

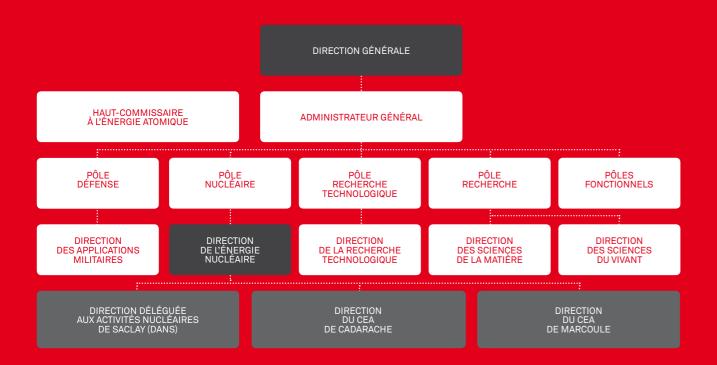
Profil

Au sein du CEA, la Direction de l'énergie nucléaire (DEN) apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation sur les systèmes de production d'énergie nucléaire : il s'agit de développer un nucléaire durable, sûr et économiquement compétitif.

Pour répondre à cet enjeu, la DEN conduit ses travaux selon trois axes majeurs :

- les systèmes nucléaires du futur, dits de 4° génération, réacteurs et cycle du combustible associé;
- l'optimisation du nucléaire industriel actuel;
- le développement et l'exploitation de grands outils expérimentaux et de simulation indispensables pour mener ses recherches.

En parallèle, en tant qu'exploitant nucléaire, la DEN gère et fait évoluer son parc d'installations nucléaires. Elle mène des programmes de construction et de rénovation de ses installations, ainsi que des programmes d'assainissement et de démantèlement de celles en fin de vie.



Sommaire

02 Message du Directeur de l'énergie nucléaire au CEA **04** Chiffres clés



05 SYSTÈMES INDUSTRIELS NUCLÉAIRES DU FUTUR

- 06 Réacteurs de 4º génération
- 08 Aval du cycle futur
- **09** Recherche scientifique et technologique de base



10 OPTIMISATION DU NUCLÉAIRE INDUSTRIEL ACTUEL

- 11 Amont du cycle
- **12** Réacteurs de 2e et 3e générations
- 14 Aval du cycle



20 ASSAINISSEMENT ET DÉMANTÈLEMENT NUCLÉAIRE

- 21 Projets de démantèlement
- 24 Gestion des flux de déchets et matières
- 25 Installations de service nucléaire
- 26 R&D et valorisation



27 CENTRES

- **28** À Marcoule, des avancées et des perspectives
- 30 Cadarache: les énergies du futur
- **32** Saclay : les sciences du nucléaire et la simulation pour les réacteurs et le cycle du combustible



15 GRANDS OUTILS POUR LE DÉVELOPPEMENT DU NUCLÉAIRE

- **16** Simulation numérique **17** Installations expérimentales : Réacteur Jules Horowitz (RJH)
- 18 Valorisation
- 19 Accompagnement économique des territoires de Meuse et Haute-Marne : projet Syndièse



34 ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES ET RELATIONS EXTÉRIEURES

- **35** Programme transversal matériaux avancés
- **36** La vie scientifique à la DEN
- **38** La DEN et l'international
- **40** La qualité à la DEN
- 42 I-tésé

Message de Christophe Béhar

Directeur de l'énergie nucléaire au CEA





L'énergie nucléaire est un atout au sein d'un mix énergétique décarboné. L'innovation, une nécessité pour le conserver.

esoin vital et facteur de croissance, la maîtrise de l'approvisionnement d'un pays en énergie est un enjeu majeur du monde de demain. L'industrie nucléaire dispose à cet égard de sérieux atouts tout en étant confrontée à la maîtrise technico-économique de problématiques de sûreté, de durabilité des ressources et de gestion responsable des déchets qui imposent de poursuivre sur la voie de l'innovation technologique.

Certains chiffres parlent d'eux-mêmes : en 2030, la consommation énergétique mondiale devrait augmenter de 50 % par rapport à celle de 2005, sous l'effet conjugué de l'augmentation de la population et de la croissance des pays émergents. En regard de cette demande, l'Europe doit faire face à un certain nombre de contraintes, parmi lesquelles la lutte contre le réchauffement climatique, la raréfaction des ressources énergétiques, la sûreté d'approvisionnement, la maîtrise des coûts de l'énergie et la préservation de sa balance commerciale. Parmi les différentes sources d'émission de CO₂, la production électrique domine largement avec 27 % de la production anthropique totale, loin devant l'industrie, les transports routiers ou encore les secteurs résidentiels et tertiaires. Autre exemple, la dépendance énergétique de l'Europe ne cesse d'augmenter. En 2035 le taux de dépendance à l'importation devrait atteindre les 80 %. Dans ce contexte, il apparaît de plus en plus indispensable de disposer de sources d'énergie à la fois compétitives et à bas carbone, permettant de garantir indépendance énergétique et sécurité d'approvisionnement.

Face à ces enjeux, l'énergie nucléaire a un rôle incontournable à jouer, en synergie avec les énergies renouvelables, puisqu'elles constituent les seuls modes de production d'électricité non émetteurs de gaz à effet de serre. Leurs natures sont fondamentalement différentes, les amenant à intervenir en complémentarité : grandes unités fonctionnant en base pour la production d'énergie nucléaire ; petites unités décentralisées et intermittentes pour les énergies renouvelables. Si leur synergie est un atout considérable pour rendre vertueux les mix énergétiques futurs, l'innovation est une nécessité pour conserver cet atout sur le long terme. Au sein du CEA, la Direction de l'énergie nucléaire (DEN) apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation sur les systèmes de production d'énergie nucléaire : il s'agit de développer un nucléaire durable, sûr et économiquement compétitif.

Ce rapport d'activité, tout en réaffirmant les grandes missions de la DEN, vise à rendre compte des résultats les plus significatifs obtenus par ses équipes en 2013 dans leurs différents domaines d'activités. Sans détailler toutes ces réussites scientifiques et technologiques, je voudrais dans cet avant-propos vous en citer quelques-unes.

Dans le domaine des systèmes nucléaires du futur, je souhaite mentionner le démarrage de la deuxième phase de l'avant-projet sommaire du projet Astrid, démonstrateur technologique de réacteur à neutrons rapides (RNR) refroidi au sodium de 4º génération, dont la DEN est maître d'ouvrage. La première phase avait permis de définir les grandes caractéristiques du réacteur, ses principales options technologiques innovantes, ainsi que ses principales orientations de sûreté. Cette seconde phase, qui couvre la période 2013-2015, vise à consolider et finaliser les choix d'options de conception.

Côté cycle du combustible futur, l'année a été marquée par les études menées par la DEN, en lien avec ses partenaires EDF et AREVA, sur les scénarios industriels de déploiement des RNR. Ces scénarios visent à tirer profit de façon optimale des matières valorisables dans des parcs symbiotiques composés d'EPR™ et de RNR. Dans ce contexte, la DEN a aussi lancé en 2013 un plan d'actions de R&D important sur le multirecyclage du plutonium. En lien avec AREVA, elle a proposé ses premières orientations pour définir un procédé adapté à la dissolution quantitative des combustibles riches en plutonium.

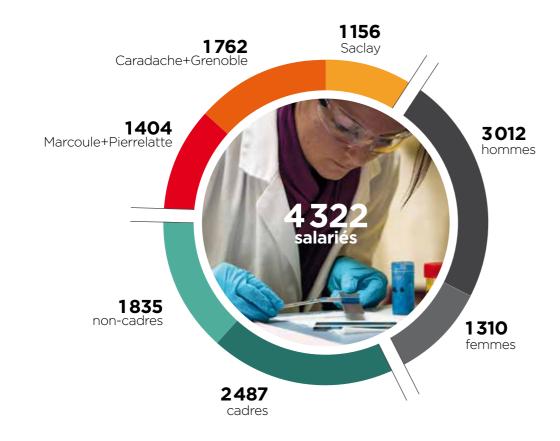
Dans le domaine du nucléaire industriel actuel, nous avons aussi réalisé des avancées importantes. Parmi elles, je voudrais citer la publication d'un dossier de synthèse présentant l'ensemble des travaux de R&D menés à la DEN pour la compréhension de l'évolution des propriétés de la cuve et des internes de cuve des réacteurs à eau sous pression (REP), en fonction de l'irradiation. Ces travaux visent à apporter des éléments pour l'allongement de la durée de fonctionnement des REP au-delà de 40 ans, et s'inscrivent en support aux dossiers présentés par EDF à l'ASN.

Nos programmes de recherche ne pourraient être menés sans les grands outils expérimentaux ou de simulation que nous développons et exploitons. Le chantier du Réacteur expérimental Jules Horowitz (RJH), en construction sur notre site de Cadarache, s'est poursuivi cette année avec une étape majeure, réalisée le 13 décembre : la pose du dôme du réacteur, marquant la réalisation de 80 % de son génie civil.

En ce qui concerne l'assainissement et le démantèlement de nos installations nucléaires, nous avons aussi réalisé des avancées importantes. Marcoule a vu la fin du démantèlement des unités de séparation de l'usine de traitement des combustibles usés UP1, qui représentaient le cœur du procédé d'extraction. Toujours dans le cadre du programme UP1, 2013 a été marquée par la première phase de démantèlement de niveau 1 de l'atelier dédié au dégainage. De belles avancées ont aussi été réalisées sur le site de Fontenay-aux-Roses, avec par exemple la fin du démantèlement des chaînes blindées Gascogne, Guyenne, Eole et Cyrano du bâtiment 18 de l'INB procédé.

Les réalisations majeures de la DEN obtenues en 2013 vous seront décrites avec plus précision tout au long de ce rapport, dont je vous souhaite une bonne lecture. Je veux partager avec vous ma conviction que la qualité de nos recherches, l'ensemble de nos résultats scientifiques et techniques et l'implication des femmes et des hommes de la DEN, participent à la construction d'un nucléaire durable, encore plus sûr et économiquement compétitif.

Chiffres clés



103 recrutements

42 post-doctorants

422 publications

241 doctorants

dont 143 financés par la DEN

65 brevets déposés



Systèmes industriels nucléaires du futur

La DEN travaille sur les systèmes nucléaires du futur à neutrons rapides, dits de 4° génération. Leur développement permettra de mieux répondre aux contraintes de sécurité d'approvisionnement et d'indépendance énergétique. En effet, ces systèmes permettent



une gestion optimisée des matières, grâce aux perspectives qu'ils offrent de mieux utiliser la ressource en uranium, de permettre le multirecyclage du plutonium et de minimiser la production de déchets. Les options du cycle du combustible futur sont aussi étudiées en cohérence avec les études menées par la DEN sur le projet Astrid, démonstrateur de réacteur de 4º génération à neutrons rapides refroidi au sodium, dont le CEA est maître d'ouvrage et qui est actuellement en phase d'études.

Réacteurs de 4^e génération

Le CEA est chargé de mener pour la France les recherches sur des systèmes nucléaires innovants, dits de 4° génération, en rupture technologique forte par rapport aux précédentes générations de réacteurs. Il concentre ses recherches sur deux filières de réacteurs à neutrons rapides (RNR): en priorité sur la filière refroidie au sodium, avec le projet de démonstrateur technologique Astrid dont le CEA est maître d'ouvrage, et contribue aux études sur la filière refroidie au gaz, qui apparaît comme une option à plus long terme. L'année 2013 a été marquée par plusieurs avancées majeures.



R&D sur les systèmes d'échange de chaleur compacts sodium-gaz pour la conversion d'énergie

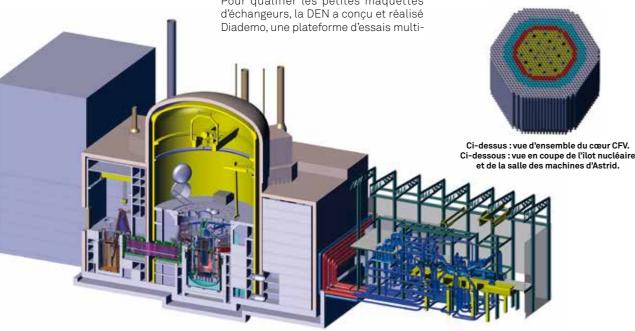
DÉMARRAGE DE LA DEUXIÈME PHASE D'AVANT-PROJET SOMMAIRE DU PROJET ASTRID

L'année 2013 a été marquée par le démarrage de la deuxième phase d'avant-projet sommaire du projet Astrid. La première phase avait permis de définir les grandes caractéristiques du réacteur, ses principales options technologiques innovantes, ainsi que ses principales orientations de sûreté. Cette seconde phase, qui couvre la période 2013-2015, vise à consolider et finaliser les choix d'options de conception. Parmi les avancées réalisées en 2013, on peut citer:

• La priorité mise sur un système de conversion d'énergie sodium-gaz, qui permet de supprimer de facto le risque de réaction sodium-eau. Le concept de référence étudié aujourd'hui repose sur une technologie d'échangeur de chaleur compact sodium-gaz à plaques gravées, assemblées par soudage diffusion par compression isostatique à chaud. Pour qualifier les petites maquettes d'échangeurs, la DEN a conçu et réalisé Diademo, une plateforme d'essais multi-

fluides, mise en service en novembre 2013 sur le centre CEA de Cadarache avec la mise en sodium du premier prototype d'échangeur compact sodium-gaz. L'objectif est d'évaluer ses performances thermohydrauliques et sa tenue thermomécanique.

· La réalisation, tout au long de l'année, d'études de qualification du cœur du réacteur, dit cœur CFV(1). Le schéma de calcul neutronique, basé sur les codes déterministes actuels traitant les RNR, a été validé. La validation et l'estimation des biais ont été menées à travers des comparaisons 3D avec des calculs de référence de type Monte-Carlo. Une image améliorée, fruit d'une optimisation coûts/performances, a été réalisée : la taille du cœur a été réduite, l'efficacité des protections neutroniques renforcée avec un objectif de maîtrise des coûts et l'architecture du système absorbant optimisée pour réduire les besoins en barres de commandes. Cette nouvelle version de cœur intègre aussi des dis-



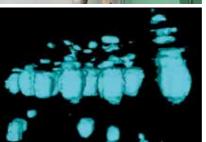


FUTUNA2 : moyen d'essais de systèmes de détection de fuite sur les tuyauteries secondaires.

positifs complémentaires de sûreté pour la prévention et la mitigation des accidents graves.

• Dans le domaine de l'instrumentation spécifique au milieu sodium, la poursuite des études sur les systèmes de visualisation sous sodium et de détection de fuite. La visualisation sous sodium constitue un enjeu pour l'inspectabilité des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na). En avril 2013, des études menées en collaboration avec l'institut indien IGCAR (Indira Gandhi Centre for Atomic Research) ont démontré qu'une méthode acoustique, fondée sur un capteur ultrasonore développé par le CEA, permettait de reconnaître et de mesurer des pièces simples plongées dans un bain de sodium. Les études continuent pour optimiser les capteurs ultrasonores et leurs systèmes de déplacement associés, mais aussi pour développer l'algorithme de traitement des données. Concernant la détection





Visualisation de tubes cintrés immergés dans un bain de sodium de plusieurs m³.

de fuite, des campagnes expérimentales ont été menées pendant l'été 2013 sur une tuyauterie de grand diamètre (800 mm), visant à comparer différentes technologies de détection de fuite, dont un détecteur breveté par le CEA, dit « multicouches ». Ce dernier système s'est avéré très performant, permettant des détections de petites fuites dans des délais très courts. Les études de qualification et de robustesse se poursuivent.

RÉUNION SUR LE DOCUMENT D'ORIENTATIONS DE SÛRETÉ D'ASTRID

Le 27 juin 2013, sur demande du Président de l'ASN, s'est tenue la réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires sur le Document d'orientations de sûreté (DOrS) d'Astrid, transmis le 18 juin 2012 à l'ASN. Le groupe permanent a considéré que les orientations présentées dans le DOrS tiennent compte de facon satisfaisante des principaux éléments du retour d'expérience des RNR-Na, ainsi que des études et des analyses de sûreté réalisées pour ces réacteurs. La démarche de conception présentée et les principales pistes d'améliorations de la sûreté ont également été jugées satisfaisantes. En complément, le groupe permanent a formulé trois recommandations relatives à la méthodologie de prise en compte du risque toxique lié à la mise en œuvre de sodium, à l'analyse de tous les états de fonctionnement de l'installation au regard des agressions et à la prise en compte des agressions externes extrêmes par la définition d'un « domaine complémentaire des agressions externes ». Le projet Astrid va continuer de traduire ces orientations de sûreté en matière de conception pour établir un Dossier d'options de sûreté (DOS), dont la première version consolidée est prévue pour fin 2015.

ZOOM SUR

LES COLLABORATIONS INDUSTRIELLES

Le cercle de collaborations industrielles autour du projet Astrid s'est élargi avec l'arrivée du groupe Alcen: la société SEIV de ce groupe est en charge de la conception des cellules d'examen des objets irradiés. En effet, pour la mise en œuvre du projet, la DEN s'est entourée d'industriels qui participent aux études au travers d'accords de collaboration. Si la maîtrise d'ouvrage et le pilotage du projet sont assurés par le CEA, dix partenaires industriels, français mais aussi étrangers, participent au projet, qui implique d'ores et déjà plus de 500 personnes, dont près de la moitié sont des personnels de ces industriels.

ZOOM SUR

LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE FR13

Au nom de la France, le CEA a accueilli, avec le soutien de la Société française d'énergie nucléaire (SFEN), la conférence internationale FR13 de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), dédiée aux RNR et aux cycles du combustible associés. Réunis à Paris pendant trois jours, plus de 650 participants représentant 26 pays et quatre organismes internationaux ont ainsi exposé leurs avancées scientifiques dans ces domaines. Le projet de démonstrateur technologique Astrid, dont le CEA est maître d'ouvrage, a été l'objet de nombreuses publications et a suscité un intérêt marqué de la communauté scientifique internationale, en particulier pour ses options technologiques innovantes.

(1) Cœur à faible vidange. Concept très différenciant, développé et breveté par le CEA (avec le soutien d'EDF et d'AREVA) en 2010, qui permet de réduire la réactivité du cœur en cas d'augmentation de la température du sodium.

Aval du cycle futur

En cohérence avec les études sur Astrid, la DEN mène des recherches sur le cycle du combustible futur. Elles visent à préparer l'ensemble des options de gestion des matières nucléaires pour les parcs de réacteurs à neutrons rapides (RNR) en mettant au point les procédés avancés nécessaires notamment au multirecyclage du plutonium. Conformément aux attentes de la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, la DEN évalue également les options de séparation et de transmutation des radioéléments à vie longue.

SCÉNARIOS DE DÉPLOIEMENT D'OPTIONS AVANCÉES DE CYCLES

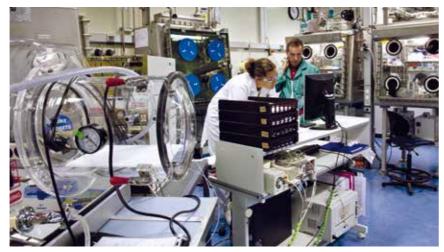
Parmi les faits marquants de l'année 2013, on peut citer les études menées par la DEN, en lien avec ses partenaires EDF et AREVA, sur les scénarios industriels de déploiement des RNR. Ces scénarios visent à tirer profit de façon optimale des matières valorisables (en multirecyclant le plutonium et en valorisant toute la ressource en uranium) dans des parcs symbiotiques composés d'EPR™ et de RNR à partir de la décennie 2040. Les résultats déjà obtenus et validés par les partenaires industriels indiquent que la ressource plutonium est particulièrement intéressante en alimentant les combustibles MOX des deux types de réacteurs.

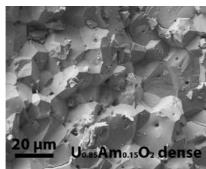
ÉTUDES POUR LE MULTIRECYCLAGE DU PLUTONIUM

Dans ce contexte, la DEN mène un plan d'actions de R&D important sur le multi-recyclage du plutonium.

En lien avec AREVA, elle a proposé en 2013 ses premières orientations pour définir un procédé de dissolution adapté à la dissolution quantitative des combustibles riches en plutonium (MOX-REL⁽¹⁾ et MOX-RNR), qui pourrait être mis en œuvre dans le projet d'atelier «Traitement des combustibles particuliers (TCP)» d'AREVA La Hague.

Concernant la fabrication du combustible, des résultats importants ont aussi été obtenus avec AREVA quant à la définition des procédés à utiliser dans l'Atelier de fabrication des cœurs (AFC) d'Astrid.





De haut en bas : les essais de séparation poussée sont menés dans l'installation Atalante à Marcoule. Observation par microscopie électronique d'une pastille combustible contenant 15 % d'américium pour la transmutation.

ÉTUDES POUR LA SÉPARATION ET LA TRANSMUTATION DES ACTINIDES MINEURS

Un nouvel essai continu de séparation de l'américium (Am) seul (EXAm) à partir d'un raffinat concentré a été réalisé en 2013, en inactif, dans l'installation Atalante de la DEN à Marcoule. Cet essai a permis de confirmer les performances du procédé, d'identifier les paramètres opératoires de fonctionnement optimal et de démontrer l'efficacité des opérations de décontamination du flux d'américium.

L'étude de la transmutation de l'américium nécessite de développer des combustibles d'oxyde mixte d'uranium et d'américium (UAmO₂) contenant de 10 à 15% d'américium. La faisabilité de leur fabrication, à partir d'une poudre obtenue par coconversion d'une solution initiale d'uranium et d'américium, a été démontrée en 2013 : les pastilles obtenues atteignent les caractéristiques de composition et de densité attendues, tout en mettant en œuvre un procédé simplifié et une température de frittage de 100°C inférieure à celle utilisée pour les procédés habituels, ce qui représente un gain majeur dans la fabrication des pastilles.

Recherche scientifique et technologique de base

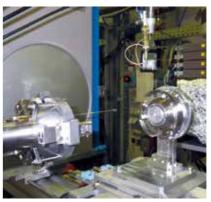
La recherche scientifique et technologique de base (RSTB) positionne ses activités en amont de la recherche appliquée, en répondant à des défis transverses aux autres domaines de la DEN. Elle élargit la base et la qualité scientifique des connaissances pour asseoir la pertinence des réponses aux grands défis du nucléaire et ce dans deux domaines principaux: les matériaux et la chimie. Pour chacun de ces domaines, le programme RSTB s'appuie sur des collaborations dynamiques, en particulier au niveau européen. Focus sur trois événements marquants de 2013.

PREMIÈRES EXPÉRIENCES SUR LA LIGNE MARS DU SYNCHROTRON SOLEIL

Les équipes de la DEN ont mené sur la ligne de lumière Mars (Matière radioactive à Soleil) du synchrotron Soleil les premières expériences sur un échantillon irradié au-delà du seuil d'exemption(1). Cette ligne a pour vocation l'analyse en biologie, chimie et physique de la matière radioactive à partir du rayonnement synchrotron. Ses deux spécificités sont, d'une part, d'accepter des matériaux très fortement radioactifs et, d'autre part, de permettre la réalisation en alternance de mesures de diffraction des rayons X à haute résolution et de fluorescence ou de spectroscopie, ce qui la rend unique au monde, tant pour le seuil de radioactivité autorisé que pour les possibilités d'analyses offertes.

Ces premières expériences ont porté sur des échantillons d'acier ODS renforcé par dispersion nanométrique d'oxydes d'yttrium irradié (matériau envisagé pour le gainage du combustible des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium et notamment du démonstrateur technologique Astrid). L'objectif est notamment d'étudier en diffraction des rayons X la stabilité des structures cristallines après irradiation et en spectroscopie d'absorption des rayons X l'environnement chimique de l'atome d'yttrium après irradiation, un enjeu pour garantir la stabilité sous irradiation des phases nanométriques d'oxydes, devant assurer l'excellente tenue mécanique du matériau.

 Le seuil d'exemption est le niveau de radioactivité en deçà duquel une simple déclaration à l'Autorité de Sûreté Nucléaire suffit.



Environnement échantillon pour analyse en diffraction des rayons X et spectroscopie d'absorption des rayons X sur la ligne Mars.

MODÉLISATION DES PHÉNOMÈNES DE DIFFUSION DANS LES ALLIAGES MÉTALLIQUES SOUS IRRADIATION

En 2013, la DEN a publié trois articles dans la revue "Physical Review B" sur la prédiction de la ségrégation sous irradiation. Le premier, réalisé en collaboration avec l'Université d'Illinois Urbana-Champaign, porte sur une méthode de calcul automatisé des coefficients de transport (atomes et défauts) dans certains alliages métalliques, qui s'appuie sur la théorie de champ moyen auto-cohérent développée depuis quelques années à la DEN. Le second concerne une étude systématique des propriétés de transport (atomes et défauts) d'un alliage Ni(Si) en fonction du champ de déformation, réalisée à partir de cette même méthode. Le dernier porte sur le développement d'une nouvelle méthode de simulation des cinétiques dans les alliages, qui reproduit la totalité des couplages de flux induits sous irradiation.

LANCEMENT DU RÉSEAU EUROPÉEN «TALISMAN»

Le réseau européen Talisman (Transnational Access to Large Infrastructures for the Safe Management of ActiNides) a été lancé en janvier 2013. Coordonné par la DEN, il s'agit d'un consortium européen, regroupant 12 partenaires, et destiné à maintenir au plus haut niveau l'expertise scientifique sur les actinides, en particulier pour ce qui concerne la chimie de la séparation, le comportement des actinides dans l'environnement et les matériaux à base d'actinides. En s'élargissant de quatre nouveaux partenaires, Talisman succède au consortium européen ACTINET-I3, qui fédérait et animait les études dans le domaine depuis 2004.



(1) REL : réacteur à eau légère.

Optimisation du nucléaire industriel actuel



La DEN mène des recherches pour répondre aux enjeux de ses partenaires industriels. Il s'agit, d'une part, d'améliorer la compétitivité du parc nucléaire français actuellement en exploitation en soutien à EDF, avec des enjeux industriels en termes de durée d'exploitation, de performances, de disponibilité et de sûreté des réacteurs. Il s'agit, d'autre part, d'optimiser ou d'adapter les installations de l'amont et de l'aval du cycle électronucléaire aux enjeux industriels existants et futurs en collaboration avec AREVA et l'Andra.

Amont du cycle

Ces dernières années, les recherches sur l'amont du cycle ont pris de plus en plus d'importance, la réduction des teneurs des minerais et les besoins de renouvellement des installations nécessitant d'améliorer à la fois les performances d'extraction sélective de l'uranium, de purification, puis de conversion sous forme d'hexafluorure pur, étape préalable à celle de l'enrichissement de l'uranium au niveau de pureté requis par les combustibles des réacteurs de 2e et 3e générations.

SIX DÉPÔTS DE BREVETS EN 2013

Les études menées depuis plusieurs années à la DEN se sont concrétisées en 2013 par le dépôt de six brevets couvrant deux thèmes d'études : l'extraction de l'uranium des mines et la conversion de l'oxyde d'uranium en hexafluorure d'uranium (UF₆).

Pour l'extraction de l'uranium, l'objectif est de définir des techniques de production d'uranium plus performantes en développant de nouveaux matériaux avant une meilleure sélectivité ou adaptés à de nouveaux milieux (cas des phosphates par exemple). En 2013, un brevet a été déposé pour le compte d'AREVA pour une famille de molécules dites bi-fonctionnelles appliquées à l'extraction liquide-liquide en milieu sulfurique. Ces nouveaux extractants présentent une sélectivité de l'uranium plus élevée que les produits existants, ce qui devrait permettre de réduire le nombre d'étapes nécessaires à l'obtention d'un concentré uranifère conforme à la norme ASTM(1). Deux brevets ont été également déposés pour des matériaux hybrides dédiés à l'extraction liquidesolide en milieux respectivement phosphorique et sulfurique. Ces matériaux sont composés d'un support inorganique sur lequel est greffée une molécule organique extractant sélectivement l'uranium. Ils présentent l'avantage d'avoir une bonne résistance à des milieux acides sévères en comparaison aux résines organiques, technologie couramment utilisée.

Concernant le domaine de la conversion, trois brevets ont été déposés pour protéger des procédés novateurs de récupération du fluorure d'hydrogène (HF) lors de la défluoration de l'UF₆. Cette opération consiste à transformer l'UF₆ mis en œuvre lors de l'étape d'enrichissement en oxyde d'uranium pour la fabrication du combustible des réacteurs nucléaires et l'entreposage de l'uranium appauvri.



Plateforme de mélangeurs-décanteurs pour valider les performances du procédé d'extraction sélective de l'uranium à l'échelle du laboratoire.



Expérience d'extraction sélective de l'uranium en colonne pulsée de laboratoire.

La réaction chimique qui a lieu produit du HF hydraté, difficile à valoriser. Les nouveaux procédés présentés dans ces brevets permettent la production de HF anhydre en optimisant les conditions opératoires, en particulier la température et la quantité d'eau mise en œuvre. Le HF étant produit sous forme anhydre, il serait alors directement recyclable pour produire à nouveau de l'UF6.

(1) American Society for Testing and Materials.

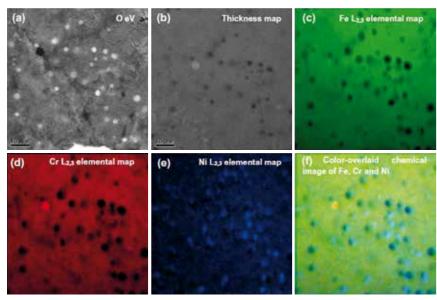
LES PROCÉDÉS D'EXTRACTION

LIQUIDE-LIQUIDE La DEN développe de nouvelles molécules pour augmenter de manière à diminuer le coût de production de l'uranium et à réduire l'impact environnemental teneur ou de l'acide phosphorique. En 2012, un premier essai dans la plateforme Proust de les performances d'extraction sélective de l'uranium d'une nouvelle famille de molécules particulièrement performantes. essais en continu et à petite <u>échelle sur des solutions</u> et d'acide sulfurique. Ces essais Les performances du schéma d'extraction ont été améliorées d'extraction de l'uranium sont élevés (supérieurs à 95%) et la concentration en uranium dans le flux purifié de production a été augmentée d'un facteur 3. Ces avancées permettent d'envisager une amélioration notable des procédés industriels actuels. Des essais à plus grande échelle sont envisagés dans les installations d'AREVA.

12

Réacteurs de 2° et 3° générations

Le CEA mène des recherches, à la demande des industriels, sur les réacteurs à eau sous pression (REP) du parc nucléaire actuel (2° génération) et de 3° génération. Elles répondent à des enjeux industriels d'amélioration des performances, de la durée de vie, de la disponibilité et de la sûreté des centrales. En particulier, si l'accident nucléaire de Fukushima-Daiichi n'a pas révélé de lacune majeure dans le champ des connaissances et dans les objectifs de R&D, il a souligné la nécessité d'assurer sur le long terme les programmes de R&D consacrés aux accidents et la pérennité des installations associées. Zoom sur quelques résultats marquants de l'année 2013.



Étude du vieillissement des internes de cuve sous irradiation.

Mise en évidence de l'apparition de cavités et de deux familles de précipités nanométriques riches en chrome et riches en nickel, respectivement (irradiation Phénix, 36 dpa à 390°C).

COMPRÉHENSION DE L'ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS DE LA CUVE ET DES INTERNES DE CUVE DES REP

L'année 2013 a été marquée par la publication d'un dossier de synthèse présentant l'ensemble des travaux de R&D menés à la DEN pour la compréhension de l'évolution des propriétés de la cuve et des internes de cuve des REP, en fonction de l'irradiation. Ces travaux visent à apporter des éléments pour l'allongement de la durée de fonctionnement des REP au-delà de 40 ans, et s'inscrivent en support aux dossiers présentés par EDF à l'ASN.

Pour les matériaux de la cuve, les résultats les plus notables concernent la validation du rôle bénéfique du préchargement à chaud sur la ténacité de l'acier de cuve et des études sur certains cas de fragilisation atypique du programme de surveillance de l'irradiation (PSI) mené par EDF.

Pour les matériaux de structures d'internes de cuve, il s'agit en particulier d'études sur le comportement mécanique pour des doses représentatives d'une durée de fonctionnement de 40 ans et au-delà et de la fourniture d'éléments techniques en regard du seuil de sensibilité à l'IASCC (corrosion sous contrainte assistée par l'irradiation), proposé par EDF.



EN SAVOIR PLUS

ÉTUDE DE L'EFFET DE PRÉCHARGEMENT À CHAUD SUR L'ACIER DE CUVE

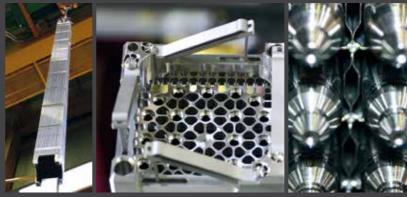
Actuellement, le dossier de justification

de l'intégrité des cuves considère la ténacité du matériau pour un chargement isotherme, ce qui est très conservatif, le chargement réel ne l'étant pas. Dans le contexte de la prolongation de la durée de vie des REP au-delà de 40 ans, il s'agit de prendre en compte l'effet bénéfique du préchargement à chaud, les transitoires accidentels conduisant donc à un chargement non isotherme. La campagne menée par les équipes de la DEN à Saclay en 2013 comportait 18 essais de préchargement à chaud sur matériau irradié. Ceux-ci ont nécessité une mise en œuvre particulière, combinant alternativement un pilotage de l'essai en contrôle d'extensomètrie et en contrôle de la charge en fonction de la température de l'éprouvette : le pilotage étant assuré par un logiciel développé à la DEN et spécifiquement installé et qualifié en 2011. Ils ont permis de confirmer l'effet positif du préchargement à chaud sur l'acier de cuve REP irradié pour des niveaux de fragilisation représentatifs d'une durée de vie de 60 ans. Les éléments issus de cette action contribueront à la proposition de codification de cet effet, préparée conjointement par EDF, AREVA et le CEA, ainsi qu'à la proposition de prise en charge de cet effet dans le dossier de justification de l'intégrité des cuves.

CARACTÉRISATION ET QUALIFICATION D'UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE

La DEN intervient en soutien à la qualification et au développement de la prochaine génération d'assemblage combustible d'AREVA. Elle contribue à certaines études via son expertise et ses outils de simulation numérique Son action porte pour l'essentiel sur la caractérisation et la qualification d'un nouveau concept d'assemblage : il s'agit notamment de caractériser son comportement hydraulique et mécanique dans des conditions hydrauliques représentatives du réacteur. Une première phase de caractérisation, de 2008 à 2012, avait contribué à la construction du dossier de sûreté du nouvel assemblage. L'introduction en réacteur des premiers assemblages précurseurs a eu lieu en juillet 2012. Une nouvelle phase d'études a été réalisée fin 2013 sur un concept optimisé (amélioration du design et du processus de fabrication), permettant notamment de réduire les pertes de charge des grilles.

Ces dernières valeurs de pertes de charge ont été mesurées en octobre 2013 sur l'installation Hermès de la DEN à Cadarache et ont montré un gain de 5 % par rapport à la première génération de 2008. Cette complémentarité de la recherche et de l'ingénierie concourt à l'objectif global d'amélioration de la fiabilité, de la robustesse et de la performance du combustible afin de s'adapter à des contraintes d'exploitation et des standards de sûreté toujours plus exigeants.



De gauche à droite : maquette d'assemblage combustible suspendue au pont roulant du hall d'essai Hermès ; embout supérieur de l'assemblage combustible détail de la grille d'extrémité supérieure de l'assemblage combustible.

SÛRETÉ NUCLÉAIRE : SUCCÈS DE L'ESSAI VERDON 3

L'étude des accidents graves constitue un des axes prioritaires de la DEN dans le domaine de la recherche sur la sûreté nucléaire. Dans ce cadre, l'objectif du programme Verdon est d'améliorer la connaissance du comportement des produits de fission en situation d'accident grave. Il s'agit de porter à haute température et sous atmosphère contrôlée un échantillon de combustible irradié en réacteur EDF, puis réirradié dans le réacteur expérimental Osiris de Saclay. L'essai permet de mesurer en ligne les relâchements et dépôts des produits de fission au moyen de visées gammamétriques. Ces observations en ligne sont complétées par une mesure quantitative des produits de fission restant dans l'échantillon et déposés sur les différents éléments du circuit expérimental. L'année 2013 a été marquée par le succès du troisième essai Verdon, réalisé le 17 avril dans l'installation Star de Cadarache. Il portait sur un combustible MOX irradié quatre cycles. Il avait pour objectif spécifique de quantifier le relâchement des produits de fission en conditions oxydantes de vapeur d'eau, situation pour laquelle il n'existait jusqu'alors que très peu de résultats expérimentaux.



3 QUESTIONS SUR... le logiciel EUROPLEXUS, primé par le Grand Prix SFEN 2013

En quoi consiste le logiciel EUROPLEXUS?

EUROPLEXUS est un logiciel dédié à la simulation en dynamique rapide des fluides et des structures, utilisé entre autres par AREVA et l'IRSN.

Quelles sont ses applications industrielles?

Les applications industrielles d'EUROPLEXUS concernent notamment la simulation des conséquences mécaniques de transitoires accidentels comme la tenue du cloisonnement du cœur pour l'APRP⁽¹⁾ d'un REP ou le maintien de l'étanchéité de la cuve pour l'ADC⁽²⁾, de grande importance pour la sûreté des réacteurs de 4º génération.

Quels sont les résultats majeurs obtenus en 2013?

Parmi les résultats majeurs obtenus en 2013, on peut citer :

- le développement et la validation des modèles de combustion de l'hydrogène, ce qui constitue un enjeu fort pour vérifier le bon dimensionnement des mesures de mitigation du risque hydrogène dans les bâtiments réacteurs des centrales françaises;
- le succès du projet Repdyn⁽³⁾ de l'agence nationale de la recherche (ANR), destiné à permettre le passage d'EUROPLEXUS à une échelle massivement parallèle, le calcul de systèmes couplés de complexité industrielle nécessitant le recours au calcul intensif. Ces performances ont d'ailleurs été saluées par la remise, à l'équipe en charge du développement d'EUROPLEXUS, du Grand Prix SFEN 2013, récompensant une œuvre scientifique ou technique de haut niveau.





Maillage du bâtiment réacteur (à gauche) et un résultat de calcul de combustion (à droite).

- (1) Accident de perte de réfrigérant primaire.
- (2) Accident de dimensionnement du confinement.
- (3) REaching Petascale for advanced fluid-structure DYNamics.

Aval du cycle actuel

Les programmes sont menés en soutien d'AREVA pour optimiser ou adapter les procédés de traitement des combustibles usés de l'usine de La Hague et de fabrication de combustible MOX de l'usine Melox ; de l'Andra pour fournir les éléments scientifiques et techniques nécessaires aux dossiers Cigéo ; et d'EDF pour la gestion de certains déchets dont ceux issus du démantèlement des réacteurs uranium naturel graphite gaz (UNGG).

AVANCÉES SUR LE PROCÉDÉ PIVIC

L'année 2013 a été marquée par des avancées importantes sur le procédé d'incinération vitrification in-can, appelé Pivic. Développé en partenariat avec AREVA, ce procédé est destiné à traiter et conditionner les déchets technologiques mixtes (à la fois organiques et métalliques) contaminés alpha dans une matrice mixte verre-métal : la fraction organique du déchet est incinérée, les cendres produites sont vitrifiées et la fraction métallique du déchet est fondue. La revue de conception du four a été réalisée mi-2013, pour une mise en œuvre en 2014 dans les laboratoires de la DEN à Marcoule, afin de conduire le programme expérimental de qualification de la partie fusion verre-métal du procédé. Par ailleurs, les équipes de la DEN ont montré l'intérêt, pour ce procédé, d'utiliser des verres sodocalciques sans bore (à la place des verres borosilicatés habituels) pour optimiser les qualités de confinement de la matrice.

SOUTIEN À L'USINE DE LA HAGUE

L'optimisation de la gestion des effluents des ateliers de La Hague représente un enieu maieur pour AREVA. Elle implique d'adapter les conditions de traitement au niveau de certains évaporateurs, aux spécificités d'effluents jusque-là traités en un autre endroit de l'usine. Dans ce cadre, la DEN a été sollicitée par AREVA sur la problématique du traitement d'un effluent riche en ruthénium, dans un évaporateur dont les conditions présentes dans le bouilleur sont suffisamment oxydantes pour transformer ce ruthénium en espèce volatile. Pour éviter la propagation du ruthénium volatil, la DEN a proposé et développé un procédé permettant de tamponner le pouvoir oxydant du milieu. L'ultime étape de son développement a été réalisée avec



EREBUS, installation de conditionnement de déchets à Marcoule : module de fusion verre/métal in-can par induction directe basse fréquence.

succès fin 2013 : il s'agissait de sa transposition à une échelle industrielle. Les tests ont été effectués à l'usine de La Hague d'octobre à décembre.

ACTIONS EN SOUTIEN À L'ANDRA

Dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, la DEN intervient en soutien au projet Cigéo, dont l'Andra est maître d'ouvrage. Dans ce cadre, le projet "Full Scale Sealing" vise à démontrer la faisabilité technologique des scellements des galeries de stockage géologique au moyen d'une maquette à l'échelle 1, réalisée en surface à Saint-Dizier en Haute-Marne. Cette dernière se compose d'un noyau de scellement en bentonite et de deux massifs d'appui en béton bas pH. En 2013, la DEN a notamment remis à l'Andra un rapport de synthèse proposant les formulations de béton destinées au scellement des galeries et correspondant à ses exigences: cinq formulations de référence et trois formulations novatrices alternatives.





Remplissage avec du béton de la maquette visant à démontrer la faisabilité technologique des scellements des galeries de Cigéo.

Grands outils pour le développement du nucléaire

Les recherches pour les systèmes nucléaires actuels ou du futur nécessitent des outils expérimentaux et de simulation spécifiques. Dans ce cadre, la DEN développe et exploite un parc complet et cohérent d'installations expérimentales, prépare le remplacement



des installations vieillissantes et réalise de nouvelles installations telles que le Réacteur Jules Horowitz (RJH) à Cadarache. Seul outil de ce type en construction en Europe, il sera à terme une installation unique pour l'étude des matériaux et des combustibles sous irradiation, et assurera aussi une part importante de la production de radio-isotopes médicaux.

Dans le domaine de la simulation, la DEN développe des codes dans tous les grands domaines du nucléaire (neutronique, thermohydraulique, mécanique, thermique, chimie du cycle et matériaux) afin de modéliser l'ensemble des phénomènes entrant en jeu dans un réacteur.

Simulation numérique

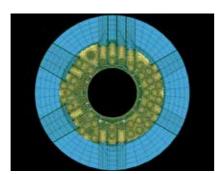
La DEN développe des plateformes et des codes de calcul dans tous les grands domaines du nucléaire (neutronique, thermohydraulique, mécanique, thermique, chimie et matériaux) afin de modéliser l'ensemble des phénomènes complexes entrant en jeu dans le fonctionnement normal ou accidentel d'un réacteur. La plupart des plateformes permettent des modélisations multi-échelles : de l'échelle atomique jusqu'à celle du système complet. Les codes développés par la DEN sont pour la plupart utilisés par les industriels du nucléaire français. Leur distribution à des organismes de R&D européens a conduit à la signature d'un grand nombre d'accords de licence.

MISE EN EXPLOITATION DE LA VERSION 7 DE LA PLATEFORME SALOMÉ

L'année 2013 a été marquée par la mise en exploitation de la version 7 de Salomé, plateforme de développement de pré/post-traitement et de couplage de codes pour la simulation numérique. Co-développée avec EDF R&D et distribuée en open source, cette plateforme propose différents services génériques pour la réalisation d'études (intégration de codes de calcul sous forme de composants, pré/post-traitement, supervision de calculs, couplage de codes, gestion des études, etc.). La version 7, mise à disposition des utilisateurs CEA et EDF, enrichit les fonctionnalités de la dernière version (6) mise en exploitation en 2011, par des ajouts ou améliorations concernant des fonctionnalités accrues pour la visualisation en cours de calcul, les fonctionnalités algorithmiques et la simplification de la mise en place de ces maillages pour des géométries complexes.

SUCCÈS DU PROGRAMME EXPÉRIMENTAL AMMON

2013, c'est aussi le succès du programme expérimental Ammon dans le réacteur Eole du site de Cadarache, après trois ans de mesures sur sept configurations représentatives du cœur du Réacteur Jules Horowitz (RJH) en situations normales ou incidentelles. Ce programme a consisté à fournir des paramètres de physique du cœur, mesurés précisément pour disposer d'incertitudes maîtrisées sur certaines options de conception du réacteur et pour étayer la démonstration de sûreté. Il s'inscrit ainsi dans une démarche de qualification globale des outils de





Visualisation du maillage du réflecteur RJH avec Salomé.



Expérimentations du programme Ammon conduites dans la maquette critique Eole à Cadarache.

conception neutronique et photonique, en particulier les calculs relatifs à la physique du cœur traités par le formulaire de calcul Horus 3D/N, qui utilise les fonctionnalités des grands codes de neutronique du CEA et qui s'appuie sur l'utilisation de la bibliothèque de données nucléaires JEFF3.1.1. Les expériences de ce programme ont été menées dans la maquette critique Eole, qui permet de réaliser des expériences intégrales de neutronique sur des réseaux et des combustibles représentatifs des réacteurs expérimentaux ou de puissance.

AUTOUR DU CODE APOLLO2

Les partenaires industriels mettent en œuvre le code de neutronique Apollo2 dans leurs chaînes industrielles de calcul.

La NRC, autorité de sûreté américaine, a approuvé l'utilisation de la nouvelle chaîne de calcul Arcadia d'AREVA pour le calcul des cœurs de réacteurs à eau pressurisée à combustible UO₂, celle-ci mettant en œuvre la version 2.8-3 du code Apollo

Par ailleurs, le CEA a livré aux partenaires la version 2.8-4 du code, enrichie de développements complémentaires. Les avancées uniques implémentées dans cette nouvelle version permettent notamment de simuler plus précisément les interactions neutrons/noyaux, en particulier le modèle de diffusion des neutrons, et de diminuer significativement les temps de calcul et la taille mémoire nécessaires à ces calculs.

La version 2.8-4 du code Apollo constituera pour EDF le composant essentiel de sa future chaîne de calcul neutronique industrielle, qui remplacera en production vers 2018 la chaîne actuelle, dotée de la version 2.5 d'Apollo, en place depuis 2002.

Installations expérimentales : Réacteur Jules Horowitz (RJH)

La construction du RJH à Cadarache est un projet majeur pour le CEA. Seul outil de ce type en construction en Europe, le RJH sera à terme une installation unique pour l'étude des matériaux et des combustibles sous irradiation, en soutien aux réacteurs nucléaires actuels et futurs. Il assurera aussi une part importante de la production de radio-isotopes médicaux. Le projet RJH a bénéficié d'un financement du programme d'investissements d'avenir et est construit dans le cadre d'un consortium international, le CEA étant propriétaire, exploitant nucléaire et maître d'ouvrage de l'installation.





ORGANISATION

En mars 2013, le Nuclear National Laboratory britannique (NNL) est devenu le 11º partenaire du projet RJH, par la signature d'un accord entre le CEA et le ministère Britannique de l'Énergie et du Changement Climatique (DECC), à l'occasion d'une rencontre ministérielle sur l'énergie nucléaire.

POSE DU DÔME

Le chantier s'est poursuivi tout au long de l'année 2013. Le 13 décembre, le CEA et ses partenaires, AREVA et Razel-Bec, ont procédé à la pose du dôme du réacteur, opération délicate et d'exception. Elle a nécessité huit mois de préparation, et une forte implication des équipes de la DEN à Cadarache et des sociétés AREVA, Razel-Bec et Secomoc. Cette opération a représenté une étape majeure de la construction du réacteur, dont 80 % du génie civil est maintenant réalisé, et a marqué l'entrée du chantier dans sa phase de travaux de montage électromécanique.

RETOUR EN IMAGES

2013, UNE ANNÉE DE CHANTIER

1. Mai. Les deux dernières levées de béton sont terminées.

2. Juin. Le niveau zéro du bâtiment réacteur est coulé.

3. Juillet-août. Réception de la deuxième série de modules des cellules chaudes qui sont posés et ferraillés dans le bâtiment des unités annexes.

4. Novembre-décembre. Le premier module d'ossature cuvelage de fond de piscine est introduit. La voie de roulement et les éléments du pont polaire sont posés.

5 et 6. 13 décembre. Le dôme est posé.

Valorisation

La filière nucléaire se place au 4° rang des filières les plus innovantes de France. C'est une filière intégrée (grands groupes industriels, organismes publics de recherche, tissu de plusieurs centaines de PME), dans laquelle la DEN joue historiquement un rôle majeur pour l'innovation. La R&D de la DEN s'inscrit essentiellement dans le cadre d'accords avec des grands industriels comme EDF et AREVA mais se traduit aussi par sa capacité importante à réaliser des transferts technologiques. Elle valorise les moyens et les compétences qu'elle a développées pour le nucléaire en travaillant au profit des autres pôles du CEA, mais également en transférant ses technologies vers l'industrie non-nucléaire.

DES TECHNOLOGIES INNOVANTES DANS L'INSTRUMENTATION

À Cadarache, l'offre brevets de technologies innovantes dans le domaine IMC-A (instrumentation, mesure, caractérisation et leurs applications industrielles) a été structurée en six domaines: mesure de transferts thermiques, thermohydraulique, caractérisation surfacique par contrôle non destructif, caractérisation physique, radiologique, élémentaire par la mesure nucléaire non destructive, analyse physico-chimique et mesure de rayonnement.

Dans le domaine de la mesure de transferts thermiques, on peut citer l'exemple du capteur « coefh », qui permet de connaître le coefficient d'échange de n'importe quel système, notamment de refroidissement, pour *in fine*, prédire la durée de vie de ses composants. Une licence exclusive a été signée avec la société Kayme, qui peut désormais le fabriquer et le commercialiser. L'industrie automobile est également intéressée dans le cadre de l'étude du refroidissement des disques de frein.

ÉTUDES SUR LA FAISABILITÉ DU NETTOYAGE À SEC DES VÊTEMENTS PAR CO₂ SUPERCRITIQUE

Les équipes de la DEN à Marcoule ont signé en 2013 un accord de R&D avec la start-up DFD afin d'étudier la faisabilité d'industrialisation d'un procédé de nettoyage à sec des vêtements et matériaux textiles par CO₂ dense sous pression (> 75 bar - > 31°C), solvant qui pourrait être une solution alternative au perchloréthylène ou aux hydrocarbures actuellement utilisés. Des études menées depuis 2012, en lien avec Centre technique industriel sur la







De haut en bas : capteur « coefh » ; prototype de débitmètre à palier fluide ; banc d'essais Visio : bac en eau pour expérimentations acoustiques et ultrasonores

teinture et le nettoyage (CTTN), ont d'ores et déjà apporté des résultats intéressants sur le plan qualitatif, tant sur la tenue des matériaux que sur le nettoyage. Cet accord de R&D permettra ainsi de développer un pilote pour mener des études à grandeurs réelles (pression, température, durée, produits additifs, etc.), pour parvenir à un procédé exploitable industriellement par le secteur du nettoyage à sec.



EN SAVOIR PLUS

JOURNÉE « DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE »

Dans le cadre de la semaine de l'industrie, le CEA a mis en lumière, le 20 mars 2013, à la Maison de la chimie à Paris. le rôle maieur que joue un organisme public de recherche scientifique et technologique dans l'émergence et le développement de filières industrielles, ainsi que l'importance de l'innovation et des transferts de technologie comme facteurs de compétitivité et de création d'emploi. Plus de 200 participants ont pu visiter un espace d'exposition où étaient notamment présentés des exemples de technologies DEN applicables à l'industrie dans le domaine de l'instrumentation, de la mesure et de la caractérisation, ou encore des partenariats avec des PME-ETI autour de la construction du Réacteur Jules Horowitz (RJH).

Accompagnement économique des territoires de Meuse et Haute-Marne: projet Syndièse

La DEN est en charge de la mise en œuvre du projet Syndièse, qui vise notamment à démontrer la faisabilité industrielle d'une chaîne complète et intégrée de biocarburants de 2º génération issus de biomasse forestière. Ce projet s'inscrit dans les priorités nationales et européennes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

LES ENJEUX DU PROJET SYNDIÈSE

Dans le cadre de l'accompagnement économique des territoires proches du laboratoire Andra de Bure-Saudron, prévu par la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, le CEA développe le projet Syndièse. Porté par la DEN et adossé à la R&D de la Direction de la recherche technologique du CEA, ce projet consiste en la conception, la réalisation, puis l'exploitation d'un démonstrateur Biomass to Liquid, dit BtL, sur le site de Bure-Saudron pour la production de biocarburants de 2º génération. Obiectif: produire à partir de biomasse ligno-cellulosique des biocarburants de synthèse (diesel, kérosène pour aviation) par voie thermochimique à une échelle préindustrielle (75 000 t/an de biomasse sèche, soit 10 t/h, pour une production de 23 000 t/an de biocarburants). Les produits finis respecteront les normes carburant et seront directement commercialisables à des fins d'utilisation dans les transports terrestres et aériens. Ce démonstrateur préindustriel démarrera dans un premier temps avec de la plaquette forestière (feuillus et/ou résineux) avant que soient utilisés, dans un second temps, d'autres types de ressources. Son approvisionnement sera basé sur une ressource locale de proximité (ravon d'environ 75 km).

AVANCEMENT DU PROJET

En 2013, Syndièse est entré dans une phase de réalisation sur son site de Bure-Saudron avec le lancement de la première phase du projet, validée lors du Comité de Haut Niveau (CHN) du 4 février 2013 qui s'est déroulé à Bure sous la présidence de Delphine Batho, alors ministre de l'Écologie, du Dévelop-



Chantier de construction de la plateforme technologique de prétraitement de la biomasse.

pement durable et de l'Énergie. Cette première phase consiste à réaliser les travaux d'aménagement du site et la construction d'une plateforme technologique qui permettra de mener les actions de R&D pour la validation à l'échelle 1 t/h des technologies développées par le CEA pour le prétraitement de la biomasse, avant sa transformation en gaz de synthèse.

Dans ce cadre, le CEA poursuit, en collaboration avec le groupe Air Liquide, le projet Syndièse-BtS (Biomass to Syngas) qui vise à développer une technologie innovante de transformation de la biomasse en gaz de synthèse, issue de leurs programmes de recherche respectifs. Divisé en trois phases, ce projet a pour objectif de démontrer et réaliser l'intégration d'un système complet, cohérent et fiable, transformant la biomasse ligno-cellulosique en syngas au sein d'une unité pilote R&D à une échelle 1 t/h. L'implantation de cette unité pilote est envisagée sur le terrain d'une trentaine d'hectares réservé au projet Syndièse, situé dans la zone interdépartementale sur les territoires et communes de Bure et de Saudron en bordure de la départementale 175, et dont le CEA s'est rendu propriétaire le 16 septembre 2013.

Suite à l'obtention des autorisations réglementaires nécessaires à la construction de la plateforme technologique de prétraitement de la biomasse et aux études⁽¹⁾ et travaux d'aménagement et de viabilisation requis préalablement à la construction, le chantier a pu démarrer en octobre 2013 avec la mise en place d'une clôture de chantier et la réalisation du terrassement et des fondations du bâtiment. Cette plateforme, dont la livraison est prévue au premier trimestre 2014, comportera dans un premier temps:

- un hall d'essais de 400 m² regroupant les équipements technologiques à une échelle représentative de 1 t/h;
- un laboratoire de 100 m² disposant des équipements de caractérisation et d'analyse des propriétés de la biomasse
- un espace dédié aux équipes d'exploitation et aux chercheurs, composé de bureaux indépendants équipés de connectiques et permettant l'accueil d'utilisateurs de la plateforme technologique.

Il est fixé en fin de première phase, phase de validation des briques technologiques constitutives de l'amont de la chaîne de procédés BtL, un jalon décisionnel pour le passage en deuxième phase, qui nécessitera pour le CEA une validation au cours du prochain CHN qui devrait se tenir dans le courant du second semestre 2014

(1) Diagnostic archéologique, étude faune flore, analyse chimique des sols, relevés topographiques et reconnaissance géotechnique.

Assainissement et démantèlement nucléaire

Conduire des recherches dans le domaine nucléaire nécessite un parc d'installations nucléaires en constante évolution. Il est donc nécessaire de mener des programmes de construction et de rénovation d'installations ainsi que des programmes de démantèlement



de celles arrivées en fin de vie. Ils couvrent l'ensemble des activités réalisées après l'arrêt définitif du fonctionnement de l'installation jusqu'à l'atteinte d'un état final prédéfini. Le CEA a une stratégie conforme aux recommandations des autorités de sûreté: le démantèlement immédiat des installations, chaque fois que cela est réalisable, afin de diminuer les risques le plus rapidement possible et bénéficier des connaissances du personnel d'exploitation. Ces programmes d'assainissement et de démantèlement s'accompagnent d'actions de R&D en appui, l'objectif étant de diminuer les coûts, la durée des chantiers, les doses, les déchets et d'améliorer la sûreté des chantiers.

Projets de démantèlement

Gérer le démantèlement de ses installations nucléaires, de façon responsable et sûre, est un des objectifs majeurs du CEA. Le financement des programmes de démantèlement est assuré de manière pluriannuelle à travers deux fonds dédiés, l'un aux activités civiles, l'autre aux activités Défense. 22 installations nucléaires civiles sont actuellement en cours de démantèlement, sur 43 au total.

LES PRINCIPALES PRIORITÉS. À COURT ET MOYEN TERME

À Marcoule, la poursuite du démantèlement de l'usine de retraitement des combustibles usés UP1 et le démarrage des opérations de démantèlement du réacteur Phénix, mis à l'arrêt en 2009 ; À Fontenay-aux-Roses, la réduction progressive du périmètre des installa-

tions nucléaires de base (INB);

À Grenoble, la poursuite de l'assainissement final et le déclassement administratif des INB du site, la fin des opérations de démantèlement de celles-ci ayant abouti fin 2012 conformément aux engagements pris dans le cadre du contrat d'objectifs et de performance État-CEA; Le respect des dates de décret encadrant les chantiers, et des jalons de sûreté du CEA vis-à-vis des autorités de sûreté

MARCOULE

À Marcoule, les deux priorités sont la poursuite du démantèlement de l'usine de retraitement des combustibles usés UP1 et la préparation du démantèlement du réacteur Phénix, mis à l'arrêt en 2009.

Programme UP1

L'usine UP1 a permis de retraiter les combustibles usés des réacteurs nucléaires G1, G2 et G3 du centre de Marcoule avec pour objectif de produire le plutonium nécessaire aux besoins de la Défense nationale. La tête et le cœur du procédé d'extraction du plutonium ont donné lieu, depuis une dizaine d'années, à des chantiers de rinçage puis de démantèlement. Zoom sur deux réalisations maieures de l'année 2013.

· Fin du démantèlement des unités de séparation d'UP1. Les unités de séparation représentaient le cœur du procédé d'extraction de l'usine. Les travaux ont concerné deux chaînes de batteries et ont consisté à les assainir, les extraire puis les découper. En décembre 2013, l'ensemble des batteries de la chaîne B ont été extraites. Les opérations de démantèlement des batteries de la chaîne A (terminées en 2011) ont totalisé 60 000 heures d'intervention et celles de la chaîne B, 22000 heures d'intervention.

• Fin de la première phase de démantèlement niveau 1 du dégainage G2-G3.

Toujours dans le cadre du programme UP1, la première phase de démantèlement de niveau 1 de l'atelier dédié au dégainage a été finalisée en 2013. La galerie technique abritait les différentes tuyauteries (filtration, vidange vers fosses à effluents, réactifs, eau déminéralisée, etc.) qui permettaient le fonctionnement des différents procédés de l'atelier. Après les opérations de démantèlement des tuyauteries, la dernière opération a consisté à écroûter le sol et les différents points chauds afin de diminuer le niveau d'irradiation. Cette opération, achevée en décembre 2013, a été menée en téléopération à l'aide d'un brokk. Le chantier a duré 18 mois, a généré 40 tonnes de gravats et a permis de diminuer le niveau d'irradiation de façon très significative.

Le démantèlement de la centrale Phénix

Le réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium Phénix, à l'arrêt définitif depuis 2009, a vu se poursuivre les chantiers de démontage réalisés dans le cadre des opérations préparatoires au démantèlement et les quatre transports de combustibles usés ont été réalisés en direction de l'usine d'AREVA La Hague. Aux plans administratif et réglementaire, les équipes ont poursuivi très activement les préparatifs en vue de la tenue d'un « groupe permanent » de réévaluation de la sûreté de l'installation et d'une enquête publique préalable au démantèlement, prévus en 2014.





Chaîne blindée Cyrano.

PROJET ALADIN À FONTENAY-AUX-ROSES

Depuis 2006, les installations du centre ont été regroupées en deux INB: l'INB 165, dite INB procédés, et l'INB 166, dite INB support. Des avancées importantes ont été réalisées en 2013 sur les chantiers de démantèlement de chacune des deux INB.

Fin du démantèlement des chaînes blindées Gascogne, Guyenne, Eole et Cyrano du bâtiment 18.

Ce travail s'est échelonné sur plusieurs années avec la réussite, dans les délais, de plusieurs jalons intermédiaires:

- mi-2011, la fin du démantèlement de la chaîne blindée Gascogne. Elle avait pour principal programme la R&D sur le retraitement par voie aqueuse des combustibles irradiés à l'état solide ou en solution :
- fin 2011, la fin du démantèlement des chaînes blindées Eole et Guyenne. La chaîne Eole était conçue pour des activités relatives aux coques (cimentation, rinçage et lixiviation des coques REP, mesure par gamma scanning de l'activité des coques usines, etc.). La chaîne Guyenne, quant à elle, était destinée à réaliser les analyses par spectrométrie d'émission par plasma induit haute fré-
- fin 2013, la fin du démantèlement de la chaîne blindée Cyrano. Ayant été exploitée durant 30 ans, elle était dédiée à l'étude du retraitement par voie aqueuse de combustibles divers.



3 QUESTIONS SUR... la fin de la démolition des zones arrières du bâtiment RM2

Quel était l'objectif prioritaire de ce chantier?

Achevé début avril 2013, ce chantier était l'étape préalable à la mise en place du confinement nécessaire aux travaux de découpe des cellules blindées, qui débuteront en 2014.

Quels travaux a nécessité la démolition des zones arrières ?

La première phase des travaux, engagée en juin 2012, a consisté à mettre en place une ventilation de chantier, permettant l'implantation d'un confinement de démolition des zones arrières, et à déposer l'ensemble des équipements de l'ancienne salle des filtres. La seconde phase a débuté fin novembre 2012 et a principalement concerné la démolition des zones arrières et de la galerie technique avec un brokk équipé d'une pince croqueuse. Les opérations ont consisté à extraire les caissons de rétrodiffusion contaminés présents dans les murs des cellules puis à démolir l'ensemble des structures composant ces zones.

Quelle est la principale étape chantier prévue en 2014?

Le principal chantier en 2014 démarrera en janvier par les opérations de découpe des cellules blindées de la petite ligne. La technique de découpe qui sera utilisée est novatrice : les opérations de sciage seront réalisées «en poussant» le câble de sciage à l'aide d'un portique permettant ainsi d'obtenir des traits de sciage parfaitement droits et d'avoir une vitesse de coupe plus rapide. Le portique sera également équipé d'un dispositif d'aspiration des poussières. Plus de 1200 blocs seront découpés, extraits et évacués sur la durée du chantier



SACLAY

L'année 2013 a été marquée par l'évacuation, fin novembre, des derniers effluents de la cuve HA4 de l'INB 35 de Saclay, vers l'unité de traitement Delos de l'installation Atalante à Marcoule. L'évacuation complète des effluents de la cuve HA4 avant le 8 janvier 2014, ayant pour objectif la diminution du terme source du site de Saclay, constituait l'un des termes du décret de modification de l'INB 35, un objectif prioritaire de sûreté du CEA et un jalon du contrat d'objectifs et de performance État-CEA. Ce dernier relevage clôt un travail de longue haleine de six années pour les centres de Saclay et de Marcoule.

En tenant compte des capacités de transport et des cuves réceptrices d'Atalante, cinq transports ont été nécessaires pour vider la cuve HA4, depuis mars 2010 jusqu'à fin 2013. Au total, ce sont 2 700 litres qui ont été transférés à Marcoule dans un emballage de transport de type B baptisé SORG, concu en 2006.

PROJET PASSAGE À GRENOBLE

Les travaux de démolition des murs du réacteur expérimental Siloé ont marqué symboliquement la fin du démantèlement des INB du centre CEA de Grenoble. Des opérations complémentaires se sont poursuivies en 2013 pour répondre à des exigences supplémentaires de l'ASN, consistant en l'assainissement du radier du réacteur Siloé, du Lama (Laboratoire d'analyse des matériaux actifs) et du sous-sol de la Sted (Station de traitement des effluents et déchets). Ce projet est un exemple unique d'assainissement-démantèlement à l'échelle d'un site entier. Les opérations ont concerné six INB (trois réacteurs de recherche, un laboratoire, deux stations de traitement de déchets et d'effluents radioactifs) dont la plus ancienne datait de 1958, et dont la dernière a fonctionné jusqu'en 2003. Le démantèlement de toutes les INB du site s'est achevé fin 2012, conformément au jalon inscrit dans le contrat d'objectifs et de performance État-CEA et avec trois ans d'avance sur le calendrier initial.

CADARACHE

Plusieurs avancées importantes ont aussi été réalisées sur les chantiers de démantèlement de Cadarache.

Conditionnement des fûts Pégase

Les 2714 fûts de déchets fortement contaminés en plutonium, entreposés dans les locaux de l'ancien réacteur Pégase du CEA, sont dorénavant évacués de l'installation après avoir été conditionnés en 619 colis de 870 litres cimentés et qualifiés. Ceci permet de réaliser un des objectifs prioritaires de sûreté du CEA selon le calendrier prévu.

Des ateliers spécifiques ont été conçus et réalisés pour ces opérations: un atelier de reprise des palettes de fûts; un atelier de caractérisation non destructive (imagerie X, spectrométrie gamma, mesures neutroniques passives); un atelier de traitement-conditionnement (ensemble de dix boîtes à gants) et un atelier de fabrication du ciment. Des équipements spécifiques ont aussi été mis en œuvre: caisson étanche, ventilation particulière au procédé, armoires courants forts et groupe électrogène fixe associé, courants faibles, etc. Le



Entreposage de fûts fortement contaminés en plutonium dans Pégase.

démarrage effectif du projet a eu lieu fin 2006 et la phase de conception s'est achevée mi-2007. Les travaux se sont déroulés de fin 2007 à fin 2008, pour une mise en actif effective le 17 avril 2009, et la fabrication du premier colis en juin 2009. Cette étape importante, menée en parallèle du desentreposage des combustibles irradiés de la piscine, permet de préparer le démantèlement de Pégase, prévu à partir de 2017.

Fin de la déconstruction du bâtiment « UO₂ » de l'INB 55 à Cadarache

2013 a été marquée par la déconstruction du bâtiment « UO₂ » de l'INB 55 (Leca-Star), réalisant ainsi l'objectif prioritaire de sûreté de supprimer l'interaction entre les installations Leca et Star en cas d'aléa sismique. Mis en service en 1966, le bâtiment « UO₂ » abritait une chaîne blindée constituée de cinq cellules, nommée « chaîne plomb », qui fut exploitée à des fins de R&D sur les combustibles irradiés.

Cette déconstruction s'intègre dans la mise en conformité de l'INB 55 aux risques sismiques, en parallèle de la rénovation du Leca. Les travaux de cessation définitive d'exploitation de la «chaîne plomb», entrepris dès 2003, ont été suivis d'une phase d'assainissement puis de démantèlement des cellules blindées et de l'ensemble de ses servitudes jusqu'en 2010. Ont ensuite débutées les opérations d'assainissement poussées du génie civil dont l'objectif était de garantir l'absence de toute radioactivité ajoutée par l'exploitation de cette installation de R&D et d'obtenir ainsi, en mars 2013, le déclassement définitif des zones à déchets nucléaires. La dernière étape, achevée le 27 juin, a consisté à déconstruire dans sa totalité, et selon des conditions conventionnelles, les structures du bâtiment «UO₂». Les activités de R&D de la «chaîne plomb» ont été transférées dans les cellules 8 à 12 du Leca rénové.

Gestion des flux de déchets et matières

La gestion des flux de déchets radioactifs, des matières et des combustibles sans emploi est un enjeu essentiel pour permettre le déroulement nominal des activités de R&D et des programmes d'assainissement et de démantèlement.

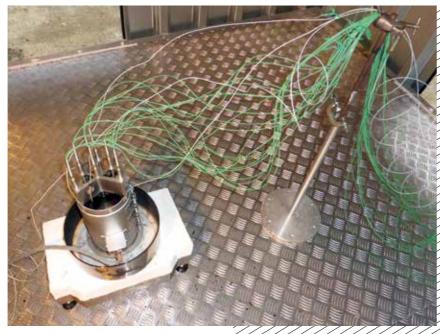
Un des objectifs principaux pour le CEA est de disposer de filières opérationnelles de traitement et d'entreposage des déchets de toutes les catégories (TFA, FMA, FA-VL, HA, MA-VL), ainsi que d'une capacité d'évacuation en ligne des déchets radioactifs courants de catégories très faible activité (TFA) et faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) vers les exutoires opérationnels de l'Andra (Cires et CSA), et ceci dans un contexte technico-économique optimisé. Un second objectif majeur est de disposer à terme des stockages futurs. capables de prendre en charge respectivement tous les colis de déchets de haute activité (HA) et moyenne activité à vie longue (MA-VL), et les colis de faible activité à vie longue (FA-VL).

SPÉCIFICATIONS D'ACCEPTATION DES COLIS DE DÉCHETS DU CEA DANS CIGÉO

Le CEA mène des actions techniques et scientifiques pour contribuer à la mise en place de spécifications d'acceptation de ses colis de déchets HA et MA-VL en condition de stockage dans Cigéo, le projet de centre de stockage profond des déchets radioactifs dont l'Andra est maître d'ouvrage. En particulier, suite à la demande formulée par la commission nationale d'évaluation à la fin de l'année 2012, le CEA a défini, en lien avec l'Andra, AREVA et EDF, un programme de R&D spécifique destiné à conforter la démonstration de la maîtrise des risques en condition de stockage profond des colis de déchets de boues bitumées. notamment vis-à-vis du risque incendie.

RÉCEPTION DU PÔLE CIMENTATION

La réception des travaux de construction du pôle cimentation dans l'installation Hera à Marcoule a eu lieu en mai 2013. Elle marque la fin de la phase de travaux et le début de la phase d'exploitation de ses nouveaux laboratoires.



Montage expérimental dédié aux essais de sollicitation thermique d'enrobés de boues hitumées à l'échalle du kilogramme

Répartis sur deux niveaux de 250 m² chacun, ils accueilleront les activités de formulation des matrices cimentaires pour le blocage et l'enrobage de déchets homogènes et/ou hétérogènes, leurs conditions de fabrication et les méthodes de caractérisation des matériaux cimentaires

SOUTIEN À L'AGENCE ITER FRANCE SUR LES DÉCHETS D'ITER

Dans le cadre de l'engagement pris par Euratom de mettre en place une filière de gestion des déchets d'ITER, le CEA s'est vu confier la mise en œuvre de cet engagement à travers la création d'Intermed, future installation d'entreposage des déchets contenant du tritium (déchets tritiés) en vue de sa décrois-

sance pour une cinquantaine d'années. En 2013, de nombreuses avancées ont été réalisées parmi lesquelles : le choix du site de référence pour l'implantation d'Intermed, sur un site mitoyen à l'installation expérimentale ITER ; l'ensemble des actions préparatoires au lancement d'une maîtrise d'œuvre en 2015 et la rédaction du dossier d'options de sûreté qui sera transmis à l'ASN en 2014. En parallèle, des programmes de R&D ont été menés, concrétisés par la diffusion d'une synthèse sur les techniques de traitement des déchets tritiés. Une synthèse sur l'évaluation des voies de gestion de l'eau tritiée sera réalisée en 2014. Au final, l'objectif est de définir les bases techniques qui permettront de préparer, d'ici mi-2015, les modalités d'un accord avec ITER pour la prise en charge des déchets tritiés d'exploitation.

Installations de service nucléaire

Pour gérer ses déchets, le CEA s'appuie sur un parc d'installations de service nucléaire. Elles lui permettent d'entreposer ses matières nucléaires, de conteneuriser et d'entreposer les combustibles usés issus de ses réacteurs expérimentaux ou des expériences menées sur les combustibles EDF et de traiter ses effluents liquides et déchets solides. Ce parc datant pour partie de la création des centres, le CEA s'est engagé dans un important programme de reconfiguration de ce parc, en vue de l'adapter aux besoins futurs et aux exigences de sûreté en vigueur. Cela se traduit par des fermetures d'installations, des travaux de rénovation ou des créations d'installations neuves.

MISE EN SERVICE DE MAGENTA

2013 a vu la mise en service du magasin central Magenta de Cadarache, destiné à prendre le relais du Magasin central des matières fissiles (MCMF). Magenta permet d'entreposer sur le centre les matières fissiles utilisées pour des programmes de recherche et permettra aussi de contrôler le conditionnement, d'effectuer des mesures et de reconditionner les matières nucléaires en cas de besoin.

COULÉE DU PREMIER BÉTON DE STEMA

2013 a aussi été marquée par la coulée du premier béton de l'installation Stema destinée à traiter les effluents liquides de moyenne activité du site de Marcoule. Il s'agit notamment de construire deux bâtiments neufs en périphérie de la Station de traitement des effluents liquides (Stel): un bâtiment de cimentation des boues et le bâtiment dépotage pour recueillir les effluents extérieurs au site de Marcoule et certains effluents propres

au site amenés par des camions citerne. L'opération de bétonnage du radier du bâtiment cimentation a débuté le 25 avril 2013 et concrétise la tenue d'un jalon du contrat d'objectifs et de performance État-CEA.

FERMETURE DE L'ADM

L'Atelier de décontamination des matériels (ADM), situé à Marcoule, a fermé ses portes le 15 décembre 2013 après avoir traité, pendant plus de 50 ans, les matériels et déchets en provenance des installations de Marcoule, des centres CEA extérieurs ou encore des clients comme AREVA (La Hague). Parmi les opérations remarquables de l'année 2013, l'ADM a notamment réalisé le compactage des batteries de la salle 60 de l'usine UP1 recu, traité et évacué les quatre cuves du hall 10 du bâtiment 18 du CEA de Fontenay-aux-Roses; traité et décontaminé l'ensemble des déchets irradiants et les télémanipulateurs de l'Atelier de vitrification de Marcoule (AVM).



Ci-contre : vue aérienne du bâtiment dépotage de Stema. Ci-dessous : montée des voiles du bâtiment cimentation de Stema.



R&D et valorisation

Forte de son expertise dans le domaine de l'assainissement et du démantèlement nucléaire, la DEN a décidé de structurer en 2013 ses actions de R&D et de valorisation dans le domaine, en créant un programme dédié.

Le programme se structure autour de deux axes majeurs :

- dynamiser la R&D en assainissementdémantèlement. Les enjeux portent principalement sur la réduction des coûts, des délais et de la quantité de déchets produits tout en améliorant la sûreté des chantiers d'assainissementdémantèlement;
- développer et valoriser l'offre de R&D et d'expertise auprès des autres donneurs d'ordre français ou internationaux, et à travers divers modes de partenariats ou de transferts technologiques avec des entreprises spécialisées et ce dans un contexte de développement international de l'activité industrielle en assainissement-démantèlement.

ACTIONS MENÉES EN SOUTIEN À L'IRID

En 2013, la DEN s'est fortement mobilisée pour apporter son expertise au Japon pour le démantèlement de la centrale de Fukushima-Daiichi. Cette action s'effectue dans le cadre de l'IRID. pour International Research Institute for nuclear Decommissioning, créé en août 2013 par le ministère japonais de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie afin d'accroître la coopération internationale sur le démantèlement de la centrale. Dans ce cadre, la DEN s'est positionnée en tant qu'expert et fournisseur de R&D et comme point d'entrée de l'IRID vis-à-vis des entreprises françaises dans le cadre des deux appels à informations lancés par cet institut.

Le premier, lancé fin 2013, concernait la problématique des eaux contaminées. La DEN s'est mobilisée en proposant huit sujets technologiques et en menant une mission d'expertise au Japon. Le second concernait la problématique de la reprise des débris de combustible et sera lancé début 2014. Ces appels à informations seront suivis d'appels à propositions au cours de l'année 2014.



EN SAVOIR PLUS

LES AXES DE R&D ET D'EXPERTISE

Depuis 2013, les activités de R&D et d'expertise dans le domaine de l'assainissementdémantèlement sont structurées en six grands domaines:

- l'évaluation de l'état radiologique des installations
 et des sels :
- la caractérisation des déchets dans les meilleures conditions de sûreté et d'économie ;
- la réalisation sûre et économiquement optimisée d'opérations en milieu hostile ;
- la décontamination des structures et des sols :
- le traitement optimisé des déchets et des effluents;
- les outils et méthodes de chiffrage et de gestion des matières, déchets, transports...







Mousse de décontamination de terres contaminées.



18/ **SET!** PRAPEOST DASTIVITÉ 2013,129/

À Marcoule, des avancées et des perspectives

Fort de près de six décennies d'implantation en terre gardoise, le site de Marcoule réunit aujourd'hui les équipes et moyens de la DEN engagés dans les recherches sur le cycle du combustible nucléaire. Parallèlement, le centre assure le pilotage opérationnel de grands chantiers d'assainissement-démantèlement à Marcoule et sur les centres nucléaires civils du CEA. Avec plus de 300 millions d'euros injectés annuellement dans l'économie locale, le CEA est l'acteur majeur du site, où travaillent chaque jour près de 5000 personnes.

LES AVANCÉES POUR LE CYCLE DU COMBUSTIBLE

Au plan industriel, le centre de Marcoule a poursuivi les études engagées au profit d'AREVA pour l'optimisation du fonctionnement des usines du cycle du combustible, tant pour les unités de l'amont (usine de conversion Comurhex de Malvési principalement) que pour l'usine de traitement-recyclage des combustibles usés de La Hague. Les équipes contribuent également au développement de procédés en soutien à AREVA pour la conception de futures usines du cycle, à l'international.

Les équipes se sont aussi fortement mobilisées pour continuer les études engagées sur le multirecyclage du plutonium. La mise au point d'une nouvelle molécule extractante et la R&D en soutien au projet d'atelier de traitement des combustibles particuliers de l'usine de La Hague illustrent cet axe de travail important. Dans le cadre de la loi du 28 juin 2006 sur la gestion durable des matières et déchets radioactifs, les chercheurs de Marcoule ont poursuivi leurs travaux, notamment sur le recyclage des actinides dans des réacteurs de 4e génération, et plus particulièrement sur les procédés d'élaboration de combustibles chargés en actinides avec la production de pastilles d'oxyde mixte d'uranium-américium. Par ailleurs, dans le cadre du programme « réacteurs de 4º génération » de la DEN, une campagne d'essais de physique du cœur, réalisée sur le réacteur Phénix à l'arrêt. a permis de recueillir des informations précieuses pour le projet Astrid de démonstrateur technologique de réacteur à neutrons rapides refroidi au

Après avoir contribué au rapport d'étape rendu par la DEN en 2012, les équipes



Assises du démantèlement : dévoilement du futur Pôle de valorisation des sites industriels (PVSI).

CHANTIER STEMA: PREMIER BÉTON!

Le 19 juin 2013 a eu lieu la coulée du premier béton de la construction du bâtiment Stema, au niveau de la station de traitement des effluents liquides de Marcoule. Cette infrastructure vise à remplacer le procédé de bitumage des boues issues des effluents radioactifs du site par un procédé cimentaire. Parallèlement à l'infrastructure elle-même, c'est un nouveau matériau cimentaire qui a été mis au point à cette occasion ainsi qu'un nouveau procédé de malaxage haute énergie. La mise en service de Stema est prévue en 2016.



de Marcoule ont poursuivi les actions de R&D sur le comportement à long terme des colis de déchets prévus pour rejoindre le stockage géologique Cigéo de l'Andra. Ces actions s'inscrivent dans le cadre du nouveau Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) signé fin 2013.

La recherche reste un axe fort et pérenne pour le centre de Marcoule, dont l'ensemble des unités concernées a notamment fait l'objet, à l'automne, d'une campagne d'évaluations menée par l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES). L'appréciation en sera connue courant 2014.

Enfin, le projet de création d'un Institut européen d'hydrométallurgie (IEH) a été défini et lancé fin 2013. Ce projet comprendra un réseau de recherche académique et des plateformes technologiques de tailles complémentaires sur lesquelles le CEA souhaite proposer aux industriels intéressés des développements technologiques pour la mise au point de procédés d'extraction et de recyclage des métaux stratégiques, pour les industries minières et du recyclage. Il verra le jour très prochainement sur le parc régional d'activités économigues (PRAE) Marcel Boiteux, en cours d'aménagement par la région Languedoc-Roussillon aux portes de Marcoule.



LES GRANDS CHANTIERS DE DÉMANTÈLEMENT

En matière d'assainissement-démantèlement, les nombreux chantiers engagés à Marcoule ont connu des avancées notables. L'enjeu principal est la réduction de la radioactivité présente dans les installations. Plusieurs actions menées au niveau de l'ancienne usine UP1 ou de ses ateliers ont contribué à progresser dans cette voie, avec par exemple le démantèlement des équipements d'extraction du plutonium, qui constituaient jadis le dispositif essentiel de cette usine de retraitement du combustible usé, et qui faisait l'objet d'un jalon du CEA auprès de l'État à fin 2013. Autres points marquants: l'achèvement du démantèlement «niveau 1» des anciens ateliers de dégainage des combustibles usés et l'avis favorable de la Commission de sûreté des laboratoires et usines (CSLU-D) pour le démantèlement de l'Atelier pilote de Marcoule (APM).

Le réacteur à neutrons rapides Phénix, à l'arrêt définitif depuis 2009, a vu se poursuivre les chantiers de démontage réalisés dans le cadre des opérations préparatoires au démantèlement et les quatre transports de combustibles usés ont été réalisés en direction de l'usine

d'AREVA La Hague. Aux plans administratif et réglementaire, les équipes ont poursuivi très activement les préparatifs en vue de la tenue d'un «groupe permanent» de réévaluation de la sûreté de l'installation et d'une enquête publique préalable au démantèlement, prévus en 2014.

L'assainissement-démantèlement a également progressé à travers les actions de R&D menées pour mettre au point des matériaux adaptés au reconditionnement de certains déchets anciens et les premiers tests «échelle 1 » d'un bras robotisé, baptisé Maestro, conçu pour l'intervention téléopérée.

En fin d'année, le CEA a organisé à Marcoule, avec les acteurs locaux, les premières « assises du démantèlement » en vue de favoriser la création prochaine d'un Pôle de valorisation des sites industriels (PVSI) sur le PRAE Marcel Boiteux et ainsi valoriser les compétences uniques de Marcoule en assainissement-démantèlement.

Atalante du CEA Marcoule s'est vu attribuer par l'American Nuclear Society (ANS) la distinction prestigieuse de «Nuclear Historic Landmark». Ce prix récompense des sites ou des installations ayant accompli de par le monde, des avancées scientifiques exceptionnelles. ou ayant contribué de manière importante au développement des technologies nucléaires civiles. Progressivement mise en service à partir de 1992, l'installation Atalante reste aujourd'hui sans équivalent dans le monde en matière de R&D sur les différentes étapes du cycle des combustibles nucléaires.



Philippe Guiberteau, Anne-Yvonne Le Dai Donald Hoffman et Christophe Béhar lors de la cérémonie de remise officielle du « Nuclear Historic Landmark ».

Cadarache: les énergies du futur

Cadarache est le centre de recherche majeur en Europe sur les énergies bas carbone: fission et fusion nucléaire, solaire et biocarburants. Ce site dispose de compétences humaines importantes, d'une panoplie d'outils de recherche idéale avec trois réacteurs nucléaires expérimentaux en construction et de plateformes technologiques sans équivalent dans le monde.

PROJET RJH

Trois événements ont marqué le projet du Réacteur Jules Horowitz (RJH) en 2013 :

- l'entrée d'un 11° partenaire, le Nuclear National Laboratory (Grande-Bretagne), dans le consortium RJH ;
- la réalisation du programme Ammon dans le réacteur Eole qui, après trois ans d'expérimentations, a permis d'obtenir une réduction significative des incertitudes pour les calculs neutroniques du cœur de démarrage du réacteur;
- la pose du dôme du réacteur.

INNOVATION, PARTAGE DES TECHNOLOGIES ET DES SAVOIRS

Dans le domaine de l'intégration scientifique au sein du tissu économique local, les échanges entre les scientifiques du centre et des universités, les industriels, le monde de l'enseignement et le grand public ont été riches et fructueux tout au long de l'année 2013, en France comme à l'international. On peut notamment citer:

- le succès de la 3º édition de la conférence internationale ANIMMA à Marseille sur l'instrumentation et la mesure nucléaire avec 450 participants d'une quarantaine de pays :
- la tenue du premier séminaire annuel «Cadarache et médecine nucléaire», au cours duquel plus de 30 médecins des communes proches du centre ont reçu des informations liées au médical et au nucléaire et sur les actions de R&D menées sur le centre dans ces domaines: effets des rayonnements, imagerie médicale et scintigraphies, surveillance radiologique des salariés, RJH et production de radio-isotopes pour la médecine nucléaire:
- l'organisation de deux «rencontres CEA-Industries en région PACA» pour l'innovation et le transfert de technologie dans les domaines de l'instrumentation, la mesure, la caractérisation et le contrôle non destructif. Elles ont réuni 200 participants issus de PME, PMI,





EN SAVOIR PLUS

POSE DU DÔME DU RJH

Vendredi 13 décembre, le CEA et ses partenaires, AREVA et Razel-Bec, ont procédé à la pose du dôme de 105 tonnes et de 34 mètres de diamètre. Cette opération d'exception a marqué une étape majeure pour le RJH dont la divergence aura lieu d'ici à la fin de la décennie. Seule installation de ce type en construction en Europe, le RJH offrira une capacité expérimentale de haute performance (comportement des matériaux et des combustibles sous irradiation) et fournira des radio-isotopes à usage médical, en particulier le molybdène 99.



Participants à la conférence ANIMMA 2013.

ETI, grands groupes, institutionnels acteurs de l'innovation et du développement économique.

SYSTÈMES NUCLÉAIRES DU FUTUR

La première phase de l'avant-projet sommaire du projet Astrid (AVP1) s'est achevée comme prévu en fin d'année 2012. Les objectifs ont été atteints, le montage industriel ayant été réalisé, les études s'étant déroulées de manière satisfaisante et les documents prévus ayant été diffusés dans les délais impartis. Ces résultats ont permis d'obtenir des tutelles l'autorisation de lancer la deuxième phase de cet avant-projet sommaire. l'AVP2.

L'année 2013 a été consacrée à la préparation de cet AVP2 en termes de planification, d'analyse technico-économique, de choix d'options et de retour d'expérience de l'AVP1. Cette phase préparatoire s'est terminée en septembre par une revue de configuration qui a permis de figer le design qui sera étudié jusqu'à fin 2015.

Un autre événement majeur de l'année 2013 est la tenue du groupe permanent sur les réacteurs mandaté par l'ASN, qui a permis d'analyser le document d'orientations de sûreté transmis en 2012.

Enfin, le cercle de collaborations industrielles autour d'Astrid s'est élargi avec l'arrivée de la société SEIV du groupe Alcen (cellule d'examen des combustibles irradiés).

SIMULATION NUMÉRIQUE POUR LES RÉACTEURS

Un benchmark sur le cœur d'Astrid, entre la DEN et deux laboratoires du DOE (Department Of Energy - USA) - l'Idaho National Laboratory et l'Argonne National Laboratory - a permis de confronter les calculs de neutronique et de comportement en transitoires du cœur CFV d'Astrid. La cohérence des résultats a permis de conforter les évaluations de la DEN pour les paramètres clés associés aux performances et à la sûreté du réacteur.

Pleiades, plateforme logicielle de simulation du comportement des combustibles sous irradiation développée dans le cadre de l'accord tripartite CEA-EDF-AREVA, a fêté ses dix ans en 2013. Dix ans au cours desquels ont été réalisés des progrès significatifs dans la simulation des combustibles nucléaires de différentes filières de réacteurs expérimentaux ou industriels, actuels ou futurs. L'application Germinal (mise à disposition des partenaires industriels) permet, aujourd'hui, la simulation du comportement sous irradiation d'aiguilles représentatives du futur cœur d'Astrid.

La version 2.8-4 du code Apollo a été livrée à AREVA et EDF en 2013. Elle permet le calcul neutronique des cœurs de réacteurs, simule plus précisément les interactions neutrons/noyaux et diminue également les temps de calcul et la taille mémoire nécessaire à leur exécution

PLATEFORMES D'ESSAIS, TECHNOLOGIES DES RÉACTEURS

Sûreté des réacteurs

Le rechargement du cœur du réacteur expérimental Cabri est terminé. Equipé d'une nouvelle boucle à eau pressurisée, il est maintenant dédié aux essais sur les accidents de réactivité de réacteur à eau pressurisée. Après un important programme de rénovation, la phase d'essais préalables à l'autorisation de divergence a commencé. Cabri servira également à simuler le comportement d'aiguilles pour le futur cœur d'Astrid.

Projet Astrid

Parmi les innovations technologiques d'Astrid, la DEN étudie le développe-

ment d'un échangeur compact de chaleur sodium-gaz. Elle a conçu, réalisé et mis en service la plateforme d'essais Diademo, principalement constituée d'un circuit gaz (azote à 10 MPa et à 530°C) et d'un circuit sodium (560°C). Le premier prototype d'échangeur a été mis en sodium et les premiers points de mesure expérimentaux d'échange thermique ont été acquis. Trois autres maquettes-test sont programmées sur cette plateforme technologique.

Fabrication des combustibles nucléaires

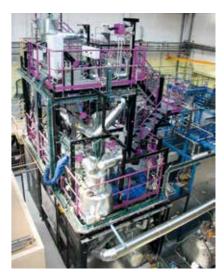
La nouvelle unité d'élaboration de céramiques en carbure d'uranium a été mise en actif au laboratoire UO_2 . Sous atmosphère d'Argon à l'abri de toute pollution, deux boîtes à gants sont interconnectées: l'une est dédiée à la manipulation des poudres, l'autre est associée à un four de synthèse par carbo-réduction et dédiée au frittage. Cet ensemble améliorera la maîtrise de la qualité et de la reproductibilité des carbures d'uranium pour plusieurs projets de recherche.

Études des accidents graves

Le projet Plinius-2 est une installation multifilière dédiée aux accidents graves dont les études ont été lancées en 2013. Portée par le programme «réacteurs de 4º génération», cette installation étendra les fonctionnalités de la plateforme actuelle Plinius (étude des réactions corium-eau et corium-béton) en réponse aux enjeux d'Astrid. En lien avec le programme concerné, elle sera également en soutien des industriels pour les réacteurs de 2º et 3º générations. La construction devrait débuter en 2016 avec comme objectif un démarrage en 2019.

Environnement

Le laboratoire de modélisation des transferts dans l'environnement de Cadarache a été désigné unité de référence pour les études hydrogéologiques à la DEN. Cette nouvelle organisation vient en complément de celle mise en place en 2012 pour les études d'impact pour les centres du CEA. Elle permettra la simplification et la coordination du traitement des dossiers, assurera l'homogénéité, la cohérence des études et la capitalisation des données.



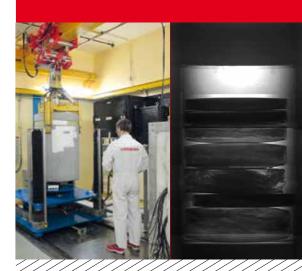
L'installation Diademo



EN SAVOIR PLUS

CINPHONIE: NOUVELLE PLATEFORME POUR L'IMAGERIE HAUTE ÉNERGIE

Unique à la DEN, Cinphonie (Cellule d'Irradiation Neutronique et PHOtoNIquE), située dans l'INB Chicade, permet de réaliser des caractérisations non destructives par radiographie et tomographie X sur des colis de déchets de grandes dimensions et de forte masse. Son autorisation de mise en service en actif, délivrée début décembre 2013, s'est concrétisée par une première expertise d'un colis de déchets radioactifs pour l'Andra. À compter de 2014, l'ensemble des contrôles par imagerie haute énergie sera réalisé sur Cinphonie.



Saclay: les sciences du nucléaire et la simulation pour les réacteurs et le cycle du combustible

Les activités de la Direction déléguée aux activités nucléaires de Saclay (DANS) sont réparties en trois thématiques : la simulation, les matériaux et la chimie. À travers l'I-tésé, la DANS mène aussi des études technico-économiques.

SIMULATION POUR LES RÉACTEURS

Quelques résultats remarquables illustrent les avancées en simulation obtenues par les équipes de la DEN de Saclay et Grenoble.

Grands codes. La dernière version industrielle du code de neutronique de référence Apollo2 a été livrée aux utilisateurs de la DEN, d'EDF et d'AREVA, enrichie de fonctionnalités nouvelles. Apollo2 est une brique centrale des chaînes de calcul neutronique d'EDF et d'AREVA. Il a été approuvé par l'autorité de sûreté américaine pour le calcul des cœurs de réacteurs à eau pressurisée à combustible UO₂.

Thermohydraulique. Le projet européen Ercosam⁽¹⁾ allie expérimentations et simulations pour étudier des scénarios représentatifs d'accidents graves de réacteur avec dispersion de l'hydrogène dans l'enceinte de confinement. Les premiers essais de recombineurs catalytiques à hydrogène ont été réalisés sur l'installation Mistra.

Couplage de codes. Pour calculer les interactions entre phénomènes physiques dans les réacteurs à eau pressurisée, l'outil Corpus combine un ensemble de logiciels de la DEN grâce à la plateforme Salomé. Le code de neutronique Apollo3® lui a été intégré et couplé avec le code de thermohydraulique cœur Flica4, pour une simulation fine des situations de fonctionnement normal et accidentel.

R&D SUR LES MATÉRIAUX ET LES INTERFACES

Les composites à matrice céramique pourraient être utilisés comme gainage réfractaire sous forme de gaine sandwich de deux tubes concentriques



L'installation Mistra à Saclay, dédiée à l'étude du risque hydrogène.





En haut : maquette de la maison à ossature bois sur la table vibrante Azalée. En bas : détail de ferraillage de l'embase de la maquette maçonnée.

emprisonnant un liner métallique. Le procédé de fermeture aux extrémités a été validé en collaboration avec le centre CEA de Valduc et la première gaine fermée a été réalisée en 2013. L'acier EM10 a pu être choisi comme matérieu de référence du tube boyage.

L'acier EM10 a pu être choisi comme matériau de référence du tube hexagonal pour le projet Astrid après des analyses microstructurales qui ont confirmé sa stabilité dimensionnelle jusqu'à de fortes doses (155 dpa).

L'utilisation des alliages durs à base de cobalt (stellites) dans les zones de frottement conduit à une activation du cobalt sous flux neutronique. Pour remplacer ces alliages en milieu sodium, des procédés de réalisation de dépôt d'alliages de nickel ont permis d'élaborer des échantillons de qualité, qui sont soumis à des essais tribologiques de corrosion en sodium.

R&D SUR LA GESTION DU RISQUE SISMIQUE

L'expertise de la DEN en gestion du risque sismique est mise au service de l'habitat individuel par exemple au travers du projet SISBAT, soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et de nombreux partenaires. Des essais de tenue au séisme ont été réalisés sur une maison à ossature et toiture industrielle en bois et sur une maison à murs maconnés, semelles et chaînage en béton armé assemblés à une toiture industrielle en bois. Objectif: améliorer la connaissance scientifique du comportement de ce type de maison sous sollicitations sismiques. Ces essais ont conforté le positionnement de Tamaris comme plateforme européenne leader sur la gestion du risque sismique.

(1) Containment thermal-hydraulics of current and future LWRs for severe accident management.

R&D POUR L'AVAL DU CYCLE DU COMBUSTIBLE

La DEN contribue à différents aspects de Cigéo, futur stockage géologique de l'Andra. Ainsi, les débits d'hydrogène produits par radiolyse par les colis de déchets moyennement irradiants de 500 litres avec matrice cimentaire ont été calculés, en s'appuyant sur la définition d'un colis moyen basé sur la connaissance des quelque sept cents colis produits de 1990 à 2009. Ces résultats contribuent à la maîtrise du risque hydrogène dans le projet Cigéo. Dans le cadre du projet "Full scale sealing", la DEN contribue à la démonstration de la faisabilité industrielle des scellements des galeries du futur stockage ; le concept de scellement consistant en un bouchon en pellets d'argile gonflante, maintenu entre deux massifs en béton bas pH (pH<11). La formulation du béton autoplacant a été finalisée et le bon comportement du matériau a été démontré jusqu'à l'injection à l'échelle 1.

MOYENS EXPÉRIMENTAUX : DES INVESTISSEMENTS SCIENTIFIQUES POUR RÉPONDRE AUX BESOINS DES PROGRAMMES

Simulation et sciences du nucléaire se nourrissent de l'expérimentation et d'équipements scientifiques nouveaux. Les études de corrosion en milieu de sodium bénéficient de la nouvelle plateforme CORRONa². L'équipement d'excellence GENESIS porte sur des outils d'observation des matériaux irradiés à l'échelle nanométrique : une sonde atomique tomographique et un microscope électronique équipé d'un système de prélèvement d'échantillons par faisceau d'ions sont venus enrichir le parc en 2013. Les essais mécaniques sur gros composants iront jusqu'à 500 tonnes grâce à la mise en service d'une presse de forte capacité.



Échantillons de composites Sic-Sic après essais sur la plateforme CORRONa²

MOYENS EXPÉRIMENTAUX AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ

Le réacteur Osiris a plus que doublé en 2013 sa production de radioéléments artificiels destinés au diagnostic médical en France et en Europe. Il a ainsi contribué à éviter une rupture d'approvisionnement en technétium 99m, radioélément le plus utilisé dans ce domaine. Sur l'année. Osiris a irradié plus de 400 cibles d'uranium dont est extrait le molybdène 99, précurseur du technétium 99m : elles auront permis de réaliser 16 million d'examens médicaux. Coordonné avec les autres réacteurs européens, l'effort de production sur Osiris a permis d'assurer la livraison ininterrompue des hôpitaux européens.

RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE: L'IMPLICATION DE LA "DANS" DANS LA MISSION MARS SCIENCE LABORATORY

Des chercheurs de la DEN de Saclay ont participé à la conception et au développement de l'instrument ChemCam, embarqué sur le rover Curiosity. Bénéficiant de l'expertise de la DEN pour l'analyse en milieu nucléaire, ChemCam, qui combine une caméra HD et la technologie Libs, permet de déterminer sans contact et à distance la composition chimique des roches et des sols par analyse spectrale du rayonnement UV-visible émis par le plasma produit par ablation laser de la matière. La performance de cet instrument a été saluée par :

• la publication, en septembre 2013, dans la prestigieuse revue *Science des résultats* qu'il a permis d'obtenir durant les cent premiers jours martiens de la mission, à savoir l'enregistrement et la transmission de plus de 10 000 spectres. Deux chercheurs de la DEN à Saclay sont co-auteurs de cette publication; • la remise d'un prix de la Nasa à ces deux mêmes chercheurs et à l'un de leurs collègues pour leurs contributions exceptionnelles à sa réalisation, son fonctionnement optimal et à l'exploitation de ses résultats.

CERTIFICATION DU SYSTÈME DE MANAGEMENT DE LA SÉCURITÉ ET DE LA SANTÉ AU TRAVAIL DE LA DEN À SACLAY

La DEN à Saclay s'était donnée pour objectif la conformité à la norme OHSAS 18001, relative à la sécurité et à la santé au travail. L'audit 2013 a consacré les efforts de toutes les unités en permettant d'obtenir cette certification qui s'inscrit pleinement dans les valeurs du CEA.



EN SAVOIR PLUS

PRIX SFEN 2013: TROIS RÉCOMPENSES POUR LES TRAVAUX DE LA DEN SACLAY

La Société française d'énergie nucléaire (SFEN) récompense chaque année des travaux de recherche traitant de l'énergie nucléaire. Le Grand prix SEEN. aui récompense une œuvre scientifique ou technique de haut niveau, a été décerné au code EUROPLEXUS, développé à Saclay, Dédié à la simulation des fluides et des structures en dynamique rapide, EUROPLEXUS a des applications industrielles de premier plan, notamment pour la sûreté des réacteurs. Le prix Jacques Gaussens. décerné à un jeune chercheur par les industriels, a été attribué à Yannick Robert pour ses travaux sur l'étude du comportement en fluage sous flux neutronique des alliages de zirconium dans les assemblages REP. Enfin, le prix Jean Bourgeois a récompensé la thèse d'Arthur Hellouin de Menibus sur la formation de blisters d'hydrures et ses effets sur la rupture de gaines en Zircalov-4 lors d'un accident d'injection de réactivité.



Lauréats du Grand prix SFEN

Accompagnement des programmes et relations extérieures



La DEN a mis en place une organisation intervenant en soutien à ses programmes: Programme transversal matériaux avancés, Direction scientifique, Cellule relations internationales, Direction de la qualité et de l'environnement, Institut de technico-économie des systèmes énergétiques. Toutes ces unités concourent à la réussite et à la visibilité des travaux de la DEN.

Programme transversal matériaux avancés

Le programme transversal matériaux avancés (PTMA) a conduit au cours de l'année 2013 un certain nombre d'actions de mise en visibilité, de représentation extérieure du CEA, de réflexion stratégique et de coordination.

ANIMATION, STRUCTURATION, RÉFLEXION STRATÉGIQUE

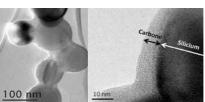
Pour ce qui est de la mise en visibilité, on peut citer tout particulièrement l'ouverture du site internet « Matériaux CEA », qui a pour vocation de valoriser les savoir-faire du CEA en termes d'élaboration, de caractérisation avancée et de simulation des matériaux et des procédés. Il permet aussi d'accéder au site dédié au centre d'excellence pour les matériaux du nucléaire MINOS.

En ce qui concerne la représentation du CEA à l'extérieur, PTMA a notamment contribué à :

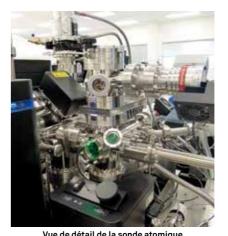
- la réflexion du comité d'orientation pour l'avenir de la métallurgie du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche;
- l'évaluation scientifique des activités matériaux de l'ONERA;
- la rédaction, à la demande de la Commission européenne, de la feuille de route "Metallurgy in and for Europe".

La partie réflexion stratégique a concerné les technologies de fabrication additive ou encore « d'impression 3D ». Pour ce travail, qui se poursuivra en 2014, PTMA a sollicité le bureau d'études marketing pour dresser un panorama global et définir une stratégie CEA sur ce secteur en forte croissance. L'identification des filières industrielles, des principaux acteurs de chacun des maillons de la chaîne de valeur, de la nature et de l'intensité des verrous, étaient un préalable indispensable à la constitution d'une stratégie intégrée CEA.

Enfin, pour ce qui est des actions de coordination, PTMA a commencé à mettre en place une coordination interpôles sur les métaux critiques, qui s'amplifiera en 2014.



À gauche : particules de silicium enrobées d'une coquille de carbone issues du procédé de pyrolyse laser double étage. À droite : zoom sur la coquille.



vue de détail de la sonde atomique tomographique au DMN à Saclay.

FAITS MARQUANTS

Dans le domaine de l'innovation pour les réacteurs à eau légère, on peut citer les excellents comportements en oxydation à haute température des revêtements PVD(I)

Dans le domaine des systèmes nucléaires du futur (4° génération), on peut mentionner les résultats très encourageants des développements du monitoring acoustique du procédé de mécano-synthèse des aciers ODS. Ce travail permettra de rendre plus robuste le procédé de mécano-synthèse et facilitera la maîtrise des lois d'échelle. Dans le domaine de la fusion et en particulier en soutien au projet WEST (banc d'essais du projet lter), on notera la réa-

lisation maîtrisée de composants à gradient de fonction par Spark Plasma Sintering ainsi que la qualification de la technologie PVD pour les revêtements de tungstène épais.

Dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie, on peut mentionner la réalisation par l'institut Iramis de la Direction des sciences de la matière du CEA de nanopoudres « cœur-coquille » pour l'optimisation des matériaux pour les batteries lithium-ion.

Dans le domaine des matériaux, on peut citer le renforcement de la capacité technologique du CEA grâce à :

- la mise en service par le Département des matériaux pour le nucléaire (DMN) à Saclay des premiers équipements de la plateforme GENESIS de nano-analyse des matériaux irradiés, qui placera la DEN et ses partenaires au meilleur niveau mondial pour l'analyse des matériaux irradiés;
- la mise en service, sur le centre CEA du Ripault, d'une toute nouvelle installation de CVI/CVD⁽²⁾ à haute température, qui renforcera fortement le potentiel du CEA sur les composites à matrice céramique mais également dans bien d'autres domaines (solaire thermique, ultra réfractaires, etc.);
- la mise en place par Iramis, en collaboration avec l'Université d'Orléans, de la plateforme nanosynthèse qui couplera la pyrolyse laser et le plasma inductif à l'échelle pilote pour la synthèse de quantités représentatives de nanopoudres complexes, et constituera un apport décisif pour le déploiement des technologies des nanomatériaux;
- la création de la start-up Nawatechnologies qui commercialisera des tapis de nanotubes de carbone pour diverses applications.
- (1) Dépôt physique en phase vapeur.
- (2) Infiltration chimique en phase vapeur/dépôt chimique en phase vapeur.

La vie scientifique à la DEN

La Direction scientifique a pour responsabilité la stratégie scientifique globale de la DEN. Ses missions premières se déclinent en six axes : relations avec le Haut-commissaire, promotion de l'expertise scientifique et technique de la DEN, organisation de l'évaluation de l'ensemble des unités du pôle, identification des grands défis scientifiques à relever, promotion de la production scientifique de la DEN et liaison avec le monde universitaire.

L'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE

Le Conseil scientifique du CEA

Le Conseil scientifique a examiné, les 17 et 18 décembre 2013, les activités du CEA relatives à la physique du plasma et des lasers. Le département de physico-chimie (DPC) à Saclay a présenté ses réalisations dans la spectroscopie laser (Libs) et mis en avant le succès de ChemCam, caméra embarquée sur le rover Curiosity.

Le Conseil scientifique de la DEN

Du 14 au 16 octobre 2013, le Conseil scientifique de la DEN a évalué les activités de recherche sur les réacteurs à eau légère y compris les moyens expérimentaux qui s'y rattachent. Les recherches présentées allaient de la simulation aux accidents graves en passant par les études sur le combustible. Le Conseil scientifique a souligné l'excellente qualité et la cohérence des études en soutien aux industriels, qui visent à améliorer de façon permanente les performances du parc actuel et à l'exploiter dans les meilleures conditions de sûreté. L'approche suivie par le CEA qui associe l'expertise, la simulation et les expériences dédiées, et qui s'appuie systématiquement sur la compréhension des phénomènes physiques à travers la science de base a été fortement appréciée par le Conseil. Parmi les recommandations émises, notons un appui fort à l'initiative de création d'un institut de recherche AREVA-EDF-CEA sur les réacteurs à eau, le maintien d'une recherche de base d'excellence à la DEN et un renforcement des recrutements de jeunes doctorants et postdoctorants de haut niveau académique.

L'AERES

L'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES) a examiné à l'automne les Départements DEN de Saclay et Marcoule les plus orientés « recherche » (DMN, DM2S, DPC, I-tésé, DRCP, DTEC, DTCD et ICSM). Les résultats de l'évaluation sont prévus pour 2014.



Conseil scientifique de la DEN.



Session « connaissance de la DEN ».

LES THÈSES, POST-DOCS ET HDR

La forte réduction de la subvention allouée à la DEN a induit une baisse significative du nombre de nouveaux entrants en thèse. Ainsi, la DEN comptait en 2013 :

- 241 doctorants dont 72 nouveaux arr
- dont 72 nouveaux arrivés;

 42 post-doctorants;

 onviron 100 charchours
- environ 100 chercheurs habilités à diriger des recherches universitaires (HDR).
 La DEN poursuit sa politique d'encouragement à passer des HDR; sept nouvelles HDR ont d'ailleurs été obtenues en 2013.

ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

La production scientifique

Au cours de l'année 2013, les chercheurs de la DEN ont produit :

- 422 publications scientifiques dans des revues à comité de lecture;
- dont 129 copubliées avec d'autres laboratoires de recherche internationaux.

La formation nucléaire de base (FNB)

Le dispositif de formation SPIRALE-FNB fournit à tout nouvel arrivant des connaissances scientifiques et techniques transverses et permet aux chercheurs et ingénieurs d'acquérir une culture nucléaire générale de base sur les thématiques de recherche développées au sein de la DEN. En 2013, la DEN a réalisé deux sessions « connaissance de la DEN », qui ont rassemblé 89 participants et deux sessions niveau 2, l'une à Marcoule et l'autre à Saclay, avec un total de 66 participants.

Par ailleurs, une enquête post-FNB concernant le niveau 3 a été effectuée auprès de 181 participants et de 102 managers et a conduit à la construction d'une nouvelle version de ce niveau (organisation et contenu des cours), qui débutera en mars 2014.

L'EXPERTISE À LA DEN

La filière experts

Depuis 2009, le CEA a mis en place une filière d'expertise afin de mettre en visibilité ses scientifiques de haut niveau. La DEN compte aujourd'hui parmi ses effectifs 67 experts de niveau 4 (directeurs de recherche et experts internationaux) et 233 experts seniors. Ces experts sont des référents scientifiques dans leur domaine. Ils sont sollicités en tant que de besoin pour répondre à des demandes spécifiques émanant de la hiérarchie et contribuent au rayonnement de la DEN à l'extérieur du CEA.

Les séminaires spécifiques

La Direction scientifique organise régulièrement des séminaires scientifiques pour instruire des sujets d'importance et stratégiques pour pouvoir guider les orientations futures en matière de recherche. En 2013, trois séminaires ont mobilisé des experts de la DEN sur les sujets suivants :

- choix du caloporteur pour les réacteurs à neutrons rapides;
- la lixiviation des verres nucléaires actifs;
- le recyclage des éléments critiques avec des technologies de séparation par hydrométallurgie dérivées de celles développées pour le cycle du combustible nucléaire.

La DEN a également largement assumé l'organisation en France de trois conférences internationales en 2013 : FR13 (4-7 mars)⁽¹⁾, ANIMMA (23-27 juin)⁽²⁾ et SNA+MC (27-31 octobre)⁽³⁾.

Analyse de compétences critiques

La Direction scientifique et la Direction des ressources humaines de la DEN ont actualisé la cartographie de l'expertise DEN par rapport à un référentiel de 81 domaines d'expertise. Ce travail a contribué à alerter sur la fragilisation de l'expertise dans certains secteurs (par manque d'activité et/ou départ des experts). L'analyse plus particulière de trois domaines d'expertise potentiellement critiques (séparation isotopique, combustible nucléaire et thermohydraulique) a aidé à définir un plan d'actions préventives.

La veille technologique

Les actions de veille documentaire, lancées en 2012, ont été poursuivies grâce au soutien de la section de valorisation de l'information de Saclay, avec l'outil de recherche documentaire VISA.

Participation à l'Ancre

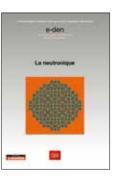
Le groupe programmatique GP3 «Énergies nucléaires » de l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre), copiloté par la DEN, a élaboré en 2013 une feuille de route sur la physique des réacteurs et la simulation numérique. Le GP3 a également fortement contribué à élaborer avec l'I-tésé les scénarios énergétiques proposés par l'Ancre dans le cadre du débat national sur la transition énergétique, et à assurer la cohérence de ces scénarios. L'un d'entre eux a été sélectionné par le comité de pilotage du débat comme référence pour la trajectoire diversité. Ces études ont permis notamment de préciser l'apport potentiel du nucléaire à la fois pour une fourniture d'énergie diversifiée (cogénération de chaleur pour le chauffage urbain, cogénération



EN SAVOIR PLUS

LES MONOGRAPHIES

Une monographie sur «la neutronique» a été publiée en 2013. Elle décrit les notions de base, notamment les équations du transport des neutrons (Boltzmann) et celles des décroissances radioactives (Bateman), les méthodes, les codes de calcul, la qualification et les diverses applications (calcul de cœurs, radioprotection, combustible, criticité, etc.).



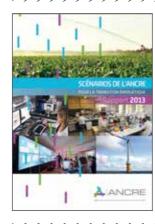
pour l'industrie) et comme source d'énergie pilotable facilitant l'introduction d'énergies intermittentes (éolien, solaire) sur le réseau électrique. Enfin, le GP3 a contribué à élaborer plusieurs documents de position stratégique nationale (grands outils expérimentaux d'irradiation par les neutrons, priorités de recherche pour les réacteurs à eau, contribution à la stratégie nationale de recherche et à la programmation future de l'ANR).

Travaux du Haut-commissaire

En 2013, plusieurs experts, représentant la DEN dans les différentes instances du cabinet du Haut-commissaire, ont pris en charge la préparation de rapports scientifiques d'orientation sur des questions nucléaires d'actualité telles que le vieillissement des matériaux des REP, le stockage des déchets bitumés et la chimie séparative. D'autres experts ont activement participé à une mission d'analyse des scénarios énergétiques proposés dans le cadre du débat national sur la transition énergétique dans le but d'en évaluer la faisabilité technique et la cohérence globale, notamment en termes de maturité des technologies mises en œuvre pour la production et l'utilisation de l'énergie, le stockage, les réseaux et la diversification des vecteurs énergétiques (électricité, chaleur, hydrogène, etc.).

ENSEIGNEMENTS ET FORMATIONS NUCLÉAIRES

La DEN concourt à répondre aux besoins de recrutement de l'industrie nucléaire et au rayonnement de la filière nucléaire, en ciblant prioritairement des formations stratégiques sur une quinzaine d'établissements d'enseignement supérieur d'Île-de-France, du Grand Ouest, de Montpellier, Grenoble et Aix-Marseille. Elle a impliqué en 2013 près de 500 de ses salariés qui ont dispensé plus de 10000 heures de formation, dont près de 6000 heures pour le compte de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN).



- (1) FR13: Fast Reactors and Related Fuel Cycles. (2) ANIMMA: Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications.
- Applications.
 (3) SNA+MC: Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo.

La DEN et l'international

La DEN coopère avec la plupart des grands pays nucléaires. Les enjeux de cette coopération peuvent être : régaliens, lorsqu'il s'agit de répondre à la demande de l'État, qui peut encourager la mise en place d'un partenariat stratégique, avec volet nucléaire, avec d'autres pays ; scientifiques ou techniques, lorsqu'il s'agit de mettre en place des coopérations à l'étranger avec des compétences complémentaires à celles de la DEN ; économiques, lorsque la DEN se positionne en offre de services vis-à-vis des industriels étrangers.

CHINE

En Chine, la coopération avec l'Institut d'énergie nucléaire de la Chine (NPIC) de la Compagnie nucléaire nationale chinoise (CNNC), sous forme de laboratoires associés, continue à se développer avec la mise en place d'un nouveau thème sur les accidents graves. Il concerne les études de rétention du corium en cuve.

La DEN est également concernée par le projet de vente par AREVA à la CNNC d'une usine de retraitement du combustible usé, qui devrait être suivie par celle d'une usine de fabrication de combustible MOX.

INDE

La coopération avec l'Inde, limitée à la recherche de base et à la sûreté, est très dynamique notamment dans le domaine de la sûreté des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na). En 2013, sept nouveaux accords ou prolongations d'accords ont été signés, dont deux sur la gestion des déchets. Cette coopération permet à la DEN de bénéficier du dynamisme du programme indien, qui termine la construction du Prototype Fast Breeder Reactor (PFBR) de 500 MWe, dont le démarrage est prévu en 2014. L'Inde fait également partie du consortium RJH et travaille sur des dispositifs innovants qui pourraient à terme être implantés dans le Réacteur Jules Horowitz (RJH).

ISRAËL

La coopération avec Israël a été relancée par la signature d'un Memorandum of Understanding (MoU) en 2010. Elle est extrêmement dynamique en recherche de base ou appliquée (matériaux, migration des radionucléides dans les déchets



Entrée du NLL au consortium RJH: signature de l'accord avec le ministère Britannique de l'Énergie et du Changement Climatique, le 12 mars 2013 à Londres.

cimentés, thermohydraulique, etc.). Israël fait partie du consortium RJH et travaille sur la réalisation de la boucle Lorelei destinée à réaliser un essai de type LOCA (accident de perte de réfrigérant primaire) dans le RJH.

JAPON

Les relations avec le Japon se développent autour de deux grands thèmes : Astrid et l'assainissement de Fukushima-Daiichi. Les négociations ont progressé pour définir les modalités d'entrée des Japonais dans le programme Astrid et les accords afférents devraient être signés en 2014. Un programme de réalisation et de caractérisation d'échantillons de corium simulant celui présent dans les réacteurs accidentés de Fukushima est en discussion avancée avec l'Agence japonaise de l'énergie atomique (JAEA) et impliquera les centres DEN de Cadarache et Marcoule.

En 2013, le Japon a créé une nouvelle agence de programme, l'Institut international de recherche pour le démantèlement nucléaire (IRID), qui coordonne la recherche en support au démantèlement du site de Fukushima. La DEN a engagé des contacts étroits avec cet organisme pour proposer ses services et coordonner les propositions françaises sur le traitement des eaux contaminées et l'examen des cœurs fortement dégradés des réacteurs.

GRANDE-BRETAGNE

Dans le cadre de la relance du programme nucléaire britannique, l'entrée du NNL, le laboratoire national nucléaire britannique, dans le consortium RJH et sa volonté marquée de participer au programme Astrid sont au cœur des perspectives de renforcement stratégique du

partenariat franco-britannique sur les systèmes nucléaires actuels et futurs. Les Britanniques continuent ainsi de manifester un grand intérêt pour intégrer les programmes majeurs de R&D de la DEN.

ÉTATS-UNIS

En 2013, la relation avec le Département de l'énergie américain (DOE) s'est intensifiée. Celui-ci a publié les résultats d'une étude coordonnée avec la DEN sur le comportement en conditions accidentelles du cœur du réacteur Astrid. Un accord-cadre sur Astrid ainsi qu'un plan d'actions couvrant les thèmes réacteurs du futur, cycle du combustible, déchets et simulation numérique ont été signés afin de permettre des échanges dans la durée. Le DOE a, dans la foulée, engagé une nouvelle étude d'évaluation des options de sûreté du cœur d'Astrid.

EUROPE CENTRALE

Un consortium V4G4 réunissant la Hongrie, la Slovaquie, la République tchèque et la Pologne a été créé en 2013 pour supporter le projet Allegro. Il s'agit d'un petit RNR à caloporteur gaz qui permettra de créer de nouvelles compétences en R&D nucléaire dans les quatre instituts (un par pays), membres du consortium. La DEN y apporte tout son soutien en tant que partenaire associé. Le projet de construction est envisagé au-delà de 2020.

PARTICIPATION DE LA DEN AUX INITIATIVES MULTILATÉRALES

La DEN est très active au sein de la Plateforme technologique européenne dédiée à la fission nucléaire (SNETP), du Forum international génération IV (GIF)



et du Forum de dialogue sur les technologies nucléaires innovantes (INPRO) de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Elle assure en effet des fonctions de gouvernance au sein de ces organismes.

Au sein de la SNETP, la DEN a contribué en 2013 à la définition des orientations stratégiques de la plateforme, en participant à la mise à jour de son agenda stratégique, en particulier pour l'ESNII (initiative pour une industrie européenne durable du nucléaire) et pour NUGENIA (initiative de R&D concernant les réacteurs de 2° et 3° générations). La DEN a aussi contribué aux grands projets européens comme ESNII PLUS.

Le GIF, quant à lui, joue un rôle stratégique dans la promotion de la R&D sur les réacteurs de 4º génération. En 2013, il a élaboré des critères de sûreté de conception pour les RNR-Na. C'est la première fois qu'une initiative internationale propose de tels critères au sein des organismes de recherche. La refonte de la feuille de route du GIF a été proposée et les calendriers de développement des six technologies clés ont été mis à jour.



En 2013, la coopération avec la Russie, relancée par le renouvellement de l'accord CEA-Rosatom en 2010, s'est enrichie avec les signatures d'un nouvel accord avec l'institut Kurchatov sur les réacteurs et le cycle du combustible du futur et d'un MoU trilatéral CEA-DOE⁽¹⁾-Rosatom sur le projet de RNR-Na MRIR

La réflexion commune sur les perspectives de construction conjointe d'un réacteur commercial de 4º génération à caloporteur sodium (baptisé RFFR pour Russian French Fast Reactor) a été concrétisée par la rédaction d'un document conjoint. Sont également en cours : une étude de faisabilité d'irradiation dans le RNR russe BN-600 pour la qualification du combustible du RNR-Na Astrid, des tests de physique de son cœur dans les maquettes critiques BFS (analogues au réacteur Masurca de Cadarache) et des irradiations de matériaux de gaine dans le RNR russe BOR-60.

(1) Department of Energy.

La qualité à la DEN

La DEN s'est résolument engagée dans un processus de management par la qualité de ses activités. Dans le but de simplifier et d'améliorer en permanence l'efficacité de son management, de renforcer les transversalités, de permettre la généralisation des meilleures pratiques existantes sur tous les sites où elle est présente, une organisation dédiée a été mise en place, en cohérence avec la structure opérationnelle.

En 2013, cette organisation a intégré dans son périmètre de certification toutes les activités conduites à la DEN dans les domaines de l'environnement, de la santé et de la sécurité au travail dans le cadre de la réalisation de ses programmes. La mise en place d'une coordination spécifique a permis de préciser la politique de la DEN dans ces deux domaines et d'établir un plan de déploiement. L'obtention de la triple certification qualité, sécurité, environnement (QSE) en 2013 marque une étape importante dans cette démarche de management intégré.

LA SÉCURITÉ DES PERSONNES ET LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE À LA DEN

Bien que le CEA ne confie pas de responsabilité directe en matière de sécurité aux directions des pôles opérationnels, la DEN s'implique en permanence dans ce domaine et en a fait une de ses priorités. Son objectif est de mettre en place et d'entretenir au sein de ses équipes et chez ses prestataires, intervenant dans ses installations, une culture de sécurité et de sûreté nucléaire.

À cette fin, la DEN organise tous les ans sur les centres où elle est présente, une manifestation de sensibilisation sur la sécurité baptisée « Sécuriden », destinée à tout le personnel, agents CEA et entreprises extérieures. En 2013, cette opération s'est déroulée sur la journée du 17 octobre et portait notamment sur la prévention des accidents de manutention et les addictions. Outre les sessions basées sur la scénarisation de situations génératrices d'accidents. déjà expérimentées avec succès les années précédentes, des ateliers dans les installations et des tables rondes avec des intervenants extérieurs ont contribué à sensibiliser les salariés à ces risques.

Le nombre d'accidents du travail ayant



INB 165 de Fontenay-aux-Roses, vainque du challenge posters de la DANS.



Sentier biodiversité à Cadarache (avec la participation de l'Office national des forêts).

conduit à un arrêt, en diminution par rapport à 2012, est revenu aux valeurs des années précédentes. Les déplacements et les accidents dits de la vie courante en représentent toujours la plus grande part

Le nombre d'événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement, après une augmentation en 2012, est revenu en 2013 au niveau des années précédentes. Sept d'entre eux ont eu un impact décelable sur le personnel et l'environnement. À noter quelques cas de blessures en zone contrôlée avec suspicion de contamination qui se sont toutes avérées sans conséquences importantes.

La DEN a également poursuivi les évaluations complémentaires de sûreté (ECS) de ses installations au regard de l'accident survenu à la centrale japonaise de Fukushima, ainsi que les améliorations appelées par ces études.

LA PROTECTION DES MATIÈRES NUCLÉAIRES

La DEN doit assurer la protection des matières nucléaires, qu'elle utilise pour réaliser ses programmes de R&D, contre le vol et le détournement. Cette protection est définie conformément à une réglementation spécifique qui a fait l'objet d'une évolution récente. Les industriels détenteurs sont ainsi conduits à réviser cette protection au travers d'études de sécurité de leurs sites et installations. La DEN a entrepris cette révision en 2013 pour ses centres et leurs principales installations.

L'EXPERTISE EN CAS DE CRISE NUCLÉAIRE

Afin de jouer pleinement son rôle de conseil au gouvernement, dans les domaines où elle possède une compétence appuyée sur une R&D de longue date, la DEN s'est dotée d'un dispositif

de réponse immédiate à toute demande d'expertise motivée par une crise nucléaire, qu'elle survienne en France ou ailleurs dans le monde. Un panel d'experts et de spécialistes est ainsi mobilisable très rapidement pour l'analyse et l'explicitation des situations accidentelles éventuelles. Ce dispositif n'a pas vocation à se substituer au dispositif de gestion opérationnelle de crise du CEA qui reste en vigueur. Néanmoins, il peut lui fournir un appui le cas échéant. Ce dispositif n'a pas été mobilisé en 2013, hormis à titre d'exercice.

LA MAÎTRISE DE LA CONFIDENTIALITÉ ET LA SÉCURITÉ DES SYSTÈMES D'INFORMATION

Soumise aux exigences d'ouverture aux collaborations internationales, de respect de la confidentialité due à ses partenaires industriels et de protection de son patrimoine scientifique et technique, la DEN a poursuivi son plan d'actions pour la maîtrise de la confidentialité

En 2013, comme en 2012, elle a inscrit cette thématique à l'agenda de la journée Sécuriden.

Elle a également poursuivi la mise en place des dispositions lui permettant de répondre aux nouvelles réglementations relatives à la protection du potentiel scientifique et technique de la nation (PPSTN).

LA CONTRIBUTION DE LA DEN À LA NORMALISATION NUCLÉAIRE

En vue d'optimiser le déploiement futur de systèmes nucléaires de 4° génération, l'élaboration d'une normalisation adaptée pour la conception et la réalisation de ces systèmes est incontournable. En conséquence, la DEN mène une activité significative dans ce domaine, dans laquelle les équipes de R&D, notamment sur les matériaux et la mécanique, sont très impliquées.

Afin de contribuer au management de cette activité, la DEN a intégré le conseil d'administration de l'Association française pour les règles de conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des chaudières électronucléaires (Afcen), historiquement constituée par EDF et AREVA pour l'élaboration et la publication de codes et de normes nucléaires au niveau français, et a proposé de publier sous son égide un code dédié aux systèmes novateurs, en complément de ceux qui traitent des réacteurs électrogènes actuels.

Au travers du conseil d'administration,

Au travers du conseil d'administration, la DEN a soutenu la politique d'ouverture de l'Afcen à d'autres exploitants, constructeurs et organismes de recherche y compris à l'étranger. Cette position a été réaffirmée à l'occasion de la conférence triennale de l'association, qui s'est tenue en mars 2013 à Paris et qui a rassemblé une large participation internationale.



PROTECTION DU POTENTIEL SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA NATION

Depuis 2010, la DEN poursuit le renforcement de la protection des informations sensibles liées à ses programmes de R&D. Elle a ainsi mis à jour et complété son référentiel de procédures pour formaliser les pratiques en usage et y intégrer les évolutions réglementaires relatives à la protection du potentiel scientifique et technique de la nation (nouveau décret PPSTN). Un plan de mise en application des dispositions de ce décret a été établi et mis en œuvre. Une commission de classification/déclassification a également été instaurée. Cette démarche implique directement la ligne projet et la ligne hiérarchique mais également l'ensemble du personnel pour lequel une formation à la gestion des informations sensibles a été mise en place. Pour la protection des informations sur supports numériques, un outil de chiffrement a été déployé sur les postes de travail et la sensibilisation du



I-tésé

L'Institut de technico-économie des systèmes énergétiques (I-tésé) mène des études à caractère économique et technologique dans le but notamment de contribuer aux choix du CEA en matière de programmes de R&D.

ÉTUDES PROSPECTIVES SUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

En 2013, l'I-tésé a poursuivi sa contribution aux travaux du CEA sur l'économie des réacteurs de 4º génération et des ressources en uranium. L'Institut est notamment intervenu sur ces questions et celle de l'économie du marché des réacteurs à neutrons rapides (RNR) lors de la conférence internationale "Fast Reactors and Related Fuel Cycles (FR13)", qui s'est déroulée à Paris en mars 2013. En ce qui concerne ce dernier point, les principales conclusions qui ont été présentées sont les suivantes :

- un marché va exister, avant même la compétitivité économique, dans les prochaines décennies. Ce marché ou « première phase » sera fortement influencé par des considérations stratégiques nationales, la Chine, la Russie et l'Inde étant les pays les plus concernés outre la France :
- le développement du traitement des combustibles usés précédera, puis accompagnera celui des RNR. Des capacités importantes de traitement des combustibles usés devront être construites dans le monde avant 2050;
- l'hypothèse haute du développement

de RNR en première phase est d'environ 60 GWe avant 2050 soit une guarantaine de réacteurs de 1500 MWe:

• avec l'entrée dans la période de compétitivité ou « deuxième phase », le rythme de croissance mondiale se fera plutôt sur la base de 10 à 15 réacteurs/ an compte tenu de la contrainte sur la disponibilité du plutonium, qui sera le facteur limitant.

Lors de la 10e conférence internationale European Energy Market (EEM), qui a eu lieu en mai 2013 à Stockholm en Suède, l'I-tésé a également présenté un papier sur la construction de scénarios futurs favorables à l'investissement dans la 4º génération.

L'action tripartite des « scénarios industriels » pour l'évolution du parc nucléaire français, menée avec AREVA et EDF, a d'ailleurs commencé début 2013. Son objectif est de rendre plus «industriels» les scénarios d'introduction des RNR et d'évolution du parc nucléaire français, examinés dans le cadre du rapport sur la gestion durable des matières nucléaires publié par le CEA en 2012. La méthodologie des calculs de l'évolution des coûts de l'uranium proposée par l'I-tésé a été retenue. Les calculs seront effectués en 2014 et utilisés par l'I-tésé pour évaluer les aspects éco-

nomiques des scénarios. Les autres actions d'I-tésé dans le domaine nucléaire portent principalement sur les coûts de stockage des déchets radioactifs et sur les marchés des réacteurs de petite et moyenne tailles (SMR).

TECHNICO-ÉCONOMIE DES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES, NTE ET POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

Dans le domaine des autres énergies (hydrogène, solaire, mobilité, systèmes électriques, évolution du climat...). l'I-tésé a continué à s'impliquer via de nombreux projets (Grhyd, Polinoten, Hyunder, Winpower, Climix, etc.) en partenariat avec des institutions et industriels de renom. Les travaux de thèse sur la complémentarité entre le nucléaire et les NTE ont débuté en 2013.

CONTRIBUTION AUX **SCÉNARIOS DE L'ANCRE**

Un travail important sur les scénarios énergétiques de l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre) a été réalisé par l'I-tésé, dans le cadre du débat national sur la transition énergétique organisé par le gouvernement français. L'Ancre a souhaité y apporter une contribution et a mobilisé en ce sens les chercheurs qui participent à ses groupes programmatiques. Les travaux ont notamment mis en évidence l'importance d'une R&D nationale dynamique, coordonnée avec le niveau européen, pour contribuer à une transition énergétique réussie et porteuse d'emplois.

BREVETS

Au plan de la propriété intellectuelle, l'I-tésé a continué à coordonner et animer l'activité « brevets » de la DANS et s'est investi au côté du programme valorisation dans la gestion des porte-



EN SAVOIR PLUS

RENCONTRES I-TÉSÉ

En 2013 les «rencontres de l'I-tésé» ont accueilli Jan Horst Keppler de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) sur la thématique "Nuclear and renewables : system effects in integrated electricity system", Jean-Louis Bal du Syndicat des énergies renouvelables (SER) sur la thématique «les grands enjeux économiques pour les énergies renouvelables» et François Kalaydjian d'IFP Énergies nouvelles sur la thématique «les hydrocarbures non conventionnels: aspects géologiques, scientifiques et économiques».



5° JOURNÉE I-TÉSÉ

La 5° journée de l'I-tésé s'est déroulée le 4 juin 2013 sur le thème «La transition énergétique : enjeux et perspectives pour le CEA». Elle a accueilli plus d'une centaine de personnes. feuilles de brevets

Conception et réalisation : avantgarde.

Crédits photo: Droits réservés - CEA - AREVA - J. Croidieu - P. Dumas/CEA - L. Godart/CEA -PF. Grosjean/CEA - S. Le Couster/CEA - G. Lesénéchal/CEA - E. Stalislas/CEA - S. Vendran - DECC Document imprimé dans le respect des normes environnementales.

