



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 Réacteurs (DER)

sous tutelle des

établissements et organismes :

CEA

Février 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 Réacteurs (DER)
sous tutelle des
établissements et organismes :
CEA

Le Président de l'AERES

Didier Houssin

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

Février 2011



Unité

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

Nom du directeur : M. Jean-Michel MOREY

Membres du comité d'experts

Président :

Michel GIOT, Université Catholique de Louvain, Belgique

Experts :

Giovanni BRUNA, IRSN

Jean-Claude CHARPENTIER, CNRS Nancy

Rakesh CHAWLA, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne

Philipp FINCK, INL, USA

Bernard HAAS, CNRS/IN2P3 Bordeaux

Daniel HEUER, CNRS/IN2P3 Grenoble

Michel LANCE, Centrale Lyon

Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

Mr. Christophe GOURDON

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

Mr. F. CARRE (Direction scientifique)

Mr. B. BONIN (DEN)

Mr. A. PORRACHIA (DISN)

Mr. MAZIERE (Chef du Centre de Cadarache)



Rapport

1 • Introduction

- Date et déroulement de la visite :

La visite du Département d'Etudes des Réacteurs du CEA s'est déroulée sur le site de Cadarache les 17 et 18 février 2011. La visite a commencé par quatre exposés généraux :

- intervention de la Direction des programmes par M. J.P. Bourgoïn
- présentation de la Direction des Objectifs par Mr. A. Porrachia (Direction de l'Innovation et du Soutien Nucléaire)
- présentation du centre de Cadarache par Mr. M. Mazière (Chef de Centre)
- présentation du DER par Mr. J.M. Morey (Responsable du Département)

La présentation des activités du DER s'est déroulée en quatre sessions correspondant chacune à l'un des quatre axes thématiques du Département. Chaque thématique était introduite par un exposé général, suivi d'un exposé scientifique par sous-thématique, et conclue par une analyse SWOT. La répartition du temps entre exposés et questions était d'environ 2/3 - 1/3. La visite a aussi comporté deux sessions de visites d'installations expérimentales, les maquettes critiques EOLE-MINERVE puis la plate-forme de dosimétrie MADERE. Enfin, le comité a eu l'occasion de rencontrer d'une part des représentants des personnels ingénieurs, chercheurs et techniciens et d'autre part des représentants des doctorants.

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

Le Département d'Etudes des Réacteurs (DER) est une unité du CEA dont la vocation est de conduire un ensemble d'activités de R&D de nature scientifique et technique, dans le domaine des réacteurs nucléaires de fission : conception et évaluation de filières, physique des réacteurs, expérimentation sur maquettes critiques, modélisation thermo-hydraulique. Le DER regroupe 6 Services, dont 5 sont implantés à Cadarache et 1 à Grenoble.

La préparation de l'évaluation par l'AERES a été l'occasion pour le Département de mener une réflexion sur ses objectifs et son organisation, qui a conduit le DER à présenter son activité sous forme des quatre grandes thématiques suivantes :

- Thème 1 : simulation neutronique des cœurs de réacteurs
- Thème 2 : simulation thermohydraulique des réacteurs
- Thème 3 : conception et sûreté des réacteurs innovants
- Thème 4 : instrumentation nucléaire pour les réacteurs.

Chaque thématique implique de l'ordre de 60 à 80 ingénieurs-chercheurs, à l'exception de la dernière qui ne fait état que d'une douzaine. Ces thématiques se situent transversalement par rapport à l'organisation en services et laboratoires, qui est de ce fait restée peu visible par le Comité : c'est bien entendu cette présentation thématique qui sera retenue pour l'analyse de la production et du projet et que le Comité recommande d'approfondir à la suite de cette visite.



- Equipe de Direction :

L'équipe de direction du département est constituée du chef de Département et de son adjoint, d'un responsable Cellule projets, d'un chargé de programme RJH, d'un responsable QSE, d'un responsable RH. Dans l'organigramme, les 6 chefs de service sont rattachés directement à l'équipe de direction.

Sur les quelque 200 ingénieurs-chercheurs, le Département compte de l'ordre d'un quart d'experts : directeurs de recherche - experts internationaux (4), experts seniors (22) ou experts (26) selon leur notoriété et expertise.

- Effectifs de l'unité :

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

	T1	T2	T3	T4	DER
Ingénieurs-Chercheurs	76	61	56	12	205
Doctorants (*)	13	5	4	4	26
HDR	2	3	-	3	8

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)	199	199
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)	125	125
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)	26	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	8	8



2 • Appréciation sur l'unité

- Avis global sur l'unité:

Le DER constitue une unité de Recherche et Développement active qui développe un savoir-faire et des compétences uniques. L'avis global sur l'unité est très favorable. Certaines des équipes de recherche sont brillantes et reconnues internationalement, les objectifs sont généralement bien définis et ambitieux, et les moyens importants et de grande qualité.

- Points forts et opportunités :

Hautes compétences des personnels ;

Moyens importants mis en œuvre ;

Projets fédérateurs ;

Bon équilibre entre recherche amont et projets ;

Haut niveau d'expertise du personnel technique.

- Points à améliorer et risques :

Difficulté de maintenir les compétences et les outils ; ainsi, il apparaît nécessaire de veiller à la continuité de certains groupes très performants et cohérents ; le risque existe de voir certaines équipes devenir sous-critiques.

L'animation scientifique devrait être améliorée (séminaires pour l'ensemble des chercheurs et doctorants, avec ou non participation de conférenciers étrangers, « lunch talks », etc.).

Les efforts d'accroissement du nombre de HDR doivent être poursuivis.

- Recommandations:

Les maquettes critiques EOLE et MINERVE sont des outils importants, à usages multiples, qui doivent être maintenus en activité ;

Le planning de rénovation de la maquette MASURCA doit rester aussi court que possible.



- Données de production :

Si l'on considère que le caractère « produisant » d'un chercheur-ingénieur ne peut pas être interprété ici via le seul nombre d'articles dans des revues à comité de lecture comme dans un laboratoire académique, mais en tenant compte également de la production des rapports et notes techniques, alors à titre indicatif, on peut aboutir au tableau suivant :

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2 dans la colonne projet	152
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)]	0,76
A4 : Nombre d'HDR soutenues (cf. Formulaire 2.10 du dossier de l'unité)	8
A5 : Nombre de thèses soutenues (cf. Formulaire 2.9 du dossier de l'unité)	30

3 • Appréciations détaillées :

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :

En ce qui concerne le thème 1 : Simulation neutronique des cœurs de réacteurs, la qualité de la production scientifique est de premier plan mondial. Dans la transition vers la plate-forme APOLLO3, l'Unité devra veiller à bien conserver les acquis, car ceux-ci sont particulièrement importants pour le projet ASTRID. Elle devra aussi être plus attentive au bon usage des schémas de calculs (Monte Carlo).

En ce qui concerne le thème 2 : Simulation thermohydraulique des réacteurs, l'Unité bénéficie d'une expertise du meilleur niveau, reconnue internationalement, notamment grâce à ses travaux sur le code CATHARE et aux traitements multi-échelles (TRIO-U, DNS). Les liens entre modélisation et expériences analytiques sont particulièrement appréciés. Les aspects les plus fondamentaux sont bien abordés dans les activités de recherche, et méritent d'être confortés. Ce secteur est bien doté en éléments jeunes et brillants.

En ce qui concerne le thème 3 : Conception et sûreté des réacteurs innovants, l'Unité est soumise à une forte pression pour le projet ASTRID. On note le franchissement d'une étape significative dans la conception du cœur d'ASTRID refroidi au sodium, à savoir l'atteinte d'un coefficient de vide négatif global. Le Comité, qui n'a pas été clairement informé des objectifs du projet ASTRID n'est toutefois pas à même de juger de l'état d'avancement du projet par rapport aux défis posés. Il recommande de poursuivre les efforts en étudiant plusieurs scénarios de base et en introduisant davantage les aspects multiphysiques, et il suggère de maintenir l'ouverture d'esprit à la sûreté par une présence dans les études d'autres concepts.

En ce qui concerne le thème 4 : Instrumentation nucléaire pour les réacteurs, en particulier pour les réacteurs de quatrième génération comme le prototype ASTRID, le besoin du maintien des maquettes critiques pour la qualification des combustibles apparaît nécessaire. Ceci peut être réalisé par le déménagement et l'adaptation de EOLE et MINERVE dans PHEBUS. Par ailleurs, les nouvelles instrumentations de mesure mises au point constituent des avancées remarquables et ont fait l'objet de brevets et d'études de valorisation par des entreprises spécialisées. L'ouverture à la collaboration scientifique nationale et internationale paraît bien engagée. En revanche de meilleurs contacts avec les exploitants nucléaires devraient permettre d'améliorer la connaissance des besoins de l'exploitation et la diffusion des nouveaux produits.



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

Le nombre de doctorants étrangers est modeste, mais en croissance. Les efforts dans ce sens doivent être poursuivis, et il conviendrait de favoriser davantage les séjours de chercheurs de l'Unité dans les bons centres de recherches / universités étrangers.

La participation aux congrès témoigne du rayonnement des équipes. On note toutefois que les contraintes financières et de statut limitent ces efforts.

Les publications dans les revues à comité de lecture sont en hausse, tendance qui doit être maintenue.

L'Unité est associée à ANCRE, l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie, et collabore au pôle de compétitivité CAPENERGIE et au groupement national de recherche GEDEPEON, ainsi qu'à plusieurs programmes internationaux. Ces activités sont porteuses d'avenir.

Enfin, le Comité encourage la poursuite de l'accroissement du nombre de HDR.

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

Il y a place pour plus de communication interne et externe, en particulier sur les grands objectifs scientifiques, et pour l'organisation de séminaires pour chercheurs et doctorants, y compris l'invitation de conférenciers étrangers. Nonobstant cette remarque sur la communication, il est apparu que le sentiment d'appartenance des membres du personnel au Département est fort.

Le Comité a apprécié la présence de la Direction Scientifique du CEA et d'un membre de la Direction de la Stratégie et des Programmes du CEA, ainsi que la visite du Directeur d'Objectif Innovation et Soutien Nucléaire et celle du Directeur du Centre, mais n'a pas eu l'occasion de rencontrer la Direction de la Division de l'Energie Nucléaire dont le Département fait partie.

La participation des membres de l'Unité à l'enseignement est très significative, et inclut la réalisation de travaux dirigés sur réacteur pour les étudiants du Génie Atomique, et la publication de supports didactiques.

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

Le projet scientifique résulte de la conjonction de deux flux : du sommet de la hiérarchie vers la base en ce qui concerne les grandes orientations, les budgets et le planning ; à partir de la base en ce qui concerne la déclinaison pratique des objectifs en tâches et la suggestion de pistes scientifiques, techniques et d'organisation pour les réaliser.

L'adéquation des ressources humaines aux objectifs est améliorable, car ceux-ci sont ambitieux.

Le Comité note la clarté des rapports écrits et oraux qui lui ont été soumis, et relève que les analyses « SWOT » lui ont paru pertinentes.



- Données de production :

	T1	T2	T3	T4	DER
Publications RCL	57	45	16	10	128
Actes de Congrès	133	82	101	40	356
Brevets		1	5	9	15
Ouvrages	2	1	1	1	5
Thèses de Doctorat	13	11	4	2	30

NB : A ce tableau, il convient de rajouter une production de l'ordre de 300 rapports ou notes techniques par an pour l'ensemble du département. Sur la base de 199 ingénieurs-chercheurs, l'indice de publication annuel moyen est alors de 0,2 environ pour les publications dans les revues à comité de lecture, brevets et ouvrages et de 1,5 pour l'ensemble des rapports et notes techniques.



4 • Analyse par thème

- **Intitulé de l'équipe et nom du responsable** : Thème 1 : Simulation neutronique des cœurs de réacteurs. Responsable : JP. GROUILLER
- **Effectifs** :

	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)	76	76
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)	10	10
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)	13	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	2

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

Cette thématique est mise en œuvre dans deux services du DER à Cadarache, le Service de Physique des Réacteurs et du Cycle (SPRC) et le Service de Physique Expérimentale (SPEX), en collaboration avec DM2S/SERMA à Saclay qui développe les solveurs de calculs.

Elle s'appuie sur une démarche globale de validation et de qualification intégrant les données nucléaires, les modèles physiques et les schémas de calcul par application. Cette démarche a deux objectifs principaux : d'une part la mise au point des outils de calculs, validés et qualifiés en identifiant les biais et les incertitudes associés aux grandeurs physiques d'intérêt, et, d'autre part, l'amélioration continue (par itération) de la simulation des cœurs par la réduction des biais et incertitudes d'une étape à l'autre des versions d'outils de calcul. Ce processus vise l'amélioration des données nucléaires, des modèles physiques et des mesures expérimentales.

Toutes ces activités sont indéniablement au premier plan au niveau mondial :

- la rigueur de la démarche de qualification est particulièrement forte et constitue une "signature" assez unique du DER ;
- les activités de développement des bibliothèques de données nucléaires sont fortement intégrées à la démarche de qualification et ont donné lieu à une nouvelle version de bibliothèque, JEFF 3, de très haute qualité, reconnue par un prix SFEN;
- la présence d'outils expérimentaux uniques (maquettes critiques MASURCA, EOLE et MINERVE), et leur maintien malgré un coût élevé, attestent de la volonté stratégique du CEA.



Au vu des résultats présentés par les deux directeurs de recherche du SPRC, le comité estime que le CEA et l'industrie française disposent des meilleurs outils de calcul neutronique disponibles en ce moment de par le monde.

Les publications clés dans cette thématique sont de très grande qualité et reconnues comme telles au niveau international. Le nombre total sur la période 2006-2010 est de 57 et environ 130 communications dans des conférences. Les thèses sont relativement nombreuses (13 soutenances) au vu des besoins futurs en personnel, mais il existe une dichotomie entre sujets de recherche à caractère fondamental et sujets très appliqués qui sont plus du ressort du travail d'ingénieur que de chercheur.

Il est à noter qu'une vingtaine de salariés de la thématique participent de façon régulière à des enseignements pour un total de 800 heures, le nombre d'heures consacrées à l'enseignement par tout le département étant de 1200 heures.

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

Le grand prix de la SFEN a été décerné en 2008 aux équipes Simulation neutronique (DER/SPRC et DM2S/SERMA) pour la réalisation de la nouvelle version 2.8 du code neutronique APOLLO. L'obtention récente (2010), par les mêmes entités, d'un prix mention spéciale de la SFEN pour la réalisation de la bibliothèque européenne de données nucléaires JEF 3.1.1 est à aussi noter ; en effet le DER a pris un fort leadership Européen dans le domaine des données nucléaires, leadership qui a abouti à de nombreuses collaborations avec des équipes du milieu académique au niveau national et des laboratoires de recherche au niveau international. Les résultats obtenus sont de premier plan. Les Directeurs de Recherche et Experts sont très renommés et très souvent appelés à contribuer à des manifestations internationales.

Cette composante du DER a depuis un grand nombre d'années formé des chercheurs de premier plan souvent en les embauchant immédiatement à partir de leur thèse. Ce processus d'embauche est certainement lié au domaine très pointu de la neutronique qui est enseignée dans peu d'universités. Un certain nombre d'embauches "externes" de très haut niveau ont également été réalisées. La capacité d'embauche par le CEA de chercheurs et thésards étrangers semble cependant être très limitée par les aspects liés au caractère sensible de la recherche nucléaire.

Cette composante du DER a aussi réussi à attirer un support soutenu de ses partenaires industriels (EDF et AREVA), y compris pour des programmes expérimentaux ; ce point est particulièrement important étant donné que plusieurs maquettes critiques étrangères ont été abandonnées suite au manque de soutien de leurs industries.

Le DER/Simulation neutronique de cœurs de réacteurs participe aux projets internationaux importants, en particulier dans le domaine des données nucléaires, (projets européens EUROTRANS, ANDES, CANDIDE par exemple), où, depuis la fin des années 80, plusieurs agents ont exercé des fonctions importantes de leadership au niveau européen et mondial. Il participe aussi à des actions nationales comme par exemple le groupement national de recherche GEDEPEON (gestion des déchets et la production d'énergie par options nouvelles), qui est piloté par CNRS-CEA-EDF-AREVA NP.

Les recherches entreprises dans cette thématique au DER ont permis à l'industrie française de disposer d'outils de calcul de tout premier plan et d'un avantage compétitif certain.

- **Appréciation sur le projet :**

Le projet scientifique est très clairement défini : mettre à la disposition des utilisateurs des outils de calculs de grande précision, qualifiés pour les applications à la fois aux réacteurs classiques actuels et aux réacteurs innovants du futur, pour la physique du cycle, et capables de prédire les incertitudes de calculs.

La démarche scientifique qui sous-tend ce projet est claire, et le CEA y a affecté des moyens considérables. On peut toutefois entrevoir deux sources de difficultés futures :

- le planning de redémarrage de MASURCA (2017) semble être en retard par rapport aux besoins potentiels du projet de réacteur à neutrons rapides ASTRID, en particulier pour des dessins innovants d'assemblages à coefficient de vide sodium nul ;
- l'organisation du projet APOLLO 3 ne semble pas être clairement définie entre les différentes équipes du CEA.



- **Conclusion :**

L'équipe neutronique du DER est de tout premier plan, avec des réalisations extrêmement visibles et reconnues au niveau international.

Ses points forts concernent à la fois la définition d'une approche scientifique rigoureuse et méthodique, l'existence de moyens expérimentaux uniques (maquettes critiques EOLE, MINERVE et MASURCA) dont la pérennité doit être assurée, et un soutien continu de ses différents partenaires industriels.

Ses points faibles sont liés aux risques financiers quant au maintien des moyens expérimentaux, à la difficulté de recrutement de collaborateurs étrangers, et à l'organisation encore peu claire aujourd'hui du futur projet APOLLO 3. Par ailleurs la direction devrait porter un effort particulier sur le passage HDR des acteurs de cette thématique.

Nos recommandations sont d'une part de continuer et d'appuyer la démarche scientifique qui nous a été présentée et que le comité a beaucoup appréciée, et d'autre part de clarifier à plus long terme l'organisation de la neutronique au CEA.

- **Intitulé de l'équipe et nom du responsable :** Thème 2 : Simulation thermohydraulique des réacteurs. Responsable : B. FAYDIDE
- **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)	61	61
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)	1	
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	5	5
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	3	3



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

Le thème 2 concerne principalement le Service de Simulation en Thermohydraulique (SSTH) du DER, et implique 3 laboratoires : LDAS, LDAL, et LDLD sur le site de Grenoble. SSTH est explicitement chargé de développer et qualifier les codes de simulation du comportement des installations nucléaires, depuis l'échelle locale à l'échelle système, en écoulements monophasiques ou diphasiques, en situation normale ou non. Ce thème 2 repose sur la complémentarité des équipes, qui associent des compétences fortes en modélisation, en informatique et génie logiciel, ainsi qu'en expérimentation.

Le Comité a apprécié la démarche scientifique qui sous-tend ce thème, et plus particulièrement la mise en œuvre d'une approche multi-échelles et pluridisciplinaire de la thermohydraulique et de ses applications. L'axe bénéficie d'un savoir-faire ancien dans le domaine, né dans les années 80 avec le développement du code Cathare.

Un des points forts des équipes est de disposer des outils numériques adaptés pour aborder tous ces différents niveaux de complexité : Cathare 2 à l'échelle du système, Genépi pour l'échelle composant, Trio_U et Neptune_CFD à l'échelle locale mono et diphasique.

Un autre point fort est la possibilité de s'appuyer sur des expériences permettant soit la validation des calculs à un niveau de description donné, soit une compréhension physique des phénomènes locaux et leur modélisation. On peut apprécier à cette occasion la bonne synergie interne entre les départements DER et DTN sur la définition et l'exploitation des expériences analytiques, ainsi que le haut niveau des coopérations internationales sur les expérimentations globales.

La thermohydraulique diphasique constitue incontestablement un domaine d'excellence de ce thème et bénéficie d'une forte reconnaissance internationale. Le CEA est probablement sans rival actuellement pour les calculs sur les réacteurs à eau légère. La thermohydraulique monophasique est également une spécialité très reconnue du DER, les équipes du CEA ayant été souvent pionnières dans les méthodes numériques pour la CFD, et la Simulation des Grandes Echelles. Les outils développés sont très flexibles et ont pu être transférés rapidement et avec succès à l'étude des RNR-Na, et à des applications de Génie des Procédés.

L'échelle du système est abordée à travers le code Cathare 2, qui a atteint un haut niveau de maturité et se situe aux meilleurs rangs dans les benchmarks internationaux. Les équipes de SSTH sont fortement impliquées dans un programme ambitieux et fédérateur, Neptune, avec les partenaires industriels AREVA, EDF et l'IRSN. La maîtrise des simulations 3D en diphasique est un enjeu à l'échelle internationale, et le DER possède des experts de tout premier plan dans le domaine. Les options choisies pour les modèles physiques (modèles eulériens multi-champs, équations d'aire interfaciale et de turbulence) ne sont pas sans risque, mais sont au bon niveau d'ambition. Le projet Cathare 3 qui doit se développer sur la période 2012-2020 est aussi très ambitieux et devra pouvoir bénéficier des moyens humains suffisants pour aboutir à temps. L'échelle composant est bien décrite dans ce thème, avec une approche CFD de plus en plus présente à côté des classiques modèles homogénéisés et des futurs outils industriels très intéressants (GENEPI+). Les progrès les plus spectaculaires des acteurs de ce thème 2 sont peut-être ceux obtenus à l'échelle locale. Celle-ci met en jeu les outils de modélisations les plus actuels, en terme de diphasique avec les méthodes de suivi d'interface, en monophasique, avec une maîtrise remarquable des méthodes RANS et de la LES. La DNS diphasique de l'ébullition réalisée par l'équipe est une première mondiale. Les équipes sont créatives, avec quelques projets à risque, comme la LES diphasique ou la simulation DNS du flux critique, mais extrêmement stimulants pour toute la communauté scientifique. Le couplage des échelles (Cathare-Trio_U en particulier) est un défi de taille, qui semble en bonne voie d'être résolu à court terme.

La production scientifique associée à cette thématique est d'excellente qualité, avec 45 publications dans des revues à comité de lecture, et 82 conférences. On peut remarquer, à côté des journaux habituels du Génie Nucléaire comme Nucl. Eng. Design, un effort de publication dans des revues plus généralistes (Int. J. of Heat and Mass Transfer, Int. J. of Multiphase Flow, et même Physical Review) qui montre qu'à côté des compétences métiers s'est développée une compétence scientifique au meilleur niveau académique. Le nombre de thèses soutenues est de 11, pour 3 HDR. Le nombre de post-doctorants semble toutefois très faible, avec un seul chercheur référencé.

Plusieurs récompenses ont été obtenues (1 prix de thèse SHF, 2 SFEN).



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

Le Thème s'appuie sur un réseau de relations nationales et internationales développées. Globalement, l'appréciation qu'on peut porter sur ce thème est très positive. Il a su créer un continuum entre les recherches « académiques », le plus souvent à l'échelle locale, et l'objet industriel dans toute sa complexité, grâce à une méthodologie bien adaptée. Les compétences en modélisation physique qui avaient décliné pendant un temps ont été bien reconstituées, et le melting pot entre numériciens, modélisateurs et expérimentateurs s'avère très fécond. Il faudra prendre garde de maintenir l'équilibre actuel entre développement d'outils de simulation innovants et les applications aux réacteurs. Les simulations 3D demandent une expertise plus difficilement transférable vers les autres départements du CEA, SSTH risque d'être fortement sollicité pour réaliser ces calculs complexes.

- **Appréciation sur le projet :**

La stratégie pour le futur de ce thème est claire, avec les projets Neptune, Astrid et le RJH. Les entretiens avec les personnels ont révélé une véritable inquiétude sur la pérennité de cette dynamique de groupe, qui pourrait être remise en cause par les éventuelles relocalisations géographiques des équipes grenobloises en cours d'instruction. Le Comité regrette que cette importante question n'ait pas été présentée, puisqu'elle ne peut être sans conséquence sur la réalisation du projet scientifique de la thématique, dont l'évaluation relève de sa compétence. Il ne peut que recommander que tout soit fait pour préserver ce domaine d'excellence du CEA, qui compte tenu de son rôle stratégique dans l'élaboration des outils de sûreté, présenterait certainement un coût exorbitant à reconstruire.

- **Conclusion :**

En conclusion, les équipes du thème 2 ont bien rempli les missions qui leur avaient été confiées par la DEN. Elles ont su prendre les tournants récents de la simulation numérique en mécanique des fluides, et du HCP en particulier. Il est à souligner que la politique du CEA en matière de thermohydraulique a eu un effet très positif, puisqu'au cours des années, cette activité, souvent morcelée, s'est bien structurée, avec un ensemble d'équipes complémentaires qui interagissent bien et qui constituent certainement le groupe le plus avancé dans le domaine à l'échelle internationale.



- **Intitulé de l'équipe et nom du responsable** : Thème 3 : Conception et sûreté des réacteurs innovants. Responsable : JC. GARNIER
- **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)	56	56
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)	3	3
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.8 du dossier de l'unité)	4	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	-	

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

L'appréciation générale sur la recherche effectuée par le thème 3 est positive, dans l'ensemble, et atteint même l'excellence pour certains sujets.

L'activité effectuée dans le thème 3 profite d'un référentiel interne (le projet ASTRID) qui l'encadre et la fédère, mais, de ce fait, l'activité du thème 3 se situe à la lisière entre recherche et conception, car toutes les actions de recherche effectuées convergent - et sont pilotées - par un objectif commun de conception (les évaluateurs ont fait abstraction de cette réalité afin d'être en mesure d'évaluer l'activité du thème 3 dans sa globalité).

Le fait d'être fédéré autour d'un seul projet laisse entrevoir beaucoup de difficultés dans le cas - non souhaité, mais toujours possible - d'un éventuel abandon de ce projet, et focalise excessivement le personnel sur les besoins du projet, en limitant son champ d'action et de progrès.

Cet inconvénient est aggravé par le fait que le réacteur ASTRID participe de deux objectifs quelque peu contradictoires :

- d'une part, en sa qualité de démonstrateur, il représente une étape nécessaire vers la future filière SFR répondant aux objectifs de GEN-IV,
- d'autre part, il est présenté comme le prototype industriel de cette future filière.

On notera aussi que le contexte et l'environnement externe du thème 3 sont assez compliqués en raison, notamment, du manque d'un cadre réglementaire de sûreté agréé et d'objectifs clairement affichés.

Malgré tout, l'activité de recherche exercée dans le thème 3 est toujours pertinente et souvent originale. Les résultats sont de qualité et parfois même excellents. La quantité et la qualité des publications sont satisfaisantes, compte tenu des enjeux industriels qui limitent les possibilités de publication.



Enfin, pour favoriser l'adaptation des compétences, une offre d'enseignements a été mise en place avec l'INSTN dans le cadre de la formation continue, cette formation recouvrant les aspects de conception, de physique du cœur et de sûreté.

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

Le thème 3 est parfaitement intégré dans le Département car en relation étroite avec les autres thèmes qui se positionnent envers lui en fournisseurs d'outils.

En raison de la renommée du Projet ASTRID il possède aussi un fort ancrage international qui se concrétise par une collaboration trilatérale (France, USA, Japon) et deux collaborations bilatérales (France-Russie et France-Inde). Il serait néanmoins important de consolider cet ancrage international en intégrant de façon active et constructive le Projet du 7^{ème} PCRD, SARGEN-IV, destiné à fournir un cadre référentiel aux futures évaluations de sûreté de réacteurs de GEN-IV.

Bien que le projet ASTRID soit en marge de la recherche conventionnelle, ce qui réduit les besoins de participation à des pôles d'activités, le thème 3 est parfaitement intégré dans le tissu industriel qui est en charge du projet ASTRID et partie prenante, et parfois motrice, des activités Européennes et internationales sur les réacteurs de GEN-IV. Cela rend le thème 3 très attractif pour les doctorants et post-doctorants.

La valorisation de la recherche du thème 3 se fait surtout en interne, pour les besoins du projet ASTRID qui en est le garant et le commanditaire. Néanmoins, elle profite aussi - et largement - aux autres services du DER et, plus largement, au CEA et à la communauté scientifique.

Sur le dépôt de 5 brevets dans la période considérée, il faut noter, en particulier, un brevet concernant un cœur de réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, à faible effet de vidange qui correspond à un progrès certain dans la conception et la sûreté de ce type de réacteur.

- **Appréciation sur le projet :**

L'appréciation du projet porté par le thème 3 est largement positive en termes d'originalité et de pertinence, toutefois, quelques doutes sont apparus en ce qui concerne l'évaluation de sa faisabilité en raison du cadre général du projet ASTRID, ainsi que sur l'affectation de moyens, jugée insuffisante pour couvrir l'ensemble des besoins. Par ailleurs, l'activité du thème 3 est fortement dépendante d'apports extérieurs (outils de calcul, moyens d'expérimentation) que le département ne maîtrise pas forcément et pas toujours, ce qui constitue un challenge supplémentaire et une source importante d'aléas par rapport à la faisabilité. Enfin, il serait important d'étayer le projet par des recherches plus générales sur les systèmes GEN IV pour éviter une dépendance trop forte à un seul système.

- **Conclusion :**

L'appréciation générale sur la recherche effectuée dans le thème 3 est positive, dans l'ensemble, et atteint même l'excellence pour certains sujets. Ce thème profite d'une équipe jeune, soudée et volontariste et d'un encadrement de qualité soutenu par les autres unités du CEA. Néanmoins apparaissent certains problèmes structurants notamment liés au référentiel du projet ASTRID qui semble être simultanément un réacteur de recherche et un réacteur prototype et dont le référentiel de sûreté n'est pas clairement établi.

Il est fortement recommandé d'ancrer le plus possible le thème 3 à des bases solides, en :

- Précisant et clarifiant les objectifs du projet ASTRID (démonstrateur vs prototype industriel),
- Clarifiant le cadre institutionnel et réglementaire en s'associant au projet du FP7 SARGEN-IV,
- Laissant une place à d'autres activités de recherche non strictement finalisées à ASTRID.
-

Enfin, il est indispensable d'être attentif à l'adéquation entre les moyens mis en œuvre et les objectifs visés, ainsi qu'à la pertinence et la disponibilité des apports extérieurs (outils de calculs, moyens d'expérimentations) nécessaires au projet.



- **Intitulé de l'équipe et nom du responsable** : Thème 4 : Instrumentation nucléaire pour les réacteurs - Responsable : C. Santucci
- **Effectifs:**

	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)	12	12
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)		
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)	4	
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	3	3

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

La pertinence des recherches conduites sur le thème 4 est fortement liée à plusieurs missions importantes du DER:

- (i) l'utilisation efficace et productive de ses trois maquettes critiques (EOLE, MINERVE et MASURCA) pour la qualification des calculs neutroniques des systèmes avancés ;
- (ii) la préparation de l'exploitation et l'expérimentation à réaliser dans le Réacteur d'irradiation Jules Horowitz (RJH) ;
- (iii) la démonstration de sûreté pour l'allongement de la durée de fonctionnement des centrales nucléaires actuelles ;

L'originalité et qualité de ces recherches et des résultats obtenus sont de très haut niveau. Cette constatation se base non seulement sur le fait que chacune des installations expérimentales mentionnées est mondialement unique dans le contexte de ses applications potentielles, mais aussi sur la compétence très élevée de l'équipe des expérimentateurs et techniciens.

En considérant la taille modeste de l'équipe expérimentale ainsi que ses tâches supplémentaires liées au soutien d'une exploitation efficace et sûre des maquettes critiques, la quantité et la qualité des publications, communications, thèses et autres productions R&D sont très bonnes.

Les relations avec les groupes concernées à l'intérieur de CEA, les universités proches ainsi que les partenaires internationaux sont très bien établies. Pourtant la pérennité de ces relations dépend fortement de celle des intérêts et programmes communs. Il est recommandé que la gamme des partenariats contractuels soit élargie pour inclure - dans le domaine de la dosimétrie des composants structurels des réacteurs - l'EDF et les électriciens nucléaires étrangers.



- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration:**

Une mesure importante de la reconnaissance externe accordée aux activités sur ce thème est fournie par les forts liens avec le monde académique - soit au niveau de l'établissement de programmes de Master spécialisés avec les universités proches, soit dans le contexte de divers types de l'encadrement (TP, TD, thèse) des étudiants.

Comme déjà évoqué, chacune des grandes installations expérimentales du DER est mondialement unique dans le contexte de ses propres applications, un facteur très attractif pour la délégation des chercheurs et techniciens étrangers.

Le développement de nouvelles techniques de mesure et le maintien d'un laboratoire de dosimétrie « state-of-the-art » avec une équipe d'expérimentateurs très performante ont permis l'établissement de laboratoires communs avec un partenaire Français (LIMMEX, avec l'Université de Provence) et un partenaire Belge (LCI, avec SCK•CEN en Belgique). Cet aspect constitue une force majeure du thème 4.

- **Appréciation sur le projet :**

Actuellement il existe plusieurs grands projets prioritaires au sein du CEA (p.ex. RJH, ASTRID) qui apportent une justification particulière à la R&D du thème 4. Le rôle de trois maquettes critiques du DER (EOLE, MINERVE et MASURCA) doit être souligné spécialement dans ce contexte.

Tandis que la pertinence de la recherche sur la dosimétrie en réacteur est évidente pour les nouvelles conditions neutroniques et thermiques à rencontrer dans les systèmes futurs, il est aussi important de fortifier encore l'effort servant le prolongement de la durée de fonctionnement des réacteurs électrogènes actuels. Le potentiel des ressources financières supplémentaires (p.ex. à travers de nouveaux contrats R&D avec l'EDF) est significatif.

- **Conclusion :**

Le thème 4, « Instrumentation nucléaire pour les réacteurs », correspond à une force capitale du DER. Malgré la taille modeste de l'équipe, les activités menées sont au top niveau mondial.

Les points forts et opportunités sont constitués par les maquettes critiques (EOLE, MINERVE et MASURCA), les installations de fabrication de détecteurs et laboratoires de dosimétrie « state-of-the-art », les partenariats nationaux et internationaux, ainsi que la pertinence aux grands projets prioritaires tels que RJH et ASTRID.

Un point à améliorer - qui constitue une première recommandation - est la fortification des liens avec les électriciens nationaux et internationaux sur le développement continu de la dosimétrie en réacteur servant le prolongement de la durée de fonctionnement des réacteurs électrogènes actuels. Au plan des objectifs académiques, tel que l'établissement des nouveaux Masters, il est important de promouvoir les liens avec les universités et centres de recherche non seulement nationaux mais aussi à l'étranger, surtout dans les pays européens.

Intitulé UR / équipe	C1	C2	C3	C4	Note globale
DER : Département d'études des réacteurs	A+	A+	A	A	A
Simulation neutronique des cœurs	A+	A+	Non noté	A+	A+
Simulation thermohydraulique des réacteurs	A+	A+	Non noté	A+	A+
Conception/ sûreté des réacteurs innovants	A	A	Non noté	B	A
Instrumentation nucléaire pour les réacteurs	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



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 Réacteurs est fidèle aux échanges et aux messages que nous avons voulu faire passer. Nous apprécions particulièrement que la commission note qu'une des raisons de la position forte du DER provienne du lien fort entre l'expérimentation, la simulation et l'instrumentation.

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.

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 apporté sur l'activité du DER, 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