de la visite (22-23 mars 2011) sous forme de carte d'identité du Thème 2.

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

Cette thématique mobilise 13 chercheurs dont 2 experts et 1 expert-senior. L'équipe a travaillé sur le design d'un nouvel élément combustible, programme qui a été interrompu. Parallèlement, des travaux d'amélioration du design de combustibles existants ont été menés.

L'activité est essentiellement technologique.

Les experts ont remarqué qu'une activité de type « conception » peut générer de la frustration des équipes, du fait d'une probabilité faible de réussite, et qu'il peut être parfois difficile de maintenir l'enthousiasme des chercheurs. Toutefois, l'équipe sait rebondir sur de nouveaux sujets dans le cas de non réussite ou d'arrêt d'un programme.

Cette activité a généré un nombre conséquent de rapports techniques (116 sur la période de référence), quelques publications (5), des communications à des congrès (41), des contributions à des ouvrages (18) et des brevets (6).

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

La nature technologique des activités se prête peu aux travaux de recherche plus académique (aucun doctorant, post-doctorant ou HDR sur la période de référence), ce qui peut expliquer l'absence de collaborations avec des centres de recherche universitaires.

La mise en place de collaborations liées à l'activité de conception est un processus long. Des participations à des programmes nationaux (2), européens (4) ou internationaux (collaborations bilatérales ou trilatérales avec des pays comme la Russie ou les Etats-Unis) sont à mettre à l'actif de cette activité. Le choix des leaderships est fonction du domaine couvert ou des tâches à réaliser dans le cadre de ces programmes collaboratifs. Un personnel de l'équipe a piloté un programme européen (Eurotrans).



- Appréciation sur le projet

Le projet s'inscrit dans la continuité des actions entreprises avec l'objectif d'améliorer les produits existants, et ce sur un nombre ciblé d'actions compte tenu des moyens humains et financiers qui sont alloués, et des programmes prioritaires qui sont définis par la hiérarchie.

- Conclusion

- Avis global sur l'équipe :

Equipe de petite taille avec un bon potentiel d'innovation et une bonne réactivité face à des changements de stratégie ou de programmes.

- Points forts et opportunités :

- Capacité à proposer des améliorations de produits existants.
- Participation appuyée à des programmes collaboratifs.

- Points à améliorer et risques :

- Faible capacité à collaborer assez tôt dans l'activité de conception avec les équipes qui élaborent les combustibles pour vérifier la viabilité d'un concept.
- Risque de passer trop de temps sur un concept dont la probabilité d'aboutir serait faible.

- Recommandations :

L'identification rapide de jalons, de points durs et la revue technique d'experts pour optimiser les moyens et les ressources pourraient être des éléments apportant une plus-value à cette activité, ou permettant de créer des ponts avec d'autres compétences au sein du département.

L'activité de conception est le centre d'un système nerveux qui pourrait se connecter davantage à d'autres services ou d'autres départements pour valider ou invalider l'idée proposée.



- **Thème 3** : Fabrications, caractérisations et mesures de propriétés associées
- **Responsable** : M. Philippe SORNAY
- **Effectifs de l'équipe ou affectés au projet:**

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	24	24
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	32	32
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	9	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	1	

NB : Informations transmises, en complément du formulaire, lors de la visite (22-23 mars 2011) sous forme de carte d'identité du Thème 3.

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

La pertinence des recherches est très bonne, compte tenu des objectifs précis fixés par la Direction du CEA (issus des missions confiées par les tutelles) et des partenariats industriels très présents dans ce thème (Areva, EDF). Les enjeux à caractère stratégique ou industriel et les impacts que ces travaux peuvent avoir, sont clairement exprimés et partagés par l'ensemble des personnels de recherche.

Les recherches qui sont menées sur l'optimisation et le développement de nouveaux procédés ou les matériaux sont nombreux, très variés et bien spécialisés. Des résultats très significatifs pour la communauté du nucléaire mais aussi bien au delà ont été obtenus : particules Triso multicouches, mécanismes d'homogénéisation du Pu des combustibles MOX par ajout de chrome, études de réactivité et de la rhéologie de poudres d'oxydes lors de leur écoulement. Ils associent toujours études expérimentales et numériques de haut niveau.

Les chercheurs de ce thème présentent un très bon dynamisme avec une activité moyenne de production supérieure à celles d'autres thèmes du DEC ou de la DEN (2,67 article ou rapport interne par an et par chercheur). Le nombre de publications citées est dans la moyenne du DEC, avec un bon nombre de citations (9 en moyenne à 3 ans). Les citations sont issues de publications d'origines variées (USA, Asie, Europe). Le nombre de publications académiques et celui de leur citation pourraient toutefois être encore améliorés.

Au plan européen et international, les chercheurs du thème 3 ont su développer des collaborations avec des laboratoires de 1er plan, en particulier dans le cadre de Gen IV (INL, ORNL). Au niveau national, les équipes du thème 3 entretiennent des collaborations suivies avec des laboratoires de 13 universités (GNR Matinex, ...).

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

Le thème 3 est reconnu dans sa communauté pour ses travaux (médaille DEN attribuée à un chercheur de ce thème, 1 HDR, 2 experts seniors) mais là encore une participation plus forte de ses chercheurs dans le tissu académique permettrait de mieux assoir leur renommée. Compte tenu de la confidentialité vis-à-vis des industriels et



du domaine, le recrutement des thésards et post-doc se fait quasiment exclusivement en France. Mais ces étudiants sont très motivés par leurs recherches et de très bon niveau grâce aux procédures de sélection du CEA. Le laboratoire est extrêmement performant et reconnu en termes de relations industrielles puisqu'il reçoit plus de 40 % de ses budgets de partenaires industriels. Il participe au programme international GEN IV (VHTR et RNR-Na) et à différents projets européens (FP6/Eurotrans en tant que coordinateur d'un workpackage, LEONIDAS) et possède des collaborations suivies avec l'ITU (Institut des transuraniens de Karlsruhe) et le KAERI (Korean Atomic Energy Research Institut). La recherche est, ou a été, fortement valorisée au travers de différentes formations ou stages (Ecole du Plutonium « Utilisation et mise en œuvre du Pu » (durée : 10 j), Ecoles d'été franco-allemandes FJOH (environ 50 participants d'une quinzaine de pays), F-Bridge/enseignement, Eurocourse-Raphael-Puma.

- **Appréciation sur le projet :**

Le projet de recherche concernant le thème 3 a été conçu sur la base des besoins industriels des partenaires : compréhension de différences de comportement en frittage de poudres issues de voies de synthèses différentes, identification de caractéristiques microstructurales permettant une meilleure rétention des gaz de fission, mise au point de nouveaux combustibles pour réacteurs du futur et du RJH nécessitant le contrôle de la microstructure et des comportements maîtrisés en situations accidentelles (passant par des revêtements de protection). Ce projet, dans le contexte actuel, est pertinent car il s'appuie sur le besoin de rehausser la sûreté des réacteurs. Il est très probable, néanmoins qu'il devra être revu avec une prédominance de l'axe lié à l'optimisation des caractéristiques des combustibles (particulièrement UO<sub>2</sub>, MOX ?) pour un comportement amélioré en conditions accidentelles.

- **Conclusion :**

Le thème 3 a fait l'objet de plusieurs évaluations (Conseil Scientifique du CEA, Visiting Committee, ...) dont les quelques recommandations ont été prises en compte (étude des avantages et inconvénients de l'ajout d'actinides mineurs dans les combustibles U-Pu, augmentation du nombre de thèses, ...). L'équipe possède des chercheurs reconnus (un HDR, 2 experts séniors, 11 experts) avec néanmoins un manque en caractérisations.

- **Points forts et opportunité :**

Partenariats forts avec les industriels ; compétences, connaissances et moyens dans le domaine des combustibles. Mariage réussi entre approches expérimentales et de modélisation. Opportunité d'engagement dans l'amélioration des combustibles pour un meilleur comportement en conditions accidentelles.

- **Points à améliorer et risques :**

Nombre et visibilité des publications académiques encore insuffisantes ; liberté d'initiative des chercheurs trop faible en raison d'axes de recherche uniquement sur programme et du poids des industriels.

- **Recommandations :**

Publier dans le monde académique sans se limiter au domaine nucléaire pour augmenter l'impact et la renommée des travaux du thème 3 ; candidater à des prix et des distinctions ; accompagner quelques chercheurs en caractérisation pour élever leur niveau d'expertise ; veiller à maintenir les collaborations avec les laboratoires de renommée internationale ; concevoir et proposer des programmes et solutions pour améliorer le comportement, en accidentel, des combustibles actuels.





- Thème 4 : Les irradiations expérimentales
- Responsable : M. Daniel PARRAT
- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES)

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		-
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	6	6
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	1
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	0	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	0	0

NB : Informations transmises, en complément du formulaire, lors de la visite (22-23 mars 2011) sous forme de carte d'identité du Thème 4.

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

C'est une équipe relativement petite qui interagit fortement avec non seulement les autres équipes et laboratoires du DEC, mais aussi ceux du DER. La nature de ses activités est telle que cette interaction y devient naturelle, comme il est apparu très clairement dans la présentation qui a été faite devant le comité de l'AERES. Le nombre de documents techniques, d'articles de revues et de communications à des conférences, impressionnant pour une équipe de cette taille, montre également cette collaboration soutenue et intense avec les autres composantes du Département et CEA. C'est un constat très positif qui montre une forte intégration de l'équipe des irradiations expérimentales avec son environnement.

De par leur nature, les travaux en « irradiations expérimentales » font appel à une variété de disciplines (neutronique, thermohydraulique, mécanique, etc) et à un haut niveau d'innovation technique. Dans pratiquement tous les cas, l'irradiation expérimentale exige des solutions novatrices afin de répondre à des exigences expérimentales en constante évolution. Cela est apparu très clairement lors de la présentation et de la discussion.

Les travaux sur les irradiations expérimentales impliquent des liens étroits avec l'industrie nucléaire, qui dans la plupart des cas, est le principal client et le pilote du travail. En même temps, les experts en irradiations expérimentales sont liés à l'infrastructure technique que les irradiations exigent, en particulier avec les réacteurs d'essai où elles ont lieu. Ces relations techniques -avec l'industrie et les opérateurs des réacteurs d'essai- sont durables et profondes, car chaque irradiation demande une longue durée de réalisation (habituellement 5-10 ans).

L'importance technique et scientifique de cette activité est grande car elle est stratégique pour le rôle du CEA, dans les années à venir, en tant que chef de file dans la recherche nucléaire en France et ailleurs.

Au cours de la discussion au sein du comité de l'AERES, la délégation a estimé que l'équipe pourrait mieux promouvoir au niveau international, les installations du CEA pour de nouveaux programmes d'irradiation. Le travail de l'équipe expérimentale irradiation ne semble pas couvrir (ou couvre de façon limitée) les phases de contacts avec la clientèle, de la formulation de propositions d'irradiation nouvelles, et de préparation des offres. En d'autres termes,



la phase risquée de promotion et de mise en place de nouvelles expérimentations, qui est considérée comme critique pour le CEA, n'est pas prise en charge par cette équipe. Un autre point qui a été noté, concerne l'interaction limitée avec les utilisateurs potentiels au niveau international, point d'intérêt pour le CEA. Il est probable que l'équipe « irradiations expérimentales » n'effectue pas cette promotion et ce « marketing » parce que cette tâche est dévolue à d'autres équipes du CEA. La question est toutefois s'il ne serait pas plus approprié d'étendre le rayon d'action de l'équipe de l'irradiation expérimentale, à la phase initiale de promotion et de mise en place de nouvelles irradiations.

À la lumière de ce qui précède, l'équipe « irradiations expérimentales » a d'excellentes interactions et une bonne intégration au sein du CEA, mais semble être limitée dans la prise de risque lors de la phase de promotion et de mise en place de nouveaux programmes d'irradiation, en particulier au niveau international. Quelques considérations sur le risque de duplication des efforts avec d'autres unités du CEA (ou avec les utilisateurs) ont également été mentionnés.

- **Appréciation sur le projet**

Les activités de l'équipe « irradiations expérimentales » semblent être bien ancrées dans les programmes d'irradiation existants et font partie des projets du CEA liés à l'exploitation des installations expérimentales du CEA, notamment OSIRIS, et dans le futur, le réacteur Jules Horowitz. Ces projets ne sont pas seulement possibles, mais ils sont fondamentaux au regard du rôle actuel et futur du CEA tant au niveau national, qu'international. Les activités couvertes par les irradiations expérimentales impliquent un degré appréciable d'originalité, puisque la plupart des irradiations diffèrent les uns des autres dans de nombreux aspects importants. Cette originalité a été constatée aussi dans la présentation, quand "Chargé d'irradiation" est présenté comme un véritable "métier", ce qui n'est pas seulement une approche originale, mais aussi un fait. Toutefois, l'unité « irradiations expérimentales » exerce cette originalité dans la phase d'exécution du projet, plus que dans la phase de proposition de nouveaux projets d'irradiation. Cette dernière peut se développer dans l'avenir, en fonction de la volonté du CEA pour la structuration de la promotion et de l'utilisation de ses installations à l'avenir.

Plus précisément, la question est de savoir jusqu'à quel point le CEA a l'intention de développer l'unité « irradiations expérimentales » pour en faire un instrument de proposition, de promotion et d'élaboration de nouveaux programmes d'irradiation, tirant profit des équipements et du potentiel scientifique déjà présents dans l'équipe. Le CEA pourrait aussi préférer affecter la « phase d'initiation » de nouveaux projets à d'autres équipes, bien que cela puisse être préjudiciable à l'utilisation optimale de la précieuse expérience, du savoir-faire et des connaissances de l'équipe.

- **Conclusion**

- Avis global sur l'équipe

L'équipe couvre les domaines techniques et scientifiques qui sont fondamentaux pour l'utilisation des installations expérimentales du CEA. Elle a une solide base technique et scientifique. La compétence technique, ainsi que le dévouement et un enthousiasme appréciables, sont clairement ressortis des présentations. Une forte intégration avec d'autres équipes du CEA a également été notée.

- Points forts et opportunités

Les points forts sont liés à la compétence et au savoir-faire relatifs à des dispositifs d'irradiation, ce qui est un atout majeur pour le CEA, compte tenu des investissements importants et des coûts d'exploitation associés à de telles installations. Pour le CEA, cette petite équipe, si elle est bien dirigée et renforcée, pourrait constituer une opportunité pour l'avenir, notamment dans le processus de proposition, de promotion et l'établissement de nouveaux programmes d'irradiation au niveau national et, plus important encore, au niveau international.

- Points à améliorer et risques

Il faudrait envisager de couvrir les aspects d'irradiation sur un éventail plus large que celui présenté (par exemple, aller vers l'irradiation des matériaux). Les risques de doublon avec d'autres équipes devraient être évalués pour être réduits. La capacité de susciter de l'intérêt et d'attirer des financements des nouvelles irradiations pourrait être renforcée.



## – Recommandations

Les recommandations sont implicites dans ce qui est dit plus haut et peuvent consister en:

- un maintien et, éventuellement, l'élargissement de la compétence de l'équipe;
- éviter les doubles emplois potentiels;
- développer le potentiel équipe pour proposer et promouvoir de nouveaux projets d'irradiation;
- étendre cette capacité de proposition et de promotion de nouveaux programmes d'irradiation au niveau international.

- **Thème 5** : Caractérisation des combustibles irradiés et analyses chimiques et radiochimiques
- **Responsables** : M. Jean NOIROT et M. Philippe BIENVENU
- **Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES)**

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	31	31
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	44	44
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	1	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	0	

NB : Informations transmises, en complément du formulaire, lors de la visite (22-23 mars 2011) sous forme de carte d'identité du Thème 5.

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

Les équipes appartenant à ces deux sous-thèmes se situent nettement à la pointe de l'état de l'art relatif à leurs domaines. Elles ont développé des techniques analytiques innovantes (micro-analyse des gaz de fission, caractérisation microstructurale, comportement des combustibles en situation d'accidents graves, détection et mesure quantitative des radioéléments en trace ou à vie longue...).

Leurs méthodes d'analyse et leurs résultats font référence et répondent parfaitement aux problématiques actuelles que sont par exemple l'impact des forts taux de combustion sur les fonctionnements normaux ou accidentels, la transmutation (GEN 4) et le stockage à long terme des déchets radioactifs.

Dans la période de référence (2006-2010), la production scientifique est constituée de 348 Notes Techniques, 46 Articles en journal, 78 Communications en congrès, 5 Ouvrage ou contribution à ouvrage et 5 brevets. Soit près de trois productions par chercheur par an. Pour des raisons de partenariat industriel et de confidentialité, l'essentiel de la production est constitué de Notes Techniques internes ou destinées aux partenaires de R&D. Par rapport à la



pratique internationale dans le domaine, les Notes Techniques et Publications du DEC sont non seulement de grande qualité mais apportent outre des résultats, une interprétation et une expertise du plus haut niveau.

De l'ordre de 50% des activités de ces laboratoires est financée par l'industrie nucléaire ou par des organismes européens ou internationaux. La vitalité de la recherche nucléaire en France sur les réacteurs et combustibles actuels et du futur (Génération 4), la qualité des moyens et potentiels du DEC et la rareté des laboratoires équivalents sont une garantie d'activités pérennes de ces équipes et laboratoires.

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

En 2007, une médaille DEN a été attribuée pour la réalisation du programme VERCORS et la préparation du programme VERDON. Le « Best Paper Award » de la conférence WRFPM 2008 (Séoul, Corée) a été attribué à « High burnup changes in UO<sub>2</sub> fuels irradiated up to 83 GWj/t in M5 claddings ». Pendant la période 2006 - 2010, la rénovation du laboratoire LECA et les contraintes liées au travail sur matières irradiées ont été peu propices au lancement de thèses mais un nombre significatif de stagiaires dont des étrangers ont été accueillis dans les laboratoires (Nbre/mois : 60/247). Ces équipes travaillent en étroite collaboration avec les autres unités du département (simulation et modélisation essentiellement). Les équipes liées à ces thématiques ont des collaborations fortes avec le monde académique et scientifique national et international pour le développement d'outils et méthodes expérimentaux et le partage de connaissances et compétences. Elles participent (avec cofinancement) à de nombreux programmes pilotés par des organismes institutionnels ou industriels européens et internationaux (Electric Power Research Institute - USA, International Source Term Program, ACTINET, SARNET, CARBOWASTE...).

- **Appréciation sur le projet :**

Le projet s'inscrit dans la continuité sur des sujets qui restent très porteurs (dont le développement de la filière Génération 4 et la mise en service du réacteur Jules Horowitz) en bénéficiant de nouveaux moyens expérimentaux (synchrotron Soleil,...) ou de nouvelles installations (études accidents graves). Les parts recherche appliquée et recherche de base restent équilibrées et inscrites dans un contexte prioritaire de collaborations et de prestations pour un grand nombre de partenaires / clients internes, nationaux et internationaux.

- **Conclusion**

- Avis global sur l'équipe :

Reconnue à l'international, fort potentiel d'innovation et d'expertise.

- Points forts et opportunités :

Le département bénéficie d'une infrastructure et de moyens expérimentaux au plus haut niveau. La filière d'expertise est bien valorisée et attractive.

- Points à améliorer et risques :

Augmentation de la capacité d'accueil de thésards ou post-doctorants avec les risques (incertitudes) inévitables des travaux sur matériaux irradiés.

- Recommandations :

Poursuivre et approfondir les collaborations internationales dans le cadre de l'utilisation des grands moyens expérimentaux (échanges, programmes communs, éviter les duplications dans la mesure du possible).



- Thème 6 : La modélisation et la simulation
- Responsable : M. Renaud MASSON
- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	38	38
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs y compris chercheurs post-doctorants (cf. Formulaires 2.2, 2.4 et 2.7 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	4	4
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	1	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	0

NB : Informations transmises, en complément du formulaire, lors de la visite (22-23 mars 2011) sous forme de carte d'identité du Thème 6.

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

Les activités de ce thème portent sur le développement et la capitalisation de modèles et d'outils de simulation prédictifs, validés, permettant la compréhension intime du comportement des matériaux nucléaires (essentiellement les combustibles), l'amélioration de leurs performances et surtout, in fine, un dimensionnement sûr et fiable des installations. C'est un travail complexe, multiéchelle, couplant des nombreux phénomènes thermo-physico-chimiques (hétérogénéité de la microstructure, émission de gaz de fission, fissuration, croissance de cavités, gonflement, apparition de plis, leur comblement, etc.). Les approches développées semblent pertinentes, avec le souci d'amélioration continue de leurs performances et d'intégration de différentes incertitudes relatives aux données physiques comme aux paramètres des modèles. Le comité a apprécié le soin particulier qu'apportent les équipes à la validation des développements sur des bases continuellement enrichies, et à leurs participations à des benchmarks internationaux. Notons que deux communications sur ces questions ont été distinguées respectivement comme « Best Paper » en 2009 à la conférence SIMUL 2009 (Porto) et « Outstanding Paper » en 2008 à la conférence TOPFUEL en Corée.

La production scientifique de l'ensemble des 38 chercheurs est constituée de 257 notes techniques, 20 articles dans des revues à comité de lecture, 58 communications en congrès, 9 ouvrages ou contributions à ouvrage. Même si l'essentiel de la production est constitué de notes techniques, les articles sont de qualité et publiés dans des revues reconnues des domaines nucléaire et « mécanique des matériaux et des structures ».

La capitalisation cohérente, au sein de la plateforme PLEIADES, des nombreux outils développés, des données et résultats acquis est une autre composante de l'activité de cette équipe. Ce travail se fait en étroite collaboration avec le DM2S/CEA (développeur de CAST3M) et les partenaires industriels notamment EDF et AREVA dont un certain nombre d'ingénieurs sont physiquement présents à Cadarache.

Un effort vers plus de publications dans les revues à comité de lecture devra être fait, en dépit des contraintes liées à la confidentialité. Le nombre de thèses de doctorat pourra aussi être augmenté. Le comité recommande aussi



l'élargissement de la gamme des collaborations à d'autres laboratoires travaillant par exemple dans la modélisation numérique et à l'international.

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

Comme mentionné précédemment, deux communications à des conférences ont obtenu des distinctions (Best Paper Award et Outstanding Paper) qui attestent de la reconnaissance de la qualité du travail effectué.

De par sa nature, cette équipe travaille en étroite collaboration avec non seulement les autres thèmes du DEC, mais aussi avec ceux du DER et du DM2S, tant sa démarche a besoin d'une part, d'être alimentée par des données issues d'expériences qu'elle aide à définir, d'autre part d'être validée et utilisée. Cette collaboration s'étend bien sûr aux partenaires industriels pour mutualiser et capitaliser les acquis (plateforme PLEIADES).

L'équipe a une collaboration soutenue et fructueuse avec le LMA de Marseille, plus précisément avec l'équipe « Matériaux et structures hétérogènes » de ce laboratoire, équipe comportant les meilleurs spécialistes mondiaux du domaine. Des collaborations avec le LCTS (Bordeaux), le CMI (Marseille) et l'ICB (Dijon) sont à souligner. En revanche, la collaboration internationale est à développer.

- **Appréciation sur le projet**

Le projet de ce thème a des objectifs clairs (modélisations et simulations multiphysiques, multiéchelles et tridimensionnelles pour différents régimes de fonctionnement) liés aux missions du DEC pour les filières nucléaires actuelles et futures. Il est clairement formulé et a identifié des questions scientifiques à aborder, les problèmes techniques à résoudre. Il vise aussi au perfectionnement et à une validation étendue des outils existants, avec benchmarks internationaux prévus. Le comité recommande l'élargissement de ces échanges, notamment sur la modélisation numérique, avec les acteurs académiques tant à l'échelle nationale qu'internationale.

- **Conclusion**

En conclusion, ce thème a mis en place une démarche pertinente visant à élaborer des outils de simulation et de modélisation fondée sur une base scientifique rigoureuse. Il a les moyens d'en assurer la valorisation et la capitalisation. Les points à développer sont l'augmentation du nombre de publications dans les revues à comité de lecture et l'élargissement des coopérations académiques nationales et internationales.



Intitulé UR / équipe	C1	C2	C3	C4	Note globale
DEC : Département d'études des combustibles	A	A	A	A	A
<i>Recherche de base sur les combustibles</i>	A+	A	Non noté	A	A
<i>Conception des combustibles</i>	B	B	Non noté	B	B
<i>Fabrication, caractérisation et mesure de propriétés associées</i>	A	A	Non noté	A	A
<i>Irradiations expérimentales</i>	A	B	Non noté	A	A
<i>Caractérisation de combustibles irradiés</i>	A+	A	Non noté	A	A
<i>Modélisation/ simulation</i>	A	B	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
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>197</b>
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

Direction de l'Energie Nucléaire

Le Directeur

CEA/DEN/DS  
DO 40 26/04/11



11MMAF00042

diffusé le : 26/04/11



energie atomique • énergies alternatives

Monsieur Pierre GLORIEUX  
AERES  
Directeur de la Section des Unités  
20 rue Vivienne  
75002 PARIS

Saclay, le 26 avril 2011

Monsieur le Directeur,

Le rapport AERES d'évaluation du Département d'Etudes des Combustibles est fidèle aux échanges et aux messages que nous avons voulu faire passer. Dans le contexte post-Fukushima, nous avons particulièrement apprécié la recommandation de l'AERES de garder au DEC une force de proposition en matière d'analyse de scénarios incidentels et accidentels. Nous avons d'ores et déjà engagé la construction d'un programme de recherche complémentaire à celui mis en œuvre aujourd'hui (installation Verdon), en intégrant les premiers enseignements de l'accident. Nous nous efforcerons aussi de proposer des programmes et solutions pour améliorer le comportement des combustibles actuels en situation accidentelle.

Nous avons bien noté l'incitation de l'AERES à publier plus dans la littérature ouverte. Nous mettrons tout en œuvre pour suivre cette recommandation, à laquelle nous adhérons pleinement. Le lien avec la communauté académique sera renforcé autant que possible, notamment via l'accueil de thésards et de post-doctorants, dans la limite des contraintes de confidentialité inhérentes aux liens que nous entretenons avec l'industrie.

Conformément aux recommandations du Comité, nous nous efforcerons de promouvoir les installations du CEA au niveau international pour de nouveaux programmes d'irradiation. Cette recommandation ne s'applique pas au DEC proprement dit, mais à la DEN : en effet, les contacts avec la clientèle, la formulation des propositions d'irradiation nouvelles et la préparation des offres commerciales incombent aux chefs de programme, lesquels dépendent non pas du DEC mais de la Direction d'Objectifs de la DEN. A ce détail près, la recommandation garde à nos yeux toute sa pertinence.

Nous avons bien noté la recommandation de l'AERES d'évaluer et si possible réduire les risques de doublon d'activités ou d'installations. Ce commentaire est relatif aux moyens similaires existants dans certains autres laboratoires européens d'examen des combustibles (SCK/MOL et Studsvik) ou certains réacteurs expérimentaux (Halden, BR2 ...). Une plus grande collaboration est recommandée par le Comité. Cependant, il convient de préciser que nos partenaires industriels demandent que des



moyens expérimentaux soient spécifiquement à disposition en France leur permettant de réaliser des tests avec célérité tout en leur assurant la garantie de la confidentialité des résultats obtenus.

Conformément à l'avis du Comité, l'approche multi-échelle de la modélisation du combustible sera poursuivie. Nous veillerons à en établir les avantages et les limites, à optimiser les collaborations intra CEA dans ce domaine, et à élargir la gamme des collaborations à d'autres laboratoires travaillant par exemple dans la modélisation numérique. La synergie avec le Département des Matériaux pour le Nucléaire est particulièrement importante à nos yeux.

La recommandation de l'AERES concernant la mise en place d'un microscope électronique à transmission sur matériaux d'actinides irradiés a particulièrement retenu notre attention. Dans le cadre du Grand Emprunt, le CEA/DEC a présenté, en association avec l'Université d'Aix-Marseille, un dossier Equipex sur ce thème (Projet ANACOMBIA). Lors du premier tour, le projet n'a pas été retenu, mais une réflexion est en cours pour le représenter.

Nous avons également bien noté la recommandation d'amélioration des relations avec l'industrie pour assurer un soutien à long terme des recherches de base. Nous partageons tout à fait le point de vue du Comité qui pointe une R&D de base par trop réduite. Partant de ce constat, nous avons engagé ces derniers mois une collaboration sur ce sujet avec AREVA. Le soutien de cet industriel est réel bien qu'encore un peu timide.

En conclusion, l'évaluation AERES des départements de la DEN à Cadarache a donné beaucoup de travail aux équipes, mais ce travail n'est pas vain : en particulier, l'auto-analyse SWOT oblige à une introspection fructueuse, qui nous donne un point de vue nouveau sur l'unité « département ».

Je souhaite remercier la commission d'évaluation AERES pour son travail en profondeur et le regard extérieur qu'il apporte sur l'activité du DEC, ainsi que le Professeur Christophe Gourdon, qui a assuré son rôle de délégué scientifique avec autant d'impartiale rigueur que d'efficacité.

Je vous prie de croire, Monsieur le Directeur, à l'expression de mes sentiments distingués.

  
Christophe Béhar