

LA PROPULSION NUCLÉAIRE

1. HISTORIQUE DES SOUS-MARINS NUCLÉAIRES [1]



NAUTILUS
Photo Wikipedia

Le premier sous-marin nucléaire a été le Nautilus, lancé en 1955 par les Etats-Unis ; il s'est rapidement illustré en traversant l'océan arctique via le pôle Nord en 1958.

En France, le programme Q 244, lancé en 1954 sur la base d'un réacteur à uranium naturel modéré à l'eau lourde, fut un échec [6]. Il a été suivi en 1959 par le programme Coelacanthe.

En 1964, le PAT (prototype à terre) diverge avec de l'uranium américain à fort taux d'enrichissement. Début 1965, la mise en

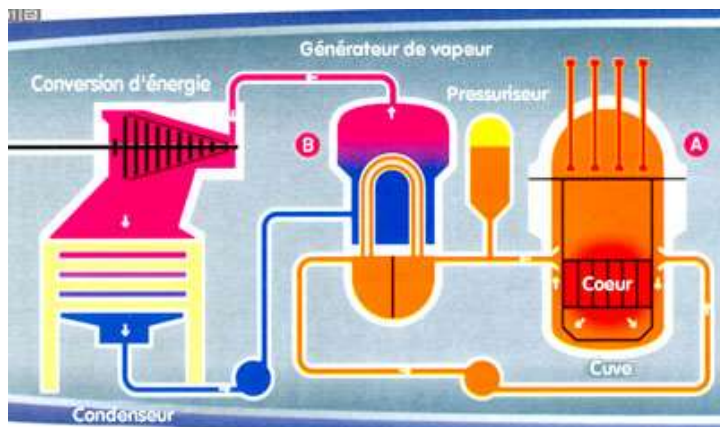
service de l'usine d'enrichissement de Pierrelatte permet à la France de devenir autonome en uranium enrichi, et le Redoutable est mis à la mer en 1971.

A cette époque, il y a déjà 90 sous-marins américains et 55 sous-marins russes opérationnels.

La force océanique stratégique (FOST), composante de la dissuasion

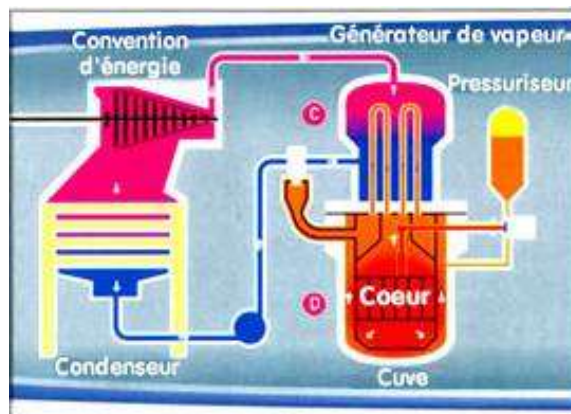
La France a adopté une stratégie de dissuasion, avec une composante aéroportée (initialement : Mirages III, fusées du plateau d'Albion) dont le vecteur est désormais le Rafale, notamment embarqué sur le porte-avions. L'autre composante est la force océanique stratégique, comprenant initialement 6 SNLE-M4^{*1}, et désormais 4 SNLE-NG^{*}.

2. LA TECHNOLOGIE DES CHAUFFERIES FRANÇAISES [2]



Les chaufferies des SNLE^{*} de type « Redoutable » sont des réacteurs à eau pressurisée (REP^{*}), suffisamment compacts pour pouvoir être embarqués.

Les premiers réacteurs étaient à boucles, ce qui permettait de répartir les volumes de la cuve primaire et des deux générateurs de vapeur (GV^{*}).



Pour les sous-marins d'attaque, une conception originale a été développée : le GV est placé directement au-dessus du cœur.

Outre le gain de place, cette conception supprime le risque de rupture de la liaison cœur-GV, qui constitue le principal accident sur un réacteur nucléaire (dépressurisation et perte du refroidissement).

¹ Les sigles notés d'un astérisque renvoient au glossaire en fin de fiche

Cette technologie a été reconduite pour les SNLE de nouvelle génération (SNLE-NG, ou encore « SNG ») dans la conception des chaufferies K15 qui équipent également le porte-avions Charles de Gaulle.

La turbine alimente l'arbre d'hélice via un réducteur, et des turbo-alternateurs qui rechargent des batteries permettant une propulsion autonome et silencieuse.

Performances [1]

Les performances des chaufferies nucléaires doivent être appréciées dans le cadre de l'environnement du navire et de ses conditions de navigation, ainsi que de ses missions militaires :

- environnement de navigation : roulis, tangage ; inclinaisons fortes
- ambiance marine corrosive
- accélérations, chocs militaires
- manœuvrabilité : passage de 10 % à 100 % de puissance nominale en 1 minute ; cyclages de puissance lors des catapultages
- disponibilité : situation de repli en cas d'accident ; redivergence au « pic xénon* »
- propriétés d'exploitation : facilité de conduite, d'entretien (accessibilité), disponibilité moyenne, caractère « pardonnant » à un écart ; coût de possession

3. LA FLOTTE NUCLÉAIRE FRANÇAISE

Depuis 2001, la flotte sous-marine française est exclusivement à propulsion nucléaire. Les sous-marins à propulsion classique qui continuent à être construits le sont uniquement pour l'exportation.

SNLE [3]



Dans la politique de dissuasion, le rôle du SNLE est d'exercer un effet dissuasif à l'égard d'un agresseur potentiel des intérêts vitaux de la Nation, grâce à ses 16 fusées à tête multiples qui peuvent détruire les centres principaux du pays agresseur.

Les SNLE sont basés à Brest. Deux équipages de 111 hommes chacun se relaient à bord. Le rôle du SNLE est d'être prêt à tout moment à lancer une salve, et pour cela de ne pas avoir été détecté. C'est pourquoi un effort particulier a été déployé vis-à-vis du bruit car, sous l'eau, toute vibration devient audible aux oreilles ennemies exercées.

Entre les deux générations de SNLE, un facteur 1 000 de discrétion sonore a été gagné.

SNA [3]



Ils assurent la protection des SNLE, assistent les forces navales en surface, effectuent des missions de contrôle (ou d'interdiction) de zones maritimes ainsi que de renseignements (par exemple, en envoyant ou en récupérant des agents depuis la mer), défendent le territoire national (en allant au contact d'un navire menaçant).

Les six SNA en service sont basés à Toulon. Les deux équipages qui se relaient comptent 70 hommes.

Pendant les guerres de Yougoslavie, il suffisait d'un SNA patrouillant en Adriatique pour bloquer tout trafic non autorisé. Les SNA de 2^{ème} génération (type Barracuda) pourront lancer des missiles de croisière, comme leurs homologues américains.

PACDG photo DAM



Déplacement = 40 600 tonnes
 Dimensions hors tout = 261,5 m x 64,4 m
 2 catapultes de 74 m
 1 îlot (le PA2 devrait en avoir 2)
 8 ponts sous pont d'envol
 Puissance propulsive maximale continue = 56 MW
 2 lignes d'arbre
 Vitesse de pointe = 27 nœuds
 Il dispose de 2 réacteurs de type K15.



En service actif depuis le 18 mai 2001, il emporte 40 avions de combat dont certains peuvent être armés de missiles nucléaires.

Ses missions : attaquer des objectifs terrestres ou navals, assurer une couverture aérienne d'un théâtre d'opérations aussi bien à terre qu'en mer, et participer à la dissuasion nucléaire. Il a pris part à l'opération Héraclès en Afghanistan.

Haute de 75 mètres, soit un immeuble de 25 étages, cette ville flottante abrite près de 2000 membres d'équipage.

La décision de doter la marine française d'un deuxième porte-avions devrait être prise vers 2011-2012 [7].

4. LES FORCES MONDIALES

Pays	SNLE	SNA	Références
USA	49	53	[4]
Russie	14	61	[4]
Chine	1		
Inde		1	Location du K-152 Nerpa pendant 10 ans [8]
Brésil ...			On trouve en [1] une projection des forces mondiales en 2025

La France est le seul autre pays à disposer d'un porte-avions nucléaire, les Etats-Unis en comptent 11.

5. LES AUTRES NAVIRES DE SURFACE

Les Soviétiques ont construit 4 croiseurs porte-missiles du type Kirov, dont le plus ancien est retiré du service, deux sont en réserve et le plus récent rebaptisé Piotr Veliky (Pierre le Grand) est encore en activité.

Les Américains n'ont quant à eux plus de croiseurs nucléaires en service.



Les Russes disposent de 8 brise-glace équipés de deux réacteurs nucléaires chacun. La liaison Atlantique – Pacifique par l'océan arctique est, en effet, un axe stratégique pour la Russie.

On voit sur la photo les brise-glace nucléaires Vaigach et Taymur en route vers le pôle Nord en 2008.



6. LA RECHERCHE ET LA FORMATION DES ÉQUIPAGES

Depuis le début de l'aventure française dans la propulsion nucléaire, les réacteurs ont été testés à terre : PAT (Prototype A Terre d'un réacteur à eau pressurisée à boucles destiné à équiper les SNLE-M4), CAP (Chaudière Avancée Prototype des réacteurs de SNA), RNG (Réacteur K15 pour les SNLE de Nouvelle Génération).

Maintenant que la conception compacte est parfaitement maîtrisée, a-t-on encore besoin de réacteur à terre ?

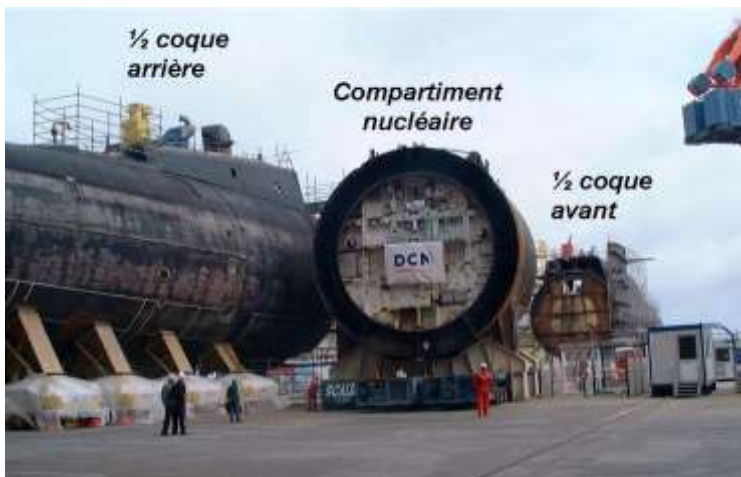
Le RES (Réacteur d'ESsai) en construction à Cadarache ne sera pas un nouveau prototype, mais il servira à améliorer les connaissances notamment en neutronique, grâce à son instrumentation à cœur, et également à tester des composants périphériques de conception nouvelle.

En particulier, des gains importants pourraient être réalisés sur la gestion des combustibles, en augmentant leur durée de vie par une meilleure utilisation de leurs réserves énergétiques, tout en gardant des marges de sûreté acceptables.

Comme ses prédécesseurs, le RES servira aussi à la formation des équipages, en complément du simulateur « full scope » SARIE [9].



7. LE DÉMANTELEMENT DES SOUS-MARINS NUCLÉAIRES

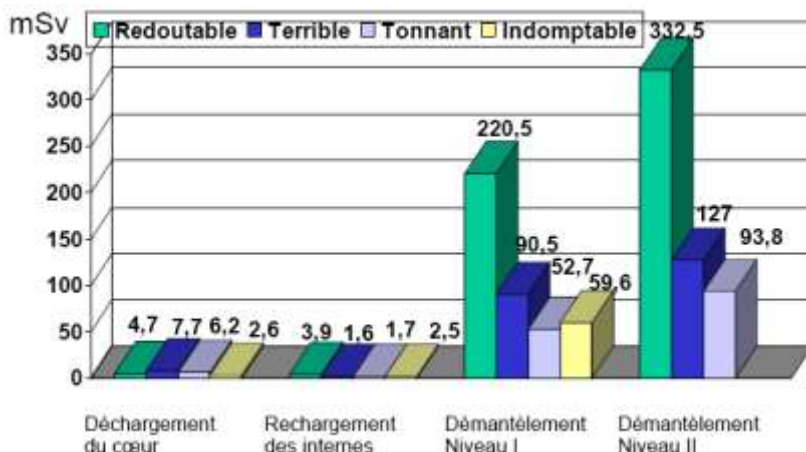
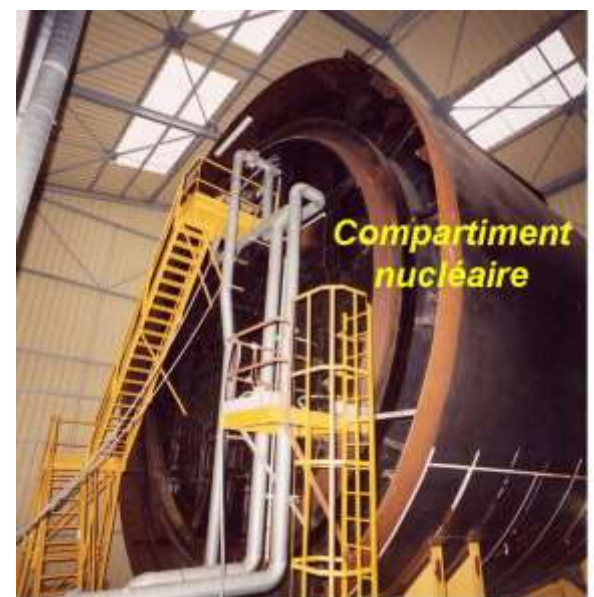


La conception modulaire par tranches facilite le démantèlement des sous-marins nucléaires : il suffit de découper le compartiment nucléaire, puis de ressouder les deux tronçons avant et arrière pour assurer la flottabilité de la coque, et son remorquage vers un chantier classique.

L'ex-Redoutable a été transformé en musée (Cité de la mer, Cherbourg).

Le compartiment nucléaire, de taille limitée (diamètre de 10 m), est entreposé quelques dizaines d'années, en visant une décroissance radioactive suffisante pour un transport et un stockage définitif de déchets radioactifs de surface.

Le combustible peut être soit retraité par les procédés d'Areva-NC, soit envoyé au stockage profond des déchets tel que défini dans la loi du 28 juin 2006.



Le graphe ci-contre montre l'évolution à la baisse des doses intégrées, résultant de l'expérience acquise.

Les Soviétiques puis les Russes ont lancé, de 1958 à 1997, 245 unités qui comprennent deux réacteurs chacune. Lors de la dislocation de l'Union Soviétique, la Russie a dû gérer le retrait du service de près de 200 navires, et a fait appel aux autres membres du G8 pour l'aider, lors du sommet de Kananaskis en 2002.

Le flux annuel de démantèlement, qui était de 2 à 4 sous-marins dans les années 90, s'est accéléré à une vingtaine par an dans les années 2000, et la Russie devrait avoir fini de démanteler 190 sous-marins en 2010.

RÉFÉRENCES

- [1] Charles Fribourg, « La propulsion nucléaire des navires », www.energethique.com
- [2] « La propulsion nucléaire, 50 ans sous les mers » www.cea.fr/defense/propulsion_nucleaire/50_ans_sous_les_mers (notamment des photos)
- [3] <http://www.netmarine.net/> (notamment des photos)
- [4] Wikipedia (notamment des photos)
- [5] DGA : « Démantèlement des sous-marins – Gestion des déchets » <http://atsr23.free.fr/congres/actes/RIDEL.pdf>
- [6] Les Redoutable, histoire d'une aventure technique, humaine et stratégique, V. Groizeleau <http://www.meretmarine.com/article.cfm?id=104185>
- [7] http://www.defense.gouv.fr/dga/dossiers/porte_avions_2_pa2
- [8] Times of India, 18/3/2010
- [9] http://www-cadarache.cea.fr/fr/activites/pdf/lepoinsturRES_atout_n15.pdf (avril-juin 2007)

ANNEXE : L'ORGANISATION ÉTATIQUE POUR LA CONSTRUCTION DES NAVIRES NUCLÉAIRES [2]

En matière nucléaire concernant la Défense nationale, les rôles entre la DGA*, l'EMM* et le CEA sont répartis selon les termes d'un décret signé du Premier ministre.

L'élaboration d'un sous-marin nucléaire est régie par deux maîtres d'ouvrage :

- la Délégation Générale pour l'Armement (DGA) a pour missions d'orienter les développements en équipements militaires pour les trente ans à venir, de conduire les programmes d'armement et de développer la coopération européenne. Pour la propulsion navale, elle est maître d'ouvrage de l'ensemble du navire
- le CEA est maître d'ouvrage de la chaufferie nucléaire. Il reste propriétaire du cœur et du combustible

Ces deux maîtres d'ouvrage, assistés par le STXN*, passent commande auprès d'un groupement de quelques milliers d'industriels mené par deux entreprises principales, qui ont assuré la conception et la réalisation de la flotte nucléaire française :

- DCNS, Société privée à capitaux publics depuis 2003, est maître d'œuvre de l'ensemble du navire. Celui-ci est réalisé sur son site de Cherbourg selon un mode d'assemblage modulaire, c'est-à-dire par tranches. La cuve, le générateur de vapeur et les accessoires qui composent le réacteur sont, eux, fabriqués sur le site DCN-Indret de Nantes et sont ensuite transportés par barge jusqu'à Cherbourg
- Areva-TA, ex Technicatome (Société technique pour l'énergie atomique, créée en 1972, issue de la fusion des départements de construction des piles et de la propulsion navale du CEA) est maître d'œuvre de la chaufferie nucléaire, du cœur et du combustible

GLOSSAIRE

DAM : Direction des Applications Militaires du CEA ; elle comprend 4 directions d'objectifs : armes nucléaires, matières et environnement, sécurité et non prolifération, propulsion nucléaire ; www-dam.cea.fr

DGA : Direction Générale de l'Armement, relevant du Ministère de la défense

EMM : Etat-Major de la Marine, relevant du Ministère de la défense

GV : générateur de vapeur ; permet de transformer la chaleur, extraite du cœur du réacteur par l'eau primaire sous pression en vapeur non radioactive pour alimenter les turbo-alternateurs, et – via un réducteur - la turbine de propulsion.

M4, M45, M51 [3, 4] : missile équipé d'engins nucléaires

PAN : porte-avions (à propulsion) nucléaire ; **PACDG** : porte-avions Charles de Gaulle

Pic xénon : ^{135}Xe ($T_{1/2}=9,2$ h) est un descendant du produit de fission ^{135}I ($T_{1/2}=6,7$ h) et il décroît en ^{135}Cs ; il absorbe également les neutrons en formant ^{136}Xe .

Réacteur en fonctionnement, il est à l'équilibre mais, sa demi-vie étant plus grande que celle de son père, il s'accumule lors d'un arrêt et devient un « poison neutronique » du cœur avec un maximum au bout d'une dizaine d'heures. Il faut alors insérer un surplus de réactivité pour remonter en puissance.

REP : réacteur à eau pressurisée (en anglais : PWR : pressurized water reactor) ; c'est le type de réacteur électrogène le plus répandu dans le monde.

Il est directement issu des réacteurs de sous-marins, compte tenu du rapport (taille / puissance) favorable.

Le fait que le CEA ait eu à mettre au point ce type de réacteur pour les besoins des SNLE a permis à Framatome de franchir rapidement la licence achetée à Westinghouse pour les réacteurs du parc d'EDF.

SNA : sous-marin nucléaire d'attaque (en anglais : attack submarine – SSN)

SNLE : sous-marin nucléaire lanceur d'engins (en anglais : ballistic missile submarine – SSBN) ; les premiers étaient équipés de missiles M4, les **SNLE-NG** (ou **SNG** : de nouvelle génération) sont équipés de M45 remplacés progressivement par des M51.

STXN : Service technique mixte pour la propulsion nucléaire : composé d'ingénieurs du CEA (# 50 %), de DGA, (# 20 -25 %), d'officiers de la Marine (# 25-30 %).

Caractéristiques des sous-marins	SNLE	SNG	SNA	Barracuda
Longueur (m)	128	138	73	99,5
Diamètre (m)	10,6	12,5	7,6	8,8
Puissance propulsive (MW)	11,8	22,5	7	
Déplacement en plongée (tonnes)	9000	14335	2670	5300
Vitesse max en plongée (nœuds)	20	25	25	25
Équipage (hommes)	2 * 135	2 * 111	2 * 66	2 * 60

SNLE-M4 (service – retrait)	SNLE-NG (mise en service)	SNA (mise en service)	Barracuda (noms d'après [3]) (lancement / service)
Redoutable (1971 – 1991)	Triomphant (1997)	Rubis (1983)	Suffren (2011 / 2017)
Terrible (1973 – 1996)	Téméraire (1999)	Saphir (1984)	Dugay-Trouin (2013 / 2019)
Foudroyant (1975 – 1998)	Vigilant (2004)	Casabianca (1987)	Dupetit-Thouars (2021)
Indomptable (1976 – 2005)	Terrible (2010)	Emeraude (1988)	Duquesne (2023)
Tonnant (1981 – 2000)		Améthyste (1992)	Tourville (2025)
Inflexible (1985 – 2008)		Perle (1993)	De Grasse (2027)