

10 octobre 2018

Propulsion nucléaire Le RES a divergé





L'installation Nucléaire de Base Secrète Propulsion Nucléaire.



Le 10 octobre 2018, le réacteur d'essais (RES) a divergé à 11 h 52. Cette divergence marque sa mise en service opérationnel, au sein de l'Installation nucléaire de base secrète de la propulsion nucléaire, exploitée par le centre CEA DAM Île-de-France, sur le centre CEA Cadarache. Cet aboutissement résulte de l'engagement continu des équipes qui ont œuvré sur ce projet, piloté par la Direction des applications militaires (DAM) du CEA et réalisé par TechnicAtome. Le RES est un réacteur représentatif des chaufferies nucléaires qui propulsent le porte-avions *Charles de Gaulle* et les sous-marins de la Marine nationale. Grâce à une instrumentation au cœur du réacteur, il permet de conduire des campagnes d'irradiation avec une double finalité : disposer de données expérimentales principalement dans les domaines de la neutronique et de la thermohydraulique ; et disposer de combustible spécifique à la propulsion nucléaire (PN) irradié dont on maîtrise parfaitement le cycle d'irradiation. Les données expérimentales serviront à alimenter les codes de calculs pour la maîtrise du fonctionnement des cœurs de la PN, afin de les rendre plus robustes en réduisant leurs biais et incertitudes. Pour le combustible, les éléments irradiés donneront lieu ensuite à une expertise poussée dans les laboratoires du CEA afin de mieux maîtriser le comportement sous irradiation des combustibles PN. L'objectif visé est d'étendre la durée de vie des cœurs embarqués tout en répondant aux recommandations émises par l'Autorité de sûreté nucléaire de Défense. Ainsi, l'exploitation du RES contribuera à améliorer la disponibilité des chaufferies en service et les marges de conception des chaufferies actuelles et futures.

Le RES, mis en œuvre par les équipes de TechnicAtome, participe par ailleurs pleinement à la garantie des compétences des concepteurs des réacteurs de la PN, qu'il s'agisse des ingénieurs de TechnicAtome ou de ceux du CEA. C'est un outil majeur au service de la dissuasion nucléaire française. Le RES est le premier Réacteur à Eau Pressurisée à terre mis en service par la France depuis 20 ans, c'est aussi le premier réacteur de la propulsion nucléaire mis en service depuis la mise en service du réacteur du sous-marin nucléaire lanceur d'engins « *Le Terrible* » en 2008.

Nous pouvons nous réjouir de la réussite de ce projet complexe, qui témoigne de l'excellence des compétences étatiques et industrielles de la France dans le domaine du nucléaire.



Nous pouvons nous réjouir de la réussite de ce projet complexe, qui témoigne de l'excellence des compétences étatiques et industrielles de la France dans le domaine du nucléaire. Il sera suivi, dès l'an prochain, par la mise en service du réacteur qui équipe le sous-marin nucléaire d'attaque *Suffren*, premier sous-marin du programme Barracuda, puis, à raison d'un réacteur tous les deux ans, des 5 autres réacteurs de ce programme. Le RES a d'ores et déjà contribué à la conception et à la qualification de la définition de ces réacteurs. »

François Geleznikoff, Directeur des applications militaires du CEA.



02

LA PROPULSION
NUCLÉAIRE, ENJEU
DE SOUVERAINETÉ
NATIONALE

06

LA FLOTTE
DE LA DISSUASION
NUCLÉAIRE

08

LE RES,
DU PROTOTYPAGE
AU BANC D'ESSAI

11

LE CEA, MAÎTRE
D'OUVRAGE
DE LA PROPULSION
NUCLÉAIRE

La propulsion nucléaire, enjeu de souveraineté nationale

Qu'il s'agisse des quatre sous-marins nucléaires lanceurs d'engins, des six sous-marins nucléaires d'attaque ou encore du porte-avions *Charles de Gaulle*, la propulsion nucléaire est au cœur de la marine militaire française. Ses atouts : discrétion, autonomie et performance.

Tapis dans l'océan, indétectable, l'un des quatre sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) patrouille. Embarquant 16 missiles balistiques, il a pour unique vocation d'assurer la permanence à la mer de la dissuasion nucléaire française. Pour mener à bien cette mission, il peut compter sur la

protection d'un sous-marin nucléaire d'attaque (SNA) qui aura « nettoyé » la zone. Plus petits et dotés d'armements conventionnels, les six SNA sont de véritables chasseurs des mers. Lutte anti sous-marine ou contre une flotte de surface, frappes contre des cibles terrestres, déploiement de commandos, recueil de renseignements... Leurs missions sont multiples. Outre la protection des SNLE, ils assurent aussi celle du reste de la flotte, en particulier du porte-avions *Charles de Gaulle* et de son groupe aéronaval. Ce géant de 42 000 tonnes est capable d'emporter 40 avions sur n'importe quel théâtre d'opérations. Le bâtiment, tout juste sorti d'une refonte à mi-vie, a repris la mer cet été pour une phase de remontée en puissance. Qu'ils maraudent sous les mers ou

croisent en surface, qu'ont donc en commun ces onze bâtiments de la Marine nationale ? La réponse tient en deux mots : propulsion nucléaire. « *Sans la propulsion nucléaire, la Force océanique stratégique [la Fost est constituée des quatre SNLE et des six SNA, ndlr.] n'existerait pas*, rappelle Pascal Lucas, Directeur de la propulsion nucléaire (DPN) au CEA. *L'énergie nucléaire offre la discrétion, l'autonomie et la réactivité dont ont besoin les navires pour assurer leurs missions.* » Tout autre mode de propulsion, le diesel-électrique par exemple, nécessite de l'oxygène et donc des remontées en surface régulières ou l'utilisation d'un système basé sur une sorte de gros tuba, le schnorkel, facilement repérable. C'est incompatible avec les exigences de ♦♦



Porte-avions à propulsion nucléaire *Charles de Gaulle*.



Poste Central Navigation Opérations (PCNO) de SNLE-NG.

Divergence

Démarrage de la réaction en chaîne dans un réacteur.

Notes :

1. Le réacteur CP1, mis au point par Enrico Fermi, a fonctionné pour la première fois le 2 décembre 1942, à Chicago.
2. L'enrichissement consiste à augmenter la proportion de l'isotope fissile – l'uranium 235 – dans le minerai d'uranium (composé principalement d'uranium 238).
3. Le porte-avions *Charles de Gaulle* compte deux chaufferies.

discrétion. L'autonomie, quant à elle, n'est vraiment limitée que par la présence d'êtres humains à bord du sous-marin : quantité de vivres que le navire peut embarquer ou bien résistance des hommes embarqués, sachant que l'autonomie d'un SNLE en « carburant » est de 10 voire 20 ans ! Enfin, les cœurs des chaufferies nucléaires sont conçus pour fournir beaucoup de puissance très rapidement : le porte-avions *Charles de Gaulle* est capable de passer de 0 à 20 nœuds en seulement 4 minutes, quand il en fallait plusieurs dizaines au précédent porte-avions, *Le Clémenceau*, doté de chaudières à mazout. « *La propulsion nucléaire est un avantage opérationnel majeur*, explique Pascal Lucas. *Grâce à elle, les navires peuvent rester discrets, atteindre et maintenir des vitesses élevées et ne s'encombrent pas de ravitailleurs.* » Il en va également de la souveraineté du pays, puisque toute la filière nucléaire est maîtrisée par des acteurs nationaux. C'est un domaine d'excellence de l'industrie française qui a par le passé poussé le nucléaire civil : le premier

Il n'y a rien de plus complexe et exigeant qu'un sous-marin nucléaire.

Richard Lenain, coordinateur des Programmes et études scientifiques et techniques au STXN



réacteur à eau pressurisée français à avoir divergé est le PAT, prototype en terre du réacteur du *Redoutable*.

À l'origine était la propulsion nucléaire

La fission de l'uranium comme source d'énergie pour les sous-marins est en fait à la source des conceptions de la filière nucléaire électrogène, née en 1942 aux États-Unis. À partir de l'expérience acquise pour la propulsion navale a été imaginé le tout premier réacteur à eau pressurisée (REP), type de réacteur qu'utilise aujourd'hui EDF dans ses centrales. Le premier sous-marin à propulsion nucléaire, l'*USS Nautilus*, est mis en service en 1954.

La France, quant à elle, décide dès 1953 de se doter d'un sous-marin nucléaire. Mais à l'époque, seuls les États-Unis disposent d'uranium enrichi². Ils vont accepter d'en fournir à la France à une seule condition : cet uranium ne pourra servir qu'à la conception de réacteurs à terre. Le CEA construit à Cadarache le PAT (pour Prototype à Terre), un réacteur à eau pressurisée installé dans un tronçon de coque de sous-marin qui **diverge** pour la première fois en août 1964. En parallèle, l'usine d'enrichissement de Pierrelatte est achevée et produit de l'uranium enrichi quelques mois plus tard. La France peut donc concevoir son propre sous-marin nucléaire en toute indépendance. Le *Redoutable*, premier SNLE, prend la mer le 29 mars 1967. Suivront cinq autres SNLE (aujourd'hui à la retraite), les six SNA de type Rubis, la nouvelle génération de SNLE du type *Le Triomphant* (SNLE-NG), actuellement en service et, enfin, le porte-avions *Charles de Gaulle*.

Faire vite, bien et en silence...

Douze chaufferies nucléaires navales sont donc actuellement en service³. Pour Richard Lenain, coordinateur des Programmes et études scientifiques et techniques au sein du Service technique mixte des chaufferies nucléaires de propulsion navale (STXN), « *il n'y a rien de plus complexe et exigeant qu'un sous-marin nucléaire.* » Et pour cause. Le réacteur de propulsion navale, auprès duquel un équipage vit en toute sécurité, est couplé à une mini-centrale électrique et mécanique, fonctionnant selon le principe des réacteurs à eau sous pression : une turbine est actionnée par de la vapeur produite par l'énergie dégagée lors de la réaction de fission nucléaire au sein du combustible nucléaire. Couplée à un alternateur, cette turbine produit l'électricité nécessaire à la vie à bord et à la motricité du bâtiment. Dans les SNLE de première génération, la chaufferie était dite « à boucle » : un circuit primaire conduisait l'eau chaude sous pression jusqu'à deux circuits secondaires qui comprenaient chacun un générateur

de vapeur. C'est l'eau contenue dans ces derniers qui était transformée en vapeur et acheminée vers la turbine. Cette technologie, toujours utilisée par d'autres pays, n'a pas duré en France. Dans les années 1970, les ingénieurs de la jeune filiale du CEA, Technicatome (aujourd'hui TechnicAtome), mettent au point un nouveau concept de chaufferie nucléaire pour le moins astucieux : la chaufferie compacte. Le générateur de vapeur n'est plus déporté et relié à la cuve par une « boucle » mais tout simplement posé dessus, à la place du couvercle. Les gains en taille, en sûreté et en discrétion (moins de tuyaux, donc moins de bruit) sont considérables !

Cette chaufferie révolutionnaire, baptisée K48, va alors équiper tous les SNA, dont le premier du genre – *Le Rubis* – entre en service en 1983. « Grâce à cette technologie unique, la France dispose des plus petits sous-marins nucléaires au monde », signale Richard Lenain. Le concept sera ensuite amélioré pour donner les chaufferies K15, qui équipent actuellement les 4 SNLE et le *Charles de Gaulle*.

Quel avenir pour la propulsion nucléaire ?

L'histoire ne s'arrête évidemment pas là. « *Même si le type de chaufferie K est désormais mature, la propulsion nucléaire reste un enjeu majeur pour le CEA* », assure Pascal Lucas. Les SNA de type « Rubis » arrivent en fin de vie et seront bientôt remplacés par la génération « Suffren », issue du programme de sous-marins nucléaires d'attaque Barracuda que mène le CEA en partenariat avec la Direction générale pour l'armement (DGA) depuis une vingtaine d'années. Dérivées des chaufferies K15 des SNLE-NG et du porte-avions, celles des nouveaux SNA ont encore été améliorées, notamment en matière de disponibilité du réacteur, de capacité énergétique de son cœur et de sûreté, amenées à un niveau équivalent à celle des réacteurs civils de la génération EPR. Les SNLE-NG seront, eux, remplacés à l'horizon 2030. Le programme des SNLE de 3^e génération (SNLE-3G) est en cours et leurs chaufferies permettront de valider de nouvelles améliorations. Et au-delà, se prépare la succession du porte-avions

Charles de Gaulle : si l'option nucléaire était retenue, ce serait deux grosses chaufferies d'une puissance significativement accrue qu'il faudrait concevoir et fabriquer. « Avant le lancement du programme de porte-avions de deuxième génération par le ministère des Armées, nous avons travaillé sur ce sujet dans le cadre des études de R&D. Nous avons aujourd'hui la conviction avec TechnicAtome et Naval Group que ces chaufferies sont réalisables et intégrables dans le navire », précise Pascal Lucas. « L'option nucléaire représenterait une réelle opportunité pour maintenir les compétences en conception chez nos deux industriels. » Autant de programmes qui permettent aussi d'assurer la relève des chercheurs et ingénieurs. « L'enjeu pour le CEA est aussi humain, observe Pascal Lucas. Les concepteurs des chaufferies K15 vont bientôt partir à la retraite et les nouvelles générations doivent les connaître comme si elles les avaient faites. » Et de conclure : « La propulsion nucléaire exige un niveau d'expertise et de qualité énorme. Elle nous pousse à l'excellence. » ♦



Sous-marins nucléaires lanceurs d'engins à l'Île Longue.

La flotte de la dissuasion nucléaire

PRINCIPE



Ensemble cohérent et optimisé, stratégiquement et techniquement, des bâtiments (sous-marins et porte-avions) qui participent directement à la crédibilité de la force de dissuasion nucléaire française.

Histoire : de la pile Azur au RES

Le 18 mars 1960, le Groupe de propulsion nucléaire du CEA, dirigé par Jacques Chevallier à Cadarache, se voit confier la mission secrète de réaliser le prototype à terre d'un « moteur atomique » capable de propulser un sous-marin.

Le 9 avril 1962, Azur produit ses premiers neutrons : il s'agit d'une pile expérimentale, de dimension réduite mais capable d'accueillir les cœurs des futurs réacteurs embarqués devant tenir dans la coque d'un sous-marin, cœurs nucléaires petits, puissants mais dociles.

Le 14 août 1964, tout le système est construit et le PAT (prototype à Terre) devient le premier réacteur à eau légère pressurisée d'Europe capable de délivrer de la vapeur à une machine.

En 1969, le *Redoutable*, premier sous-marin à propulsion nucléaire est équipé d'une chaufferie identique à celle du PAT et fait ses premiers essais en mer.

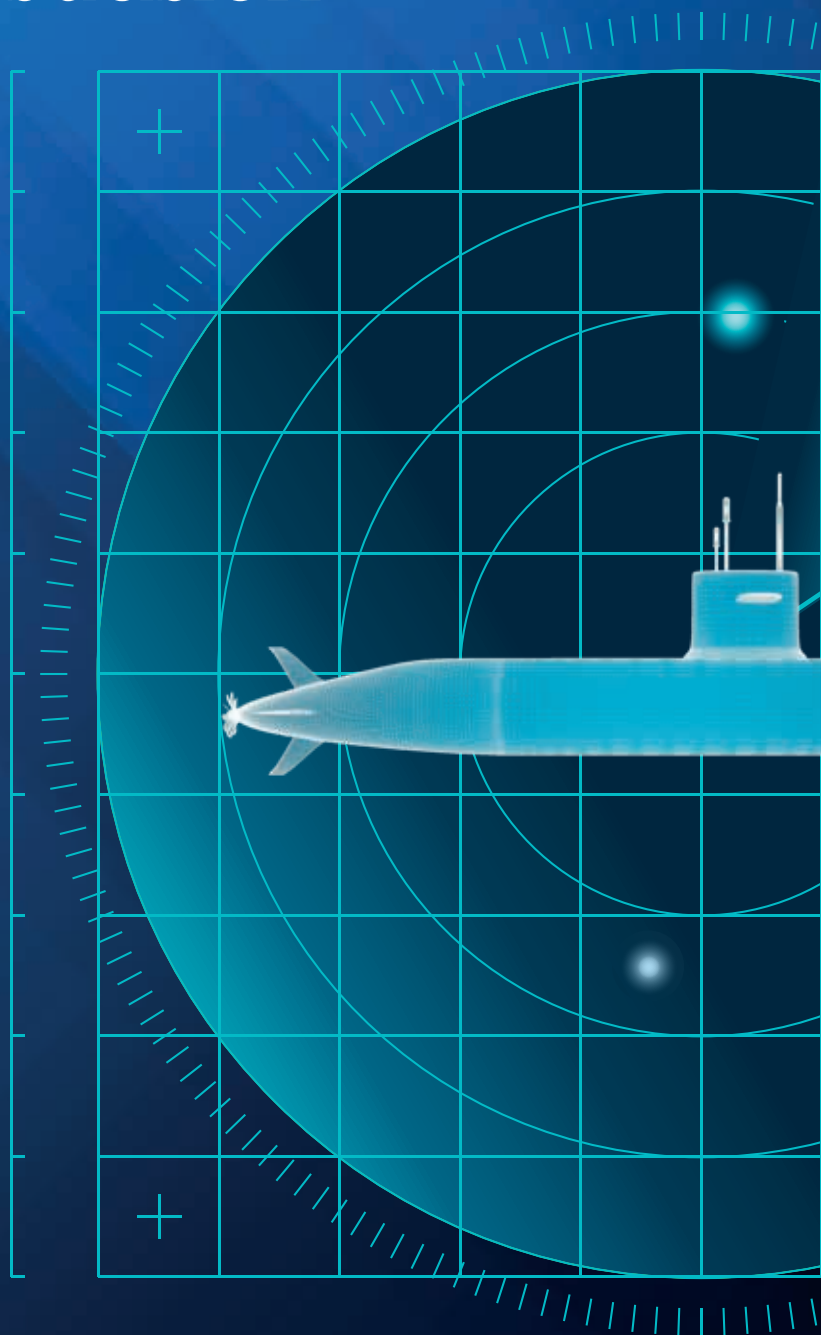
Le 10 octobre 2018, la dernière génération de réacteur à terre diverge : le RES (réacteur d'essais) constitue également un véritable outil de R&D.

Aujourd'hui : 4 SNLE, 6 SNA et 1 porte-avions

La Marine nationale met en œuvre une flotte de 11 navires à propulsion nucléaire :

- 4 sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) de nouvelle génération (NG), de la classe Le Triomphant
- 6 sous-marins nucléaires d'attaque (SNA), de la classe Rubis
- 1 porte-avions, le *Charles-de-Gaulle*

Cette flotte est propulsée par 12 chaufferies nucléaires, une pour chaque sous-marin et deux pour le porte-avions.



Demain : Barracuda et les SNLE-3G

Les SNA seront remplacés par la génération des sous-marins Barracuda, du nom du programme lancé en 2006. Ils embarqueront une nouvelle chaufferie, dérivée de celles qui équipent les SNLE-NG et le porte-avions. Les améliorations concernent la disponibilité du réacteur, la capacité énergétique de son cœur ainsi que la sûreté nucléaire (équivalente à celle des réacteurs électrogènes de troisième génération). Quant aux SNLE-NG, ils seront remplacés par la troisième génération (SNLE-3G) dont le programme de conception et de réalisation des chaufferies est en cours.

GÉNÉRATIONS ET MISSIONS



Collection CPAR Brest / Photographie Inconnue

SOUS-MARIN NUCLÉAIRE LANCEUR D'ENGINS (SNLE), LE REDOUTABLE (1971-1991)**Dimensions :**

128,7 m de long, 10,6 m de large, 8 900 tonnes

Mission stratégique :

Emport des armes de dissuasion nucléaire

De même classe :*Le Terrible* (1973 – 1996),
Le Foudroyant (1974 – 1998),
L'Indomptable (1976 – 2005), *Le Tonnant* (1980 – 1999),
L'Inflexible (1985 – 2008)

© ECPAD / Claude Savriacoury

SNLE NG (NOUVELLE GÉNÉRATION) LE TRIOMPHANT (1997)**Dimensions :**

138 m de long, 12,5 m de large, 12 640 tonnes

Mission stratégique :

Emport des armes de dissuasion nucléaire

De même classe :*Le Téméraire* (1999), *Le Vigilant* (2004),
Le Terrible (2010)

© ECPAD / Benoît Dufautrelle

SOUS-MARINS NUCLÉAIRES D'ATTAQUE (SNA) RUBIS (1983)**Dimensions :**

73,6 m de long, 7,6 m de large, 2 385 tonnes

Missions tactiques :

Protection de la flotte, interdiction de zones maritimes

De même classe :*Saphir* (1984), *Casabianca* (1987), *Emeraude* (1988),
Améthyste (1992), *Perle* (1993)

© Naval Group

SNA BARRACUDA, SUFFREN (2020)**Dimensions :**

100 m de long, 8,8 m de large, 4 650 tonnes

Missions tactiques :Protection de la flotte, interdiction de zones maritimes
et dépôt de commandos**De même classe :***Dugay-Trouin*, *Tourville*, *De Grasse*, *Rubis*, *Casabianca*
(tous les deux ans à partir de 2020)

© ECPAD / Yohann Peschel

PORTE-AVIONS CHARLES DE GAULLE (2001)**Dimensions :**

261,5 m de long, 64,4 m de large, 42 000 tonnes

Missions tactiques :Attaque d'objectifs terrestres ou de forces navales,
couverture aérienne d'un théâtre d'opération sur terre
ou en mer, soutien d'opérations terrestres.



Installation de la cuve du RES.

Le RES, du prototypage au banc d'essai

Il est le dernier né d'une lignée de réacteurs à terre. Contrairement à ses aînés – des prototypes destinés à mettre au point les concepts successifs de chaufferies –, le Réacteur d'essais RES a été conçu comme un véritable outil de R&D.

Bardé d'instruments de mesure, doté d'une piscine et d'un atelier, il sert de banc d'essais technologique et alimente les simulations qui permettront d'optimiser les chaufferies nucléaires actuelles et futures.

Note :

1. La divergence a eu lieu le 10 octobre 2018.

Compacité, résistance aux chocs, discrétion, réactivité... Les caractéristiques des chaufferies nucléaires de la flotte française sont un modèle d'optimisation. Elles ne sont composées que du

strict nécessaire à leur bon fonctionnement. Elles ne peuvent accueillir les instruments de mesure qui permettraient aux chercheurs et ingénieurs du CEA de récolter des données précises sur l'activité du cœur et la vie du combustible dans une machine en opération.

C'est en particulier pour répondre à ce besoin que le Réacteur d'essais (RES) a été mis au point. Installé sur l'INBS-PN de Cadarache, il vient tout juste de diverger¹ et est désormais pleinement opérationnel. Ses missions : assurer le soutien à l'exploitation du parc en service, qualifier le combustible et les cœurs des chaufferies, mettre au point et qualifier les innovations technologiques pour la propulsion de demain et enfin garantir la pérennité des savoir-faire. « *Si l'architecture compacte des chaufferies dites "K" sera conservée dans les futurs bâtiments de la Marine nationale, l'amélioration des performances et l'évolution des composants nécessitent un outil qui nous permette d'optimiser les systèmes sans mobiliser la flotte* », explique Richard Lenain, du STXN (Service technique mixte CEA-DGA-Marine nationale des chaufferies nucléaires de propulsion navale). Ainsi le RES s'inscrit-il dans une démarche expérimentale de recherche et développement et de qualification des logiciels de simulation, qui le distingue en cela de ses prédécesseurs, véritables prototypes des chaufferies embarquées.

Le RES, 4^e génération de réacteur à terre

L'histoire des réacteurs à terre de la propulsion nucléaire a commencé en 1960, sur le site du CEA à Cadarache. Cette année-là, le Groupe de propulsion nucléaire du CEA, dirigé par Jacques Chevallier, qui sera plus tard Directeur des applications militaires du CEA puis Délégué général pour l'armement, se voit confier la mission de réaliser le prototype d'un « moteur atomique », fonctionnant avec de l'uranium enrichi (fourni par les États-Unis), capable de propulser un sous-marin. Pour relever ce défi, il faut repenser entièrement le concept de réacteur nucléaire. Après quatre ans de recherche et d'essais, dont la mise au point de la pile atomique Azur toujours en fonctionnement aujourd'hui (voir article p. 11), le PAT (pour Prototype à terre) est mis en route le 14 août 1964. Il s'agit du premier réacteur à eau pressurisée d'Europe, capable de délivrer de la vapeur à une machine. Et c'est une chaufferie identique à celle du PAT qui va ensuite être installée dans *Le Redoutable*, tout premier SNLE

français qui entre en service actif en 1971, dotant ainsi la France de la composante océanique de sa force de dissuasion nucléaire.

Consciente des avantages majeurs que procure la propulsion nucléaire, la Marine nationale demande au CEA d'équiper aussi les sous-marins d'attaque de chaufferies nucléaires. La technologie des réacteurs à eau pressurisée est maîtrisée mais encore faut-il pouvoir la loger dans une coque large de seulement 7 mètres, contre 10 mètres pour les SNLE. À proximité du PAT, un nouveau prototype de chaufferie nucléaire navale entre en fonctionnement le 24 novembre 1975 : la CAP, pour Chaufferie avancée prototype. Elle préfigure les chaufferies compactes K48 des SNA de type « Rubis ».

La CAP fonctionnera pendant 12 ans, avant d'être entièrement transformée pour devenir le Réacteur nouvelle génération (RNG), qui diverge le 9 août 1989. Troisième génération de réacteur à terre, il permet la qualification technologique des chaufferies dites « K15 » dans lesquelles tout est une nouvelle fois repensé et



Salle de conduite du RES.

qui équipent les SNLE actuels et le porte-avions.

« Le PAT, la CAP et le RNG étaient des prototypes destinés à mettre au point de nouveaux concepts de chaufferies nucléaires, précise Richard Lenain. Avec le RES, nous changeons de paradigme. Il s'agit d'un réacteur très instrumenté qui va nous permettre d'améliorer encore nos connaissances sur les chaufferies. »

Le RES permet d'adopter une démarche scientifique globale, qui va de l'expérimentation à la simulation, pour répondre aux demandes d'évolution des chaufferies futures.

Sylvie Frachet, ancienne chef du projet à la DPN



SAS du compartiment chaufferie du RES.

Un réacteur bardé d'instruments de mesure

Après le prototypage, place donc à l'expérimentation. Lancé en 1995, le programme RES repose en fait sur trois composantes : le réacteur proprement dit, une piscine d'entreposage du combustible et un atelier de soutien.

Le réacteur est une chaufferie K15 modifiée. Il permet de reproduire le fonctionnement des chaufferies embarquées, dans des conditions encore plus sévères que celles en mer. Toutes les données (température et flux neutronique) sont enregistrées en temps réel au cœur du réacteur. L'instrumentation « *in core* » du RES permet de cartographier le cœur du réacteur avec une vingtaine de points de mesure (4 pour la température et 22 pour le flux neutronique). « *Vingt-deux tubes plongent dans le cœur et permettent le passage de* **chambres à fission** *mises au point spécifiquement pour* ♦♦♦

Chambre à fission

Détecteur de neutrons qui permet d'évaluer en temps réel le flux neutronique dans le cœur d'un réacteur nucléaire.

le programme RES par la Direction de l'énergie nucléaire (DEN) du CEA, explique Sylvie Frachet, ancienne chef du projet à la DPN. Chacun de ces capteurs mobiles peut être positionné où nous le souhaitons pour mesurer le flux neutronique dans le cœur. » Ce cœur a lui aussi été fabriqué spécialement pour le programme. Par exemple, des éléments en limites de tolérance de fabrication ont été introduits dans des composants expérimentaux pour en suivre l'évolution sous irradiation et mieux asseoir les critères de recette du combustible.

Enfin, des emplacements sont prévus dans le panier autour du cœur : ils peuvent accueillir des échantillons de matériaux dont on souhaite connaître le comportement sous irradiation.

Une piscine pour les combustibles usés

Une piscine d'entreposage a été construite à côté du réacteur : elle peut accueillir les combustibles irradiés provenant des bâtiments de la Marine nationale, des réacteurs de recherche du CEA et, bien sûr, du RES lui-même. Elle dispose d'un banc de gammamétrie

baptisé Banga. Il peut glisser le long des combustibles afin de mesurer leur taux d'irradiation et ainsi les caractériser sans les détruire. « Il est important de disposer de moyens d'étude post-irradiation, explique Richard Lenain. Ces examens nous donnent beaucoup d'indices sur ce qu'a subi le combustible au cours de sa vie et nous permettent de poursuivre son optimisation. »

Enfin, l'atelier de soutien et d'intervention sert au maintien en condition opérationnelle des chaufferies nucléaires embarquées. Il permet la qualification des outillages, l'entraînement des équipes, la visite et l'entretien des composants irradiés et des emballages de transport de la propulsion nucléaire.

L'expérimentation au service de la propulsion nucléaire

Avec ses nombreux instruments de mesure, sa piscine et son atelier, le RES est donc un véritable outil de recherche et de développement. « Plusieurs types d'essais vont pouvoir y être menés, détaille Richard Lenain. Nous pourrions évaluer les grands principes d'un réacteur – maîtrise des réactions, refroidissement, confinement – et en optimiser chaque détail. » Technologie, neutronique, thermodynamique... Pas un domaine ne sera oublié. Le réacteur participe à l'amélioration et la qualification des « codes de calcul », ces logiciels qui simulent numériquement les réactions de fission nucléaire, le comportement des neutrons et la manière dont s'use le combustible. Le but : optimiser la distribution de puissance dans le cœur et allonger la durée de son fonctionnement tout en réduisant les incertitudes. Il doit aussi livrer de précieux renseignements sur les conditions d'échange de chaleur entre les fluides et les composants de la chaufferie. Enfin, il permet la qualification thermomécanique des combustibles et la validation des logiciels simulant le comportement des cœurs. Tout cela afin d'améliorer les performances des chaufferies mais aussi de démontrer leur sûreté. « Le RES permet d'adopter une démarche scientifique globale, qui va de l'expérimentation à la simulation, pour répondre aux demandes d'évolution des chaufferies futures », conclut Sylvie Frachet. ♦

Piscine du RES - immersion d'un emballage de transport dédié aux éléments combustibles.



Instrumentation in core du RES.



© TechnicAtome, Y. Brandt

Vue extérieure du RES.

Le CEA, maître d'ouvrage de la **propulsion nucléaire**

Au titre de « l'Œuvre Commune Armées-CEA », le CEA a en charge la maîtrise d'ouvrage des programmes de propulsion nucléaire, en coopération avec la Direction générale de l'armement (DGA). Au sein de sa Direction des applications militaires (DAM), ces programmes sont pilotés par la Direction de la propulsion nucléaire (DPN). La maîtrise d'œuvre est quant à elle assurée par deux groupes industriels. D'une part, TechnicAtome, concepteur des chaufferies nucléaires et des cœurs, fabricant des combustibles, et opérateur technique pour le compte de l'exploitant CEA des moyens d'essais à terre sur le centre du CEA à Cadarache (INBS-PN). D'autre part, Naval Group, architecte d'ensemble du navire, fabricant des circuits sous pression des chaufferies, et responsable de leur maintien en condition opérationnelle au sein des bases navales de la Marine nationale. La DPN fait également appel à d'autres expertises : celles du STXN, le Service technique mixte des chaufferies

nucléaires de propulsion navale, son référent technique ; celles d'autres directions de la DAM, en particulier sur la conduite de projet et sur les matériaux ; celles de la Direction de l'énergie nucléaire du CEA (DEN) sur la physique des réacteurs, les codes de calcul et les combustibles.

l'INBS-PN, la base arrière de la propulsion nucléaire

Cette maîtrise d'ouvrage opère depuis l'Installation Nucléaire de Base Secrète de la Propulsion Nucléaire (INBS-PN). Cette enclave de 21 hectares sur le centre CEA de Cadarache, qui dépend du CEA-DAM-Île-de-France (Bruyères-le-Châtel), constitue le centre technologique de la propulsion nucléaire française. « *Le CEA en est l'exploitant nucléaire, via l'Unité propulsion nucléaire de la DAM Île-de-France (UPN-DIF), et TechnicAtome l'opérateur technique* », précise Fabrice Raynal, chef de l'UPN-DIF, « *qui se voit confier de nombreuses missions : concevoir et opérer les réacteurs à terre de la propulsion nucléaire, développer certains composants*

des chaufferies futures, fabriquer les cœurs nucléaires, maintenir les composants des chaufferies en service et maintenir les compétences, notamment en participant à la formation du personnel de la Marine nationale. »

Pour mener à bien ces missions, l'INBS-PN rassemble cinq installations nucléaires : la Pile Azur, toute première installation de la propulsion nucléaire à avoir divergé le 9 avril 1962 et toujours en fonctionnement, le PAT et le RNG, les deux réacteurs prototypes aujourd'hui à l'arrêt, l'installation FSMC (Fabrication, stockage et montage des cœurs), dédiée à la fabrication des cœurs nucléaires et enfin le réacteur d'essais (RES). Ces cinq installations sont complétées par des « moyens de remise à niveau et d'essais », ensemble de dispositifs qui permettent de qualifier tous les composants en dehors du cœur (mécanismes, pompes, contrôle-commande...) et qui participent aussi au maintien en condition opérationnelle des chaufferies de la flotte en service. ♦



- Centre CEA civils
- Centre CEA-Dam