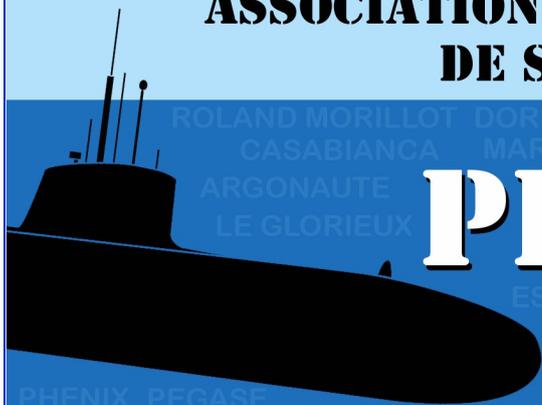


**ASSOCIATION GÉNÉRALE DES AMICALES  
DE SOUS-MARINIERS**



# PLONGÉE

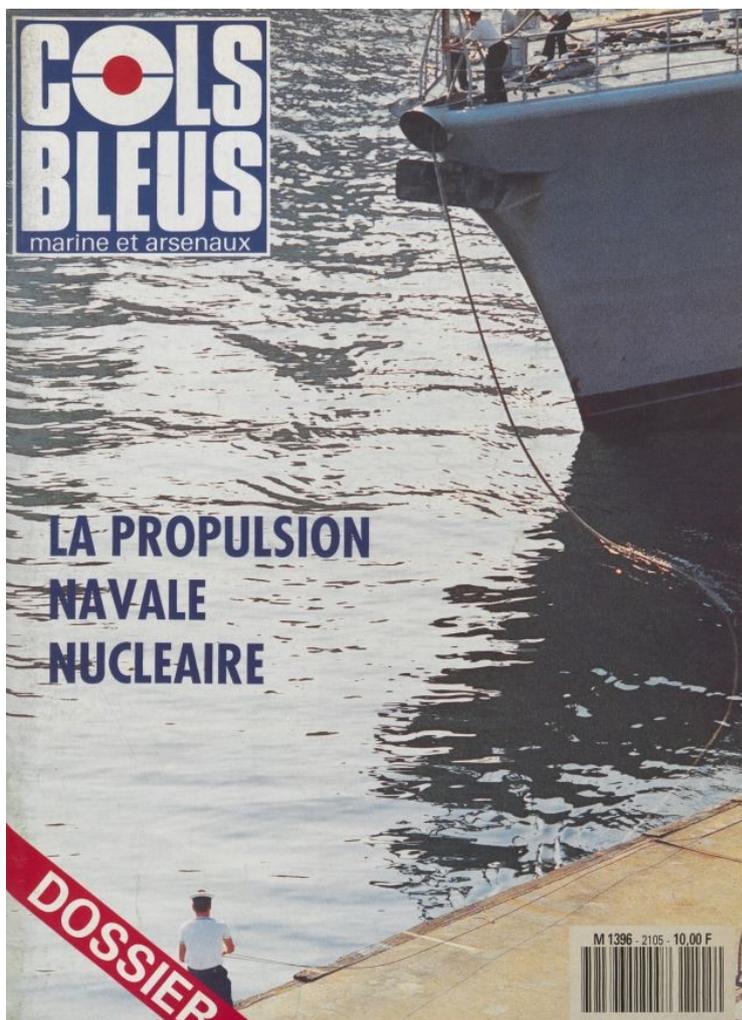
Hors série 70 - Complément

## 70 ème anniversaire complément année 1990

*Bons souvenirs pour certains.*

*Bonnes découvertes pour d'autres.*

*Bonne lecture à tous.*



Document sous copyright AGASM 2021

# 1990 Complément

Cols Bleus n° 2105 15 décembre 1990

# LA PROPULSION NAVALE NUCLEAIRE



Historique, technique, mise en œuvre, prospective,  
une synthèse des aspects de la propulsion navale  
nucléaire civile et militaire.



# LA PROPULSION NAVALE NUCLEAIRE

## 4 UNE REVOLUTION

— Vingt chaudières nucléaires pour une marine d'avenir

## 6 LA GENESE

— Pourquoi la propulsion nucléaire ?  
— La propulsion nucléaire des origines à nos jours.



## 13 LES GRANDS PROGRAMMES



— Des responsabilités clairement définies.  
— La situation actuelle de la propulsion navale nucléaire en France.

## 18 LES GRANDES MARINES

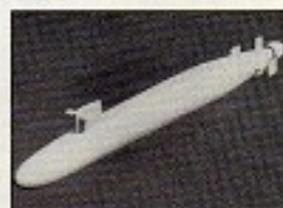
## 24 LA SURETE NUCLEAIRE



— La sûreté nucléaire.  
— La vie à bord des sous-marins nucléaires.

## 32 L'AVENIR

— Evolution des chaufferies nucléaires embarquées.  
— Les sous-marins futurs.  
— L'avenir de la propulsion navale nucléaire.



UNE REVOLUTION

# Vingt chaudières nucléaires pour une marine d'avenir

par le vice-amiral Nougé  
Inspecteur du matériel naval

**A**u tout début des années soixante quelques rares volontaires s'intéressaient à l'application militaire de l'atome. Ils se composaient d'un tiers d'ingénieurs du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), d'un autre tiers d'ingénieurs de la Direction des constructions navales et d'un tiers de marins dont j'étais.

Après les premières vicissitudes liées à l'échec du Q 244, premier projet de sous-marin nucléaire qui avorta et donna naissance au sous-marin d'essais *Gymnote*, les efforts conjugués de tous aboutirent à la construction du prototype à terre d'une chaudière navale nucléaire (PAT) en 1964.

En 1969, *Le Redoutable* prenait armement pour essais et un soir de mai nous coupâmes l'alimentation par la terre. Le sous-marin acquérait alors son autonomie électrique. Nous étions une quarantaine dans le très étroit poste central propulsion (PCP) vivant l'aboutissement de longues années de travail acharné, de discussions, de choix délicats, sans expérience mais aussi, il faut le reconnaître, sans véritables contraintes extérieures. Nous ne mesurerons que beaucoup plus tard combien étaient grandes notre chance et notre liberté.

Les patrouilles opérationnelles des sous-marins nucléaires commençaient. Il fallait assurer la permanence sur zone avec deux sous-marins dans le cycle, puis avec trois ; de joie, on en fit une photo célèbre.

La Bofost et son organisation originale se mettait en place. Après avoir tenu à la mer, il fallait entretenir, bien, et... de plus en plus vite. On constatait alors que nous avions des

voisins se réclamant d'un autre atome, celui des armes, avec lequel il fallait cohabiter en bonne intelligence.

Puis un jour, nous apprenions que le SNLE allait avoir un petit frère, le SNA ; il progresserait bien en profitant de l'expérience de ses aînés mais il ne grandirait pas beaucoup.

La famille attendait depuis des années un porte-avions. En vingt-huit ans de nucléaire, j'ai connu plusieurs commandants pressentis et de très nombreux ingénieurs chargés... Aujourd'hui, on peut, sans audace folle, penser qu'avant le prochain millénaire, le porte-avions *Charles de Gaulle* sera admis au service actif.

Ce fut une épopée extraordinaire. Certains rôdent encore autour de leurs anciennes amours cherchant quelques auditeurs attentifs pour leur raconter le « bouton de culotte » du *Redoutable* ou l'assèchement d'un échangeur. La dernière sortie à la mer du *Redoutable* est déjà envisagée et la liste des inscriptions est paraît-il close.

En 1990, dix sous-marins nucléaires sont en service actif dans la Marine et dix chaufferies sont en essais, construction ou conception. Ce moment nous est apparu favorable pour faire partager cette aventure et surtout pour éclairer l'avenir. Nous nous sommes à nouveau rassemblés pour rédiger ce numéro spécial de « Cols Bleus » consacré à la propulsion nucléaire.

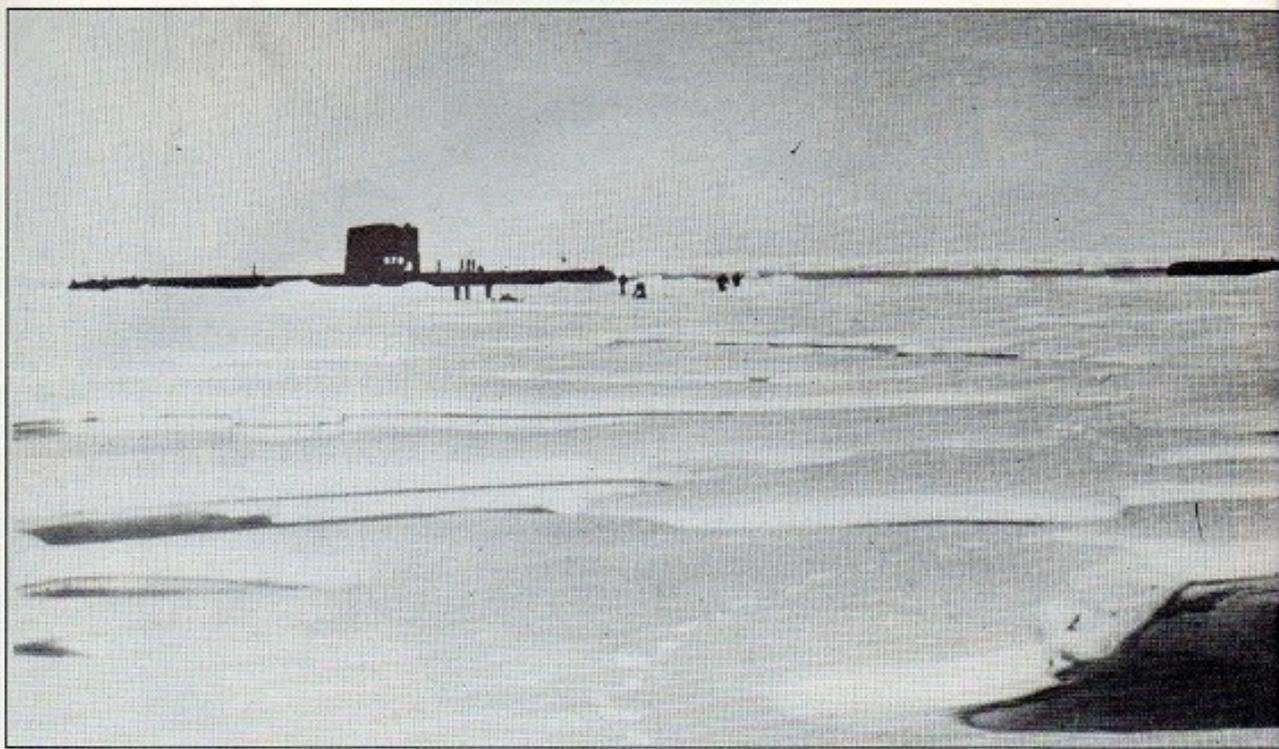


UNE REVOLUTION

PLONGEE Hors Série 70 - Compléments



Base de l'île Longue. Sortie de bassin du SNLE Le Terrible. (photo ECPA)



Ce sont les Etats-Unis d'Amérique qui, les premiers, ont démontré la capacité à rester longtemps en immersion. En 1962 a eu lieu un rendez-vous historique au pôle Nord entre les SNA Skate et Seadragon de la marine des USA (photo AFP).

# Pourquoi la propulsion nucléaire ?

par le CA Guilhem - Ducléon  
sous-chef d'état-major "matériel" à l'état-major de la Marine

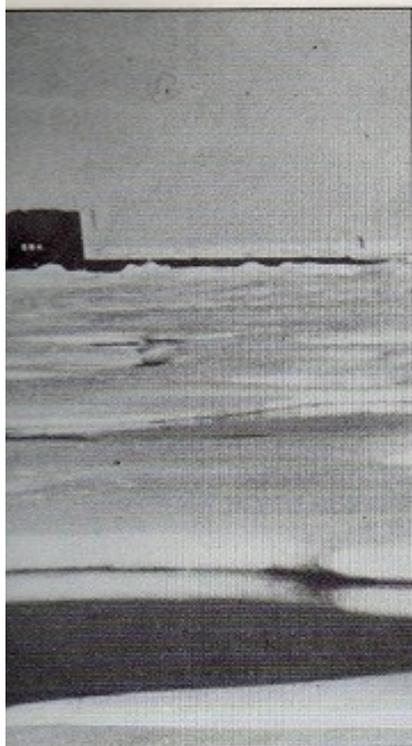
L'énergie nucléaire a ouvert une nouvelle ère de la propulsion des bâtiments en leur donnant une autonomie jusqu'alors inaccessible et en les rendant indépendants de l'atmosphère. Ces faits sont connus, mais les avantages qui en découlent ne le sont pas tous.

## Anaérobie et discrétion

Pour la première fois, une propulsion n'a pas besoin d'air, le milieu extérieur fournit uniquement la source froide, soit l'eau de mer ; alors qu'une installation classique se sert de l'air comme comburant et de l'eau de mer comme source froide. Cet avantage est une révolution

pour les sous-marins dont la durée de plongée profonde n'est plus limitée. Les conséquences opérationnelles sont de deux ordres : une réduction des indiscretions visuelles et acoustiques par la suppression des périodes de charge de la batterie au schnorchel, et un accroissement des zones accessibles aux sous-marins, les patrouilles sous la banquise sont par exemple devenues possibles.

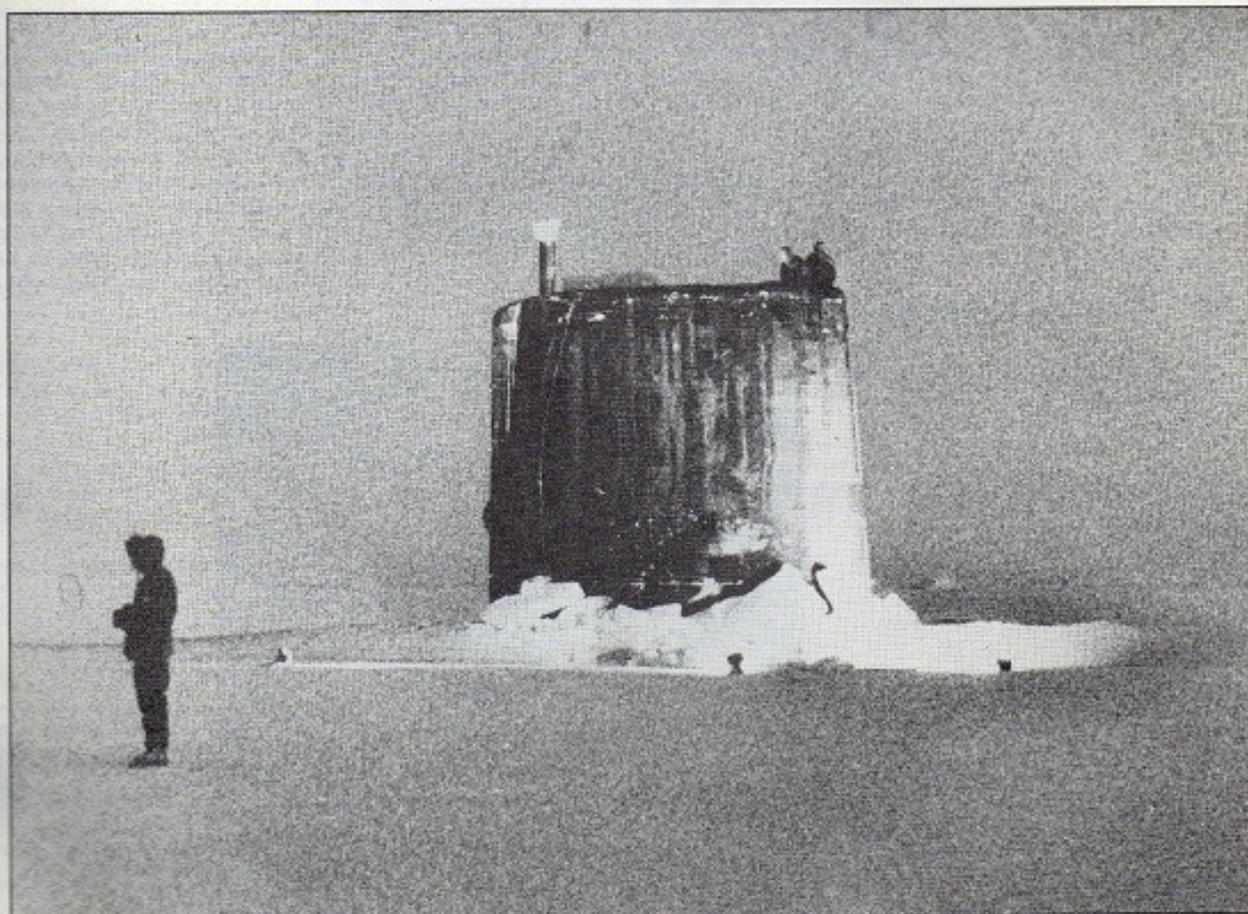
Cet avantage est également fondamental pour un porte-avions, en matière d'autonomie bien sûr mais aussi dans d'autres domaines : suppression des points chauds, meilleure organisation des ponts d'envol, accroissement de la sécurité du navire. Savez-vous que la trajec-



*Pour un porte-avions,  
la propulsion nucléaire  
permet aussi  
d'éviter les gaz chauds  
sortant de la cheminée  
et qui perturbent  
la trajectoire d'un  
avion à l'appontage  
(photo J.M. Chourgnot).*



*L'émergence spectaculaire du sous-marin en pleine banquise montre l'avantage qu'une propulsion nucléaire apporte à la mise en œuvre de ce type de navire. Le sous-marin nucléaire britannique HMS Dreadnought, de 3 000 tonnes en surface, au pôle Nord en mars 1971 (photo AFP).*



## LA GENESE



L'autonomie des navires à propulsion nucléaire est quasi infinie. Pour l'illustrer il suffit de se rappeler le tour du monde sans ravitaillement du porte-avions Enterprise et du croiseur Long Beach représenté ci-dessus. (photo B. Prézelin).

toire d'un avion en approche à moins de mille mètres sur l'arrière du bâtiment peut être perturbée sur les porte-avions classiques par les gaz chauds et fumées rejetés à l'extérieur ? Ce n'est pas le cas sur un porte-avions nucléaire grâce au caractère anaérobie de sa propulsion.

### Autonomie opérationnelle

Si l'autonomie d'un bâtiment classique est de plusieurs semaines, durée limitée par la capacité de ses soutes, celle d'un navire à propulsion nucléaire se compte en années ; ses contraintes de ravitaillement sont dues aux besoins autres que ceux de la propulsion (munitions, vivres...). Pour l'illustrer il suffit de se souvenir du tour du monde sans ravitaillement effectué par le porte-avions Enterprise et le croiseur Long Beach et de la mission à Nouméa du SNA Rubis. Deux cœurs suffisent pour assurer la propulsion d'un SNLE pendant toute sa vie.

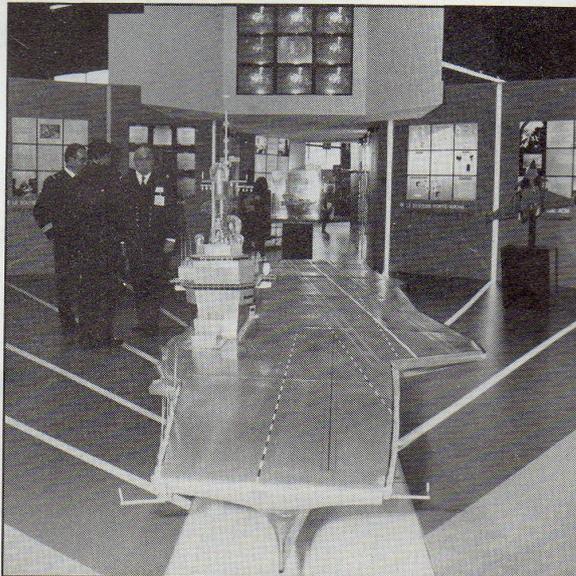
Cette autonomie alliée à la puissance donne aux sous-marins une mobilité inconnue jusqu'alors. Certains lui prêtent même le don d'ubiquité. Sans prétendre à ce don, cette qualité a été prouvée lors du conflit de Malouines : la flotte de surface argentine est restée au port pendant toute la durée du conflit

après le torpillage du croiseur *Belgrano*.

La propulsion nucléaire améliore également la souplesse d'emploi d'un groupe aéronaval articulé autour d'un porte-avions : les contraintes sont fortement réduites quand il ne faut plus ravitailler celui qui était le plus gros consommateur et qu'il se transforme lui-même en ravitailleur de son escorte et de son parc aérien en utilisant, pour les autres, la place libérée par ses soutes à combusti-

ble. C'est ainsi que le *Charles de Gaulle* embarque près du double de la quantité de carburant et de munitions d'aviation du *Foch* pour une taille analogue.

Discretion et mobilité, suppression de contraintes opérationnelles et souplesse d'emploi expliquent pourquoi les principales marines militaires ont équipé leurs sous-marins et leurs unités de surface les plus importantes de la propulsion nucléaire.



La propulsion nucléaire réduit les contraintes de ravitaillement des grandes unités de surface, en particulier les porte-avions. Le Charles de Gaulle, dont on voit ici une maquette technique en cuivre, bien que d'un même tonnage que les porte-avions du type Clemenceau aura, de part sa propulsion nucléaire des capacités nettement supérieures dans tous les domaines. (photo Yann Le Boudec Marine nationale).

# La propulsion nucléaire des origines à nos jours

par Y. Bonnet,  
PDG de Technicatome

LA GENESE

**N**ous sommes le 17 janvier 1955 ; un sous-marin tout neuf sort du chantier de l'Electric Boat Company à Groton dans le Connecticut. Soudain les diesels s'arrêtent mais le sous-marin ne ralentit pas ; il envoie un bref message à l'Amirauté : « Underway on nuclear power » (en route à la propulsion nucléaire). Il est onze heures du matin, le *Nautilus* vient d'ouvrir une ère nouvelle pour la propulsion des navires.

Trente-cinq ans plus tard, ce sont quelque six cents réacteurs de propulsion nucléaire qui sillonnent les océans à bord de quatre cents navires américains, russes, anglais ou français.

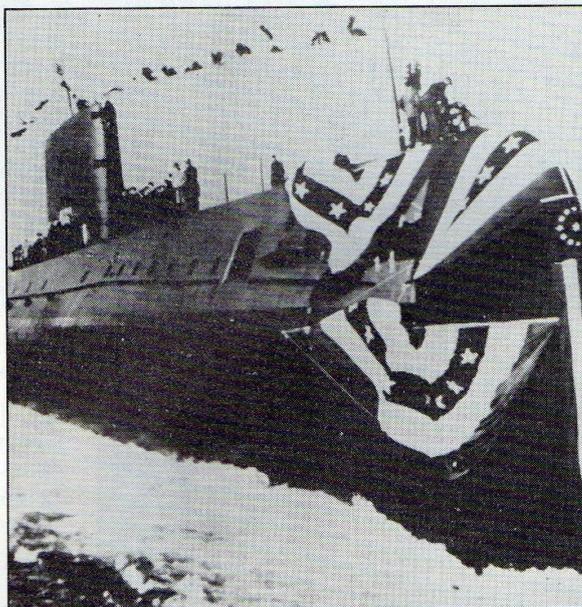
Ces chiffres qui prouvent, si besoin était, que la propulsion nucléaire n'est plus un phénomène marginal, doivent être assortis de trois constatations :

- les quatre cents navires nucléaires sont, à l'exception de huit d'entre eux, des navires militaires ;
- ce sont essentiellement des sous-marins ; on ne compte que vingt-six navires de surface (dont les huit « civils » mentionnés ci-dessus) ;
- tous les réacteurs en service connus sont du type à eau sous pression.

## Echec de la propulsion nucléaire civile

Dans les années soixante, un certain engouement était apparu pour la propulsion nucléaire des navires marchands.

22 janvier 1954 - Le *Nautilus*, premier sous-marin mû par une propulsion nucléaire est lancé en présence de Mme Eisenhower. C'est le début d'une nouvelle ère pour les marines militaires. L'intérêt du nucléaire pour les navires marchands sera bien moindre puisque sur les 400 navires à propulsion nucléaire construits depuis cette date, huit seulement sont « civils ». (photo AFP).



C'est ainsi que deux « démonstrateurs », le *Savannah*, cargo mixte américain de 10 000 tonnes de port en lourd et l'*Otto Hahn*, minéralier allemand de capacité équivalente furent mis en service respectivement en 1962 et 1968. Les navires de série qui devaient leur succéder dorment toujours dans les cartons des architectes navals. L'absence de réglementation internationale garantissant le libre accès aux ports marchands, la nécessité d'avoir un état du pavillon responsable (alors que les pavillons de complaisance prenaient une part croissante du tonnage de la flotte mondiale), les surcoûts de réalisation et d'exploitation liés aux sujétions du nucléaire découragèrent rapidement les investisseurs potentiels. Les crises du pétrole

La porte-barge *Sevmorput*, un des rares navires « civils » à propulsion nucléaire. (photo V. Nemirouski - APN)



## LA GENÈSE



Le brise-glace Taymyr — L'URSS possède huit brise-glace nucléaires de trois types différents (photo Soviet Shipping).

si elles abaissent temporairement le seuil de rentabilité économique, provoquent un ralentissement de l'économie et fissent apparaître une surcapacité dans le transport maritime.

Une seule application de la propulsion nucléaire civile survécit à ce naufrage : le brise-glace à propulsion nucléaire. Pour ce type de navire qui peut être isolé du reste du monde par la banquise pendant de longues périodes, disposer d'une source d'énergie quasi illimitée est essentiel.

On peut toutefois difficilement qualifier de totalement « civils » les six brise-glace exploités par l'Union Soviétique. L'URSS vient également de mettre en service un porte-barges à propulsion nucléaire destiné à ravitailler, malgré la glace, la Sibérie.

Enfin, le dernier navire civil, le *Mutsu* navire expérimental japonais, dont la construction remonte à près de vingt ans, vient de commencer ses essais à la mer ! A la suite d'une première défaillance, le gouvernement japonais avait en effet dû, sous la pression de son opinion publique, placer le navire sous scellés, et n'a obtenu que tout récemment la liberté

de reprendre les essais. On peut penser que la durée de vie opérationnelle de ce navire, déjà obsolète avant d'avoir démarré, sera brève. C'est toutefois le

signe d'un (léger) maintien d'intérêt pour la propulsion nucléaire, dans un pays très dépendant de la mer et investissant volontiers sur le long terme.

Le *Mutsu*, navire civil expérimental japonais dont la construction remonte à près de 20 ans, vient de commencer ses essais à la mer ! Le *Mutsu* lors de son lancement (doc. PNC).



## La flotte nucléaire de surface

Si la propulsion nucléaire a permis de passer du sous-marin au sous-marin, justifiant ainsi l'effort considérable fait par les principales Marines sur ce type de propulsion, les avantages sont un peu moins déterminants pour le navire militaire de surface : les gains en autonomie et en disponibilité sont contrebalancés par le surcoût et le surpoids de l'appareil propulsif. Bien qu'il n'y ait pas de frontière nette séparant le domaine de la propulsion classique de celui de la propulsion nucléaire les Marines des USA, de l'URSS et de la France — les seules à développer la propulsion nucléaire de surface — ont réservé son application aux navires de fort tonnage : porte-avions et croiseurs (et encore pas tous pour ces derniers).

A noter une approche originale de l'URSS qui a adopté pour les croiseurs du type *Kirov* une propulsion mixte nucléaire-mazout, dans laquelle le nucléaire assure l'autonomie et une surchauffe de la vapeur au mazout permet quand c'est nécessaire de faire la pleine puissance.

## Le réacteur à eau sous pression

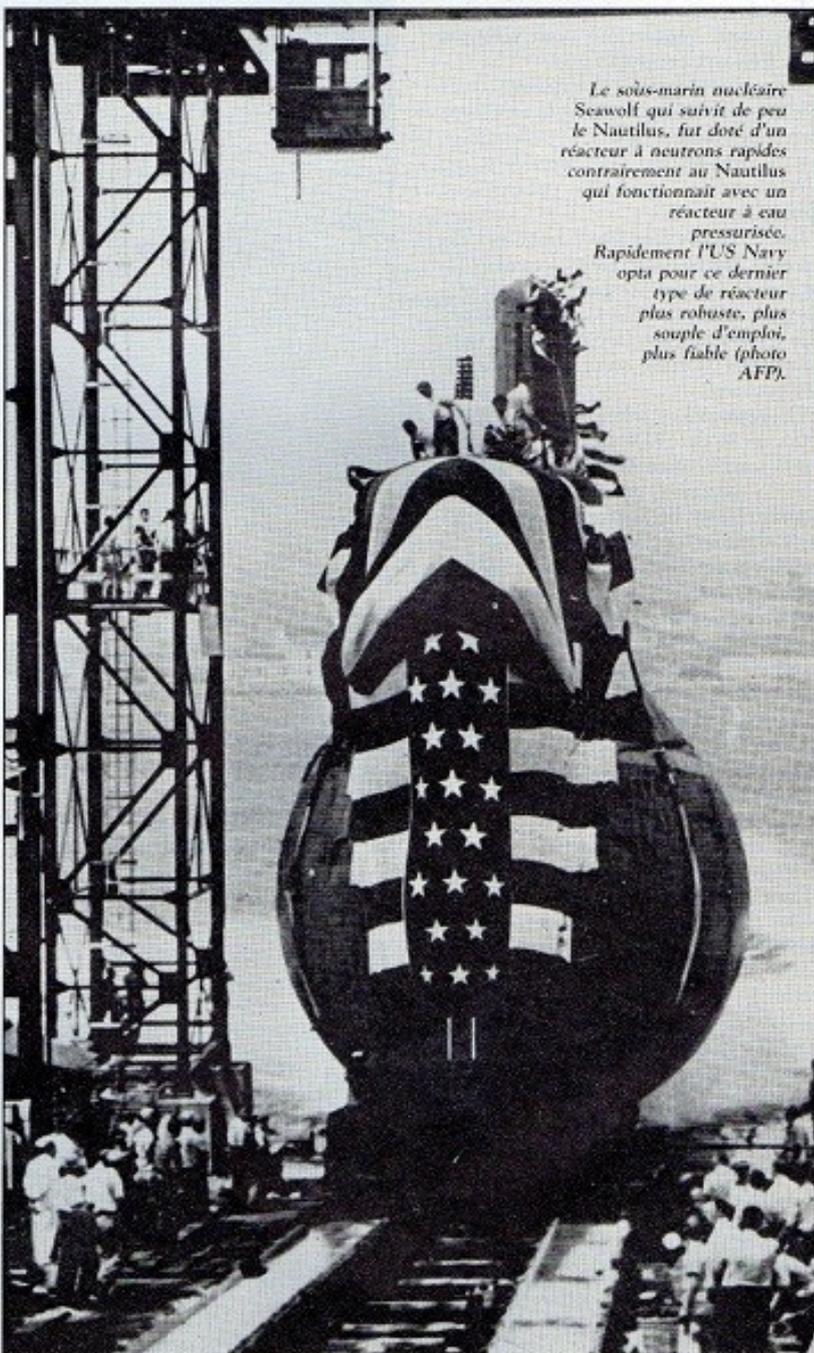
Embarquer une chaufferie nucléaire à bord d'un sous-marin nécessite que l'on ait fait un gros effort sur la compacité du réacteur. Parmi les nombreux types (ou filières) de réacteurs qui ont été étudiés, deux seulement présentent des caractéristiques qui les rendent attrayants pour la propulsion du sous-marin : le réacteur à neutrons rapides dont le cœur est refroidi par un métal liquide (en principe du sodium) et le réacteur à eau sous pression dans lequel l'eau sert à la fois à ralentir les neutrons pour faciliter la réaction en chaîne et à évacuer la puissance.

La Marine américaine, après avoir essayé en parallèle les deux systèmes (sur le *Nautilus* pour le réacteur à eau pressurisée et sur le *Seawolf* pour le réacteur à neutrons rapides), opta rapidement pour le réacteur à eau pressurisée plus robuste, plus souple d'emploi et plus fiable.

De bons ouvrages évoquent parfois l'emploi de réacteurs à neutrons rapides sur les sous-marins russes (*Alpha* et *Mike* en particulier). La vérité oblige à dire que nous ne savons que fort peu de choses sur les technologies employées par les Soviétiques et que s'il est vraisemblable que les Russes ont aussi testé plusieurs solutions de réacteurs embarqués, il n'y a en la matière aucune certitude.



Le porte-avions nucléaire *Enterprise* — La Marine des Etats-Unis met en œuvre sept porte-avions nucléaires et trois autres sont prévus d'ici à 1998 (photo G. Arra).



Le sous-marin nucléaire *Seawolf* qui suivit de peu le *Nautilus*, fut doté d'un réacteur à neutrons rapides contrairement au *Nautilus* qui fonctionnait avec un réacteur à eau pressurisée. Rapidement l'US Navy opta pour ce dernier type de réacteur plus robuste, plus souple d'emploi, plus fiable (photo AFP).

LA GENESE

PLONGEE Hors Série 70 — Compléments

## LA GENESE

Les réacteurs à eau pressurisée sont donc aujourd'hui employés de façon exclusive par les Marines américaine, anglaise (qui, rappelons-le, a fondé un programme de propulsion nucléaire sur l'achat et l'anglicisation d'un réacteur Westinghouse de sous-marin américain), chinoise et française ; cette dernière n'ayant pas eu accès à la technologie américaine a dû faire preuve d'imagination !

### Les réacteurs français

Les réacteurs français peuvent se classer en deux générations (voir schémas dans l'encart central) :

- la première est celle des réacteurs à boucles dont le modèle est le prototype à terre de Cadarache (PAT) ; elle équipe les six sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de la force océanique stratégique.

Les réacteurs sont dit « à boucles » car les principaux composants (cuve, générateurs de vapeur, pressuriseur) sont réunis par des tuyauteries formant des boucles dans lesquelles la circulation d'eau de réfrigération du cœur est forcée par des pompes.

On retrouve ce schéma dans les réacteurs civils de l'EDF qui ont été construits sous licence Westinghouse.

- La seconde génération est dite « compacte » ; en intégrant générateur de vapeur et couvercle de cuve on a gagné considérablement en encombrement, en poids, en discrétion acoustique (la pompe primaire, de faible puissance, n'est nécessaire qu'aux fortes allures) et en sûreté (la réfrigération du cœur peut être assurée en circulation naturelle).

Cette génération a eu pour précurseur la chaufferie avancée prototype (CAP) construite également à Cadarache. Des chaufferies de ce type équipent les sous-marins nucléaires d'attaque type *Rubis* qui - du fait de leur réacteur compact - sont les plus petits SNA en service au monde.

Des chaufferies de plus forte puissance mais également de type compact sont



Le SNLE L'Inflexible est propulsé par un réacteur de conception entièrement française appelé réacteur à boucle, la réfrigération du cœur étant assurée par une circulation d'eau forcée dans des tuyauteries en forme de boucle. (photo DTICN)

prévues pour équiper les SNLE de nouvelle génération type *Le Triomphant* et le porte-avions *Charles de Gaulle*.

Ce bref survol des réalisations en matière de navire à propulsion nucléaire montre que cette technologie a atteint aujourd'hui la maturité : toutefois son application reste très « ciblée » sur la propulsion des sous-marins et dans une moindre mesure celle des brise-glace et de quelques grands navires de combat.

Les nations qui maîtrisent la propulsion nucléaire continueront vraisemblablement à l'utiliser pour traiter les pro-

blèmes très spécifiques cités ci-dessus. D'autres nations à l'évidence sont désireuses de « joindre le club » : l'Inde, le Brésil affichent des programmes de sous-marins nucléaires soit en coopération, soit seul.

On peut néanmoins penser que le haut degré de technicité, la mobilisation des ressources humaines, l'importance des investissements qu'exige la réalisation d'un programme de propulsion nucléaire limiteront, pour de nombreuses années encore, le nombre de pays détenteurs de cette technologie. ■

Le SNA *Rubis* au large de Toulon. Il possède une chaufferie nucléaire de 2<sup>e</sup> génération dite « compacte ». (photo ECPA).



# Des responsabilités clairement définies

par M. Dupont de Dinechin,  
Directeur pour les questions de Défense au CEA

*Le 5 novembre 1990, livraison des enceintes de confinement du porte-avions Charles de Gaulle à l'établissement d'Indret de la DCN, en vue du montage des compartiments chaudière nucléaire. Les nouveaux équipements industriels permettent la livraison d'ensembles modulaires (appareils moteurs ou chaudières nucléaires) jusqu'à 1 000 t.*



**E**n France, depuis les premières études en 1958 jusqu'à nos jours, le mot qui caractérise le mieux la réalisation des navires à propulsion nucléaire est « intégration ».

Intégration du réacteur dans le navire qui est le but final mais aussi intégration des compétences dans une chaîne continue qui va des états-majors aux industriels en passant par la DGA (Mission Atome et Direction des constructions navales) et le CEA.

Intégration ne veut toutefois pas dire confusion des responsabilités ; celles-ci sont clairement définies :

- responsabilité de l'expression du besoin militaire et de l'exploitation des navires à l'EMM,
- responsabilité des études, de la réalisation, de la fabrication du combustible, des essais (et ultérieurement du démantèlement) des chaudières nucléaires au CEA,
- responsabilité de la conception des navires et de l'intégration de la chaudière dans le navire à la DCN.

Le CEA, établissement public, est ainsi directement associé à la maîtrise d'ouvrage de la propulsion nucléaire. Quant à la maîtrise d'œuvre industrielle, initialement assurée par son département de propulsion nucléaire, il la confie depuis 1974 à sa filiale Technicatome, qui exploite également les réacteurs prototypes de propulsion nucléaire dont le CEA dispose à Cadarache.

Les grosses capacités sous pression (cuve, générateur de vapeur, pressuriseur, etc.) sont fabriquées par l'Etablissement d'Indret de la DCN qui assure également le montage des circuits à bord.

L'intégration d'ensemble de la chaudière dans le navire est coordonnée par un Directeur de Programme de la DCN et par l'Etablissement de la DCN chargé de la construction.

Cette organisation qui peut sembler complexe est bien rodée et a le mérite appréciable d'avoir atteint les objectifs fixés.

LES GRANDS PROGRAMMES

# La situation actuelle de la propulsion navale nucléaire en France

par l'ICA Sevestre  
Chef du Bureau chaufferies nucléaire (BCN) de la DCN

La situation actuelle de la propulsion nucléaire en France est caractérisée par un niveau d'activité très élevé.

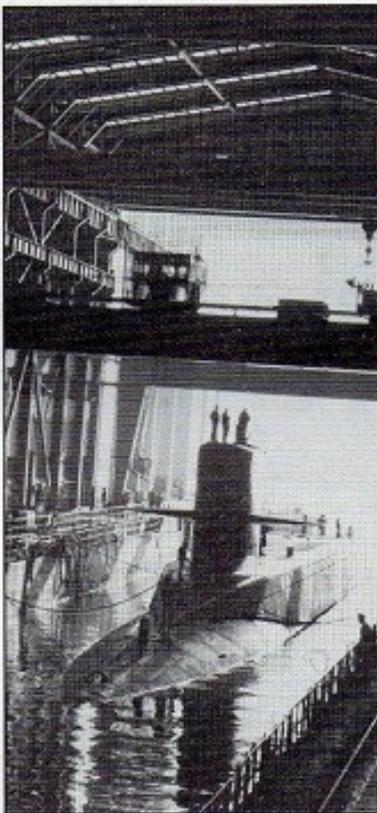
## 1990 - un niveau d'activité record

Dix sous-marins sont en service actif (6 SNLE type *Le Redoutable* et 4 SNA type *Rubis*). Le SNA *Améthyste* est en essais à la mer et trois SNA du même type sont en construction. Le SNLE *Le Triomphant* et le PA *Charles de Gaulle* sont en phase d'étude et de réalisation et la construction du SNLE *Le Téméraire* et des composants à longs délais de la chaufferie du SNLE NG n° 3 a commencé.

Simultanément, deux réacteurs d'essai sont en fonctionnement à Cadarache : le PAT (prototype à terre du *Redoutable*) avec une mission prioritaire de formation des équipages et le RNG (Réacteur Nouvelle Génération), avec une mission prioritaire de qualification des innovations introduites sur les chaufferies K15, équipant le SNLE *Le Triomphant* et le PA *Charles de Gaulle*.

Globalement, on se situe en 1990 à un niveau d'activité record avec 20 chauf-

Le niveau d'activité des sous-marins nucléaires est très élevé en France. Ici le SNLE *Le Terrible* s'appête à appareiller pour une patrouille, de la base de l'île Longue.



feries nucléaires en exploitation, construction ou conception, dont la moitié en service actif. Quelques aspects de cette activité sont abordés ci-après.

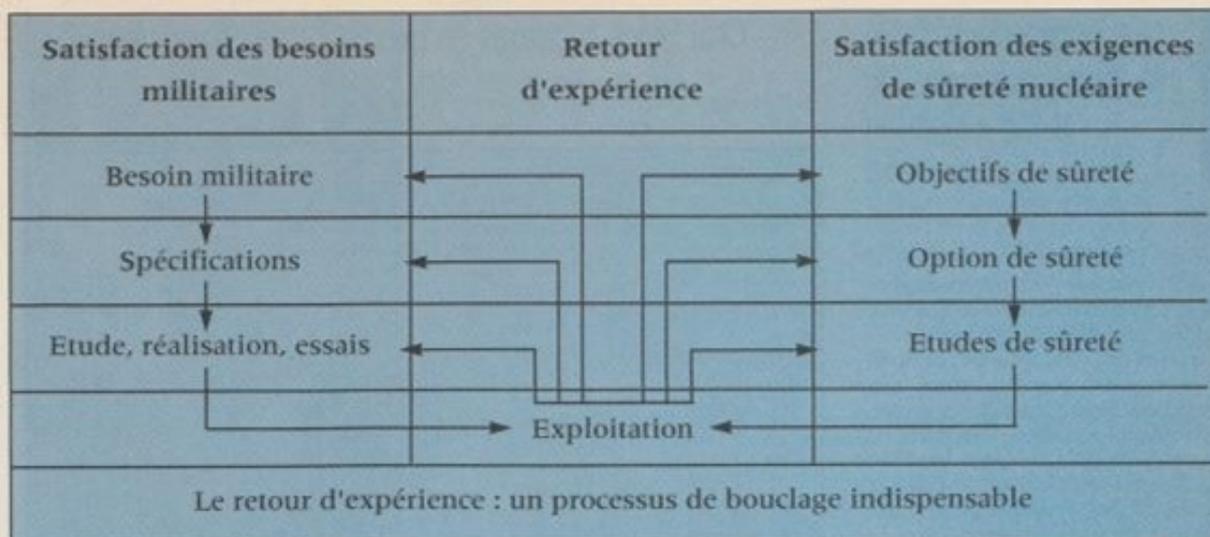
## Le retour d'expérience et son évolution qualitative et quantitative

Le « retour d'expérience » englobe tous les processus de recueil et de traitement des informations concernant le comportement et l'utilisation des matériels en service en vue de garantir la satisfaction simultanée des besoins militaires et des exigences de sûreté nucléaire. Ce processus de bouclage est indispensable, tant pour parfaire la définition ou les modalités d'emploi d'une série de navires au stade « évolutif », que pour orienter les études de conception des systèmes futurs (voir schéma).

Le retour d'expérience relatif à l'exploitation des chaufferies nucléaires a connu deux évolutions importantes conduisant à le structurer de manière beaucoup plus « lourde » :

- d'une part, l'augmentation du nombre de navires et la multiplication du nombre de sites de maintenance ne permettent plus de se reposer de manière fiable sur des structures légères au sein desquelles quelques ingénieurs et techniciens conservaient en mémoire la totalité de l'expérience acquise (l'expérience acquise atteint aujourd'hui environ 160 années x réacteurs dont 90 sur SNLE et 25 sur SNA) ;

- d'autre part, l'accident de la centrale électronucléaire américaine de Three Miles Island (TMI) a conduit l'ensemble des exploitants d'installations nucléaires et des autorités de sûreté des



pays occidentaux à accorder un poids très important au retour d'expérience dans le cadre des préoccupations des spécialistes de la sûreté nucléaire. Ceci a conduit, en ce qui nous concerne, à la création du GPRA (Groupe Permanent

de Réflexion et d'Analyse) faisant intervenir conjointement la Marine, la DCN et le CEA. Le but de ce groupe est d'analyser les incidents n'ayant pas eu de conséquences mais apparaissant riches d'enseignements afin de rechercher les

solutions permettant de réduire encore la probabilité d'événements plus graves susceptibles de résulter soit de la simultanéité d'incidents mineurs, soit de la coïncidence entre un incident mineur et une circonstance fortuite.

Vue aérienne des nouvelles installations de la DCN de Cherbourg (chantiers *Finmap*), destinées à assurer la construction des SNLE type Le Triomphant. (photo DCN/ICE)



## Le développement des chaufferies nucléaires K15 et leur intégration au navire

Le développement d'un projet de chaufferie nucléaire est un processus de longue durée fortement imbriqué avec celui des navires qu'il doit équiper.

Au cours de la décennie 70, de nombreuses esquisses de porte-aéronefs ont été étudiées faisant appel à des projets de chaufferies nucléaires originaux ou extrapolés de celle équipant les SNA type *Rubis*. Parallèlement, le CEA et Technicatome conduisaient des réflexions préliminaires sur le type de chaufferie susceptible d'équiper un éventuel SNLE futur ou un SNA futur de fort tonnage.

Au tout début des années 80, ces besoins latents ont convergé vers des esquisses de navires beaucoup plus précises :

- le projet de porte-avions s'est orienté vers un navire capable de catapulter des avions polyvalents de la classe 15 à 20 t en nombre suffisant (35 à 40 avions) et devant être développé et construit avec de strictes contraintes de devis global,

- la nécessité est apparue, pour garantir l'invulnérabilité à long terme de la composante navale de la force de dissuasion, de développer un SNLE de nouvelle génération capable d'échapper à toute menace adverse et d'emporter des engins de plus grandes dimensions.

Il est apparu alors la possibilité de développer une chaufferie unique satisfaisant ces deux besoins, permettant ainsi une forte économie de développements. Dans le cas du porte-avions, une analyse serrée des besoins a permis, en choisissant d'installer des catapultes de 75 m contre 50 pour le *Clemenceau*, de se satisfaire d'une vitesse modérée pour ce type de navire (27 nœuds). Ce choix a permis de limiter à deux le nombre de chaufferies embarquées (pour un maximum de quatre envisagées), réduisant ainsi notablement les coûts et permettant, à taille de navire égale, une augmentation significative de la capacité de ravitaillement.

Les particularités de l'intégration à chacun des deux types de navires sont principalement les suivantes :

- sur le SNLE type *Le Triomphant*, les objectifs très ambitieux de discrétion acoustique ont conduit à des développements spécifiques pour certains auxiliaires potentiellement bruyants, afin de réduire les bruits à la source et de minimiser leur transmission,

## Chaufferies nucléaires en service ou en construction

		Année de mise en service des chaufferies nucléaires	Expérience acquise fin 90 (en années)
REACTEURS D'ESSAI	PAT	1964	26
	CAP	1975	15
	RNG*	1989	1
* Réacteur obtenu par refonte de la CAP			
SNLE TYPE LE REDOUTABLE	LE REDOUTABLE	1989	21
	LE TERRIBLE	1971	19
	LE FOUROYANT	1973	17
	L'INDOMPTABLE	1975	15
	LE TONNANT	1979	11
	L'INFLEXIBLE	1984	6
SNA TYPE	RUBIS	1981	9
	SAPHIR	1983	7
	CASABIANCA	1986	4
	EMERAUDE	1987	3
	AMETHYSTE	1990	
RUBIS	PERLE	1992	
	TURQUOISE	1996	
	DIAMANT	1998	
SNLE TYPE LE TRIOMPHANT	LE TRIOMPHANT	1992	
	LE TEMERAIRE	1995	
	N° 3	1998	
PORTE-AVIONS	CHARLES DE GAULLE	1997	
		Total	154

- sur le PA *Charles de Gaulle*, l'environnement spécifique a conduit à retenir pour chaque chaufferie une enceinte de confinement indépendante de la coque, et à protéger celle-ci vis-à-vis des agressions éventuelles d'origine externe telle que l'abordage par un autre navire. La possibilité de procéder à l'entretien courant des chaufferies au cours de missions de longue durée et la nécessité d'utiliser le volume du hangar aviation comme atelier pour l'exécution des interventions majeures de maintenance au port-base ont nécessité également des études originales.

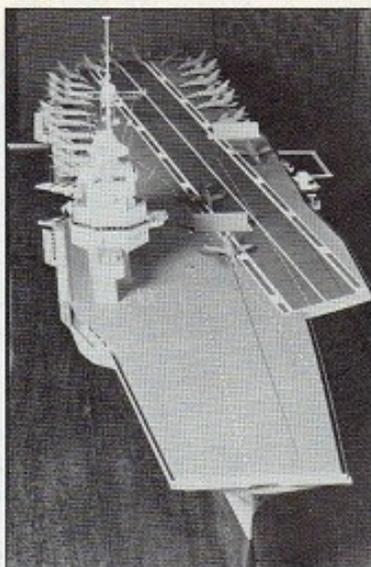
## Des infrastructures adaptées

La construction des bâtiments de fort tonnage que constituent le SNLE type *Le Triomphant* et le PA *Charles de Gaulle* ont nécessité le développement d'infrastructures adaptées.

Les investissements réalisés à la DCN Cherbourg permettent désormais la réalisation des sous-marins à l'horizontale et à couvert, et de prééquiper de manière importante les différents tronçons avant leur jonctionnement, permettant ainsi des gains de productivité importants. Les installations prévues permettront d'exécuter l'achèvement et les premiers essais du sous-marin dans son dispositif de mise à l'eau, évitant ainsi les contrain-

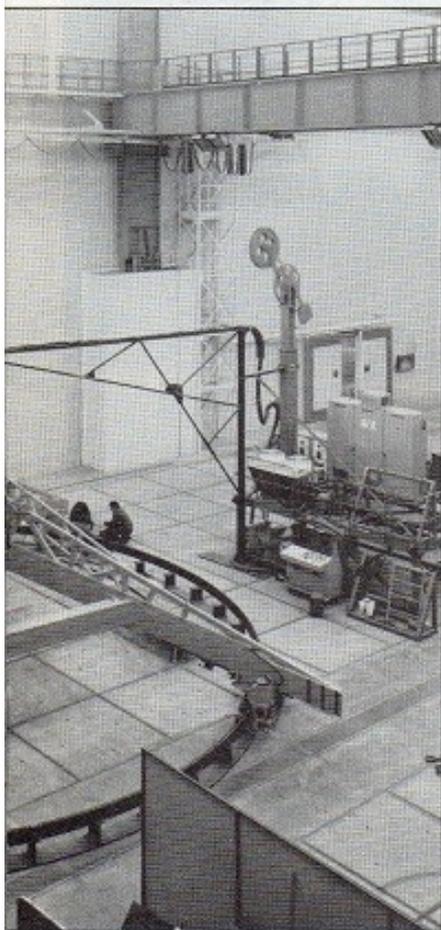
Vue intérieure du chantier





Maquette du P.A. Charles de Gaulle. Une analyse serrée des besoins a permis, en choisissant une catapulte de 75 mètres, de se satisfaire d'une vitesse de 27 nœuds, ce qui limite à deux le nombre de chaufferies embarquées. (photo Marine nationale).

Catman. (photo DCN)



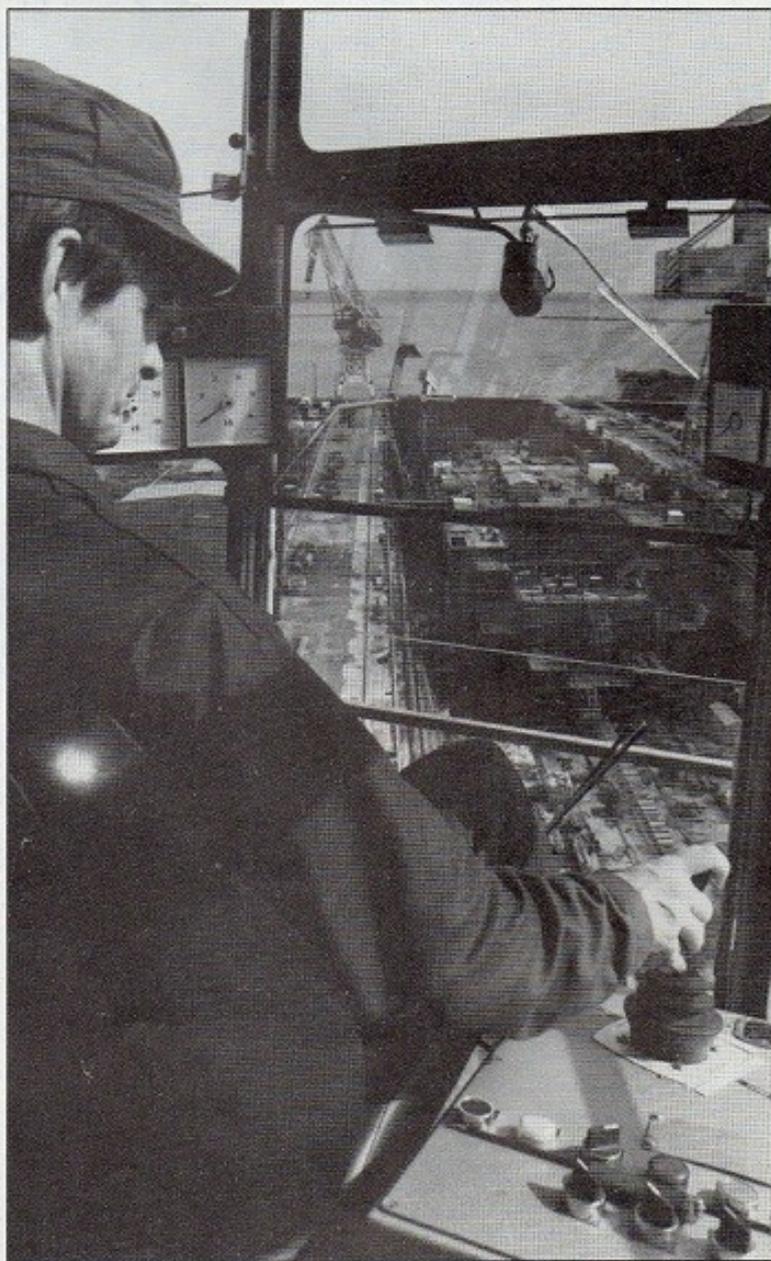
tes de transfert de, chantier autrefois nécessaires après lancement.

Dans le cas du porte-avions, le caractère exceptionnel de la construction de navires de surface à propulsion nucléaire et l'encombrement de la zone de construction ont conduit à retenir une option modulaire : l'atelier de montage des compartiments chaufferie a été construit à Indret, ce qui permettra son réemploi pour la réalisation ultérieure d'autres ensembles modulaires de grandes dimensions, et qui rendra possible l'exécution dans des ateliers implantés dans le han-

gar aviation, des travaux de retouche liés au raccordement des enceintes aux installations du navire.

Dans les ports-bases destinés à l'entretien de ces nouveaux bâtiments à propulsion nucléaire, les travaux d'adaptation des infrastructures de soutien sont également en phase d'étude ou de réalisation ; la masse des plus gros composants à manipuler pour les travaux d'entretien majeurs des chaufferies K15 est en effet approximativement doublée par rapport à celle des projets antérieurs de plus faible puissance. ■

Une construction modulaire permet de limiter l'encombrement du chantier de construction du porte-avions Charles de Gaulle dont on voit ici les premiers éléments assemblés à Brest. (photo DCN Brest).



LES GRANDS PROGRAMMES

## Caractéristiques des bâtiments de guerre à propulsion nucléaire

Pays	Type	Classe	Nombre	Année	Deplacement lege (surf.)	Deplacement pc (plongée)	Dimensions (m)	Reacteurs	Helices	Puissance (ch)	Vitesse
Etats Unis	PAN	Roosevelt	2 (+ 3)	1986-97	81 600	96 930	332 x 78 x 11	2 / A4W	4	280 000	> 30
	PAN	Nimitz	3	1975-82	81 600	93 700	327 x 78 x 11	2 / A4W	4	280 000	> 30
	PAN	Enterprise	1	1961	75 700	90 970	335 x 78 x 11	8 / A2W	4	280 000	33
	SNLE	Ohio	11 (+ 6)	1981	16 760	18 750	170 x 12 x 11	1 / S8G	1	60 000	25
	SNLE	Lafayette	23	1963-67	7 250	8 250	129 x 10 x 9	1 / SW5	1	15 000	25
	SNA	Seawolf	0 (+ 1)	1996	?	9 150	106 x 12 x 11	1 / S6W	1	60 000	35
	SNA	Los Angeles	44 (+ 18)	1976-96	6 080	6 930	109 x 10 x 9	1 / S6G	1	35 000	> 30
	SNA	Sturgeon	37	1967-75	4 460	4 960	92 x 9 x 8	1 / S5W	1	20 000	30
	SNA	Permit	9	1962-67	3 780	4 460	84 x 9 x 8	1 / S5W	1	15 000	30
	SNA	S. Houston	2	1962	6 930	7 860	124 x 10 x 9	1 / S5W	1	15 000	20
	CNLM	Virginia	4	1976-80	10 400	11 300	177 x 19 x 9	2 / D2G	2	70 000	> 30
	CNLM	California	2	1974-75	9 680	10 530	181 x 18 x 9	2 / D2G	2	70 000	> 30
CNLM	Truxtun	1	1967	8 000	8 800	171 x 17 x 9	2 / D2G	2	60 000	> 30	
CNLM	Bainbridge	1	1962	8 000	9 100	172 x 17 x 9	2 / D2G	2	60 000	> 30	
CNLM	Long Beach	1	1961	15 100	17 100	219 x 22 x 9	2 / E1W	2	80 000	30	
Union Soviétique	PAN	Ulyanovsk	0 (+ 2)	1996-98	?	75 000	?	?	?	?	?
	CNLM	Kirov	3 (+ 1)	1980-92	24 000	28 000	248 x 28 x 9	2	2	150 000	32
	BEMN	Kapusta	1	1988	32 000	41 100	265 x 23 x 9	2	4	98 000	27
	SNLE	Typhoon	6	1983-90	18 500	25 000	171 x 24 x 12	2	2	?	25
	SNLE	Delta IV	6 (+ 2)	1985-90	10 800	13 500	164 x 12 x 8	2	2	50 000	24
	SNLE	Delta III	14	1975-83	10 600	13 250	155 x 12 x 8	2	2	50 000	24
	SNLE	Delta II	4	1974-75	10 550	13 250	155 x 12 x 8	2	2	50 000	24
	SNLE	Delta I	18	1972-77	9 000	11 000	137 x 12 x 8	2	2	50 000	25
	SNLE	Yankee I	16	1967-74	7 900	10 000	130 x 12 x 9	2	2	45 000	27
	SNA	Oscar II	4 (+ ?)	1986...	13 000	16 000	154 x 18 x 10	2	2	90 000	33
	SNA	Oscar I	2	1982-84	11 500	13 900	146 x 18 x 10	2	2	80 000	33
	SNA	Papa	1	1970	6 400	8 000	109 x 12 x 9	2	2	75 000	39
	SNA	Charlie II	6	1973-82	4 300	5 500	103 x 10 x 8	1	1	30 000	26
	SNA	Charlie I	9	1968-73	4 000	4 900	94 x 10 x 7	1	1	30 000	27
	SNA	Echo II	29	1960-67	5 000	6 000	115 x 9 x 7	1	2	30 000	23
	SNA	Echo I	3	1960-67	4 600	5 400	114 x 9 x 6	1	2	25 000	25
	SNA	Yankee-mod	1 (+ ?)	≈ 1970	10 500	13 600	153 x 15 x 9	2	2	45 000	23
	SNA	Yankee-notch	3 (+ ?)	≈ 1970	6 300	10 400	142 x 14 x ?	2	2	45 000	?
	SNA	Alfa	5	1979-84	2 900	3 680	81 x 9 x 7	2	1	45 000	45
	SNA	Akula	5	1984-90	6 800	8 300	108 x 12 x 7	1 ou 2	1	45 000	35
SNA	Sierra	3	1984-90	6 300	7 800	110 x 12 x 7	2	1	40 000	35	
SNA	Victor III	24	1978-90	4 900	6 000	106 x 11 x 7	1	1	30 000	29	
SNA	Victor II	7	1972-78	4 500	5 900	102 x 11 x 7	1	1	30 000	30	
SNA	Victor I	16	1968-75	4 300	5 100	95 x 10 x 7	2	1	30 000	30	
SNA	November	9	1959-64	4 500	5 400	110 x 9 x 7	1	2	30 000	30	
Grande Bretagne	SNLE	Vanguard	0 (+ 4)	1992-97	?	15 850	149 x 12 x 10	1 / PWR2	1	22 500	25
	SNLE	Resolution	4	1967-69	7 500	8 400	129 x 10 x 9	1 / PWR1	1	15 000	25
	SNA	Trafalgar	7	1983-91	4 700	5 200	85 x 9 x 8	1 / PWR1	1	15 000	30
	SNA	Swiftsure	6	1973-81	4 000	4 500	82 x 9 x 8	1 / PWR1	1	15 000	28
	SNA	Valiant	5	1966-71	4 200	4 900	86 x 10 x 8	1 / PWR1	1	15 000	28
France	PAN	De Gaulle	0 (+ 1)	1998	33 500	36 000	261 x 64 x 8	2 / K15	2	83 000	27
	SNLE	Le Triomphant	0 (+ 6)	1994...	12 700	14 200	138 x 12 x 12	1 / K15	1	41 500	25
	SNLE	Le Redoutable	6	1971-80	8 000	9 000	128 x 10 x 10	1	1	16 000	> 20
	SNA	Rubis	4 (+ 4)	1983-99	2 400	2 660	73 x 7 x 6	1	1	9 500	25
Chine Populaire	SNLE	Xia	2 (+ 1)	1986...	?	7 000	120 x 10 x ?	1	1	?	20
	SNA	Han	4 (+ 1)	1974...	?	4 500	90 x 8 x ?	1	1	?	25

Sous-marin nucléaire d'attaque soviétique de la classe Victor II, dont 7 exemplaires ont été construits de 1972 à 1978. (photo B. Prévelin)



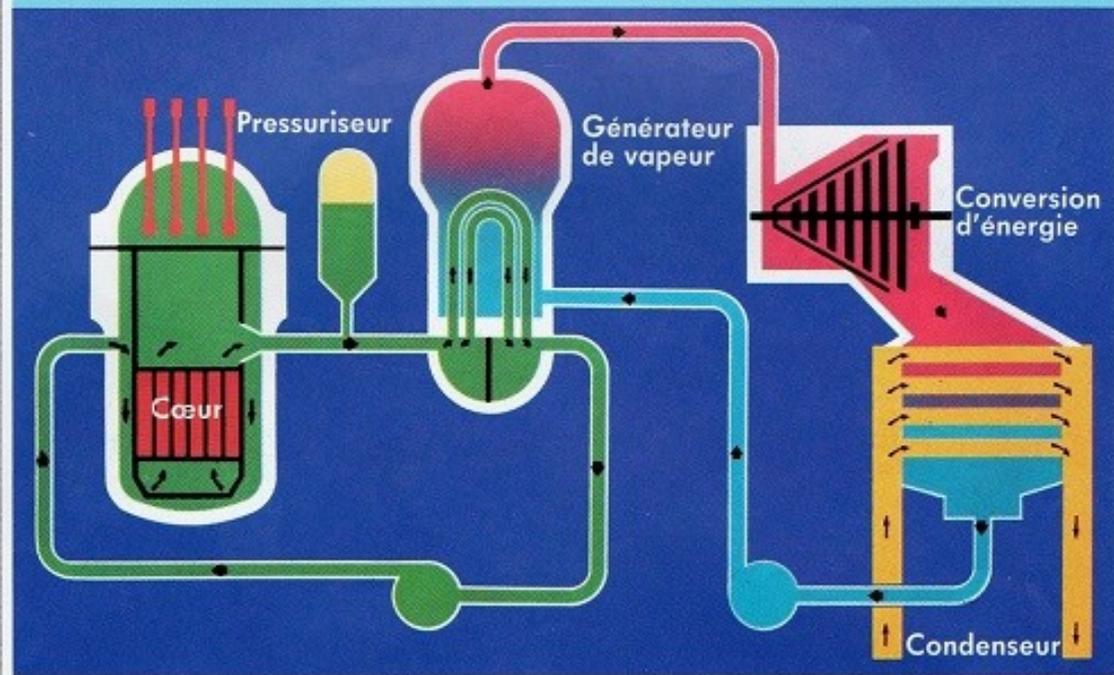
Signification des sigles		
Sigle français	Signification	Sigle OTAN
BEMN	Bâtiment d'essais et de mesures nucléaires	AGEN
CNLM	Croiseur nucléaire lance-missiles	CGN
PAN	Porte-avions nucléaire	CVN
SNA	Sous-marin nucléaire d'attaque	SSN ou SSGN
SNLE	Sous-marin nucléaire lanceur d'engins	SSBN

Le croiseur nucléaire Kirov, un des bâtiments les plus grands de la Marine soviétique (28 000 t à pleine charge).

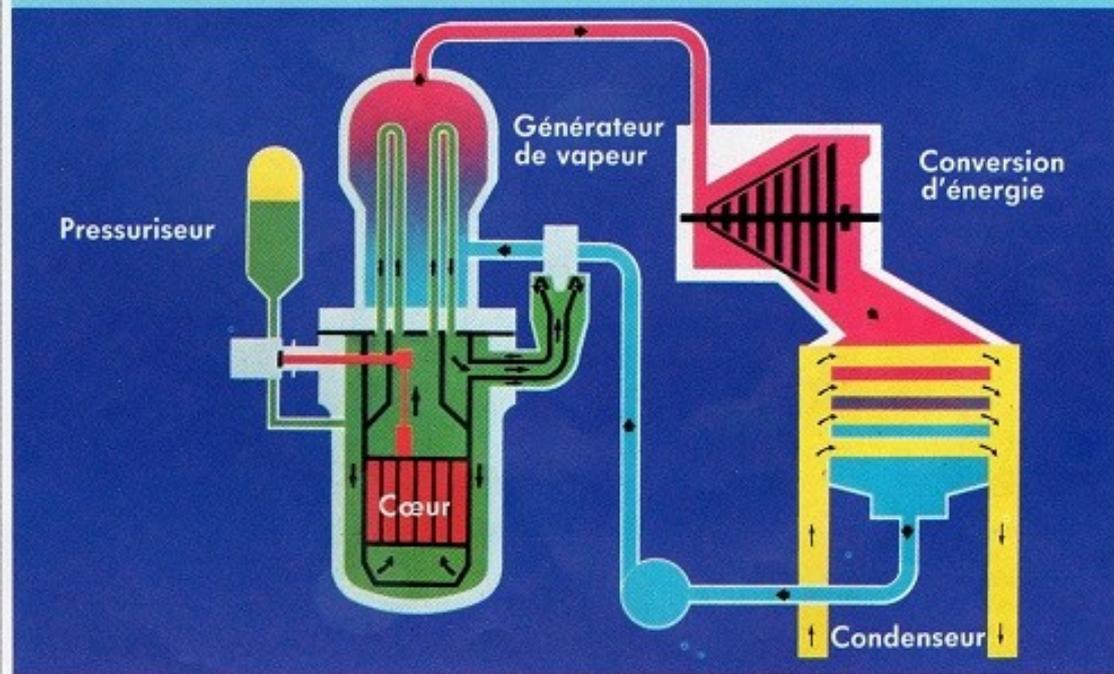


## LES REACTEURS DE PROPULSION NAVALE

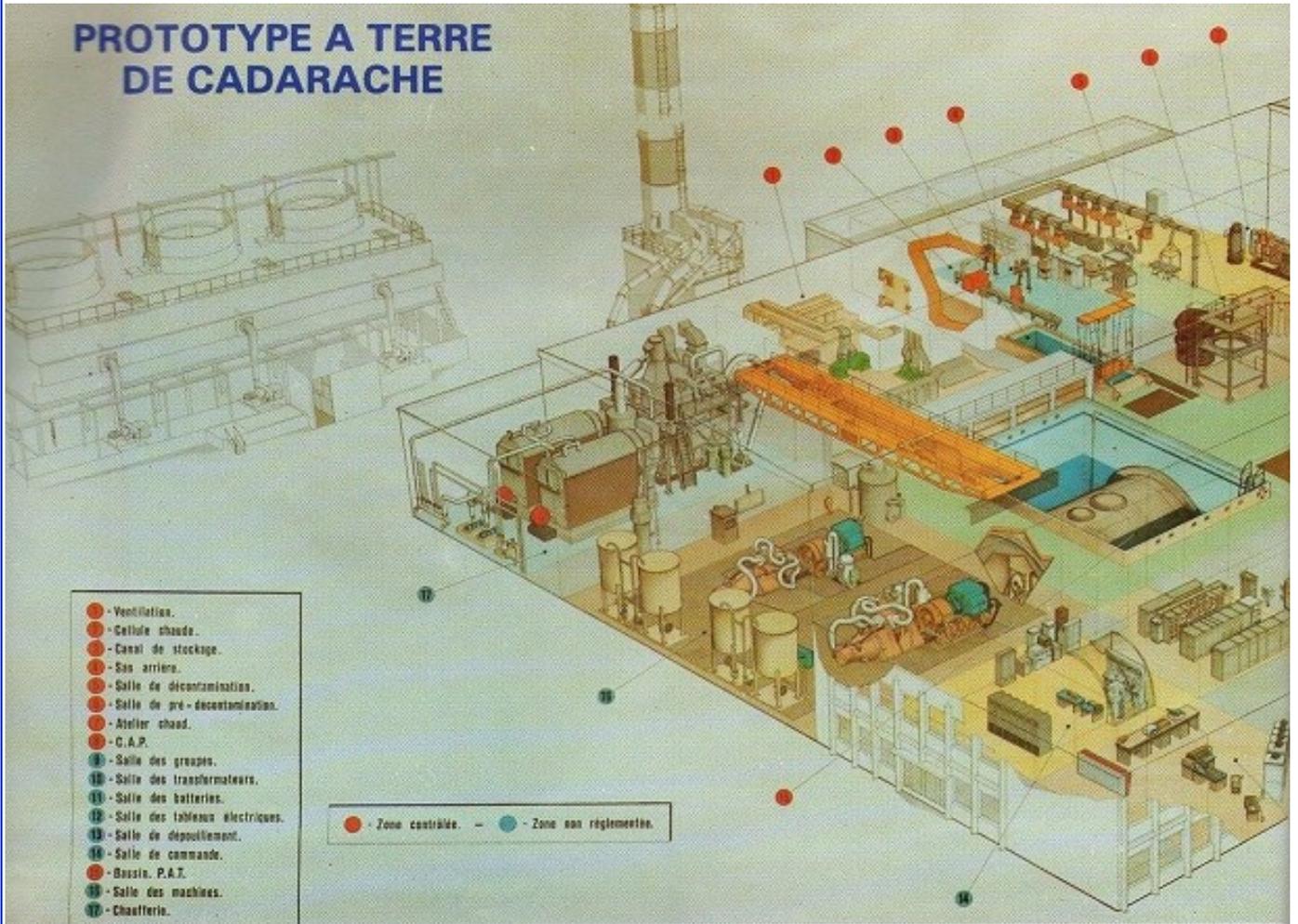
### 1<sup>re</sup> Génération : Les réacteurs à boucles



### 2<sup>e</sup> Génération : Les réacteurs compacts



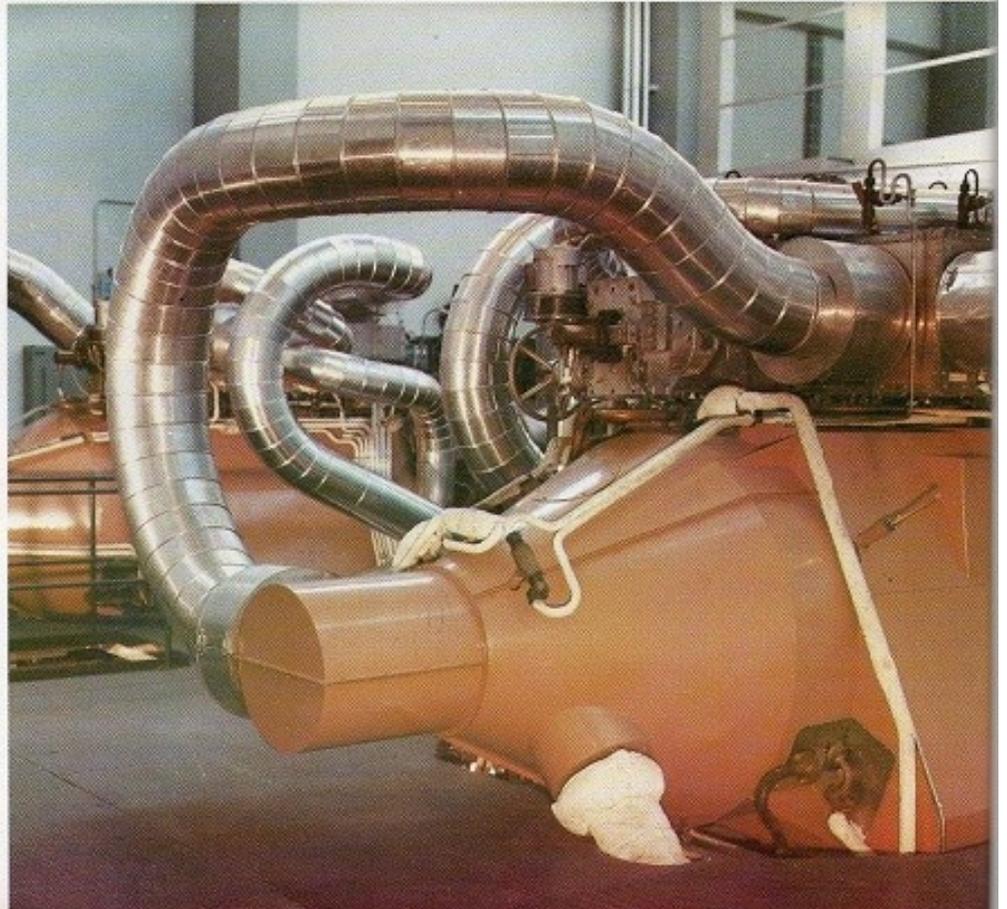
## PROTOTYPE A TERRE DE CADARACHE

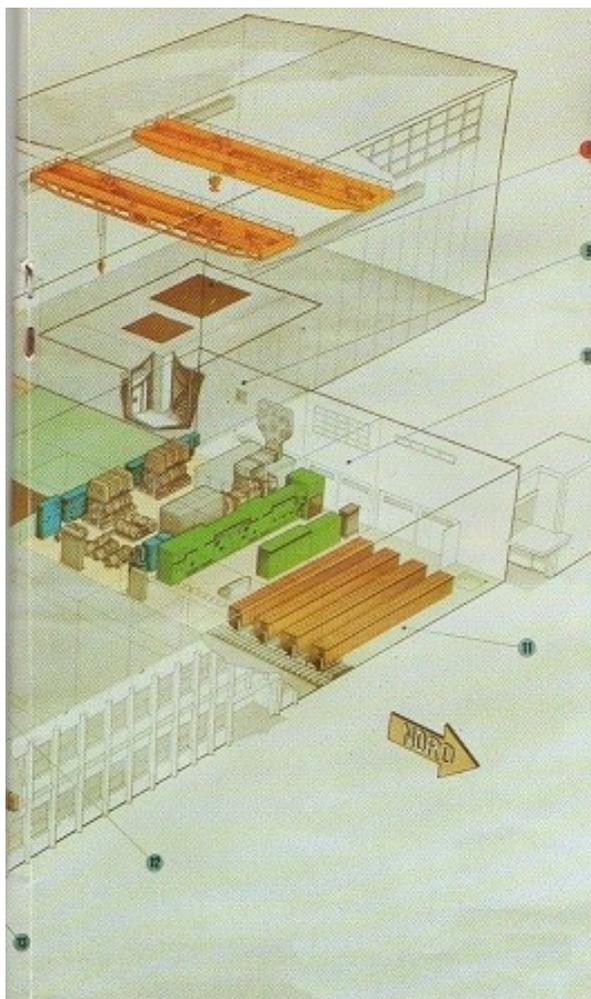


(photo CEN Ca)

### L'EXPLOITATION DE LA VAPEUR

Le cheminement tourmenté des tuyautages de vapeur alimentant les turbo-alternateurs est le même que dans le compartiment « machines » du sous-marin.





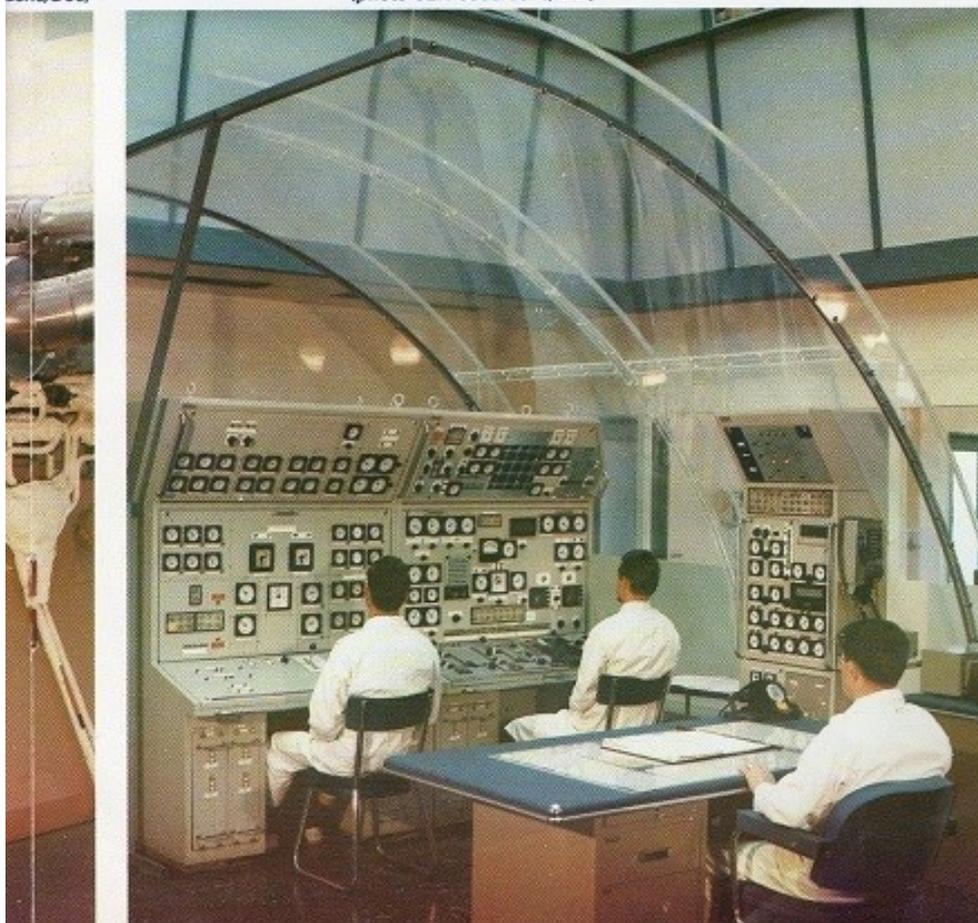
#### LE COMPARTIMENT REACTEUR - ECHANGEUR (CRE)

La tranche « compartiment réacteur-échangeur » type *Le Redoutable* dans son environnement.



ache/Doc)

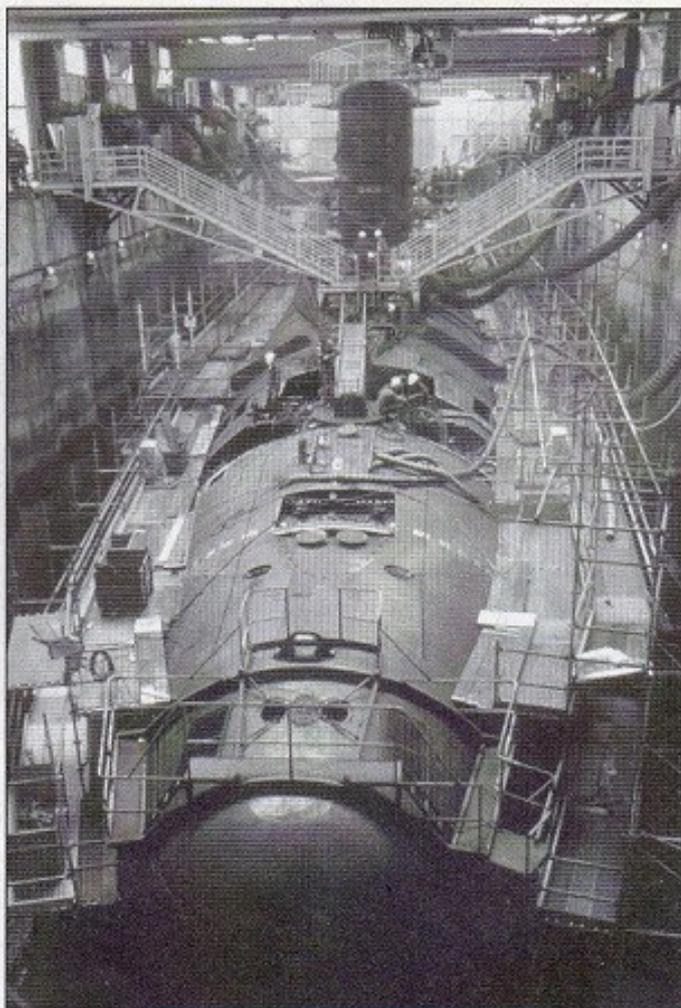
(photo CEN Cadarache/Doc)



#### LE POSTE CENTRAL PROPULSION

La disposition des pupitres est conforme à celle adoptée sur le sous-marin réel. La coque épaisse est ici matérialisée par une cloison cylindrique en plexiglas.

## LA SURETE NUCLEAIRE



Toutes les situations du bâtiment ont été, en matière de sûreté nucléaire, l'objet d'une réflexion approfondie. Ici L'Indomptable en Ipet au bassin 10 à la DCN de Brest (photo R. Cosquéric).

# La sûreté nucléaire

par le CV Geeraert  
 Chef du Bureau "Sécurité techniques avancées"  
 Etat-major de la Marine

Un bâtiment à propulsion nucléaire est un navire dont l'efficacité opérationnelle est considérablement plus grande que celle de son homologue à propulsion classique mais au prix d'une architecture navale spécifique.

D'un côté, la fiabilité de fonctionnement d'un réacteur nucléaire participe à la sécurité du navire. Réciproquement, la fiabilité et la sécurité du navire conditionnent de façon importante la sûreté des chaufferies nucléaires embarquées.

Comme pour les centrales nucléaires à terre, les préoccupations de sûreté pour les chaufferies embarquées sont prises en compte très en amont des études de conception et assurément pendant leur réalisation, leur mise en service, leur exploitation (conduite et maintenance) et aussi leur déclassement.

Les différentes situations du bâtiment sont étudiées : en mer, au mouillage ou en période d'entretien. Ainsi, les « systèmes » que représentent la chaufferie, le navire, l'environnement industriel pendant les périodes d'entretien et, enfin, la mer, ont des interactions qu'il



Le croiseur nucléaire Arkansas de la classe Virginia de la Marine des Etats-Unis. (photo Pradigrac).



Le brise-glace nucléaire Rossiya, classe Arktika, le plus puissant des brise-glace soviétiques avec 75 000 ch. (photo Marine nationale).

### Accidents ou incidents des bâtiments à propulsion nucléaire

#### A) Etats-Unis :

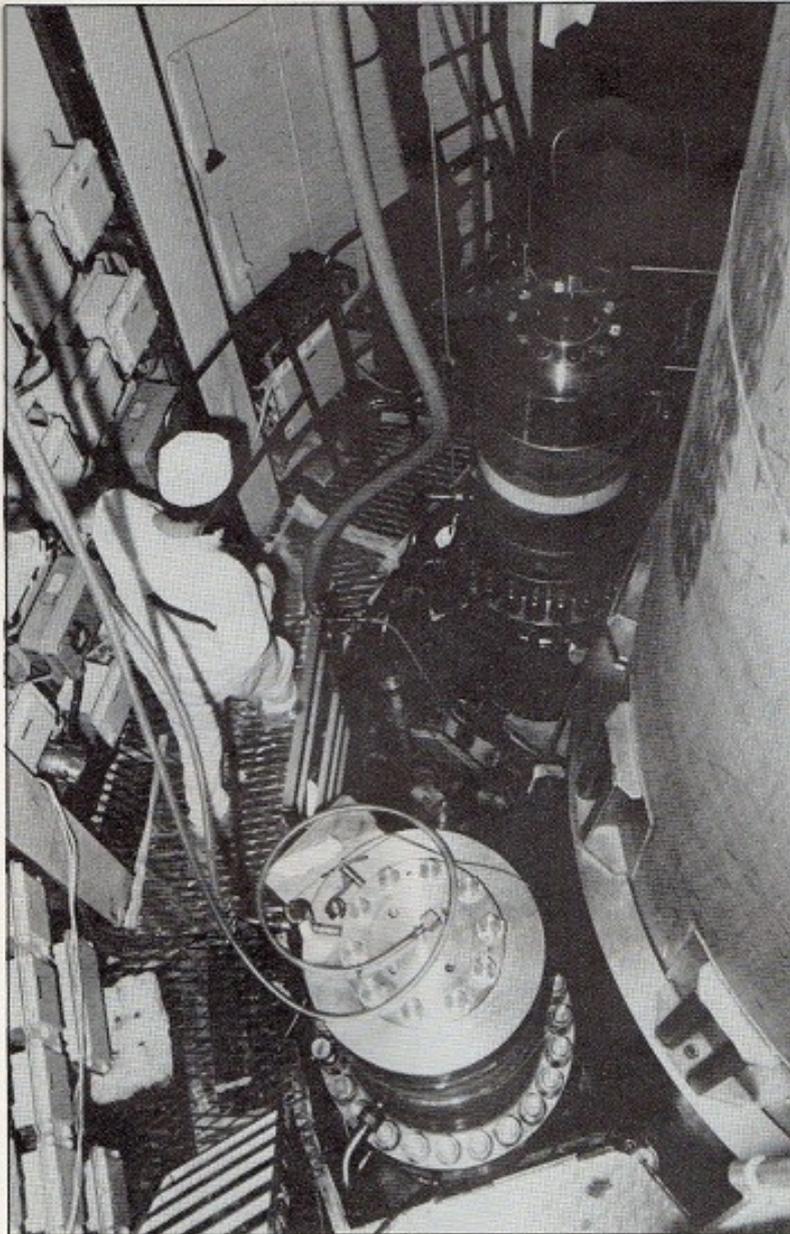
- SNA *Thresher* perdu corps et biens le 10/04/63 (classe Permit) pendant essais après grand carénage. Cause vraisemblable : défaillance d'un circuit d'eau de mer (brasures argent).
- SNA *Scorpion* perdu corps et biens le 27/05/68 (classe Skipjack). En opérations. Cause inconnue.

#### B) URSS :

- = SNA type *November* coulé en 4/70.
- SNA type *Echo I* gravement endommagé suite à incendie en 8/80 ; bâtiment vraisemblablement radié.
- SNA type *Charlie I* coulé en 6/83 (cause inconnue ; renfloué mais irréparable, a été radié).
- SNLE type *Yankee I* coulé le 6/10/86 suite à explosion d'un missile SS-N-6. Equipage sauvé.
- SNA type *Mike* coulé le 7/4/89 suite à incendie non maîtrisé (42 disparus). Perte très grave pour la marine soviétique car bâtiment expérimental à hautes performances (très rapide, très profond, très silencieux).
- SNA type *Echo II* gravement endommagé le 26/6/89 par incendie suite à défaillance du circuit de refroidissement du réacteur ; équipage sauvé ; bâtiment vraisemblablement radié.

### Caractéristiques des navires à propulsion nucléaire non militaires

Pays	Nom	Type	Année	Déplacement	Dimensions	Réacteur	Puiss.	V	Observations
E-U	Savannah	Cargo mixte	1962	22 000 tpc	182 x 24 x 9	1	20 000 ch	21	Désarmé depuis plusieurs années
Allemagne	Otto Hahn	Cargo	1968	26 000 tpc	172 x 23 x 9	1	10 000 ch	16	Vendu après remotorisation (diesels) à un autre armement
Japon	Mutsu	Cargo	1972	11 000 tpc	120 x 20 x 8	1	10 000 ch	16	Désarmé dès l'origine (problèmes techniques). Remis en service en 90. Actuellement en essais.
URSS	Sevmorput	Porte-barge	1989	61 000 tpc	260,3 x 32,2 x 11,7	1 (eau pressurisée)	39 500 ch	20	Coque renforcée pour navigation dans les glaces
	Taymir Vaygach	Brise-glace	1988-89	20 480 (23 460 pc)	140,2 x 30 x 8,05	2	52 000 ch	20	Un 3 <sup>e</sup> est prévu
	Arktika Sibir Rossiya Sovetskiy Soyuz Oktyabrskaya Revolutsiya	Brise-glace	1974-82	19 300 (23 460 pc)	148 x 30 x 11	2	75 000 ch	21	
	Lenin	Brise-glace	1959	15 940 (19 240 pc)	134 x 26,8 x 10,5	2	39 800 ch	19	Désarmé en 1990



Le cœur du réacteur nucléaire est situé au-dessous du niveau des pompes de circulation du circuit primaire visibles sur ce cliché. (photo Technicatome)

à la présence du réacteur nucléaire, il a été défini quatre lignes principales de défense :

- la prévention et la surveillance,
- la protection du réacteur,
- la sauvegarde du réacteur,
- enfin, les procédures ultimes.

Les fonctions de sûreté de toute chaufferie nucléaire permettent de contrôler la réactivité du cœur, d'évacuer l'énergie du combustible et de confiner les produits radioactifs.

Ces fonctions doivent être assurées simultanément et en toutes circonstances. Des exigences draconiennes sont fixées lors des phases de conception, de fabrication et d'utilisation des matériels : le programme assurance-qualité permet de suivre le respect de ces exigences.

### ■ Le facteur humain

Dans le domaine de la sûreté, il est un aspect qu'on ne peut en aucun cas négliger, c'est le facteur humain.

Sur un bâtiment à propulsion nucléaire, la formation traditionnelle de spécialité complétée par un apprentissage « sur le tas » ne peut être suffisante. Le personnel ayant des responsabilités dans la conduite des installations nucléaires reçoit une formation particulière orientée sur l'emploi qu'il aura à tenir à bord. Ceci est vrai du commandant aux opérateurs.

L'École des applications militaires de l'énergie atomique de Cherbourg est chargée de l'enseignement théorique nécessaire à la compréhension des phénomènes physiques mis en jeu par le fonctionnement du réacteur. Elle fait appel à de nombreux professeurs ou conférenciers civils et militaires de qualité et dispense, entre autres, un enseignement d'ingénieur en génie atomique. Ce diplôme est attribué par l'Institut national des sciences et techniques nucléaires.

convient d'analyser en termes de prestations mais aussi d'agressions potentielles.

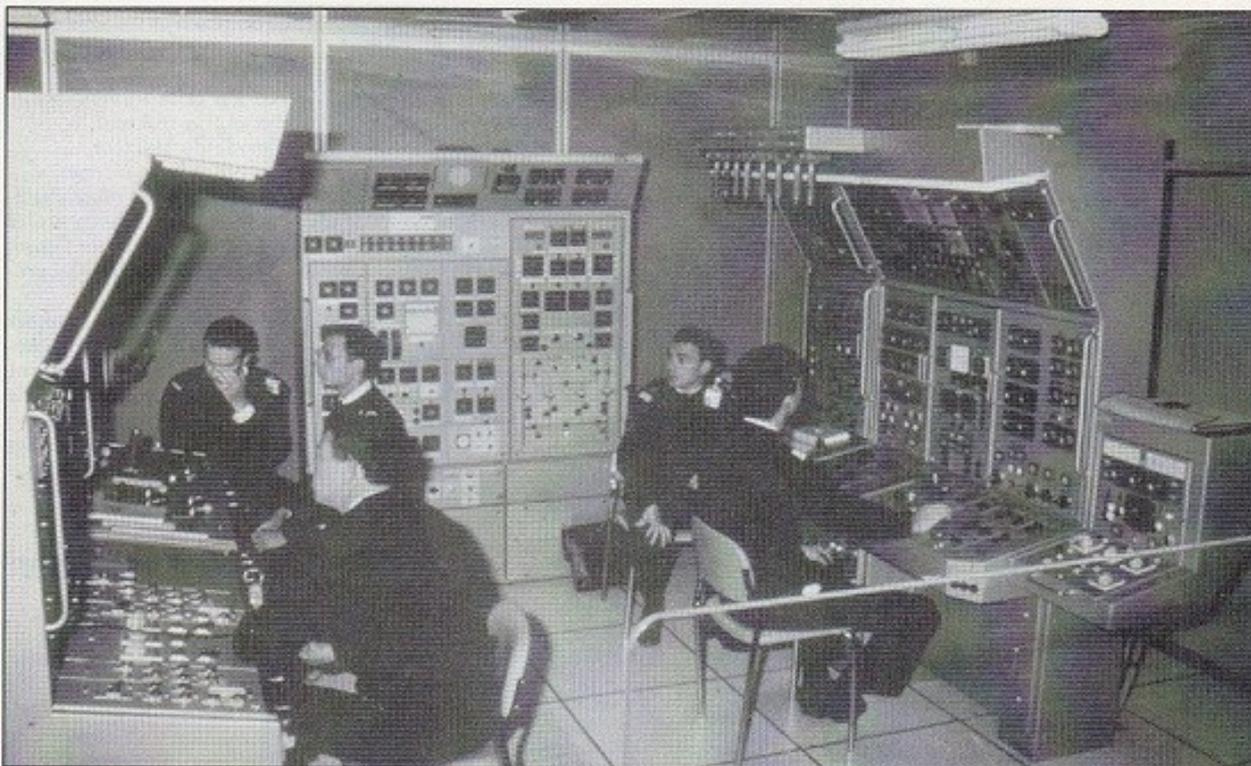
La sûreté nucléaire a pour objectifs d'identifier les incidents et accidents possibles, de calculer leurs probabilités d'occurrence et d'étudier leurs conséquences de façon à définir des parades efficaces.

### ■ La défense en profondeur

Les instances de sûreté s'appuient sur le concept de défense en profondeur. Ceci signifie que vis-à-vis des risques liés



Le personnel d'un bâtiment à propulsion nucléaire reçoit une formation spécifique qui lui est fournie dans des centres d'entraînement et d'instruction propres au type du bâtiment. A l'ENSM/SNA de Toulon un moniteur suit le déroulement de l'entraînement. (photo CEPSM)



*Le recours au simulateur est systématiquement pratiqué pour former et entraîner le personnel. Cette pratique permet de tester la réaction des opérateurs sur des manifestations de pannes qui ne pourraient pas être jouées sur un réacteur nucléaire en fonction. La photo présente le simulateur d'un poste central propulsion de SNLE.*

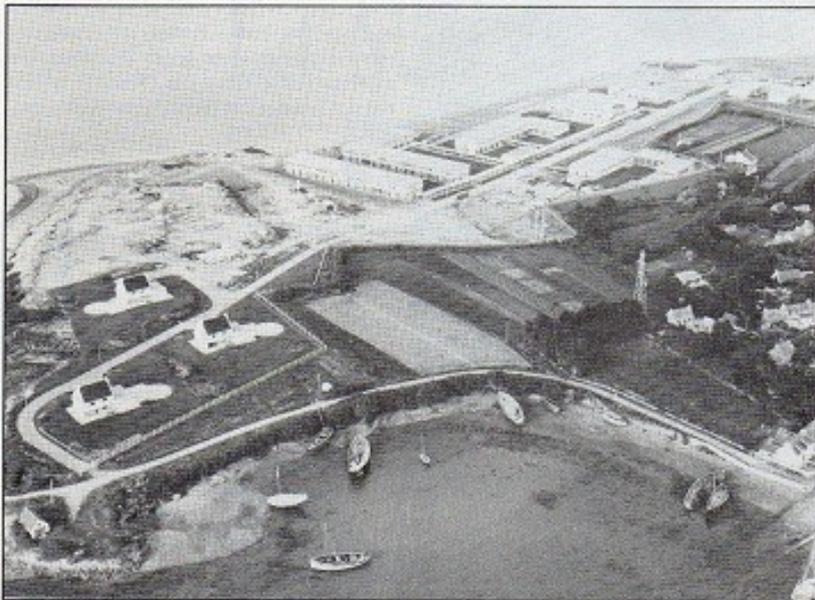
A l'issue de cette formation théorique, un stage sur le prototype à terre de Cadarache permet aux ingénieurs et aux officiers marins de se familiariser avec une installation nucléaire réelle. Une installation nucléaire ne permet cependant pas de former le personnel à réagir

à tous les incidents, il ne saurait en effet être question de faire fonctionner délibérément un réacteur dans des situations anormales. Aussi le recours aux simulateurs est-il systématiquement pratiqué au Centre d'entraînement et d'instruction des SNLE à Brest et à l'École de navi-

gation sous-marine pour les SNA à Toulon.

Ce sont les mêmes simulateurs, aussi proches que possible des installations réelles, qui sont utilisés pour l'entraînement des équipes de quart des bâtiments. Il ne suffit pas, en effet, que les opérateurs soient individuellement instruits et entraînés, il est tout aussi nécessaire que les équipes de quart constituées soient homogènes et habituées au travail en commun. Cette qualification des équipages doit être maintenue dans le temps. Aussi, la qualification du personnel est-elle contrôlée en cours d'affectation. Le « permis de conduire » des opérateurs et des équipes de quart est périodiquement renouvelé.

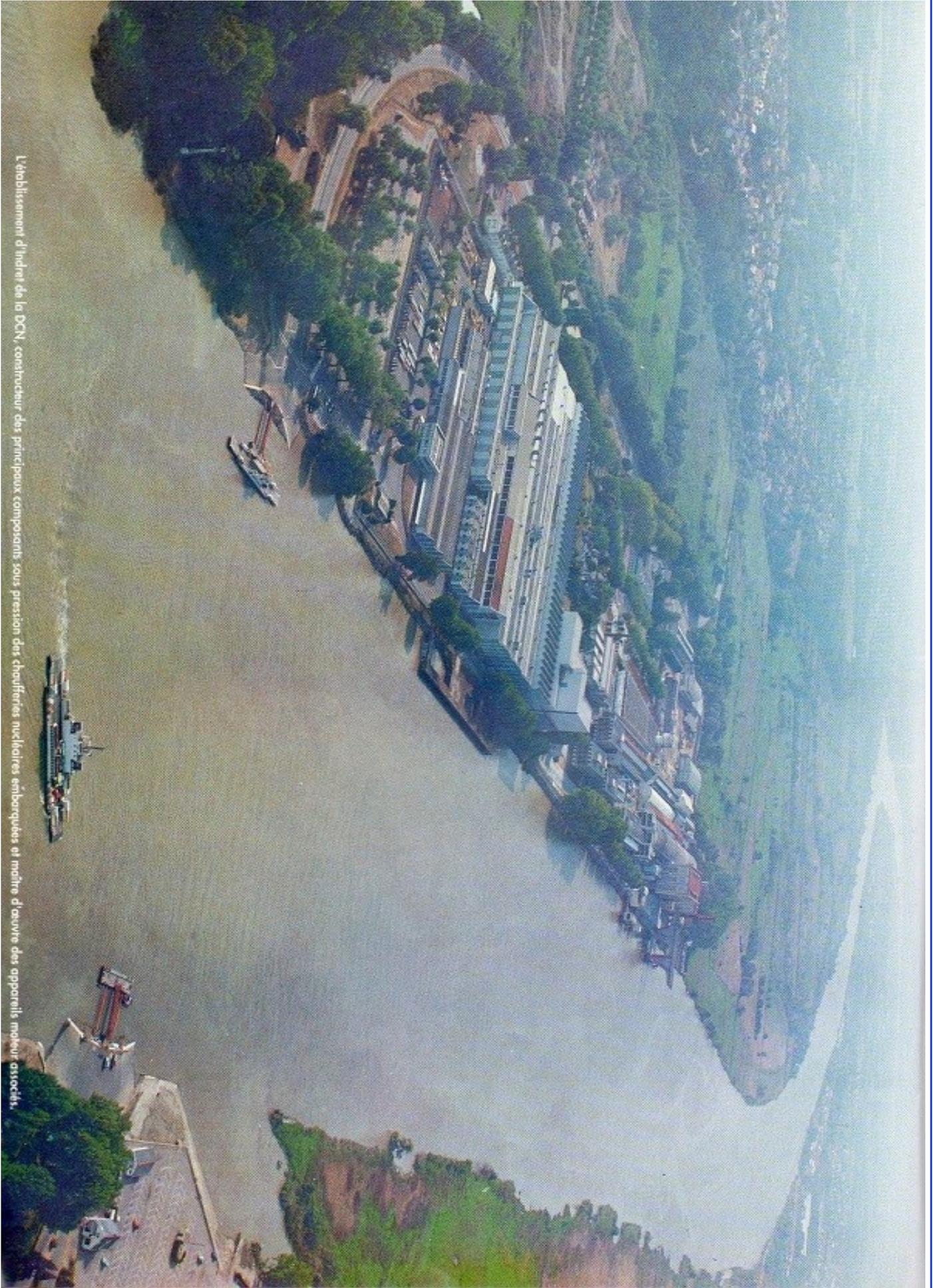
*Des études sur l'environnement permettent de garantir la sécurité des personnes et celle du milieu. Ici, une vue partielle du Centre vie de l'île Longue en cours de construction en 1971. (photo ECPA).*



## Protection de l'environnement

Les bâtiments militaires à propulsion nucléaire n'échappent pas à la règle commune. Concevoir un matériel de haute sécurité, le servir avec un personnel très qualifié et prévoir des installations de soutien conçues suivant les mêmes normes de qualité n'est pas encore jugé suffisant, car c'est de l'ins-

Cols Bleus n° 2105 15 décembre 1990



L'édification d'un tel projet de centrale nucléaire est soumise à des procédures très strictes et nécessite une expertise de haut niveau. Les autorités de sûreté nucléaire et les citoyens ont le droit de s'informer et de participer à la prise de décision.

tallation nucléaire et de son environnement qu'il s'agit de garantir la sécurité.

Des études « de site et d'impact » sont systématiquement entreprises par les préfets maritimes pour connaître et évaluer les interactions entre le réacteur et son environnement. Elles permettent d'identifier les dangers présentés par l'activité industrielle, aérienne, portuaire et maritime, vis-à-vis de chaque installation nucléaire au port-base ou en escale, pour prendre les mesures propres à s'en protéger et prévoir l'action des équipes d'intervention, la protection du personnel et l'information des autorités civiles et militaires. Toutes ces mesures sont complétées par une surveillance continue des sites dans lesquels sont implantées nos installations nucléaires. Des échantillons de faune et de flore sont prélevés périodiquement pour des analyses au cours desquelles est vérifiée l'absence de traces de radionucléides provenant de nos installations. C'est au groupe d'études atomiques de Cherbourg et aux sections de surveillance de sites des ports qu'il revient de prélever les algues et végétaux, de pêcher les crustacés et les poissons qui serviront à ces analyses.

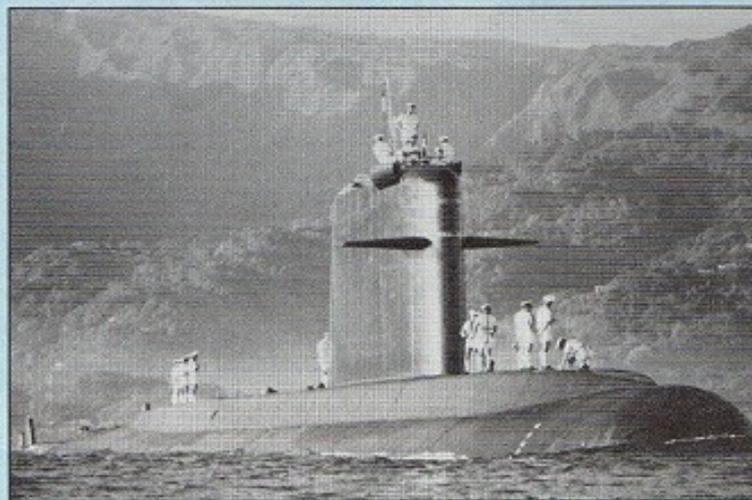
L'objectif est de vérifier l'efficacité des précautions prises et de garantir que le fonctionnement des installations n'a aucune incidence sur la santé des populations.

### Escales

Les escales des bâtiments à propulsion nucléaire obéissent à des règles particulières en raison de la nature du risque.

Dans un port français et au mouillage dans les eaux françaises, un bâtiment de guerre à propulsion nucléaire français obéit à des règles analogues à celles qui sont appliquées dans son port-base. Les ports d'escale et les zones de mouillage doivent faire l'objet d'études de site et d'impact préalables. Elles permettent de se prémunir des dangers présentés par l'environnement et de prévoir le cas des incidents en passant des accords avec les autorités civiles.

Dans les autres cas, qu'il s'agisse des escales de bâtiments français dans les ports étrangers ou de bâtiments étrangers dans les ports français, les précautions prises respectent les accords bilatéraux de gouvernement à gouvernement.



Lois de son tour du monde en 1986, le SNA Rubis fait escale à Papeete.  
(photo Marine Papeete)

### Déclassement des chaufferies nucléaires

Le déclassement des chaufferies nucléaires des bâtiments retirés du service actif demande une attention toute particulière. Actuellement deux Marines du monde occidental ont arrêté l'exploitation de navires nucléaires, les USA qui séparent la tranche chaufferie et qui stockent le « colis » conditionné sur le site de Hanford (Etat de Washington) et la Grande-Bretagne qui maintient en l'état le *Dreadnought* à quai à Rosyth avec des contraintes sévères de surveillance.

La France s'apprête à arrêter l'exploitation de son premier bâtiment à propulsion nucléaire. Le schéma de déclassement actuellement à l'étude comporte les phases suivantes :

- déchargement du cœur et mise en condition d'arrêt de longue durée de la chaufferie (arrêt froid, opération courante pour les grands carénages ou refonte),
- mise à l'arrêt définitif de la chaufferie et conditionnement de celle-ci permettant un contrôle régulier de la partie confinée et séparation de la tranche chaufferie du reste du bâtiment pour faciliter le stationnement de longue durée,
- démantèlement proprement dit de la chaufferie, opération pendant laquelle tous les matériaux, les équipements et les parties d'installation dont l'activité est restée significative sont évacués vers des lieux de stockages agréés. Cette dernière phase peut être entreprise plusieurs années après la réalisation des deux précédentes afin d'attendre la réduction naturelle d'activité de certains éléments.



Le SNLE Le Redoutable dont l'arrêt opérationnel prochain nécessitera des dispositions particulières concernant sa chaudière nucléaire : débarquement, démantèlement et stockage. (photo ECPA)

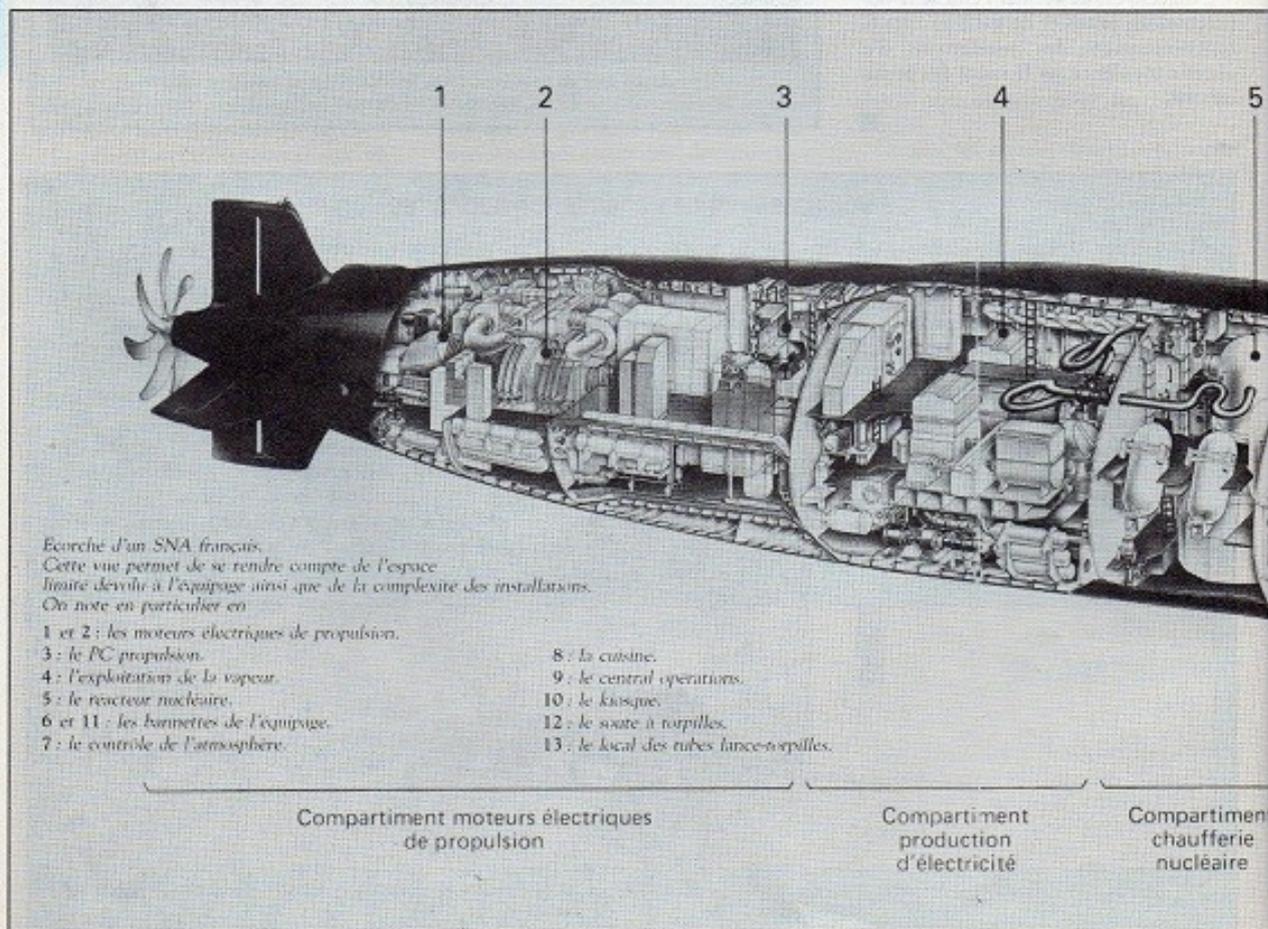
# La vie à bord des sous-marins nucléaires

par le CV Borgis  
chef d'état-major de l'amiral commandant la Force océanique stratégique

L'énergie délivrée à volonté et presque sans limite par le réacteur a bouleversé les conditions de vie à bord des sous-marins, améliorant

de façon considérable le confort de ce véritable microcosme. La production d'eau douce, la climatisation, la régénération de l'atmosphère sont quelques-uns

des principaux bienfaits. La taille des sous-marins a nécessairement augmenté pour accueillir une chaufferie nucléaire, aussi compacte soit-elle ; cela induit plus d'espace dans tous les locaux de travail ou de vie courante, une couchette pour chaque homme d'équipage, une propreté liée à l'exploitation nucléaire, et enfin l'absence d'odeurs d'hydrocarbures coutumières sur les sous-marins classiques. Autre conséquence d'une fourniture



Écorché d'un SNA français.

Cette vue permet de se rendre compte de l'espace limité dévolu à l'équipage ainsi que de la complexité des installations. On note en particulier en

1 et 2 : les moteurs électriques de propulsion.

3 : le PC propulsion.

4 : l'exploitation de la vapeur.

5 : le réacteur nucléaire.

6 et 11 : les banquettes de l'équipage.

7 : le contrôle de l'atmosphère.

8 : la cuisine.

9 : le central operations.

10 : le kiosque.

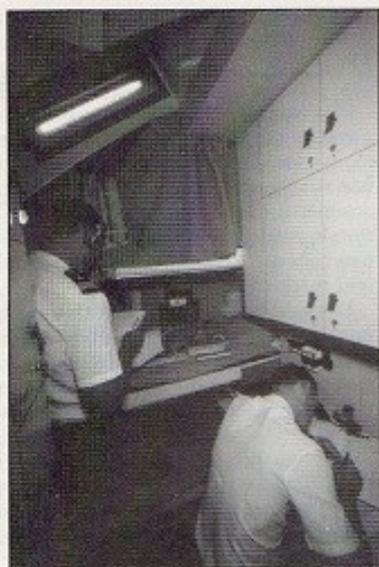
12 : le poste à torpilles.

13 : le local des tubes lance-torpilles.

Compartment moteurs électriques  
de propulsion

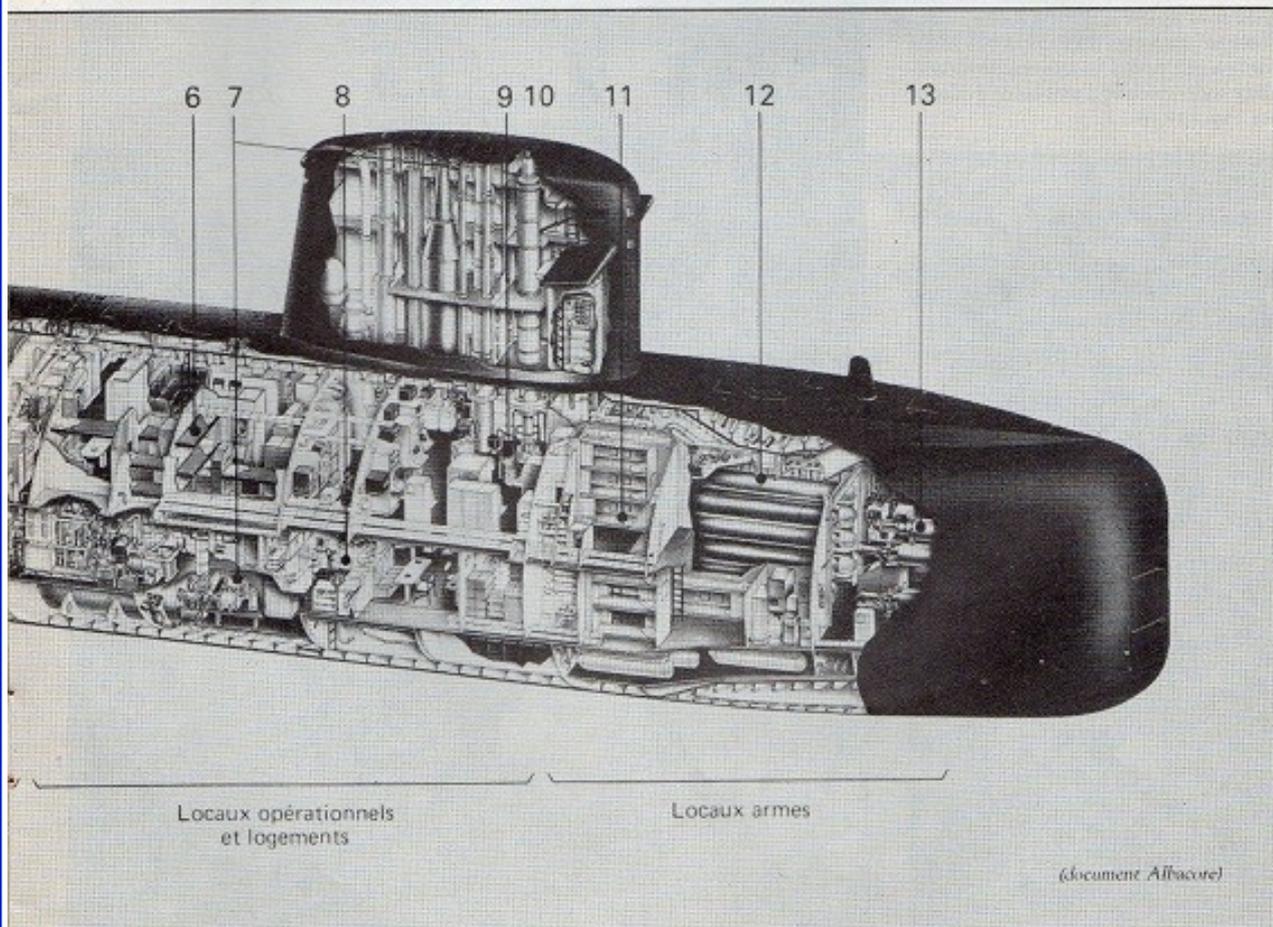
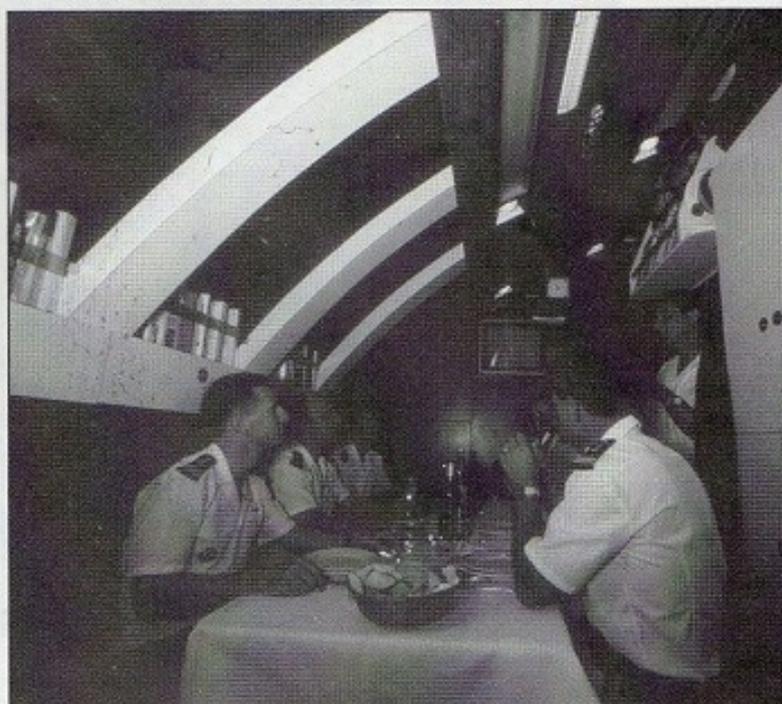
Compartment  
production  
d'électricité

Compartment  
chaufferie  
nucléaire



La place sur un sous-marin est très réduite. L'énergie délivrée à volonté par le réacteur a considérablement amélioré le confort. Ainsi, la production d'eau douce, la climatisation et la régénération de l'atmosphère sont quelques-uns des principaux bienfaits. Ici, la chambre de deux officiers sur le SNA Saphir. (photo J.M. Chourgnoz)

Le carré des officiers avec les couples apparents de la coque épaisse. (photo J.M. Chourgnoz)

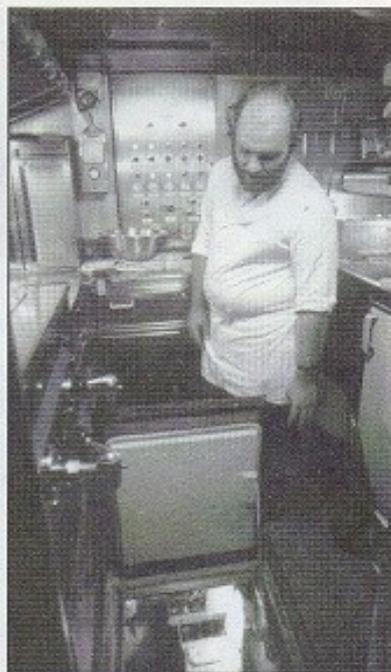


LA SURETE NUCLEAIRE

d'énergie quasi-illimitée, le rythme d'activité des sous-marins à la mer a évolué. Leur autonomie accrue permet des périodes de navigation qui atteignent couramment deux mois, et dont la durée n'est vraiment limitée que par l'endurance des hommes. Les trois mois de vivres embarqués permettent de conserver une réserve de « capacité à durer » si la mission l'imposait. L'utilisation maximale de cet outil militaire, si essentiel pour notre défense, a conduit à avoir deux équipages sur chaque sous-marin. La régularité des cycles d'activité permet à chacun de préparer des absences qui sont longues mais facilement prévisibles.

En contrepartie, la présence à bord d'un réacteur, importante source radioactive, oblige à se prémunir des effets liés aux rayonnements ionisants. Côté d'un réacteur réclame, outre des barrières et des protections propres aux installations radiologiques, une surveillance du personnel pour prévenir les troubles induits par cette possible nuisance. La chaufferie nucléaire en fonction, maintient en effet un risque d'exposition aux rayonnements, externe (irradiation) ou interne (contamination). Le compartiment réacteur échangeur (CRE) est isolé du reste du bâtiment de telle sorte que les postes de quart les plus proches et la zone-vie restent soumis à des doses largement en deçà des débits admis par la législation. Des moyens de surveillance individuelle et d'ambiance évaluent ces expositions.

*Le maintien en forme de la condition physique des hommes est très important. Malgré le peu de place la pratique du vélo est nécessaire.*  
(photo J.M. Chourgnoz)



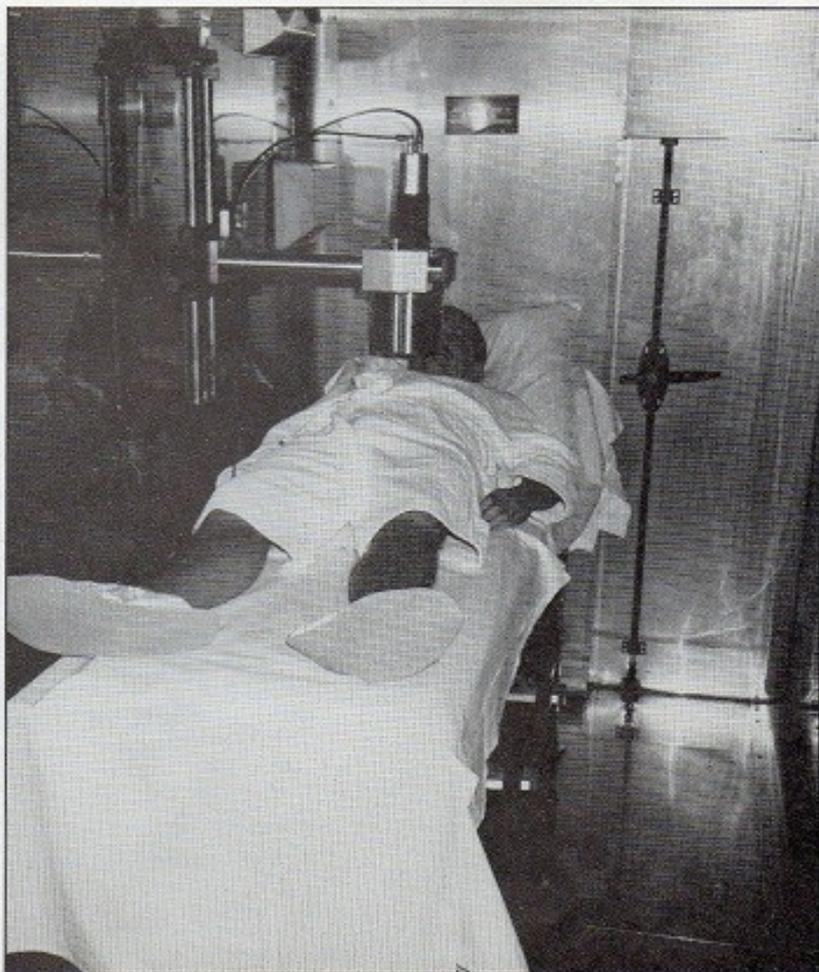
*La cuisine du SNA Saphir n'est pas grande. Le sous-marin embarque trois mois de vivres.*  
(photo J.M. Chourgnoz)

Chacun porte en permanence un dosimètre photographique changé tous les mois pour comptabiliser la dose absorbée par irradiation. D'autre part, une dosimétrie d'ambiance analyse en continu le niveau d'irradiation ou de contamination des divers compartiments du sous-marin.

La possibilité de contamination, fort improbable, oblige à poursuivre après chaque patrouille des mesures de détection sur l'organisme humain (spectrométrie externe, analyse toxicologique des urines).

De plus, après l'aptitude médicale initiale précédant le premier embarquement, un contrôle clinique et biologique semestriel vérifie le maintien de l'équilibre physiologique. Cette surveillance constante confirme la qualité de la radioprotection et de l'hygiène nucléaire. A bord des SNLE et des SNA, l'exposition reste largement inférieure, non seule-

*La possibilité de contamination au cours des patrouilles en mer est fort improbable. Des mesures de spectrométrie sur l'organisme humain sont cependant systématiquement effectuées au retour à terre. Spectrométrie à l'infirmerie de la Bofos.*



## LA SURETE NUCLEAIRE

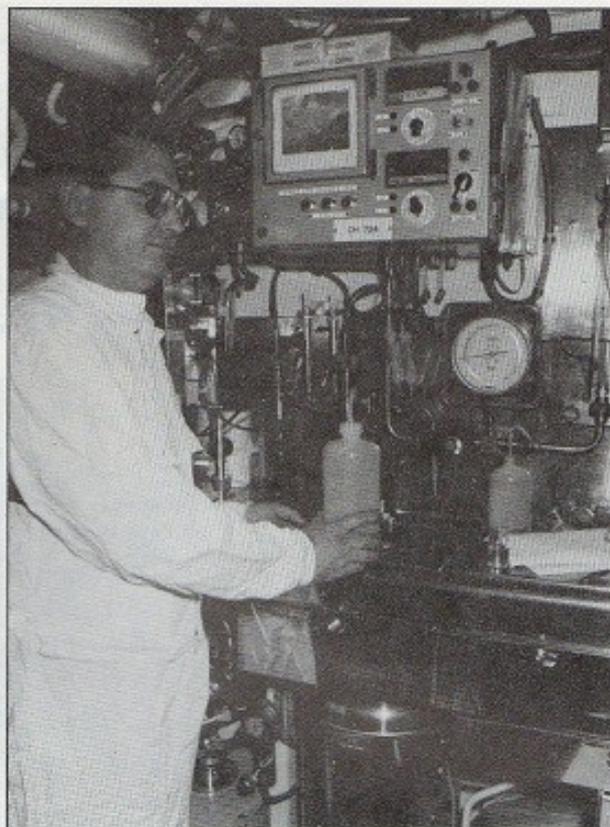
ment aux normes légales admises, mais aussi à la radioactivité naturelle observée dans de nombreuses régions de France. La rigoureuse formation du personnel spécialiste de la conduite du réacteur, et l'éducation de l'ensemble de l'équipage concernant cette prévention, concourent aussi pour une large part à la sécurité.

Mais si les contraintes liées à l'ambiance nucléaire sont les plus spécifiques, d'autres facteurs doivent être pris en considération pour préserver les conditions de vie à bord. Il s'agit surtout de la qualité de l'atmosphère. Le SNLE est une enceinte close, confinée où vivent et travaillent 130 hommes pendant plusieurs mois. La régénération de l'air et l'épuration de l'atmosphère, remplaçant l'oxygène consommé, éliminant le gaz carbonique et les divers polluants, doivent être assurées.

Pour cela encore il importe d'identifier, de mesurer, de protéger.

La propulsion nucléaire a révolutionné les missions et les facteurs d'ambiance des sous-marins. Les contraintes ont évolué, la rustique précarité et l'insalubrité des sous-marins d'autrefois sont bien loin.

La conscience raisonnée des risques préserve la sécurité et la qualité de vie indispensables pour maintenir la pleine efficacité de l'équipage. ■



*La propulsion nucléaire a révolutionné les facteurs d'ambiance. La rustique précarité et l'insalubrité des sous-marins d'autrefois sont loin.*

*La cafétéria du Redoubtable à l'heure du déjeuner. (photo J.M. Chourgnoz)*



L'AVENIR



*L'informatique est présente à bord des sous-marins nucléaires aussi bien dans la mise en œuvre des équipements que dans les opérations de maintenance. (photo J.M. Chourgnon)*

# Evolution des chaufferies nucléaires embarquées

par A. Tournyol du Clos  
Directeur des programmes Marine-Technicatome

**P**rédire l'avenir a toujours été une activité périlleuse, rarement sanctionnée par le succès (tout au moins quand les prédictions sont compréhensibles...). Dans le domaine tech-

nique toutefois l'observation du passé et du présent permettent de dégager quelques règles qui peuvent nous guider dans notre réflexion.

Les systèmes complexes tels que les

appareils propulsifs de navires (mais cela est vrai également pour d'autres systèmes : automobile, avion, etc.) évoluent continuellement jusqu'à ce qu'ils soient brutalement supplantés par une technologie émergente (voile/vapeur, vapeur/diesel, etc.).

Cette évolution se fait :

- vers davantage de complexité interne offrant des performances accrues pour un encombrement réduit ;
- vers une amélioration de l'interface

offerte à l'opérateur permettant de diminuer les effectifs nécessaires à la conduite ;

- vers une maintenance simplifiée par la modularisation et le recours à l'échange standard ;

- vers enfin, une réduction du coût complet (réalisation, exploitation, entretien) à performances données.

Les chaufferies nucléaires embarquées sont soumises à la loi d'évolution ci-dessus.

S'agissant d'un système nucléaire elles sont, en outre, soumises à une règle d'évolution caractéristique de ce secteur qui tend à faire évoluer les réacteurs vers

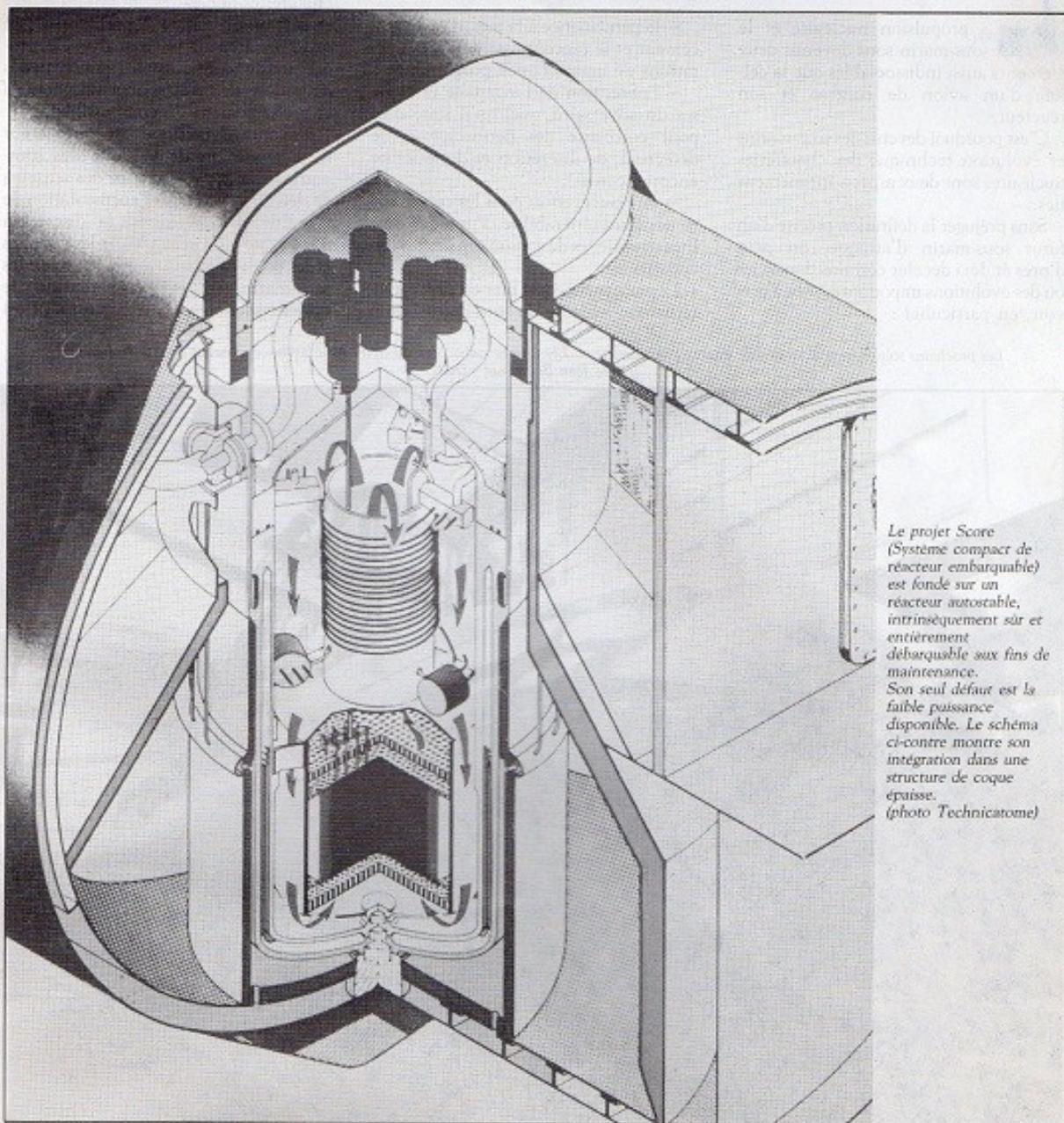
des systèmes de plus en plus tolérants vis-à-vis des erreurs humaines.

Le stade ultime de toutes les évolutions ci-dessus est alors un module de propulsion nucléaire à puissance spécifique élevée, ne nécessitant pas la présence d'opérateurs en dehors du démarrage et de l'arrêt (autostable) y compris en cas d'accident (réacteur intrinsèquement sûr) et entièrement débarquable aux fins de maintenance.

Ce projet existe, sous le nom de SCORE (Système COmpact de Réacteur Embarquable) mais sous la forme extrême décrite ci-dessus, il est limité aux installations de faible puissance (2 MW électriques environ).

Ce concept, s'il ouvre la voie à de nouvelles perspectives d'application de la propulsion nucléaire (bâtiments de faible tonnage) ne traite pas le besoin prévisible de la Marine française à l'horizon du siècle prochain qui fait appel à des puissances installées significativement plus élevées.

Néanmoins les solutions imaginées à cette occasion, extrapolées à la puissance convenable sont incorporées dans les projets de réacteurs de sous-marins futurs qui bénéficient ainsi à la fois d'une certaine continuité avec les réacteurs actuels (réacteurs compacts) et des solutions les plus novatrices du moment.



*Le projet Score (Système compact de réacteur embarquable) est fondé sur un réacteur autostable, intrinsèquement sûr et entièrement débarquable aux fins de maintenance. Son seul défaut est la faible puissance disponible. Le schéma ci-contre montre son intégration dans une structure de coque épaisse. (photo Technicatome)*

L'AVENIR

# Les sous-marins futurs

par l'ICA J. Le Tallec  
 Chef du département sous-marins - STCAN

La propulsion nucléaire et le sous-marin sont devenus deux éléments aussi indissociables que la cellule d'un avion de combat et son réacteur.

C'est pourquoi devenir des sous-marins et évolution technique des chaufferies nucléaires sont deux aspects intimement liés.

Sans préjuger la définition précise d'un futur sous-marin d'attaque, on peut d'ores et déjà déceler certains domaines où des évolutions importantes sont à prévoir, en particulier :

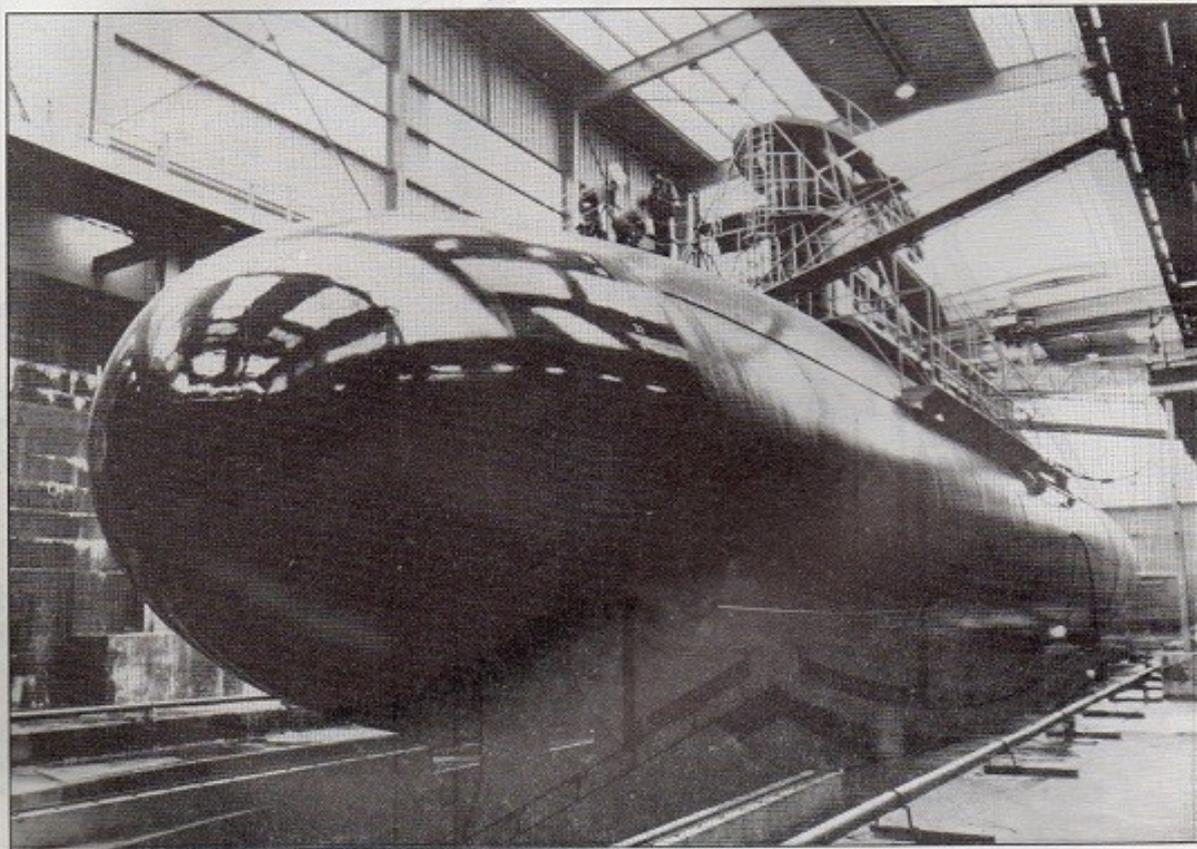
- la permanence à la mer, d'où l'espace et le raccourcissement des opérations de maintenance programmée ;
- l'obtention de l'avantage tactique sur un adversaire, quel qu'il soit, avec pour corollaire des performances de détection, de discrétion et de mobilité encore accrues ;
- un nouvel effort dans les caractéristiques d'invulnérabilité, l'une des qualités essentielles du sous-marin depuis son apparition.

La permanence à la mer est une caractéristique majeure du sous-marin, qu'il

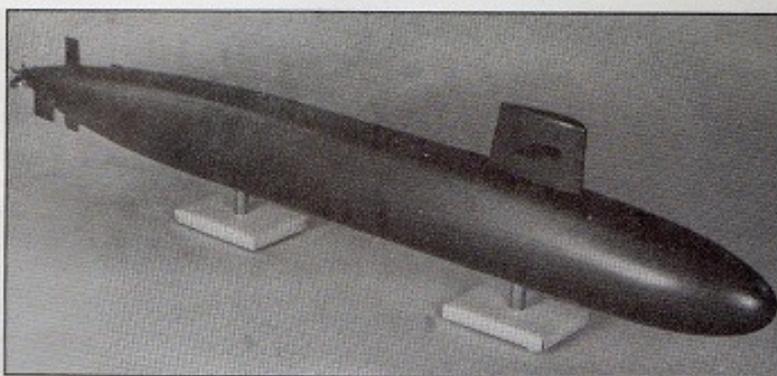
s'agisse de la permanence de la dissuasion pour les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins ou qu'il s'agisse des missions de soutien, de rétorsion ou de contrôle de l'espace sous-marin pour un sous-marin nucléaire d'attaque. Les chaufferies nucléaires ont atteint d'ores et déjà un niveau de disponibilité et de sécurité tout à fait remarquable. Des progrès sont encore possibles au niveau des opérations de maintenance (inspections et rechargement du combustible).

L'avantage tactique est un facteur d'augmentation de la taille des sous-marins, car la performance des senseurs de détection passe par l'augmentation de la taille des antennes, la discrétion acoustique tend aussi (de par les volumes et les poids nécessaires) à faire grossir les sous-marins, et enfin l'obtention de vitesses silencieuses élevées est a priori

*Les prochains sous-marins devront être encore plus silencieux. Les formes « albacore » du SNA Améthyste concourent à cette recherche.  
 (photo Jean Biagueud - DCN)*

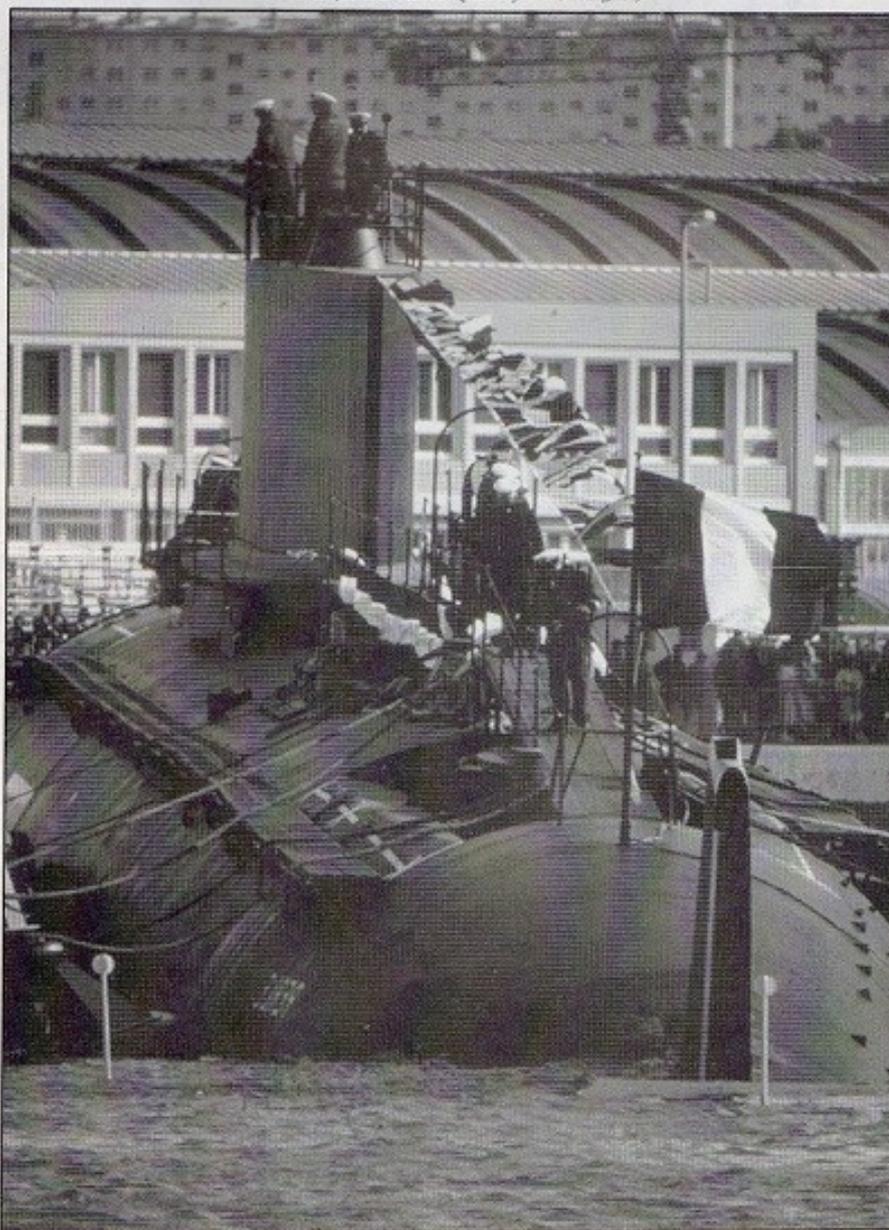


plus facile à obtenir sur de grands sous-marins. Ce n'est pas un hasard si les programmes des Marines majeures (USA, avec le SSN *Seawolf* de 9 000 t ; GB avec le SSN 20 de plus de 6 000 t ; URSS avec les *Sierra* et *Akula*) tendent continûment au gigantisme. Cette tendance est génératrice de coûts de développement et de construction extrêmement élevés, d'où de fréquentes interrogations sur l'aspect coût-efficacité de telles orientations. Un des problèmes majeurs, à moyen terme, à résoudre est la conception de sous-marins bien adaptés à leur mission, dans une enveloppe



*Le SNLE de nouvelle génération Le Triomphant. Maquette de forme.*

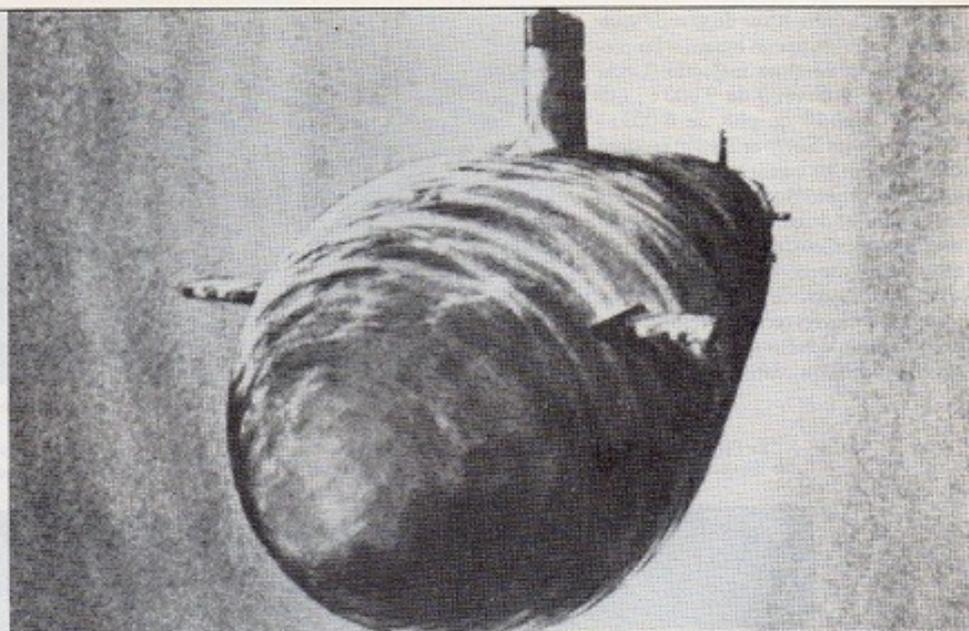
*La Perle, dernier-né de nos SNA, lors de son lancement à la DCN de Cherbourg, en septembre 1990. Elle dispose comme tout SNA français d'une chaudière nucléaire aux caractéristiques de puissance volumique et massique très élevée. (photo J.M. Chourgnot)*



L'AVENIR

## L'AVENIR

La performance des senseurs de détection sous-marine et l'amélioration de la discrétion acoustique sont des facteurs d'augmentation de la taille des sous-marins. Ici, le nouveau projet de l'US Navy, le SSN Seawolf de 9 000 tonnes. (photo Marine nationale).



de taille et de coût qui soit accessible financièrement. Ceci oblige à un effort de réflexion sur tous les composants du sous-marin : en particulier, l'obtention de chaufferies nucléaires ayant des caractéristiques de puissance volumique et

massique très élevées reste toujours un objectif de premier plan. Ce n'est pas autrement que la France a pu se doter des sous-marins type *Rubis* et *Améthyste*.

L'invulnérabilité du sous-marin résulte, entre autres éléments, de sa faible susceptibilité aux moyens de détection adverses. La propulsion nucléaire a permis de résoudre aujourd'hui quasi-complètement le problème de détection par des moyens au-dessus de la surface. Vis-à-vis de la détection acoustique passive, un des objectifs majeurs pour les futures chaufferies nucléaires sera un niveau de silence encore accru à des puissances fournies toujours plus élevées. Ceci est le garant de vitesses maximales tactiques silencieuses supérieures à la vingtaine de nœuds en plongée. Ces futures chaufferies devront aussi s'accommoder de la mise en place sur les futurs sous-marins de revêtements extérieurs «furtifs», lesquels ont soit une fonction de discrétion acoustique soit une fonction d'absorption des émissions actives sonar adverses, et qui limitent les possibilités de réfrigération au travers de la coque.

La bonne adéquation de futures chaufferies nucléaires à de futurs sous-marins passe donc par des progrès dans les domaines de la maintenabilité, par des caractéristiques de puissance spécifique et de discrétion, ceci en cohérence avec l'évolution des règles de sûreté. Toutefois, il ne fait aucun doute, qu'à un horizon utilement prévisible, seule la propulsion nucléaire restera pleinement adaptée aux besoins du sous-marin océanique ayant de grandes caractéristiques de mobilité, n'en déplaise aux promoteurs parfois trop enthousiastes de nouvelles propulsions chimiques qui, même si elles arrivent à un niveau de fiabilité et de sécurité convenable, ne peuvent rivaliser, loin s'en faut, avec la propulsion nucléaire. ■

## Les « AIP\* » et le nucléaire

On constate depuis quelques années un regain d'intérêt pour des solutions techniques permettant de disposer de sources d'énergie anaérobie d'appoint, venant compléter l'équipement diesel électrique classique des sous-marins de faible tonnage, en vue d'améliorer de manière très importante leur discrétion.

Les procédés envisagés peuvent être chimiques ou nucléaires, et permettent d'imaginer des sous-marins de 1 500 à 2 500 t ayant une vitesse de l'ordre de quelques nœuds pendant quelques centaines d'heures pour les AIP chimiques, de l'ordre de 15 nœuds en continu pour les AIP nucléaires et dans les deux cas, une vitesse unihoraire (sur batterie) proche de 20 nœuds.

Les procédés AIP chimiques utilisent la combustion d'oxygène stocké en grande quantité sous forme liquide et d'un carburant variable selon le procédé (méthanol, gazole, etc.) pour produire de l'énergie électrique soit directement (pile à combustible) soit à travers un moteur thermique (moteur à combustion interne ou moteur Stirling, moteur diesel en cycle fermé, etc). Les « AIP nucléaires » sont des chaufferies de faible puissance, de performances modestes, de variations de puissance utilisées comme « chargeur » de batteries.

Le développement des AIP chimiques permet d'envisager une énergie disponible suffisante pour une durée de patrouille de 2 à 3 semaines d'un sous-marin « côtier » dont les missions ne comportent pas de transit significatif. Dans le cas d'un sous-marin « océanique » conçu pour des patrouilles de 2 à 3 mois, le transit devrait avoir lieu de manière classique, les performances de la source d'énergie AIP chimique étant réservées pour la durée de séjour sur zone d'opération ; seul le recours à un AIP nucléaire permettrait, en l'état prévisible des techniques, de s'affranchir de ces limitations, et de surclasser nettement, à taille égale, les sous-marins équipés d'AIP chimique.

On peut conclure qu'à l'échéance du début du XXI<sup>e</sup> siècle, les procédés AIP chimiques ne viendront pas concurrencer directement l'énergie nucléaire sur son créneau de prédilection (propulsion des SNA et SNLE de forts tonnages). Néanmoins, on voit apparaître la faisabilité technique de projets de sous-marins dont les performances de mobilité viendront combler de manière continue le gouffre existant actuellement entre les « classiques » et les « nucléaires ».

L'émergence de cette possibilité et de la menace opérationnelle qu'elle constitue doit être prise en compte dans les réflexions de la Marine sur l'évolution de ses moyens.

\* AIP : Air Independent Propulsion

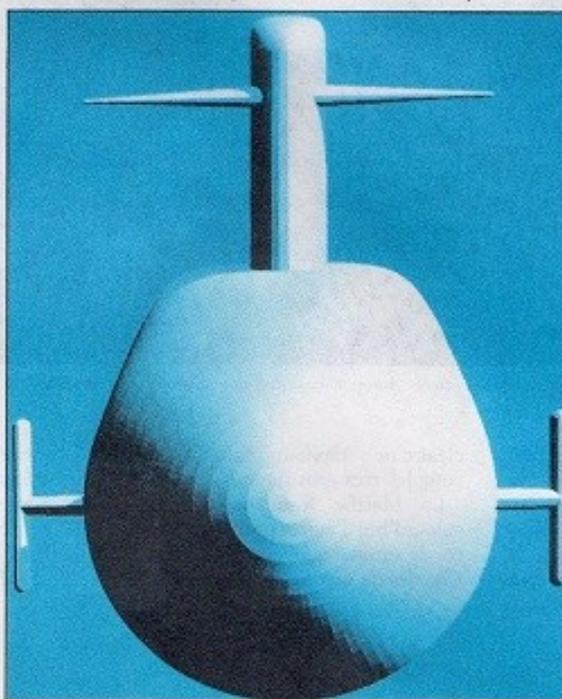
# L'avenir de la propulsion navale nucléaire

L'AVENIR

*Pour une discrétion acoustique encore accrue le SNLE NG possèdera une chaudière nucléaire pouvant fournir des vitesses silencieuses dans toute la gamme de vitesses usuelles de patrouille.*

L'avenir de la propulsion nucléaire n'a pas les mêmes couleurs, selon que l'on parle de la propulsion des navires civils, de celle des navires militaires de surface ou de celle des sous-marins militaires.

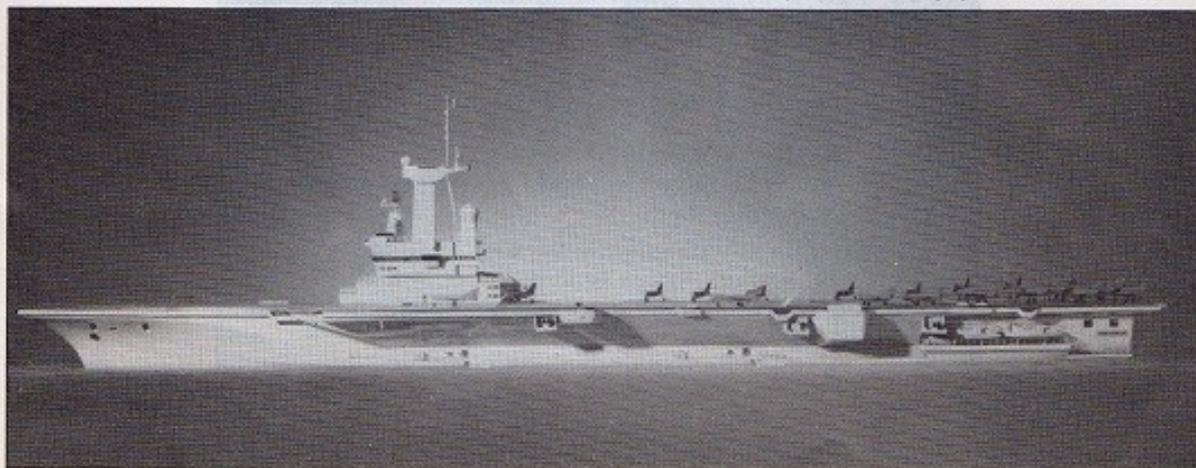
En ce qui concerne les navires civils il n'y a pas, aujourd'hui, de projet réaliste. On a beaucoup discuté ces dernières années autour d'un brise-glace nucléaire pour le Canada, de sous-marins civils d'exploration ou d'intervention pétrolière (*Saga N* toujours avec les Canadiens, *Bison* avec l'*Ifremer*) voire de pétrolier sous-



marin capable de transiter sous les glaces ! Les pessimistes constatent que tous ces projets ont avorté (pour les plus sérieux d'entre eux) au stade du financement et que l'air du temps est de moins en moins favorable aux projets nucléaires. Les optimistes répondent que de « crise du Golfe » en « effet de serre », les opinions publiques peuvent varier rapidement et que les solutions techniques étant prêtes, la propulsion nucléaire marchande pourrait se développer rapidement...

Dans le domaine militaire, les choix sont en principe plus rationnels ; pour les qua-

*Le PA type Charles de Gaulle est le seul programme de bâtiment de surface français qui sera doté d'une propulsion nucléaire.*



## L'AVENIR



Le SNA Saphir en navigation de surface. Autonomie, discrétion, souplesse, indépendance, puissance. (photo ECPA)

tre grandes Marines (USA, URSS, Grande-Bretagne, France) la propulsion nucléaire est et restera, à terme prévisible, par excellence la propulsion du sous-marin. Pour les navires de surface le débat reste ouvert, la propulsion nu-

cléaire ne s'imposant véritablement que pour les très gros navires.

La Marine française n'ayant pas aujourd'hui d'autres projets de gros navires de surface que les porte-avions type *Charles de Gaulle* et la nouvelle géné-

ration de SNLE type *Le Triomphant* étant d'ores et déjà en chantier, c'est donc autour de projets de sous-marins nucléaires d'attaque futurs que s'articulent les réflexions prospectives sur les chaufferies nucléaires de demain. ■

Ont également participé à la réalisation de ce numéro spécial sur la propulsion navale nucléaire :

le VA Pelliard - IMN,  
l'ICA Fabarez - DCN/R,  
le CV Szersnovicz, le MJR Quémar - IMN,  
l'IPA Royal - DCN/CAB, le MC1 Lemaire - EM/Alfost,  
CF Lambert, CF Masurel - EMM,  
le CC Deregnaucourt - EAMEA,  
le CC (R) Prézelin.

Cols Bleus rédaction :  
3, avenue Octave Gréard, 75007 Paris

Décembre 1990  
Supplément au n° 2105 de Cols Bleus



En route de Brest, la presqu'île de l'île Longue, base de soutien des SNLE (photo E. Bouvet - Gammil)

**Sources:***Cols bleus*

Cols Bleus n° 2105

Les textes originaux ont été intégralement copiés. Quand cela était justifié, l'orthographe de patronymes ou de de noms de lieux a été reprise.

Néanmoins, malgré relecture et recherches approfondies, quelques imperfections n'ont pu être rattrapées et ont été conservées

Pour les livrets complémentaires, la qualité des scans peut être altérée, veuillez nous en excuser.

**Bulletin « PLONGEE »**

Directeur de la publication :

**Dominique SALLES**

Chargé de publication :

**Patrick DELEURY**

Comité de rédaction :

**Patrick DELEURY**Contact : [agasm.fr@gmail.com](mailto:agasm.fr@gmail.com)

Le bulletin « **Plongée** » est une publication de l'association AGASM à usage et diffusion internes.

Crédits photographiques : Agasm , Cols Bleus , (Droits réservés)

Venez nous rejoindre sur :

[www.agasm.fr](http://www.agasm.fr) et <https://www.facebook.com/agasmofficiel/>