



Le porte-avions Charles de Gaulle



Sous-marin à propulsion nucléaire

■ Propulsion nucléaire

A terre comme en mer

En une quarantaine d'années, trois générations de sous-marins nucléaires ont été mises au point. D'ici à 2012, la quatrième génération aura vu le jour. Pour cela, le centre de Cadarache dispose d'un banc d'essais unique en Europe.

Dès l'origine, le centre de Cadarache a accompagné la propulsion nucléaire dans son développement. C'est ici qu'ont été préparées, et que se préparent encore aujourd'hui, les évolutions technologiques qui permettent d'assurer la propulsion de sous-marins nucléaires. Avec ses installations Azur, PAT (prototype à terre), RNG (réacteur nouvelle génération), sa vingtaine d'installations expérimentales (boucles d'essais) et ses moyens de calcul et de simulation, le centre de Cadarache dispose d'une solide base-arrière pour les dix sous-marins en fonctionnement et le porte-avions à propulsion nucléaire que possède la France.

Tout a commencé dans les années soixante. Les équipes du groupe de propulsion nucléaire et du département de construction des piles du CEA, qui seront appelées à se réunir sous la bannière de Technicatome en 1972, conçoivent et développent alors sur le centre de Cadarache la technologie pour

équiper les premiers sous-marins nucléaires. Ces ingénieurs ont ensuite accompagné le développement et la mise en route des premières centrales nucléaires de 900 MW en France (du type Fessenheim) disposant, en effet, d'une importante connaissance technologique sur les combustibles, les circuits de refroidissement et le fonctionnement d'un réacteur nucléaire à eau sous pression.

Un deux-pièces cuisine

Spécialistes des combustibles, des réacteurs, de neutronique et de modélisation s'emploient donc à « miniaturiser » les différents composants, le tout devant tenir dans la coque d'un sous-marin. En moins de deux ans, ils conçoivent le premier réacteur prototype à Cadarache (le Prototype à terre [PAT]) sur la base du concept « réacteur à boucles¹ ». Pendant une dizaine d'années environ, le PAT servira à affiner le concept et le fonctionnement des réacteurs à

boucles dont sera équipée la première génération de sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE), comme Le Redoutable.



Le prototype à terre (PAT)

Quelques années plus tard, ils doivent franchir une autre étape en imaginant un nouveau concept de réacteur « capable d'entrer dans un deux-pièces-cuisine ». Il s'agit de trouver des solutions permettant de réduire encore plus le volume et la taille du réacteur pour l'équipement des sous-marins d'attaque (SNA) chargés de la



surveillance des océans et de la protection des forces navales. « Pour cela, un concept totalement novateur a été mis au point consistant à placer le générateur de vapeur au-dessus du cœur du réacteur ; ce qui a permis d'améliorer la discrétion acoustique et d'alléger considérablement le poids puisque les circuits existants entre le cœur et le générateur ont été supprimés » confirme Jean-Claude Chaix, responsable de l'exploitation de l'installation nucléaire de base secrète-propulsion nucléaire (INBS-PN) à Cadarache (cf encadré). Résultat, le prototype baptisé « CAP » pour « chaufferie avancée prototype » prendra le relais du PAT en 1974 et permettra de valider ce nouveau concept de réacteur nucléaire mis en oeuvre sur les sous-marins les plus petits du monde comme Le Rubis, Le Saphir, L'Emeraude...

Un saut technologique

Puis, vient le temps où il s'agit d'équiper des sous-marins beaucoup plus silencieux avec le développement des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins nouvelle génération et du porte-avions Charles de Gaulle. A Cadarache, on fait le choix d'une refonte quasi-totale de la CAP, seule la cuve d'origine est conservée. C'est ainsi qu'un nouveau prototype, baptisé réacteur nouvelle génération (RNG), voit le jour.

Le RNG dispose alors du premier contrôle-commande numérique permettant d'assurer la sûreté nucléaire du réacteur en pilotant en particulier les barres de contrôle (les absorbants) placés au sein du cœur pour réguler la réaction en chaîne. Le RNG permettra de réaliser des avancées majeures dans la mise au point de combustibles toujours plus performants, mais aussi de systèmes hydrauliques visant à supprimer certains composants mécaniques. Le RNG permettra de réaliser également d'importants progrès dans le domaine de la corrosion. En effet, pour le porte-avions

A chacun sa mission

Les programmes de recherche et développement concernant les réacteurs des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins, des sous-marins nucléaires d'attaque et du porte-avions Charles de Gaulle sont coordonnés au sein de la direction de la propulsion nucléaire qui appartient à la direction des applications militaires du CEA.

Dans le cadre de la réalisation de l'installation RES sur le centre du CEA/Cadarache, Jacques Chenais, Directeur de la propulsion nucléaire au CEA, assure une mission de maître d'ouvrage. A ce titre, il coordonne les études et le suivi en liaison avec :

- le service technique mixte des chaufferies nucléaires de propulsion navale (STXN) créé en 1993 par la délégation générale pour l'armement, la Marine nationale et le CEA ;
- l'antenne de la direction de la propulsion nucléaire implantée sur le centre du CEA/Cadarache qui comprend une dizaine de personnes ;
- les laboratoires de la direction de l'énergie nucléaire du CEA pour les études de R&D amont (ceux spécialisés dans les études de combustible, neutronique, modélisation...) ;
- la société Technicatome qui assure une mission de maîtrise d'œuvre et d'ingénierie ;
- des industriels comme DCN pour la conception et la réalisation de certains composants (cuve, enceinte de confinement, générateur de vapeur...).



Générateur de vapeur



Le Triomphant

Charles de Gaulle, la vapeur d'eau qui est émise par les générateurs de vapeur sert non seulement à faire tourner les turbines pour produire l'énergie mais aussi à alimenter des systèmes de catapultage des avions. Or, la mise en place d'une station de traitement chimique à bord du Charles de Gaulle pour limiter les problèmes de corrosion n'était pas envisageable compte tenu des contraintes de place et de poids. Aussi, les recherches effectuées avec le RNG ont débouché sur la mise au point de matériaux encore plus



Cuve embarquée à bord du Triomphant

résistants et d'une méthode innovante sans recours à un traitement chimique, pour filtrer l'eau du circuit secondaire qui sert à produire la vapeur utilisée pour produire de l'électricité.

Du prototype au banc d'essai

Aujourd'hui, la propulsion nucléaire a atteint un tel niveau de maturité qu'il ne s'agit plus de valider des concepts dans leur globalité, comme ce fut le cas avec les prototypes PAT, CAP, puis RNG. L'enjeu se trouve dans la possibilité de se focaliser et de valider certaines parties du concept, en particulier le cœur et le combustible nucléaire. Les futurs sous-marins, comme ceux du programme Barracuda, n'ont pas besoin d'un réacteur prototype mais d'un véritable banc d'essais. « C'est toute l'ambition de l'installation RES (pour réacteur d'essais) qui prendra le relais du RNG dont la fin d'exploitation est prévue en 2005. Son programme a été lancé dans les années 1990 avec le démarrage en 1993 des premières études d'avant-projet puis de définition [études de sites, hydrologiques et géologiques...] » confirme Jacques Chenais, directeur de la propulsion nucléaire au CEA.

En cours de construction depuis environ trois ans à proximité du RNG, cette installation représentative des réacteurs embarqués permettra de tester des composants et des cœurs de propulsion nucléaire dans différents cas de figure. A cet effet, les plus gros composants, tels que la cuve ou le générateur de vapeur, auront la même taille que ceux des réacteurs de sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de nouvelle génération (SNLE-NG) ou du porte-avions Charles de Gaulle. L'enceinte du réacteur, construite sur place, fera environ 14 mètres de hauteur sur 12 mètres de diamètre.

Truffé de capteurs miniatures, le RES sera un réacteur d'essais unique en Europe. Toute sa force réside dans cette instrumentation sophistiquée, développée avec le soutien des équipes de la direction de l'énergie nucléaire et celles de la direction de la recherche technologique, qui permettra d'analyser en temps réel ce qui se passe au sein du cœur du réacteur et du combustible dans la durée et selon le régime de fonctionnement. Ces capteurs placés entre les assemblages



Transport des éléments de l'enceinte du RES

utilisés dans les études de sûreté. Ils serviront également à qualifier des innovations technologiques : une nouvelle configuration de cœur, le fonctionnement d'un nouveau générateur de vapeur ou bien un combustible ; ou encore pour répondre aux besoins de qualification des sous-marins du futur, à l'horizon 2025, lorsque la question du renouvellement des SNLE-NG se posera.

La piscine où seront placés les combustibles après irradiation sera

également dotée d'une instrumentation permettant de mesurer le taux « d'usure » du combustible avec une très grande précision.

Sylvestre Pivet, chef du projet RES au CEA, résume les fonctions de l'installation RES en rappelant qu'« elle est conçue pour soumettre un certain nombre d'équipements et de composants à des conditions d'emploi pour la propulsion nucléaire plus sévères à terre qu'en mer ». Les informations qui seront ainsi obtenues avec l'installation RES sont indispensables pour optimiser les régimes de fonctionnement, augmenter la durée de vie des cœurs et des combustibles et valider des données techniques et théoriques.



Généralités de sous-marins

Grâce à son savoir-faire scientifique et technique, la France est l'une des cinq nations à posséder une flotte à propulsion nucléaire, composante indispensable à la dissuasion. Les réacteurs nucléaires apportent discrétion et autonomie à cette flotte composée :

■ **des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) qui composent la Force océanique stratégique ayant une mission de dissuasion.**

Les SNLE ont été les premiers sous-marins à être mis au point en France. La France possède quatre SNLE en service (L'Indomptable, L'Inflexible, Le Triomphant, Le Téméraire) dont deux sont de nouvelle génération (SNLE-NG). Deux autres SNLE-NG devraient être mis

en service, l'un d'ici fin 2004 (Le Vigilant), l'autre avant 2010 (Le Terrible) ;

■ **des sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) qui ont pour mission de surveiller les océans et d'assurer la protection rapprochée de la flotte des SNLE, des portes-avions et des bâtiments de surface.** La France possède six SNA : Le Rubis, Le Saphir, Le Casabianca, L'Émeraude, L'Améthyste, La Perle.

Le programme Barracuda de sous-marins d'attaque du futur a pour but de remplacer les SNA par six nouveaux navires aux performances accrues, notamment en matière de discrétion acoustique.



Le chantier RES

La construction de l'installation RES (coût global de 800 millions d'euros environ) rassemble près d'une soixantaine d'entreprises, pour l'essentiel des entreprises implantées dans la région, impliquant tous les corps de métiers (génie civil, mécanique, électrique, ventilation, tuyauteries...). Les travaux ont débuté en 2000 à l'issue des autorisations de création prises par décret du Premier ministre. Les travaux de génie civil pour la réalisation de la partie piscine d'entreposage des combustibles irradiés se sont terminés courant 2003. Son équipement (cuvelage, ventilation, électricité...) est actuellement en cours pour une mise en service programmée en 2005. Cette piscine sera dotée d'une instrumentation très développée permettant d'étudier avec précision le combustible après irradiation. Une partie de la piscine sera également aménagée afin de proposer des programmes d'entraînement pour le chargement et le déchargement des cœurs. Ce « stand d'entraînement » permettra aux opérateurs d'acquérir une grande maîtrise pour cette opération délicate à conduire et nécessitant une grande précision lors de l'opération d'entretien et de réparation prévue tous les six à huit ans pour un sous-marin. Les travaux de la partie réacteur d'essais dédié aux études de qualification des composants s'achèveront, quant à eux, au cours du premier semestre 2008 pour un démarrage du réacteur à la fin de cette même année.

► Une installation singulière

L'installation nucléaire de base implantée sur le centre du CEA/Cadarache qui accueille l'ensemble des moyens d'essais pour la propulsion nucléaire appartient à la catégorie des installations nucléaires de base secrète (INBS). Car elle « intéresse la Défense nationale et justifie une protection particulière contre la prolifération nucléaire, la malveillance ou la divulgation d'informations classifiées » en application du décret 2001-592. Dans le domaine de la sûreté, elle est placée sous le contrôle du Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection (DSND) pour les activités et les installations intéressant la défense nationale qui rend compte aux ministres compétents (industrie et défense) pour toutes les étapes : depuis la création, construction, mise en service, modification, déclassement ou démantèlement jusqu'à la mise à l'arrêt définitif des installations individuelles comprises dans son périmètre. Celle de Cadarache comprend six installations :

- l'installation de fabrication et gestion des combustibles ;

- l'installation regroupant les moyens d'essais thermohydrauliques mécaniques et électriques pour la qualification de prototypes...

- l'installation Azur pour la qualification des nouveaux cœurs ;

- l'installation PAT mise à l'arrêt définitif en 1998 qui a servi à concevoir et développer le concept des réacteurs à boucles à eau sous pression (la cuve contenant le cœur du réacteur et les générateurs de vapeur sont reliés par des circuits où l'eau tourne « en boucle ») ;

- l'installation réacteur nouvelle génération

(RNG) pour la qualification de composants dont la fin d'exploitation est prévue en 2005 ;

- l'installation RES en cours de construction qui prendra le relais de l'installation RNG pour qualifier et tester des composants. Un dossier de demande d'autorisation de rejets et de prélèvement d'eau sera présenté en enquête publique au cours du dernier trimestre de l'année 2004.

1 - Les circuits qui relient la cuve contenant le cœur du réacteur et les générateurs de vapeur forment deux boucles.



Piscine d'entreposage des combustibles du réacteur nouvelle génération (RNG)