



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

Section des Unités de recherche

Évaluation de l'AERES sur l'unité :

Département de Technologie du Cycle
du combustible

DTEC

sous tutelle des
établissements et organismes :

Commissariat à l'Énergie Atomique et Aux Énergies
Alternatives - CEA



Décembre 2013



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

Section des Unités de recherche

*Pour l'AERES, en vertu du décret du 3
novembre 2006¹,*

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

Au nom du comité d'experts,

- M. Jean-Claude CHARPENTIER,
président du comité

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



Rapport d'évaluation

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

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

Nom de l'unité : Département de TEchnologie du Cycle du combustible

Acronyme de l'unité : DTEC

Label demandé :

N° actuel :

Nom du directeur
(2013-2014) : M. Didier LETERO

Nom du porteur de projet
(2015-2019) : M. Didier LETERO

Membres du comité d'experts

Président : M. Jean-Claude CHARPENTIER, ENSIC Nancy, Université de Lorraine

M. Jean-Paul GLATZ, ITU, Karlsruhe, Allemagne

M. Christian JALLUT, LAGEP CPELyon/Université Claude Bernard Lyon 1

Experts : M. Yann LEPETITCORPS, LCTS, Université de Bordeaux 1

M. Jean-Paul MOULIN, Expert Hydrométallurgie, France

M. Sven VAN DEN BERGHE, SCK-CEN, Mol, Belgique

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Christophe GOURDON

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

M. Bernard BONIN, DEN-CEA

M. Gilles BORDIER, CEA-Marcoule

M. Marc DELPECH, DEN-CEA



1 • Introduction

Historique et localisation géographique de l'unité

Le Département de Technologie du Cycle du combustible (DTEC) du Centre CEA-Marcoule est l'unité de la Direction de l'Énergie Nucléaire (DEN) implantée sur les sites de Marcoule et de Pierrelatte dont l'objectif est l'industrialisation des procédés du cycle du combustible nucléaire. Le DTEC est chargé d'étudier, de développer et de qualifier d'une part les technologies nécessaires au cycle du combustible, à l'exception de la mise en oeuvre en réacteurs et des déchets vitrifiés de haute activité, et d'autre part les technologies en support aux opérations d'assainissement et de démantèlement des anciennes installations nucléaires. Le DTEC assure également les études à caractère technico-économique en coordination avec l'Institut de Technico-économie des systèmes énergétiques (I-Tésé) de la Direction déléguée aux Activités Nucléaires de Saclay (DANS). Enfin, il exploite un laboratoire commun avec l'industriel Technetics Group France dans le domaine de l'étanchéité, le laboratoire « Maestral » sur le site de Pierrelatte.

Le DTEC a été créé en 2004 à partir d'équipes ayant travaillé sur le programme de séparation isotopique par laser en vapeur atomique (SILVA), d'équipes chargées des études sur le conditionnement des déchets ainsi que l'équipe du laboratoire de génie chimique et instrumentation appartenant initialement au DRCP (Département Radiochimie et Procédés). Le Laboratoire d'Etude des Matériaux à base d'Actinides (LEMA) a été rattaché au DTEC en 2007 pour développer les technologies associées à la fabrication de combustibles nucléaires dans un environnement de haute activité. Enfin les activités de R&D liées au démantèlement, propres au Laboratoire de Simulation et des Techniques de Démantèlement (LSTD) ont rejoint le département en 2008.

Le périmètre et les missions de R&D du DTEC couvrent les technologies de l'amont du cycle du combustible ainsi que celles associées aux évolutions de l'aval du cycle actuel et au cycle des systèmes du futur et les technologies associées à la gestion des déchets en support aux opérations d'assainissement et de démantèlement.

Équipe de direction

L'équipe de direction est chargée de définir les orientations stratégiques du département et d'en assurer le pilotage administratif et budgétaire. Elle est composée des membres suivants :

- le chef de département et son adjoint ;
- un(e) assistant(e) Affaires Générales ;
- un ingénieur Qualité ;
- un assistant scientifique ;
- et trois chefs de projets.

Nomenclature AERES

ST5 (Sciences pour l'Ingénieur, SPI)



Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés		
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	67	67
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	52	52
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
N5 : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	1	2
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6	120	121

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	11	
Thèses soutenues	9	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	1	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées		1



2 • Appréciation sur l'unité

Avis global sur l'unité

Le DTEC est chargé d'étudier, de développer et de qualifier d'une part les technologies nécessaires au cycle du combustible nucléaire, à l'exception de la mise en oeuvre en réacteurs et des déchets vitrifiés de haute activité et d'autre part les technologies en support aux opérations d'assainissement et de démantèlement des anciennes installations nucléaires. Le DTEC assure également les études à caractère technico-économique.

Le Département est composé de trois Services de R&D et d'un Service d'exploitation d'installations découpé en deux groupes. Ce sont respectivement le Service d'Etudes de Procédés d'Enrichissement (SEPE) à Pierrelatte, le Service Génie Chimique et Systèmes (SGCS) à Marcoule, le Service de Développement des Technologies du Cycle (SDTC) à Marcoule et Pierrelatte et le Service d'Exploitation des Installations G1 et HERA (SEGH) à Marcoule.

Le DTEC dispose sur le site de Marcoule de halls d'essais visités par le comité d'experts, dans lesquels sont implantées différentes plateformes technologiques, notamment pour l'expérimentation avec des équipements de génie chimique (fonctionnement en zone conventionnelle et en zone uranium), dispositifs de cimentation, moyens robotisés, découpe laser, salle de réalité virtuelle pour le démantèlement. Ces moyens sont complétés par un laboratoire d'instrumentation et un laboratoire de métallographie et d'analyses chimiques. De plus pour les développements technologiques sur les nouveaux combustibles nucléaires, le DTEC dispose dans la plateforme ATALANTE d'une chaîne blindée et des équipements de caractérisation en haute activité.

Les activités du département faisant l'objet de son évaluation par l'AERES concernent 119 salariés (67 ingénieurs-chercheurs et 52 techniciens) qui travaillent en synergie avec les autres départements de Marcoule, notamment le DRCP (Département Radiochimie et Procédés), le DTCD (Département de Traitement et de Conditionnement des Déchets) et l'ICSM (Institut de Chimie Séparative de Marcoule). Elles sont regroupées en cinq thématiques transverses : (i) Technico-Economie des Scénarios du Cycle (TESC) (scenarii macroscopiques, études conceptuelles de procédés), (ii) Génie des Procédés du Cycle (GPC) (dimensionnement des procédés, modélisation, extrapolation), (iii) Développements Technologiques pour le Cycle (DTC) (conceptions d'appareils, qualification simulation du fonctionnement), (iv) Matériaux d'Actinides (MA) (fabrication de combustibles, réactivité des matériaux) et (v) Instrumentation, Caractérisation, Mesures Nucléaires (ICMN) (développement de capteurs, de méthodes et d'analyses physico-chimiques).

La lecture des documents écrits extrêmement bien circonstanciés, le professionnalisme et la qualité des exposés et la très grande préparation et qualité des visites en laboratoire pendant la visite du comité d'experts laissent une impression globale très favorable du DTEC, fleuron français pour l'industrialisation des procédés du cycle du combustible nucléaire, dont certaines activités aval de R&D sont une réussite sans équivalent dans le monde.

En effet si l'on examine la production et la qualité scientifiques et technologiques, le rayonnement et l'attractivité académiques, l'implication dans la formation par la recherche et l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel, les appréciations ne peuvent être qu'éminemment positives. Il en est de même pour l'organisation et la vie du département. Enfin quant à la stratégie et le projet à 5 ans, le projet qui est bien présenté et circonstancié par le chef de département, avec notamment une très bonne analyse SWOT, se situe dans un environnement politique complexe et mouvant qui nécessite de grandes prises de risques. C'est le cas, et l'appréciation pour ce projet cohérent et lucide est très favorable pour l'avenir du département DTEC qui a capitalisé et rassemble des compétences en personnels et des outils et équipements dont certains sont uniques au monde (actinides mineurs, télé-opération virtuelle, métrologie, installations en génie chimique...).

Points forts et possibilités liées au contexte

- Compétences et inventivité du personnel ;
- capacité à couvrir des projets d'envergure dans le domaine du nucléaire depuis la recherche scientifique de base jusqu'au développement technologique, avec une réelle autonomie.

Et plus généralement :

- Capacité à gérer les projets de la conception à l'industrialisation, axes d'études guidés par le retour « terrain » (REXP), et capacités d'adaptation et de montée en puissance sur des sujets nouveaux ;



- installations et équipements spécifiques incontournables (HERA, G1, ATALANTE/LEMA) ;
- sources de financements multiples de faibles montants financiers, mais autorisant quand même une certaine régulation budgétaire ;
- compétences expérimentales et de modélisation en génie des procédés dans un ensemble de domaines qui sont au départ liés à l'industrie nucléaire, mais qui ont une portée générale (il serait probablement possible de transposer ce savoir-faire en dehors des applications nucléaires pour mieux le valoriser) ;
- résultats valorisés par des brevets et des développements avec différents partenaires industriels ;
- étant donnée l'importance que prend le démantèlement, les activités du thème DTC devraient à terme se développer et intéresser les futurs assainisseurs et être utiles pour leur formation (remarquables réalisations de R&D avec les 3 plateformes d'étanchéité, de procédés du cycle et de télé-opération assistée par ordinateur) ;
- développement de méthodologies pour la caractérisation des matériaux nucléaires (verres de vitrification, actinides, gainages, poudres combustible, etc). Ce domaine d'activité est particulièrement propice au développement de collaborations internationales et de publications, certainement dans le cas d'un développement de méthodologies plus génériques que l'application pour laquelle elles sont développées actuellement au DTEC ;
- production scientifique multiforme avec des rapports techniques de très grande qualité et des publications de très haut niveau, voire top mondial dans le domaine des actinides ;
- bon rayonnement et attractivité académiques du DTEC qui est impliqué dans plusieurs réseaux et projets scientifiques européens ;
- satisfaction totale des personnels concernant l'organisation de la vie du département ;
- multiples implications du DTEC dans la formation par la recherche : encadrement de thèses, nombreux enseignements dans les universités et écoles d'ingénieur et bonne implication et responsabilité dans les réseaux de formation nationaux ;
- pertinence scientifique aux niveaux national et international des collaborations avec les meilleures équipes universitaires (29 laboratoires universitaires aujourd'hui et 8 nouveaux laboratoires universitaires parfaitement ciblés) ;
- stratégie et projet à 5 ans ambitieux.

Points faibles et risques liés au contexte

- Absence d'un grand projet fédérateur, car le programme du DTEC dont le cœur de métier est l'industrialisation peut laisser l'impression, certes peut-être fausse au premier abord, de se présenter sous la forme d'une compilation et d'une mosaïque d'activités : à ce titre l'analyse SWOT pourrait permettre de dégager des priorités ;
- relative fragilité liée à un financement majoritaire sur fonds publics (83% du budget de fonctionnement) ;
- partenariats industriels qui restent spécifiques et en nombre très limité ;
- valorisation du portefeuille de brevets à fortement améliorer dans les domaines nucléaires et hors nucléaires ;
- visibilité scientifique des experts parfois limitée par les contraintes induites par la confidentialité industrielle ;
- coûts et complexité des travaux expérimentaux sur les actinides ;
- réduction budgétaire attendue conduisant à mettre en situation difficile certaines compétences scientifiques (transmutation des actinides mineurs et uranium) et à ne pas faciliter l'embauche prévue de thésards ;
- pour les thématiques (GPC), (DTC) et (ICMN), nombre insuffisant de publications scientifiques de haut niveau malgré les résultats remarquables des recherches menées (i.e., bon nombre des rapports techniques non confidentiels pourraient faire l'objet de publications scientifiques de haut niveau), et ce, pas uniquement dans des revues spécialisées dans le domaine du nucléaire ;



- un unique HDR est insuffisant pour encadrer les 10 ou 11 thésards prévus.

Et surtout :

- risques liés à l'ambition du projet dans un environnement politique complexe et mouvant et dans un cadre financier public prévisionnel de décroissance budgétaire, avec de plus une obligation de mobiliser de plus en plus de ces crédits pour la sécurité des installations (notamment travaux supplémentaires suite aux évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima). Cette diminution budgétaire sur fonds publics risque d'impacter et de fragiliser la recherche scientifique de base non associée à un développement procédé spécifique, les activités R&D spécifiquement dédiées aux cycles nucléaires de 4ème génération et les recherches sur le recyclage des actinides mineurs pour les cycles nucléaires du futur.

Recommandations

Du fait d'un environnement politique complexe et mouvant et d'un cadre financier prévisionnel de décroissance budgétaire, force est de constater que la stratégie du DTEC comporte une grande prise de risques, mais développe un projet cohérent. Avec la qualité et la compétence de ses équipes de recherche scientifique et de R&D, le département DTEC, qui est un fleuron français pour la R&D de l'industrialisation des procédés du cycle du combustible nucléaire, possède tous les ingrédients pour mener à bien le projet envisagé.

Les recommandations ne peuvent donc que conforter la stratégie proposée et son projet, à savoir un renforcement partenarial volontariste marqué sur le plan à la fois académique (intégration de chercheurs et de post-docs et recherche amont propre à l'approche moderne du génie des procédés) et industriel, pour valoriser le savoir-faire du CEA en génie des procédés et métrologie non seulement dans le domaine du nucléaire, mais aussi dans les domaines non nucléaires, notamment dans celui du recyclage des matériaux stratégiques (terres rares,...) ou dans celui des industries minières (projet ambitieux IEH).

Toutefois, il faut attirer l'attention des membres du DTEC sur deux risques possibles liés aux propositions de diversification : (i) le traitement des questions nucléaires, si importantes du point de vue énergétique et de la sécurité, doit rester la priorité absolue même si les moyens alloués au DTEC décroissent et (ii) l'idée de créer un Institut Européen consacré à l'Hydrométallurgie (IEH) est a priori intéressante mais il faut faire attention au risque de construire des halles technologiques qu'il faut ensuite faire vivre et alimenter en projets. Il serait bienvenu que le DTEC cherche à s'inspirer de précédents exemples, en France (pôle de compétitivité AXELERA, plateforme AXEL'ONE) ou en Europe.

Enfin, il est de plus fortement recommandé au DTEC de montrer (et d'insister sur) le caractère structurant de son projet à cinq ans qui porte sur un très (peut-être trop) grand nombre d'activités de recherche scientifique et de R&D autour du cœur de métier, le génie des procédés pour l'industrialisation des procédés du cycle du combustible nucléaire.



3 • Appréciations détaillées

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production scientifique du DTEC est multiple. Elle est d'une part principalement constituée de documents techniques (rapports et notes) internes au CEA dont approximativement la moitié est classée « diffusion restreinte (DR) » pour des considérations de confidentialité. Elle est d'autre part constituée de l'ensemble des productions classiques de la communauté scientifique : publications majoritairement dans des revues avec comité de lecture, de haut, voire de très haut niveau, actes de communications dans les congrès majoritairement internationaux, livres, mémoires de thèse et brevets.

Sur la période 2008-2013, on recense environ 400 documents dont 324 sont des rapports techniques internes, 66 articles scientifiques et 11 ouvrages et contributions à ouvrage, et 36 brevets. A côté de ce bilan, il convient de mentionner la production de 62 articles scientifiques publiés dans leur unité de recherche d'origine par les personnels recrutés par le DTEC depuis 2008.

En ce qui concerne les documents techniques, les exemplaires laissés à l'appréciation des experts du comité AERES ont montré que leurs contenus soutenaient, pour bon nombre d'entre eux, une bonne comparaison avec les publications dans les journaux scientifiques de haut rang. Ils montrent et portent, le plus souvent de façon très originale, sur des avancées ou des ruptures technologiques en génie des procédés, en métrologie et en développement de plateformes technologiques, caractéristiques du domaine du nucléaire mais qui pourraient à l'avenir s'appliquer à d'autres domaines.

Chacune des thématiques présente un type de communications correspondant à la nature de ses objectifs et à son profil d'activité: publications scientifiques en majorité pour (MA), mais aussi pour (GPC) et (ICMN), documents techniques en majorité pour (DTC) et (TESC) et brevets en majorité pour (DTC). Le nombre de publications scientifiques du DTEC est en augmentation depuis 2008 avec une évolution différenciée suivant les thématiques. La répartition est : 45% (MA), 23% (ICMN), 20% (GPC), 6% (DTC) et 6% (TESC). Leur impact en termes scientifiques est très bon. On note par exemple que les ingénieurs-chercheurs du thème (MA) se placent au top mondial en ce qui concerne leurs publications dans des revues de référence dans le domaine des actinides. On suggère par contre pour certains thèmes comme (GPC), (ICMN) de veiller à encore mieux traduire en termes de publications scientifiques de haut niveau les résultats remarquables des recherches menées, et ce, pas uniquement dans des revues spécialisées dans le domaine du nucléaire.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'analyse de la production scientifique du DTEC montre qu'un grand nombre de publications est effectué en collaboration avec un organisme extérieur. Elles sont pour l'essentiel centrées autour des thématiques portant sur les matériaux d'actinides, sur la caractérisation et l'instrumentation, et sur le génie des procédés. Elles concernent les laboratoires nationaux, instituts et universités européennes. Ainsi l'équipe du DTEC impliquée dans l'étude des composés intégrant de l'américium a participé à différents programmes européens (MARIOS, ESFE, ACTINET et TALISMAN). Le DTEC participe au projet européen ASGARD sur les combustibles du futur dans le cadre des études de pyrophoricité des carbures d'uranium. L'expertise du DTEC est fortement sollicitée par l'AIEA (organisation d'ateliers et d'écoles d'été). Dans le domaine de la caractérisation des solides, le DTEC fait partie des réseaux scientifiques européens Actinet call7, Actinet 13 en collaboration avec l'ITU (Allemagne), le centre SCK-CEN (Belgique) et l'Institut Paul Scherrer (Suisse). Dans le cadre du programme ERC REE-Cycle, le DTEC avec l'ICSM est partie prenante pour le développement d'une technologie innovante fondée sur la pertraction en collaboration avec l'Institut Max Planck de Postdam (Allemagne).

Au niveau français les nombreuses collaborations avec 25 laboratoires conduisent à des publications portant principalement sur les domaines de la chimie des matériaux actinides, de la modélisation des procédés et de la métrologie nucléaire. On mentionnera aussi l'implantation récente de l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM) (unité mixte CEA, CNRS, Montpellier 2, ENSCM) sur le site de Marcoule qui a conduit à de premières collaborations dans le domaine du recyclage des matériaux stratégiques.



La reconnaissance de l'expertise et de la compétence des membres du DTEC est bonne. Le département possède 2 experts internationaux et 5 experts seniors et 1 HDR (depuis 2013). Les membres du DTEC sont souvent sollicités en tant que rapporteurs d'articles scientifiques, membres du comité éditorial de revues scientifiques et techniques ou comme membres du conseil scientifique et technique de la CETAMA (Commission d'ETAbblissement des Méthodes d'Analyse). Il faut ajouter la remise de nombreux prix aux membres du DTEC à des congrès nationaux et internationaux pour la qualité de leurs travaux.

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

L'impact industriel est notoire et éminent. 50% des activités du DTEC sont consacrées aux interactions avec l'environnement socio-économique, avec des actions à finalité industrielle. Ces interactions concernent d'une part les actions menées en soutien à des projets industriels, en particulier avec AREVA, mais aussi avec de nombreux partenaires industriels dont certains depuis plus de 40 ans comme la société TECHNETICS Group France (thématique étanchéité), et d'autre part les actions menées dans le cadre de la loi du 28 Juin 2006 relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, visant à en évaluer les perspectives industrielles, travaux régulièrement audités par la Commission Nationale d'Evaluation des recherches et Etudes (CNE2). Ces travaux ont mobilisé les membres du DTEC par 13 présentations relevant en majorité de la thématique TESC. Les actions de R&D s'appuient bien évidemment sur des travaux de recherche de base plus fondamentaux menés en collaboration avec le monde universitaire.

Il faut également noter que l'activité brevet du DTEC est importante et en augmentation sur la période 2008-2012. Ainsi pour l'année 2012, le département a déposé 11 brevets, à comparer à une vingtaine pour l'ensemble du site du CEA-Marcoule.

Au titre socio-culturel, le DTEC reçoit périodiquement des scolaires et des étudiants et participe annuellement aux fêtes de la science pour les animations et démonstrations. Ainsi la salle immersive de réalité virtuelle et la plateforme de télé-opération ont été fortement mises à contribution dans le cadre des visites organisées par l'unité de communication de Marcoule (par exemple, 43 démonstrations dans la salle immersive en 2012).

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

L'adéquation de la structuration du département à la logique des activités scientifiques et de R&D est patente. L'organisation hiérarchique du département comprend un échelon direction (chef de département et son adjoint, 1 assistante affaires générales, 1 assistant scientifique, 1 ingénieur qualité, 1 chargé de mission et 3 chefs de projets). Cette direction centrale et les chefs de service se réunissent 2 fois par mois à l'occasion des comités de département. Ces réunions donnent lieu à une remontée des faits marquants scientifiques et techniques et à une transmission d'informations générales liées aux programmes, à la sécurité, à la qualité et aux ressources humaines. A noter que les réunions des comités de département sont précédées d'un exposé technique ou scientifique par un ingénieur-chercheur du département. Les chefs de service mettent en place des réunions équivalentes pour leurs unités.

Une fois par an se tient la revue de direction DTEC Q3SE (Qualité, Santé, Sécurité, Sûreté et Environnement) qui fait le bilan des actions décidées lors de revue précédente.

La ligne hiérarchique du département se réunit annuellement à l'occasion d'un séminaire de 2 jours pour débattre sur un ou plusieurs sujets de fond en groupes de travail et définir des pistes de progrès. Il existe de plus un « comité scientifique » composé d'experts du département qui se réunit plusieurs fois par an pour traiter des orientations générales en matière de R&D et pour préparer le bilan scientifique de l'année écoulée. Il émet des propositions à l'attention du comité de département.

Pour la communication interne et l'affichage de la politique scientifique et des programmes de recherche, il se tient une fois par an une assemblée générale du département au cours de laquelle le chef de département y expose le bilan de l'année et les perspectives. Des présentations sur les faits techniques majeurs sont effectuées à cette occasion par les ingénieurs concernés.

Un conseil d'unité regroupant les membres élus du personnel rencontre le chef de département pour recevoir des informations sur les programmes et pour échanger sur les aspects de la vie courante.

Un site intranet du département est disponible depuis l'accueil intranet du site du CEA-Marcoule avec un espace réservé au personnel du DTEC pour accéder à différents documents.



Il faut noter aussi une réunion annuelle des thésards pour présenter leurs travaux de recherche à l'ensemble des membres du département.

Les entretiens du comité d'experts AERES avec des représentants des personnels dont les élus au conseil d'unité du département (qui se réunit une fois par an) se sont déroulés dans une atmosphère très cordiale. La satisfaction est générale quant à la résolution éventuelle des problèmes quotidiens qui remontent rapidement aux chefs de services. Les formations (6% du budget du département avec 200 k€) sont très adaptées notamment pour la sécurité, sûreté, chimie, matériaux et langues. Pour l'avancement dans la carrière, il a été mentionné la réelle incitation faite aux ingénieurs-chercheurs docteurs de passer une HDR. Quant aux techniciens et aux ingénieurs non HDR, pourrait être mentionnée l'approche de type 'formation tout au long de la vie professionnelle de type ingénieur CNAM' pour reconnaître encore mieux leurs acquis et compétences. La possibilité d'acquérir de nouveaux diplômes de Master ou de doctorat par la procédure VAE (Validation des Acquis de l'Expérience), mise en place aujourd'hui dans les universités, a aussi été évoquée.

D'une façon générale, le comité d'experts AERES a perçu la très bonne ambiance qui règne au DTEC, dont la taille est relativement modeste (119 permanents et une dizaine de thésards) au regard d'autres départements, avec une organisation très matricielle, propre au CEA, qui mériterait peut-être parfois un zeste de souplesse et de flexibilité.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Malgré le caractère R&D nécessairement marqué du DTEC, l'activité de recherche scientifique joue un rôle primordial, que ce soit pour comprendre les mécanismes physico-chimiques et de transfert d'extensités de base, pour extrapoler les procédés depuis l'échelle pilote jusqu'à l'échelle industrielle, pour transposer les performances d'un simulat au produit réel ou encore pour réduire le nombre d'essais de mise au point.

Ce noyau scientifique est et a été bien perçu dans le département avec la nomination d'un assistant scientifique et la création du comité scientifique du DTEC en 2011. Pour mener à bien la politique scientifique, cela suppose de soutenir une démarche proactive d'innovation et de créativité scientifique qui nécessite de s'intégrer dans des réseaux de collaboration et de partenariat avec les équipes universitaires de haut niveau. C'est pourquoi le département mène une politique volontariste qui repose d'une part sur des partenariats actifs au travers d'une trentaine de collaborations bilatérales au niveau national (du Pôle Balard des équipes de chimistes de la Région Languedoc-Roussillon, du Pôle parisien des Écoles d'Ingénieurs de Chimie et des Écoles d'Ingénieurs de Génie Chimique, des pôles grenoblois, marseillais et rouennais,...) et au niveau international (collaborations spécifiques avec des partenaires américains, japonais, russes...) et sur les participations et animations de réseaux académiques nationaux ou internationaux (réseaux européens ACTINET-TALISMAN, ASGARD,...). Cette politique volontariste repose d'autre part sur la promotion de la formation par la recherche qui s'effectue par l'accueil et l'encadrement de jeunes thésards (11 thèses en cours) et 203 stagiaires (dont 77 M1, M2 et élèves-ingénieurs) dans les équipes de R&D du DTEC et sur la participation de nombreux ingénieurs-chercheurs du département à l'enseignement supérieur (300 à 500h par an) dans les Ecoles d'Ingénieurs ou dans les universités qui proposent des formations en adéquation avec les besoins du département (notamment pour les mesures nucléaires, la robotique et le génie chimique). On peut ajouter que pour les besoins en formation relatifs au fonctionnement des appareils d'extraction, un simulateur de fonctionnement hydraulique de colonne pulsée (SIFON) a été mis au point. Il est utilisé lors de séances de travaux pratiques à Marcoule dans le cadre de diverses formations universitaires (Master Fuel Cycle Engineering de Chimie ParisTech, formation génie des installations nucléaires de l'École des Mines de St Etienne) et pour la formation interne d'ingénieurs du CEA, ainsi que d'opérateurs AREVA des ateliers de retraitement de La Hague.

Pour encadrer les thésards, le DTEC en rapport avec les enseignants-chercheurs de 12 ED différentes dispose de 27 experts dont 2 experts internationaux et 5 experts seniors. Par contre, il n'y a seulement qu'un HDR DTEC et c'est pourquoi les soutenances de HDR vont être fortement incitées dans un très proche avenir.

Les entretiens du comité d'experts AERES avec les étudiants se sont déroulés dans une atmosphère également très cordiale. Ils ont montré la grande qualité et efficacité de l'accompagnement des doctorants et la satisfaction et le bien-être des étudiants tout comme l'excellente ambiance qui règne au sein du département. On peut souligner les bons contacts qui existent entre les doctorants et leurs EDs de rattachement universitaire, et notamment avec leur directeur de thèse, malgré l'éloignement géographique.



Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Au cours d'un exposé cohérent et très lucide, le chef de département a présenté la stratégie et le projet à 5 ans.

Une analyse SWOT pertinente permet entre autres choses d'insister sur les nombreuses opportunités et sur certaines menaces inquiétantes. Les opportunités pour le département sont que sa thématique orientée technologie le met naturellement en relation avec le secteur industriel, soit directement, soit dans le cadre de pôles de compétitivité comme le Pôle Nucléaire de Bourgogne. Un certain nombre de grands projets nucléaires comme ITER ou le réacteur ASTRID pourraient faire appel aux compétences du département aussi bien pour la maîtrise d'ouvrage que pour la maîtrise d'œuvre (dimensionnement, conception technologique, robotique). De même les compétences du département sont bien adaptées à la maintenance ou au démantèlement des installations nucléaires. De plus ses compétences uniques en génie chimique qui ont été développées pour mettre au point les procédés et technologies du cycle du combustible nucléaire, peuvent être mises à profit pour des applications non nucléaires, par exemple pour le projet de plateforme technologique, l'Institut Européen d'Hydrométallurgie (IEH). Enfin, il faut mentionner le réseau de collaborations actives dans le domaine de la recherche scientifique de base et l'ancrage du département dans les projets européens.

Les menaces portent sur le contexte économique fragile, sur les incertitudes concernant l'évolution de la stratégie française en matière d'électronucléaire (quid des recherches scientifiques de base consacrées à la transmutation des actinides mineurs ?), sur l'évolution permanente des contraintes réglementaires, sur la difficulté à assurer sur le long-terme le financement de la recherche de base, sur les difficultés à assurer la continuité des compétences multiples dans un contexte budgétaire décroissant (la subvention de l'état représente 83% de budget du département) et sur l'absence d'un projet fédérateur pour l'ensemble des forces du DTEC capable d'assurer sa pérennité jusqu'à un horizon lointain.

L'analyse SWOT et une analyse complémentaire TRL des 5 thématiques positionnent le DTEC en situation médiane sur la chaîne de valeur R&D, ce qui lui impose de s'associer d'une part à des partenaires universitaires et d'autres départements de recherche du CEA pour enrichir sa recherche amont et se ressourcer, et d'autre part à la conclusion d'accords de partenariat avec le secteur industriel. Cette étroite imbrication est certes un plus, mais elle requiert de cultiver ces partenariats et réseaux de collaborations.

Ainsi, en plus du solide noyau de recherche scientifique et de R&D existant dans les domaines de la mécanique des fluides, du pressage, du frittage et de la caractérisation des composés d'actinides et dans le domaine de l'étanchéité, la recherche amont va s'orienter vers 3 domaines d'intérêt patents pour le département, à savoir le couplage procédé-produit (c'est-à-dire l'influence du procédé sur les caractéristiques du produit), le couplage modélisation-technologie en milieu nucléaire (c'est-à-dire l'amélioration de la technologie par l'apport étendu de la modélisation et l'utilisation de la réalité virtuelle dès la conception des équipements) et la thématique vieillissement (c'est-à-dire l'évolution transitoire des performances des procédés). Cela entre dans le cadre de la poursuite du renforcement de l'activité scientifique amorcée en 2011 avec la cible de 12 doctorants (à comparer avec 11 en 2013), 3 post-docs (1 en 2013), 3 HDR (1 en 2013), 4 experts internationaux (2 en 2013) et d'une politique volontariste affichée de production d'un plus grand nombre d'articles scientifiques et surtout de lancement de collaborations avec 8 partenaires universitaires supplémentaires aux 29 déjà existant. Les collaborations internationales seront ciblées assainissement/démantèlement d'installations nucléaires et récupération des terres rares et des matériaux stratégiques. Quant à la recherche de nouveaux partenariats industriels, elle se fera dans les domaines porteurs qui requièrent les compétences de la R&D du DTEC comme la caractérisation radiologique des chantiers de démantèlement, les études hydrodynamiques relatives à la filtration des effluents, l'automatisation et le traitement du signal pour la mesure nucléaire, l'industrialisation d'une alpha-caméra,... Et il faut mentionner la valorisation du portefeuille de 70 brevets du DTEC qui doit être recherchée auprès d'industriels qui en exploiteraient les licences.

En conclusion, la stratégie future de positionnement du DTEC va porter sur l'élargissement de son socle scientifique avec une volonté encore plus marquée de collaborations universitaires et sur l'élargissement du nombre de partenariats industriels, nucléaire et hors nucléaire (industries minières et du recyclage, projets ANR) dans les domaines où doivent s'appliquer les nombreuses et diversifiées compétences de sa R&D. La crédibilité de cette stratégie est patente. En réponse notamment à des analyses SWOT et TRL circonstanciées et parfaitement lucides, cette crédibilité porte en effet sur les arguments suivants : la maîtrise de la construction d'un projet cohérent quant aux aspects efficacité de l'articulation et du continuum entre recherche scientifique de base et recherches et développements technologiques, la richesse et l'ouverture des partenariats universitaires et extra-universitaires, et la capacité d'adaptation et de réorientation stratégique en réponse aux évolutions de l'environnement politique sur la position de l'industrie du nucléaire.



Avec la qualité et la compétence de ses équipes de recherche scientifique et de R&D, le département DTEC possède tous les ingrédients pour mener à bien le projet envisagé, et ce, avec notamment un renforcement partenarial volontariste à la fois marqué académique (intégration de chercheurs et de post-docs et recherche amont concernant l'approche moderne du génie des procédés) et marqué industriel pour valoriser le savoir-faire du CEA en génie des procédés et métrologie hors du domaine du nucléaire, et notamment dans le domaine du recyclage des matériaux stratégiques (terres rares,...) ou dans le domaine des industries minières (dans le cadre du projet ambitieux IEH).



4 • Analyse thème par thème

Thème 1 : TESC

Technico-économie des scénarios du cycle (TESC)

Nom du responsable :

M. Jean-François MILOT

Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	10	10
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	9	9
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité		
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants		
TOTAL	19	19

• Appréciations détaillées

Le thème TESC regroupe les études technico-économiques des scénarios du cycle du combustible nucléaire, ainsi que l'ensemble des études conceptuelles qui y concourent, à savoir les études de faisabilité de procédés et la conception d'installations pour le cycle. Le thème TESC implique 19 personnes (55% ingénieurs-chercheurs et 45% techniciens).

Les études couvertes ont pour objectif d'apporter des éléments d'appréciation concernant la faisabilité de mise en œuvre industrielle d'options nouvelles dans le domaine du cycle du combustible et de la gestion des déchets (sélection de concepts ou de procédés, évaluation de scénarii, prédéfinition d'installations). Outre la faisabilité elle-même, l'impact sur l'environnement et les coûts d'investissement et d'exploitation sont les critères d'évaluation habituellement retenus dans le cadre de ces études. Ainsi ces études participent à l'orientation des projets de R&D en aidant à faire la sélection des options les plus prometteuses et en identifiant les aspects qui nécessitent, dans une perspective d'industrialisation, des compléments d'étude. Elles prennent part également aux actions de transfert vers l'ingénierie des connaissances acquises sur les procédés développés par les équipes du CEA en regroupant dans un « livre de procédés » les informations nécessaires à la réalisation, l'exploitation et la maintenance d'une unité industrielle.



Pour juger de la faisabilité d'une option, il est souvent utile de prendre comme base de comparaison les procédés utilisés dans les installations en fonctionnement. C'est pourquoi des contacts sont établis avec des industriels de la filière nucléaire qui exploitent les installations du cycle afin de disposer d'éléments de retour d'expériences.

Enfin, pour la réalisation des études, les logiciels usuels de simulation de procédés (PROSIM, ARENA) et de dessin assistés par ordinateur sont utilisés ainsi que des outils développés en interne pour l'évaluation des caractéristiques des déchets.

Les champs d'activités portent sur l'électronucléaire avec une composante innovation et soutien nucléaire qui comprend l'évaluation des cycles basés sur des réacteurs de 4ème génération et rendant possible le recyclage récurrent de l'uranium, du plutonium et des actinides mineurs, et avec une composante qui porte sur la gestion des déchets de l'assainissement et du démantèlement. On recense aussi des activités de « valorisation » portant sur la production massive d'hydrogène et sur le projet d'Institut Européen d'Hydrométallurgie en soutien à l'industrie minière et aux activités de recyclage de métaux stratégiques.

Pour les études concernant l'évaluation des cycles électronucléaires basés sur les réacteurs de 4ème génération qui ont nécessité la contribution de plusieurs unités de la DEN (DER, DM2S, DTN, i-TESE), la part confiée au thème TESC a concerné l'analyse des conséquences de diverses options sur les installations de fabrication et de traitement de combustibles et sur les transports. Cette analyse a montré que la séparation et la transmutation des actinides mineurs présentent des difficultés et incertitudes liées à la gestion du dégagement thermique et des rayonnements ionisants qui nécessiteraient notamment de réduire la taille des lots et d'accroître grandement le nombre de lignes de production.

Une autre part des activités a concerné la définition des installations associées au projet ASTRID avec une première estimation du coût du traitement des combustibles usés déchargés du réacteur. Deux options ont été envisagées : le traitement dans une installation entièrement nouvelle spécifiquement conçue pour ces combustibles ou bien le traitement en dilution dans une usine existante. Associées à ces options, deux configurations d'atelier ont été esquissées. La première correspond à un atelier autonome qui pourrait être implanté sur le site d'accueil du réacteur et la seconde, à un atelier aux fonctionnalités restreintes localisé sur le site de La Hague et qui ferait appel à des unités existantes pour une grande partie des opérations de traitement du combustible. Ce travail de préconception qui a su associer l'ensemble des compétences du DTEC en termes de génie des procédés et de conception d'installations de haute activité a permis d'aboutir à une estimation des coûts d'investissement des deux configurations d'atelier. Ainsi il a été estimé que bénéficiant des infrastructures existantes, l'atelier situé sur le site de La Hague présente un coût d'investissement de 1/3 moins élevé que celui obtenu pour l'atelier autonome.

En ce qui concerne l'assainissement et le démantèlement, les études ont concerné la gestion des déchets, aussi bien ceux entreposés sur les sites du CEA que ceux qui seront produits dans le futur (ITER). Elles ont consisté d'une part à établir les caractéristiques des déchets et à proposer des filières de traitement et de conditionnement en vue de leur gestion à long terme et à vérifier la concordance entre les flux à gérer et les capacités de traitement, d'entreposage et de transport actuelles et projetées, et d'autre part à proposer des pistes d'optimisation des cadences de production des installations dédiées à la gestion des déchets. Pour les outils de simulation nécessaires à ces études, on mentionnera l'aide du logiciel PROSIM pour un schéma de traitement des éléments de graphite utilisés comme modérateurs dans la 1ère génération de réacteurs nucléaires (UNGG) mettant en œuvre une gazéification totale du graphite, un lavage des gaz et une récupération du ^{14}C par séparation isotopique. On mentionnera aussi le développement d'une base de données INFLUVAL pour faciliter les comparaisons entre les prévisions de production de déchets et les possibilités de prise en charge par le système de gestion (installations de traitement, entrepôts et emballages de transport). Cet outil recense notamment les déchets actuellement entreposés sur les sites du CEA ainsi que les chroniques de production de déchets telles qu'envisagées pour les années à venir par les projets de démantèlement et par les exploitants des installations de recherche. On mentionnera également les modèles développés à l'aide du logiciel ARENA pour l'optimisation du fonctionnement d'installations existantes de traitement de déchets ou la vérification du dimensionnement d'unités en projet, par exemple l'INB 37 de Cadarache, l'atelier de conditionnement des déchets solides (CDS) de Marcoule et le projet d'installation d'entreposage DIADEM. Dans chaque cas, un modèle décrit les opérations mises en œuvre (réception des fûts, mesures nucléaires, compactage, immobilisation par cimentation, séchage et expédition des colis vers un entrepôt ou un site de stockage) et reproduit la circulation des flux de fûts de déchets à travers l'installation.



Enfin pour certains déchets spécifiques, des procédés de conditionnement sont en cours de développement pour une mise en œuvre à court terme, et un travail d'intégration et de synthèse des résultats de la R&D a été entrepris pour rassembler les données essentielles à l'industrialisation de ces procédés. Ainsi des « livres de procédés » ont été établis pour la vitrification en creuset froid (pour le DTCD), et pour le conditionnement par cimentation des boues issues du traitement des effluents liquides du site de Marcoule et pour l'immobilisation des déchets magnésiens par un géopolymère (collaboration DTEC, DTCD).

Conclusion

▪ *Avis global sur le thème :*

Il est clair que les études du thème TESC comportent des actions principalement destinées à fournir des éléments de réflexion stratégique aux projets en interne au CEA ou vis-à-vis de l'extérieur (Comité National d'Evaluation des recherches et partenaires industriels AREVA et EDF) par l'examen des diverses facettes d'un « système ».

Toutefois il est possible d'identifier quelques actions où il se dégage un aspect scientifique patent. C'est le cas des études portant sur la production d'acide fluorhydrique anhydre avec des recherches scientifiques portant sur le recyclage du fluor qui est utilisé pour produire l'hexafluorure d'uranium, forme sous laquelle l'uranium est enrichi. Le recyclage du fluor nécessite de déshydrater la solution de HF issue de la défluoration du combustible. Diverses voies d'obtention de HF anhydre par déshydratation de HF aqueux ont été proposées mettant en œuvre l'intensification des procédés : distillation à pression étagée, distillation couplée à la cristallisation et distillation associée à l'électrolyse avec pour chaque cas la présentation d'un schéma de procédé (dimensionnement des équipements et consommations d'énergie).

C'est également le cas des études thermochimiques de production massive d'hydrogène permettant d'utiliser directement une partie de la chaleur produite par un réacteur nucléaire. L'électrolyse haute température avec des cycles purement thermochimiques ou hybrides (associant électrolyse et thermochimie) ont été évalués et des procédés ont été analysés avec un certain nombre de critères énergétiques, de sûreté, de qualité de l'H₂ produit, de coûts de production, etc.... Le TESC s'est investi dans la conception des installations de production industrielle (schéma de procédé et dimensionnement des divers composants, consommations énergétiques et coûts d'investissement) pour les cycles iode-soufre, hybride soufre et cuivre-chlore. Les résultats ont été pris en compte par I-TESE pour le calcul du coût de l'hydrogène produit par les différents procédés. Parmi les conclusions qui s'en dégagent, il est constaté que si la faisabilité technique de la production de H₂ par chacun de ces procédés ne semble pas être un obstacle majeur, il n'en est pas de même pour leur faisabilité industrielle rendant difficile d'imaginer la disponibilité commerciale d'un procédé avant 10 à 20 ans. Ces travaux ont fait l'objet de 3 publications dans la revue « International Journal of Hydrogen Energy ».

▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- La thématique TESC est à l'interface de l'ensemble des unités produisant de la connaissance, soit pour guider le choix des actions, soit pour synthétiser les résultats obtenus ;

- très grandes qualités des études de faisabilité proposées qui participent à l'orientation des projets de R&D du CEA en aidant à la sélection des options les plus prometteuses et en identifiant les aspects nécessitant des compléments d'investigation dans une perspective d'industrialisation ;

- très bonnes contributions, interfaces et ouvertures vers l'extérieur du DTEC avec les expertises de plusieurs unités de la DEN (DER, DM2S, DTN, I-TESE), notamment pour la prise en compte des risques liés à la criticité ou bien à l'exposition aux rayonnements ionisants ;

- capacités à gérer les projets de la conception à l'industrialisation, axes d'études guidés par le retour « terrain » (ou d'expérience, REX) sur sites du CEA et de partenaires industriels, et capacités d'adaptation et montée en puissance sur des sujets nouveaux ;

- étant donnée l'importance que prend le démantèlement, les activités du thème TESC sur la gestion des déchets devraient à terme se développer et intéresser les futurs assainisseurs et être utiles pour leur formation ;



- production scientifique principalement sous forme de 84 rapports techniques de très grande qualité dont certains pourraient faire l'objet de publications scientifiques de très bon niveau ;

- le DTEC a acquis des compétences en simulation des installations en génie des procédés dans un ensemble de domaines qui sont au départ liés à l'industrie nucléaire mais qui ont une portée plus générale et il serait probablement possible de transposer ce savoir-faire en dehors des applications nucléaires pour mieux le valoriser. Dans cette approche, on mentionnera l'étude du TESC sur le prédimensionnement des moyens expérimentaux du futur Institut Européen d'Hydrométallurgie.

▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

- Le démantèlement des installations nucléaires (ou leur maintenance) représente des opportunités intéressantes pour le département. La contribution de TESC à ces projets industriels reste trop marginale malgré les compétences reconnues et recherchées de TESC (par exemple pour le conditionnement des déchets) ;

- la thématique TESC est en contact ou se trouve à l'interface avec de nombreux départements du CEA, et certaines zones de recouvrement peuvent apparaître entre les missions des uns et des autres. Mais le TESC a toute sa place au sein du DTEC et on perçoit de nombreux échanges avec les différentes thématiques du département (notamment GPC et DTC ;

- l'activité de TESC ne fait pas encore suffisamment appel à des travaux de doctorants.

▪ *Recommandations :*

Il faut continuer à maintenir le remarquable niveau et la qualité des activités de la thématique TESC.

Le comité d'experts AERES s'associe totalement aux perspectives d'évolution et au programme proposé pour les activités futures de TESC qui portent sur le renforcement du catalogue des méthodes (schémas d'installation, analyse et optimisation multicritères, chiffrage économique) et des outils de simulation, notamment les outils spécifiques pour le calcul des caractéristiques radioactives des déchets issus du traitement. Cela devrait pouvoir accroître l'activité doctorale de TESC.

Le comité d'experts adhère également à l'idée de diversifier les compétences et de les valoriser dans des applications hors nucléaire (industries minières et chimiques).

Thème 2 : GPC

Génie des procédés du cycle (GPC)

Nom du responsable :

M. Jean DUHAMET

Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	18	18
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	17	17
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité		
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants	8	
TOTAL	43	35

• Appréciations détaillées

Les activités du thème Génie des procédés du cycle (GPC) comportent des actions de soutien industriel et le développement de procédés de conditionnement de déchets solides ou liquides. Les actions de soutien industriel portent sur le fonctionnement des ateliers d'extraction des usines de La Hague pour apporter l'expertise du DTEC au fonctionnement des ateliers d'extraction. Elle portent également sur l'étude de nouveaux solvants pour les opérations de traitement en colonnes pulsées ou en extracteurs centrifuges, sur l'étude de conditions de mise en oeuvre d'un traitement des combustibles en centrifugeuse, sur la recherche d'un nouveau solvant pour l'usine COMURHEX de Malvési pour purifier l'uranium nucléaire issu des concentrés miniers et le rendre compatible avec l'étape suivante de l'enrichissement. Elles portent aussi sur le développement de prototypes de séparateurs solide/liquide et le développement de membranes de pertraction. Quant au développement de procédés de conditionnement de déchets solides ou liquides, les activités du GPC concernent l'étude et la réalisation d'essais semi-pilote de cimentation pour définir le procédé de conditionnement en vue de son industrialisation.

Ainsi l'activité de recherche du thème GPC est, bien entendu, liée à la mission du DTEC concernant le cycle du combustible. Les processus et procédés étudiés sont tous le siège de transferts multiphasiques avec ou sans réaction chimique et une bonne partie d'entre-eux concerne la chaîne du solide. Les thématiques abordées présentent de ce fait une grande cohérence et peuvent être classées comme suit :



- Les systèmes liquide-liquide : l'activité historique du laboratoire concerne l'étude de l'opération d'extraction liquide-liquide en colonne pulsée ou système Couette-Taylor permettant la réalisation d'appareils d'extraction à débit global faible ainsi que de hauteur modérée. Les travaux menés évoluent d'une approche expérimentale vers la conception d'outils numériques "nourris" à l'aide d'expériences où l'hydrodynamique joue un rôle majeur. Deux activités de recherche sont nées de cette problématique :

- mise au point d'un précipitateur d'oxalate en émulsion pour minimiser les problèmes de croutage à partir du savoir faire concernant les colonnes d'extraction liquide-liquide. Cette démarche ouvre la voie à la mise au point de précipitateurs à haute capacité. Pour ce point, il paraît important que le contact soit maintenu avec le DRCP, de façon à éviter que les deux unités poursuivent des développements à terme incompatibles entre eux ;

- mise au point d'extracteurs sans émulsion à l'aide de systèmes membranaires pour la mise en contact des phases (pertraction).

- élaboration et traitement des solides :

- réactions gaz-solide : études cinétiques et modélisation des couplages concernant la calcination de coprecipités pour la formation d'oxydes et la modélisation des fours et concernant la fluoration d'oxydes avant séparation isotopique ;

- transfert de matière dans les solides avec l'étude de la diffusion de l'hydrogène dans les ciments utilisés pour le confinement des déchets ;

- séparation solide/liquide avec la mise au point d'un test adapté à la filtration en milieu nucléaire et avec la simulation numérique et la mise au point d'un prototype de séparateur solide/liquide laminaire.

Ces recherches sont conditionnées par les contraintes imposées par le domaine nucléaire avec la nécessité de réduire les quantités de matière utilisées pour les études à petite échelle et à l'échelle pilote d'où un recours massif à la modélisation et à la simulation numérique. Ce recours permet aussi, à terme, de réduire les étapes d'extrapolation expérimentale comme dans toutes les industries de procédés.

Cette activité du thème GPC conduit aussi à des travaux dont l'intérêt scientifique est indéniable et qui donnent lieu à des publications dans des revues scientifiques internationales et à la soutenance de thèses. Ces travaux sont souvent menés en collaboration avec les partenaires universitaires (EMSE, LAGEP CPE/Université Lyon 1, Institut Jean Le Rond d'Alembert (UPMC, Paris), MADIREL et M2P2 (Université Aix-Marseille), IMFT et LGC/ENSIACET Toulouse, Max Planck Institute, ECP, CNAM - Paris).

On peut caractériser les travaux du thème GPC par des études sur les phénomènes de transfert couplés ou non à des réactions chimiques à diverses échelles. Cette approche est devenue maintenant caractéristique des activités de recherche en génie des procédés. Elles concernent d'abord les études et la modélisation à petite échelle, par exemple CFD dans les appareils d'extraction liquide-liquide (écoulements mono- et diphasiques), diffusion dans les ciments, réactions gaz-solide avec transferts au niveau du grain, puis elle concerne les études et modélisations à l'échelle macroscopique ou des procédés, études de type « systèmes », par exemple modélisation simplifiée des colonnes d'extraction, étude de l'opération de filtration, modélisation des fours de calcination, pilotes de démonstration de cycles thermochimiques.

La distinction entre le génie chimique qui serait le domaine des modèles globaux macroscopiques simplifiés et l'étude des phénomènes à plus petite échelle n'est pas nécessaire. Le génie des procédés comme discipline s'exerce naturellement à toutes les échelles avec le souci constant de la prise en compte des couplages. L'activité décrite ici est bien conforme à cette approche.

Conclusion

▪ *Avis global sur le thème :*

Il s'agit bien de faire basculer la réalisation d'appareils construits jusqu'à présent sur des bases purement empiriques (voire par simple reconduction de l'existant) vers une conception fondée de plus en plus sur des bases scientifiques. C'est une démarche qui mérite d'être valorisée. Le thème de recherche est fortement structuré par les objectifs industriels sans sacrifier une recherche scientifique de base très intéressante, fondée à la fois sur le développement de nouveaux systèmes et sur des travaux de modélisation à diverses échelles. La prise en compte des couplages qui est décrite est bien caractéristique d'un génie des procédés moderne.



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

- Le GPC a acquis des compétences expérimentales et de modélisation en génie des procédés tout à fait importantes, dans un ensemble de domaines qui sont au départ liés à l'industrie nucléaire mais qui ont une portée plus générale.

▪ **Points faibles et risques liés au contexte :**

- Compte tenu du caractère fortement technologique des recherches menées, le nombre de brevets déposés est insuffisant, en particulier en dehors du domaine nucléaire.

▪ **Recommandations :**

Le nombre de publications scientifiques n'est pas très élevé mais ce n'était sans doute pas une priorité jusqu'à maintenant. Toutefois il faut souligner que les thématiques et la qualité des travaux de recherches scientifiques et de R&D menés par les ingénieurs-chercheurs du thème GPC sont tout à fait de nature à donner lieu à un plus grand nombre de publications. En termes de valorisation, il est recommandé de mieux valoriser les brevets existants ainsi que les savoir-faire expérimentaux et de modélisation en génie des procédés en particulier en dehors du domaine nucléaire.

L'analyse SWOT fait d'ailleurs apparaître la question de la valorisation hors nucléaire des compétences du DTEC. Dans ce cadre, le génie des procédés doit pouvoir prendre toute sa place comme discipline à spectre assez large.

Le comité d'experts suggère aussi un développement des liens avec la thématique « thématique Matériaux d'Actinides » dans le domaine des réactions gaz-solide et solide-solide (fabrications de combustibles, recyclage, études de sécurité (inflammation des déchets)).

Et d'une façon générale pour cette approche de diversification, il est aussi recommandé de maintenir les liens avec le DRCP.



Thème 3 : DTC

Développements technologiques pour le cycle (DTC)

Nom du responsable :

M^{me} Cécile FERRY

Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	15	15
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	7	7
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité		
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants	1	
TOTAL	23	22

• Appréciations détaillées

Les activités du thème Développement Technologique pour le Cycle (DTC) concernent le développement des technologies nucléarisées pour les procédés du cycle du combustible nucléaire. Les domaines d'application sont la fabrication des combustibles nucléaires, le recyclage des actinides mineurs, le conditionnement des déchets radioactifs, l'assainissement-démantèlement des anciennes installations. Les activités du thème DTC ont conduit aux développements de 3 plateformes technologiques, (i) la plateforme étanchéité en partenariat avec le fabricant de joints TECHNETICS Group France, dont l'objectif est le développement de systèmes d'étanchéité haute performance avec des exigences en étanchéité de plus en plus contraignantes (température, contraintes, environnement corrosif) et dont les applications sont dans les domaines de l'aéronautique (joints moteurs) et de l'énergie nucléaire, mais aussi pétrole, gaz (joints de vannes), (ii) la plateforme des procédés du cycle nucléaire dont l'objectif est le développement des équipements et procédés nucléarisés avec une capacité de production semi-industrielle et dont les domaines d'application sont la fabrication des combustibles nucléaires, le recyclage des actinides et le conditionnement des déchets radioactifs et (iii) la plateforme de télé-opération assistée par ordinateur dont l'objectif est le développement des moyens télé-opérés à distance par ordinateur et dont les domaines d'application sont l'assainissement et le démantèlement des anciennes installations nucléaires et les interventions en milieu hostile. Pour mener ces activités les membres du thème DTC ont des collaborations patentes et très nombreuses, internes au CEA (5 Départements à Marcoule, Cadarache et Saclay) et avec le milieu académique (6 laboratoires pour la thématique étanchéité), et partenariales avec 5 fabricants industriels, comme TECHNETICS Group France (thématique étanchéité), EKIUUM et CHAMPALLE (technologie pour le cycle), CYBERNETICX et EURIWARE (télé-opération assistée par ordinateur).



L'effectif moyen sur la période de l'évaluation AERES est de 20/25 ETP répartis approximativement en 2/3 d'ingénieurs-chercheurs et 1/3 de techniciens. Il est important de mentionner que cet effectif représente environ 25% de l'effectif global du DTEC.

Ainsi les activités du thème DTC sont principalement de type R&D et s'articulent autour de trois domaines d'applications qui ont conduit au développement des trois plateformes technologiques. La technologie qui est très présente dans ce thème se traduit par une production scientifique importante en brevets et en rapports techniques (60% des brevets et 35% des rapports techniques du DTEC sont issus de ce thème). En contrepartie la participation aux conférences ainsi que la publication dans des journaux scientifiques est plus faible (6% de publications et 20% de participation à des conférences par rapport à l'ensemble de l'activité du DTEC). Il est vrai que le dépôt de brevets oblige pendant un certain temps les inventeurs à ne pas communiquer sur leurs travaux. Ces indicateurs sont des voies d'amélioration d'autant plus que ce thème fait appel à des travaux réalisés par des doctorants et que le personnel est impliqué dans plusieurs projets collaboratifs financés par l'ANR, ce devrait être l'occasion de réaliser des communications écrites et orales.

Les faits marquants du thème sont :

- Les travaux réalisés sur les étanchéités hautes performances dans le cadre du Laboratoire commun CEA-Technetics Group France. Ces travaux font appel à des collaborations universitaires pour le co-encadrement de thèses (2) ou se font dans le cadre de programmes collaboratifs comme ceux qui sont financés par l'ANR. Ces recherches se font avec de l'expérimentation et à l'aide de la modélisation numérique pour relier les propriétés de contact aux chemins de fuite. La méthode est bonne et est réalisée avec les bons outils, de nombreux brevets sont issus de cette activité. Compte tenu de la sévérité des milieux dans lesquels sont soumis ces joints, il serait intéressant de développer une approche expérimentale et numérique basée sur la sélection des matériaux d'une part pour choisir les matériaux constituant les joints et d'autre part pour étudier ou simuler leurs vieillissements (durée de vie) dans ces conditions extrêmes ;

- les développements technologiques réalisés pour la nucléarisation de dispositifs ou de procédés. Cette activité est essentielle pour le DTEC, elle intervient sur plusieurs thèmes (thèmes matériaux pour actinides, instrumentation, caractérisation, mesures nucléaires), et vient en soutien pour tout développement de matériel en boîte à gants ou en caisson blindé (nucléarisation de dispositifs de mesures, nucléarisation d'une presse, fonctionnement des dispositifs par bras télé-opérés). Pour ce faire, le DTEC se repose sur son bureau d'étude et les travaux réalisés concernent la modélisation des moyens pour prévoir le fonctionnement à la taille industrielle. Les outils sur lesquels s'appuient les ingénieurs sont ceux qui sont issus de la technologie de réalité virtuelle. Mis à part le côté « utile » des travaux pour les différents services du DTEC, ces études conduisent au dépôt d'un nombre notable de 21 brevets (57% du DTEC). Ces travaux pourraient à terme être valorisés avec ceux qui sont développés sur le démantèlement ;

- la réalisation d'une plateforme de télé-opération assistée par ordinateur. Cette plateforme rentre dans le cadre des actions menées sur le démantèlement. L'objectif est de pouvoir simuler des scénarios d'intervention en milieu ionisant gamma. Les actions qui y sont menées se font en collaboration avec le LIST (Laboratoire d'Intégration de Systèmes et de Technologies, CEA-DRT, Direction de la Recherche Technologique) et impliquent également le thème n°5 du département « Instrumentation, caractérisation et mesures nucléaires (ICMN) ». Étant donnée l'importance que prend le démantèlement, cette activité est tout à fait pertinente et devrait à terme se développer. Elle devrait intéresser les futurs assainisseurs et être utile pour leur formation.

Conclusion

- *Avis global sur le thème :*

Le thème « Développement technologique pour le cycle » se situe complètement dans les grandes activités du CEA de Marcoule. La présentation en thème des activités du DTEC montre les interactions du DTC avec presque tous les services et/ou laboratoires du département. Seule l'activité liée à l'étanchéité semble être réalisée de manière indépendante des autres thèmes ou services du DTEC et l'implication d'un laboratoire par exemple le LMAC pour sa connaissance sur les matériaux ou sur leur comportement devrait être encore plus bénéfique pour cette activité.



De plus la qualité des travaux et des résultats obtenus est bonne, voire très bonne et les perspectives sont clairement indiquées.

▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- Le thème DTC remplit ses missions d'apport technologique pour les différents services du DTEC ;
- il est transversal à d'autres services du DTEC ;
- les résultats sont valorisés par des brevets et des développements avec différents partenaires industriels ;
- étant donnée l'importance que prend le démantèlement, les activités du thème DTC devraient à terme se développer et intéresser les futurs assainisseurs et être utiles pour leur formation.

▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

- La production scientifique est à renforcer notamment sur les travaux sur l'étanchéité ainsi que sur la téléopération assistée par ordinateur ;
- la coopération scientifique est à poursuivre à la fois avec le milieu universitaire et avec les donneurs d'ordre ou les exploitants de sites nucléaires.

▪ *Recommandations :*

Il faut continuer à maintenir le remarquable niveau et la qualité des activités du thème DTC, étendre les coopérations universitaires notamment en proposant des sujets de thèses en co-direction avec ces établissements. Il faut aussi continuer à avoir une vue prospective. En effet la participation à des congrès, à des réseaux, les échanges avec les partenaires académiques ou industriels peuvent être une source pour l'innovation.

Enfin il faut tout mettre en œuvre pour valoriser l'incomparable équipement de télé-opération virtuelle.

**Thème 4 : MA**

Matériaux d'actinides (MA)

Nom du responsable :

M. Thibaut DELAHAYE

Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	13	13
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	9	9
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	1	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants	1	
TOTAL	24	22

- **Appréciations détaillées**

Les activités de recherche menées au sein de la thématique MA sur les matériaux à base d'actinides se partagent en deux domaines distincts avec d'une part l'étude portant sur les matériaux à base d'actinides mineurs et d'autre part les études de pyrophoricité des matériaux uranifères.

L'abondance de l'américium dans l'inventaire des actinides mineurs (AM) ainsi que sa radiotoxicité et sa puissance thermique élevées ont orienté en priorité la recherche sur l'étude des oxydes de structure fluorine CCAM (Couvertures Chargées en Américium). Cette recherche se partage en trois axes majeurs interdépendants qui portent sur (i) la synthèse et la caractérisation de composés à base d'américium, (ii) sur la fabrication de combustibles de type CCAM et sur l'élaboration de CCAM denses à l'échelle du laboratoire basée soit sur un frittage réactif des précurseurs UO₂ et AmO₂, soit sur un frittage classique d'une poudre de solution solide de CCAM déjà formée (procédé breveté UMACS) et (iii) sur l'étude des effets de l'auto-irradiation dans les oxydes d'américium à l'échelle structurale avec des poudres et à l'échelle macroscopique d'une pastille.

Les études de pyrophoricité des matériaux uranifères ont concerné la réactivité de l'hydruure d'uranium (UH₃) sous air, l'élaboration de l'UH₃ à partir d'uranium et les conditions d'inflammation de l'UH₃.

Pour mener l'ensemble de ces activités, les membres de la thématique MA ont des collaborations patentées et très nombreuses, internes au CEA (3 départements DEC, DPC, DRCP) et avec le milieu académique français (4 laboratoires (UCCS Lille, IPGP Paris Jussieu, ENSCI Limoges, ESCM Montpellier) et européen (ITU Karlsruhe, Allemagne, Ligne INE (ANKA), Ligne BM20 (ESRF)).



L'effectif moyen sur la période l'expertise AERES est de 20/25 ETP répartis approximativement en 60% d'ingénieurs-chercheurs et 40% de techniciens. On note la présence de 2 doctorants et d'1 post-doc. Il est important de mentionner que cet effectif représente seulement 12% de l'effectif global du DTEC, mais 45% des publications scientifiques de très haut niveau.

Il est clair que ce programme de recherche sur les matériaux d'actinides est très utile et pertinent en vue de la situation globale des déchets nucléaires. En effet, une caractérisation détaillée des matériaux est indispensable pour la mise en œuvre des projets de fabrication de combustibles avec un contenu en actinides mineurs significatifs suivie d'une démonstration de leur transmutation telle qu'elle est prévue dans ASTRID.

Les études scientifiques sont de haut niveau et couvrent les caractérisations principales requises pour qualifier les matériaux d'actinides. Un échange, voire une collaboration étroite avec le Département des Etudes du Combustible (DEC) à Cadarache paraît extrêmement utile, notamment pour intégrer encore plus les moyens de simulation et de modélisation existants à Marcoule. De même, l'étude de la pyrophoricité des composés actinides représente une tâche importante pour la sûreté des projets d'assainissement à Marcoule et à La Hague.

Conclusion

▪ *Avis global sur le thème :*

Aujourd'hui, aucun pays dans le monde qui utilise l'énergie nucléaire ne propose une solution claire et bien définie pour le stockage des déchets de haute activité, peut-être à l'exception de la Finlande. Au contraire, certains pays comme les Etats-Unis et l'Allemagne ont abandonné des projets déjà bien avancés. De plus, le développement durable impose de trouver une solution qui laisse aux générations futures un minimum de charges issues de l'utilisation actuelle de l'énergie nucléaire. Il semble donc indispensable de faire un maximum d'efforts pour étudier également les possibilités de transmutation des actinides à vie longue et parmi eux, l'américium pour réduire la radiotoxicité à long terme et minimiser les volumes de stockage dans les sites géologiques prévus. En France, la décision de donner une priorité à la transmutation de l'Américium semble logique et les activités de séparation avec le développement du procédé EXAm ainsi que les caractérisations présentées dans le thème Matériaux d'Actinides soutiennent cette stratégie.

De plus le développement du prototype ASTRID prévoit une étude de transmutation par voie hétérogène de l'américium en périphérie de cœur et nécessite les activités de recherche de la thématique Matériaux d'Actinides pour avoir une connaissance approfondie des propriétés des combustibles utilisés sur une large gamme de contenus en américium.

▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- Les aspects principaux des combustibles de type (U,Am)O₂ sont traités dans les études conduites dans le thème (MA), par exemple stoechiométrie, cristallographie, études des mécanismes de formation de la solution solide U-Am-O, problèmes liés à l'état d'oxydation des composants, effet des radiations sur les matériaux, ayant des teneurs en Am allant jusqu'à 50%, problèmes liés à la densification et au frittage des matériaux ;

- pour ce faire, le DTEC dispose d'un grand nombre d'équipements nucléarisés pour étudier les matériaux dans des conditions pertinentes ;

- les études conduites avec des universités en France et des laboratoires européens sous forme de collaborations complètent parfaitement le programme de recherche scientifique ;

- le programme d'irradiation DIAMINO dans OSIRIS représente une étape essentielle pour la validation des études de caractérisation, en vue de l'irradiation dans ASTRID ;

- la plateforme PYRO est un outil unique, qui permet d'étudier en détail l'inflammation d'UH₃, le composé d'Uranium le plus réactif, et de conforter ainsi avec les résultats obtenus les dossiers de sûreté en vue d'un conditionnement de ces déchets ;

- la production scientifique est très bonne, dans un domaine où certaines activités de recherche sont parmi les meilleures au monde.



▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

- L'étude de la volatilité de l'Am à haute température, par exemple pendant le frittage, n'est pas évoquée dans la liste des perspectives et cela paraît cependant indispensable ;

- les études traitent uniquement du système U-Am-O, et même si cette structure représente pour le moment une priorité au CEA, il faudrait peut-être prendre en considération également les alternatives, par exemple les carbures ou les autres actinides, en premier lieu le Pu mais aussi le Np et le Cm (recyclage homogène, à voir aussi dans les perspectives du thème de recherche). Ce qui peut aussi se justifier dans le contexte post-Fukushima afin de connaître leur comportement en cas d'accident ;

- les capacités de modélisation et de simulation existantes par ailleurs, au DEC à Cadarache, ne sont pas assez déployées ;

- pour les études de pyrophoricité de l'UH3, il semble que la mise en œuvre d'expériences sur mélanges représentatifs, par exemple U-Mg-C devrait être réalisée sans trop de délais, avant de passer aux études sur l'interaction avec les matrices de confinement.

▪ *Recommandations :*

En plus des points évoqués ci-dessus qui seraient de l'avis du comité à rajouter au programme d'études, à savoir étudier la volatilité de l'Am à haute température pendant les procédés de frittage, élargir les activités de recherche à d'autres structures d'actinides et mettre en œuvre rapidement des expériences de pyrophoricité de l'UH3 avec des mélanges plus représentatifs, il est recommandé de faire appel à d'autres techniques de caractérisation, par exemple la RMN.

En outre il est suggéré que pour les aspects plus fondamentaux, un support encore plus intense de l'ICSM pourrait être utile.

Il est recommandé de renforcer l'utilisation de la modélisation et de la simulation numérique en support des expériences. Cela constituerait un atout incontestable afin d'élargir le potentiel du remarquable travail expérimental en cours. Cette recommandation concerne non seulement les investigations portant sur les combustibles actinides mineurs, mais également sur celles relatives aux études de pyrophoricité des composés d'uranium réactifs dans les déchets des réacteurs UNGG.

Thème 5 : ICMN

Instrumentation, caractérisation, mesures nucléaires (ICMN)

Nom du responsable :

M. Olivier DUGNE

Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	11	11
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	10	10
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité		
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants	1	
TOTAL	22	21

• Appréciations détaillées

Le thème Instrumentation, caractérisation, mesures nucléaires (ICMN) concerne les études menées au DTEC dans les domaines de l'instrumentation, de la caractérisation des matériaux et fluides et des mesures nucléaires, en appui à la R&D sur le cycle du combustible nucléaire. En matière d'instrumentation, cette thématique concentre ses activités sur des besoins issus de l'étude des écoulements polyphasiques dans des appareils de génie chimique. Par ailleurs les demandes de caractérisation physico-chimiques et d'expertise de matériaux soumis à divers tests et conditions de service nécessitent également des investigations particulières. Enfin la mise en œuvre de mesures nucléaires est jusqu'à présent centrée sur des applications dans le domaine du démantèlement des installations nucléaires de fin de vie. C'est pourquoi le DTEC développe des compétences et moyens qui lui sont propres pour répondre aux attentes spécifiques des activités précitées.

Les activités du thème (ICMN) portent (i) sur la caractérisation des écoulements liquide-liquide par des techniques intrusives et non-intrusives : vélocimétrie par imagerie de particules (PIV), ombroscopie, fluorescence induite par laser (PLIF), holographie numérique de particules et prise de vue à haute vitesse à l'aide de caméras performantes (plusieurs milliers d'images par seconde) (ii) sur la caractérisation d'actinides et de matériaux de structures ou de confinement de déchets : verres nucléaires par fluorescence X, métaux faiblement actifs corrodés en conditions de procédés nucléaires par moyens analytiques adaptés en ambiance nucléaire, DRX, MEB-EDS, MET-FIB, quantification analytique des actinides mineurs sans standard par microsonde électronique, expertise d'échantillons provenant de tests pour accidents graves et caractérisation de solides divisés (poudres et agglomérats) par MEB couplée IA. Les activités du thème (ICMN) portent également sur (iii) le développement de sondes et capteurs et la qualification des outils de mesure nucléaires à distance : spectroscopie gamma, imagerie gamma et techniques de mesure de l'activité et de la profondeur de contamination, émetteurs gamma dans les sols bétons contaminés.



L'effectif moyen sur la période d'expertise AERES est de 16/20 ETP répartis approximativement en 50% d'ingénieurs-chercheurs et 50% de techniciens. On note la présence d'un doctorant. Il est important de mentionner que cet effectif représente 17% de l'effectif global du DTEC et environ 25% des publications scientifiques de très haut niveau. Plus précisément et globalement la production du thème sur la période d'expertise de l'AERES est environ 5 publications/an + 5 rapports techniques/an + 5 à 10 conférences/an.

Ainsi il apparaît clairement que le thème (ICMN) se concentre sur trois thématiques principales qui sont la caractérisation des écoulements/émulsions, l'analyse des matériaux et les mesures nucléaires et qu'il se présente de fait comme un support pour les autres thématiques de recherche du DTEC et hors du DTEC. De fait, les ingénieurs-chercheurs actifs dans cette thématique cherchent à répondre aux besoins d'autres thématiques pour la validation de modèles et la mise au point de procédés. Ils s'intéressent ainsi à la compréhension des phénomènes de base qui régissent les mécanismes physico-chimiques et le vieillissement des matériaux et ils développent des instruments de support pour les mesures nucléaires utilisées dans le démantèlement et l'assainissement.

Par ailleurs, les activités de la thématique ICMN génèrent un grand nombre de collaborations, tant nationales qu'internationales, et assurent une partie importante de la production scientifique du DTEC. Ainsi les investigations menées fournissent relativement souvent des publications dans la littérature ouverte (approximativement 2 publications/rapports techniques/conférences par an et par ETP ingénieur-chercheur, à comparer avec le nombre de 0,3 pour le DTEC globalement) ou bien sont développées dans le cadre de collaborations internationales (2 des 3 collaborations académiques du DTEC en dehors de la France sont dans le cadre (ICMN)). Cela s'explique peut-être par le fait que les technologies et techniques développées sont parfois moins strictement liées aux activités plutôt spécifiques ou contractuelles du DTEC. De plus la thématique (ICMN) contribue de manière importante au rayonnement et à l'attractivité académique et il faut notamment souligner que la plupart des prix et distinctions mentionnés pour le DTEC ont été obtenus sur des sujets liés au thème (ICMN).

Les interactions avec le niveau socio-économique sont peut-être moins développées. Il semble possible de renforcer ce point par des efforts plus poussés dans l'exploitation commerciale de systèmes de détection innovateurs dans le cadre du démantèlement (caméras gamma et alpha) et par la recherche de collaborations internationales encore plus développées avec d'autres instituts de recherche dans le nucléaire. Par contre, l'effort de formation est bien développé, avec plus 100h de formation par an dans le domaine des mesures de la physique nucléaire et avec l'accueil d'un petit nombre de thésards et surtout d'un grand nombre de stagiaires.

▪ *Avis global sur le thème :*

Le thème (ICMN) est un support essentiel pour les développements technologiques du CEA de Marcoule. Il est bien intégré dans les activités de recherche scientifique et de R&D du DTEC et permet une production scientifique ainsi que technologique, mais il faudra veiller aussi à abandonner certaines investigations tant qu'elles ne servent plus aux développements technologiques dans les thématiques qu'elles cherchent à appréhender ni même à l'avancement scientifique dans les recherches menées dans le cadre de la thématique (ICMN).

Par ailleurs cette thématique mérite aussi un support financier continu de la part du DTEC, notamment parce que les investissements nécessaires dans la caractérisation des matériaux sont parfois considérables et difficiles à justifier sur la base de projets à court terme, et pourtant ces développements sont utiles à l'attractivité académique et également au lancement de nouveaux projets.

▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

- Des développements analytiques et instrumentaux très spécifiques et variés ;
- une présence notable sur le plan international dans la caractérisation des matériaux ;

- un développement très impressionnant de 4 techniques et méthodes de caractérisation des écoulements dans les dispositifs d'extraction liquide/liquide utilisés par la thématique (GPC). Mais il faudra oser faire l'évaluation de la complémentarité de ces méthodes et choisir celles qui méritent un développement plus poussé. Cela permettra d'orienter les investissements financiers dans un contexte budgétaire en réduction ;



- un développement de méthodologies pour la caractérisation des matériaux nucléaires (verres de vitrification, actinides, gainages, poudres combustibles, etc.). Ce domaine d'activité est particulièrement propice au développement de collaborations internationales et à la parution de publications, avec une orientation certainement vers des méthodologies plus génériques que l'application pour laquelle elles sont développées actuellement au DTEC. Il faudra donc veiller à une répartition appropriée entre les publications et les rapports techniques : une évaluation des rapports techniques (au moins les aspects innovants) pour une transformation en articles scientifiques est souhaitable ;

- le développement de détecteurs miniaturisés et de caméras gamma et alpha pour la localisation de contaminations dans le cadre de démantèlement ou assainissement. Mais la commercialisation d'une caméra alpha mérite des efforts plus poussés en vue de son industrialisation ;

- la capacité de gérer les projets de la conception à l'industrialisation ;

- les axes d'études guidés par le retour « terrain » (retour d'expérience, REX) ;

- les capacités d'adaptation et de montée en puissance sur des sujets nouveaux.

▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

- Le nombre de publications scientifiques par année et par ingénieur-chercheur n'est pas suffisant ;

- l'industrialisation et la recherche de partenaires pour la commercialisation des détecteurs nucléaires développés restent à faire.

▪ *Recommandations :*

Les interactions avec les autres thématiques du DTEC sont clairement démontrées.

Il serait peut-être intéressant de chercher activement à développer aussi le support méthodologique et donc l'attractivité pour des thèmes de recherche en dehors de ceux du département. Toutefois cela doit être fait sans perdre l'accent sur les forces du thème (ICMN), à savoir la caractérisation (écoulements et matériaux) et le développement de technologies de mesures nucléaires. Tout en maintenant la qualité scientifique de l'approche, il faudra faire des choix dans les méthodologies à développer, certainement dans les cas où il n'y a ni complémentarité technologique (applications), ni intérêt scientifique (publications). Pour les développements d'instruments de mesure, il faudra élargir le domaine d'application nucléaire originel. La publication de ces développements et les collaborations avec des universités peuvent certainement aider à identifier d'autres domaines d'application. Finalement, il faudra continuer à augmenter le nombre de publications (externes ou internes) par an et par ingénieur-chercheur.



5 • Déroulement de la visite

Dates de la visite

Début : 4 Décembre à 13h30

Fin : 6 Décembre à 12h

Lieu de la visite : Marcoule

Institution : CEA

Locaux spécifiques visités :

- Bâtiment 57 (G1) avec le laboratoire inactif (Chimène), le laboratoire en Uranium HEC (Hall d'Etudes sur le Cycle) et le laboratoire d'instrumentation (LI) ;
- Bâtiment ATALANTE (LEMA - actinides mineurs) ;
- HERA (Hall d'essais pour l'Entreposage des matières Radioactives).

Il faut signaler l'excellente et remarquable organisation, avec des explications sur tableaux ou vidéos, suivies de visites et périodes de questions/réponses. (et même parfois les experts du comité AERES ont été mis en situation de manipulateur...).

Déroulement ou programme de visite

Mercredi 4 décembre

Exposés généraux

13h30	Exposé introductif de DISN : le pilotage de la R&D par projet (M. M. DELPECH)
14h00	Exposé introductif de la direction de centre de Marcoule (M. G. BORDIER)
14h30	Exposé du chef du DTEC : présentation générale du DTEC (M. D. LETERO)
15h30	Pause-café

Exposés thématiques (30mn de présentation sur la démarche, les moyens mis en œuvre, les acquis, les principaux faits-marquants, 15mn de discussions)

16h00	Présentation du thème « Technico-économie du Cycle » (M. J.-F. MILOT)
16h45	Présentation du thème « Génie des procédés du cycle » (M. J. DUHAMET)
17h30	Débriefing à huis-clos des membres du comité.

Jeudi 5 décembre

8h00	Présentation du thème « Technologie du cycle » (M ^{me} C. FERRY)
9h00	Présentation du thème « Matériaux d'actinides » (M. T. DELAHAYE)
9h45	Pause-café



10h00	Présentation du thème « Instrumentation, caractérisation, mesures nucléaires » (M. O. DUGNE)
10h45	Visite G1 : Chimène, HEC, LI
14h00	Visite d'Atalante : LEMA
16h00	Visite HERA : Plateforme cimentation, Plateforme robotique, Salle de RV
17h45	Débriefing à huis-clos des membres du comité

Vendredi 6 décembre

8h00	Présentation/discussion sur les orientations scientifiques du département: analyses SWOT, TRL, prospectives programme (M. D. LETERO)
9h00	Rencontre avec des représentants du personnel (Conseil Unité Département)
9h30	Rencontre avec des représentants des thésards.
10h00	Débriefing à huis-clos des membres du comité.
11h30	Entretien final avec la direction et les tutelles.

Pour l'ensemble des 2 journées passées sur le site du CEA-Marcoule avec le DTEC dans une ambiance conviviale à l'image de celle qui règne dans ce département, il faut signaler l'excellente et remarquable organisation et la totale disponibilité des membres. La qualité des documents très circonstanciés envoyés avant la visite et de ceux distribués pendant la visite du comité d'experts AERES ne souffre d'aucune critique et ne peut être que tarie d'éloges. Les ingénieurs-chercheurs qui ont présenté leurs activités sont non seulement de bons scientifiques, mais ils sont de bons pédagogues et pour la plupart des professionnels de la communication.



6 • Observations générales des tutelles

CEA/DEN/DIR
DO 86 10/04/14



14MMAC000093

diffusé le: 10/04/14

Monsieur Pierre GLAUDES
Directeur de la section des unités de recherche
AERES
20 rue Vivienne
75002 Paris

Saclay, le 10 avril 2014

Objet : Rapport d'évaluation AERES du DTEC

Monsieur,

Nous avons bien reçu le rapport d'évaluation AERES du Département de Technologie du Cycle. Vous trouverez ci-joint ce rapport, avec quelques corrections factuelles ou suggestions mineures de modification de forme.

Je tiens à saluer la qualité de l'exercice d'évaluation qui a été menée sous votre égide, et à remercier par votre intermédiaire les membres du comité de visite. L'exercice a été également apprécié de mes équipes de recherche, et ses conclusions nous seront précieuses pour le futur.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.

Christophe BEHAR