

**EUR 768.f**

**REPRINT**

LIBRARY COPY

ASSOCIATION

Communauté Européenne de l'Energie Atomique - EURATOM  
Commissariat à l'Energie Atomique - C.E.A.

**L'INDUSTRIE FRANÇAISE  
ET LES RÉACTEURS RAPIDES**

par

**C. DAMBRINE et M. ROZENHOLC**

**1964**



Travail effectué au  
Centre d'Etude Nucléaire de Cadarache (C.E.A.) France

Association N° 006-62-01 RAAF

Article paru dans  
**ATOMPRAXIS**  
Vol. 9, N° 11/12 - 1963

## AVERTISSEMENT

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission de la Communauté Européenne de l'Energie Atomique (EURATOM).

Il est précisé que la Commission d'EURATOM, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

- 1° — Ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne portent pas atteinte à des droits privés;
- 2° — N'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés divulgués dans le présent document.

*This reprint is intended for restricted distribution only. It reproduces, by kind permission of the publisher, an article from "ATOMPRAXIS", Vol. 9, No. 11/12 - 1963, 1-4. For further copies please apply to Verlag G. Braun GmbH — 75 Karlsruhe|Baden, Karl Friedrich-Strasse 14-18 (Deutschland).*

*Dieser Sonderdruck ist für eine beschränkte Verteilung bestimmt. Die Wiedergabe des vorliegenden in „ATOMPRAXIS“, Vol. 9, Nr. 11/12 - 1963, 1-4 erschienenen Aufsatzes erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers. Bestellungen weiterer Exemplare sind an Verlag G. Braun GmbH — 75 Karlsruhe|Baden, Karl Friedrich-Strasse 14-18 (Deutschland), zu richten.*

*Ce tiré-à-part est exclusivement destiné à une diffusion restreinte. Il reprend, avec l'aimable autorisation de l'éditeur, un article publié dans «ATOMPRAXIS», Vol. 9, N° 11/12 - 1963, 1-4. Tout autre exemplaire de cet article doit être demandé à Verlag G. Braun GmbH — 75 Karlsruhe|Baden, Karl Friedrich-Strasse 14-18 (Deutschland).*

*Questo estratto è destinato esclusivamente ad una diffusione limitata. Esso è stato riprodotto, per gentile concessione dell'Editore, da «ATOMPRAXIS», Vol. 9, N° 11/12 - 1963, 1-4. Ulteriori copie dell'articolo debbono essere richieste a Verlag G. Braun GmbH — 75 Karlsruhe|Baden, Karl Friedrich-Strasse 14-18 (Deutschland).*

*Deze overdruk is slechts voor beperkte verspreiding bestemd. Het artikel is met welwillende toestemming van de uitgever overgenomen uit „ATOMPRAXIS“, Vol. 9, no. 11/12 - 1963, 1-4. Meer exemplaren kunnen besteld worden bij Verlag G. Braun GmbH — 75 Karlsruhe|Baden, Karl Friedrich-Strasse 14-18 (Deutschland).*

### 3. Die französische Industrie und die Entwicklung Schneller Reaktoren

#### 3. L'industrie française et les réacteurs rapides

Par C. Dambrine et M. Rozenholc

Dès que les premières études relatives à la filière des neutrons rapides ont été entreprises par le CEA, l'industrie française a été intéressée à ce nouveau champ d'action: ce travail en commun commencé au stade des études préliminaires se poursuit par la réalisation d'un réacteur à neutrons rapides Rapsodie à Cadarache. Réciproquement, les impératifs propres à ce type de réacteur conduisent l'industrie à développer de nouvelles recherches, de nouvelles disciplines, un état d'esprit qui en fin de compte représentent des aptitudes nouvelles. C'est sous l'angle de ce double courant d'apports réciproques qu'est examinée la contribution de l'industrie française à la filière des surrégénérateurs.

Le démarrage des études de la filière neutrons rapides a été, en France, postérieur à celui d'autres pays. Aux

Etats-Unis Clémentine a divergé en 1946, EBRI en 1951, ce dernier a même été le premier réacteur au monde à fournir de l'électricité au réseau. En URSS, BR V fonctionne depuis 1958 et en Grande-Bretagne DFR a commencé ses essais en 1959. Faut-il voir dans le décalage entre ces dates de démarrage et le début des études dans l'industrie française en 1957, la raison pour laquelle celle-ci s'est très vite intéressée à la filière des neutrons rapides; ou bien faut-il voir dans cet intérêt particulier la conséquence du pari technique qu'impose à l'industrie la réalisation de ces réacteurs? L'une et l'autre causes ont probablement joué.

Que ce soit au stade de la nomination de l'Architecte Industriel, ou au stade de la collaboration aux études à caractère industriel, la compétition entre Sociétés pri-

vées a été très ouverte. C'est ainsi que l'Architecte Industriel, le Groupement Atomique Alsacienne Atlantique a été désigné parmi 5 candidats éventuels qui montraient tous un intérêt marqué pour la filière, et le désir d'utiliser ou de compléter leur organisation au service du projet Rapsodie.

C'est ainsi que les études préliminaires de la cuve du réacteur ont été menées par trois, puis deux, firmes concurrentes, pour aboutir au choix de la Société des Forges et Ateliers du Creusot, chargée de l'étude du bloc-pile et de la construction de la maquette. Ces exemples, qu'il serait aisé de multiplier montrent que l'industrie française avait pris conscience de l'importance du problème.

Certaines études confiées à l'industrie constituaient en quelque sorte un préalable au démarrage de la réalisation d'un réacteur surrégénérateur refroidi au sodium. La technologie de l'utilisation de ce métal a été dans une large mesure développée par le CEA, mais la fabrication et la mise au point de pompes, de circuits, d'échangeurs ont été réalisées par l'industrie, dans un domaine où elle ne possédait pas d'expérience, sans utilisation de licence étrangère, et où il fallait donc innover.

Dans un autre domaine, les conditions de compatibilité avec le sodium, de résistance aux efforts thermiques en régimes permanents et transitoires, laissent un faible degré de liberté aux métallurgistes pour décider d'une part du choix de l'acier utilisé dans le circuit thermique, d'autre part des conditions de mise en œuvre, de soudage, de traitement thermique. Pour les mettre au point, des études importantes ont été exécutées par le fournisseur de la cuve maquette: étude de comparaison entre diverses nuances d'acier inoxydable, études de technologie proprement dite, ensuite, dont l'importance pour ces réalisations est bien connue.

Ces deux exemples tendent à montrer les deux caractères qu'il a fallu imprimer aux études industrielles, celui de nouveauté et celui d'approfondissement. Bien entendu, les études d'un réacteur n'introduisent pas que des problèmes nouveaux. Cependant, même des études à caractère classique comme celle du génie civil ont posé des problèmes assez difficiles d'étanchéité à multiples barrières pour le dessin de l'enceinte étanche et de son cuvelage, de manière à éviter tout rejet à l'extérieur, quel que soit le caractère, très improbable d'ailleurs, de l'accident le plus grave possible.

Si, au stade des études, l'industrie française avait déjà manifesté son intérêt actif pour la filière des neutrons rapides, ce même intérêt n'a pas manqué de se marquer au stade des appels d'offres, réalisés, dès avant l'association avec Euratom, dans un cadre communautaire parmi les industriels des six nations; l'attention portée au projet par les industriels peut se mesurer au pourcentage des réponses aux appels d'offres, voisin de 100%, et à l'esprit de lutte qui s'y manifeste, tant sur un plan français qu'europeen. La table encartée à la fin de cet article indique les noms des différents industriels intéressés à la réalisation du programme neutrons rapides.

Quels sont donc les caractères qui différencient la réalisation d'un réacteur à neutrons rapides, d'une autre

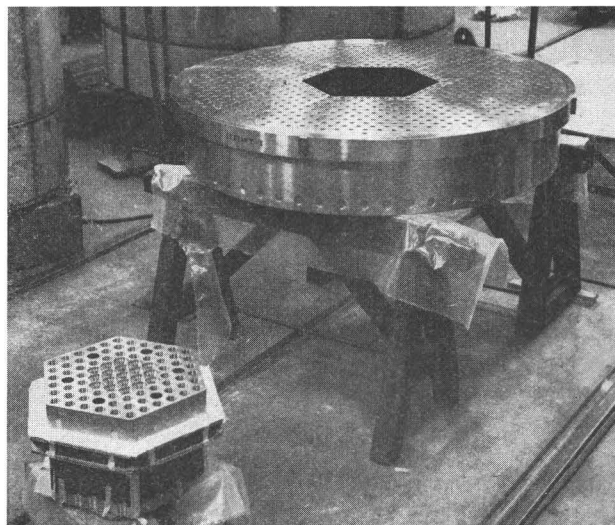


Figure 1. Petit et grand sommiers dont le rôle est de supporter les éléments combustibles

réalisation nucléaire, et qui exigent de l'industriel des efforts particuliers auxquels d'autres fabrications ne l'ont pas accoutumé ?

Ces caractères ne présentent pas un aspect de nouveauté absolu, les exigences imposées aux fournisseurs sont souvent de même nature et pourtant certains impératifs sont poussés plus loin que pour tout autre type de réacteur.

Le premier caractère est celui des très *faibles tolérances*.

Les densités de puissance dans le cœur sont élevées, les aiguilles combustibles sont donc très fines. Leur écartement, leur flèche propre, la continuité et l'homogénéité de l'écoulement du sodium, constituent des impératifs pour lesquels la tolérance est très faible. A partir de là, on conçoit que le sommier supportant les éléments combustibles, la cuve, l'installation de manutention des combustibles, exigent une réalisation extrêmement précise. Ainsi, les alésages des plaques de la partie centrale du sommier représenté sur la figure 1 sont situés à  $\pm 0,02$  mm de leur position théorique. De même, et c'est le cas des écrans thermiques, certaines pièces de chaudronnerie ont dû être formées avec une précision inaccoutumée.

La conception doit être telle que la précision nécessaire se conserve aux températures atteintes lors des différents régimes de fonctionnement.

Le deuxième caractère est celui d'*inaccessibilité*.

Au contraire de ce qui se passe pour les réacteurs de la filière gaz-graphite par exemple, la radioactivité du circuit primaire devient très forte après un court temps de fonctionnement. Un incident mineur risque alors d'entraîner des réparations très difficiles et très longues. Le caractère d'inaccessibilité exige d'une part que certains appareils soient démontables et c'est le cas des pompes et des échangeurs intermédiaires, et d'autre part que les parties fixes et en particulier le bloc-pile, soient d'une réalisation parfaite. Toute fuite, ou bien évidem-

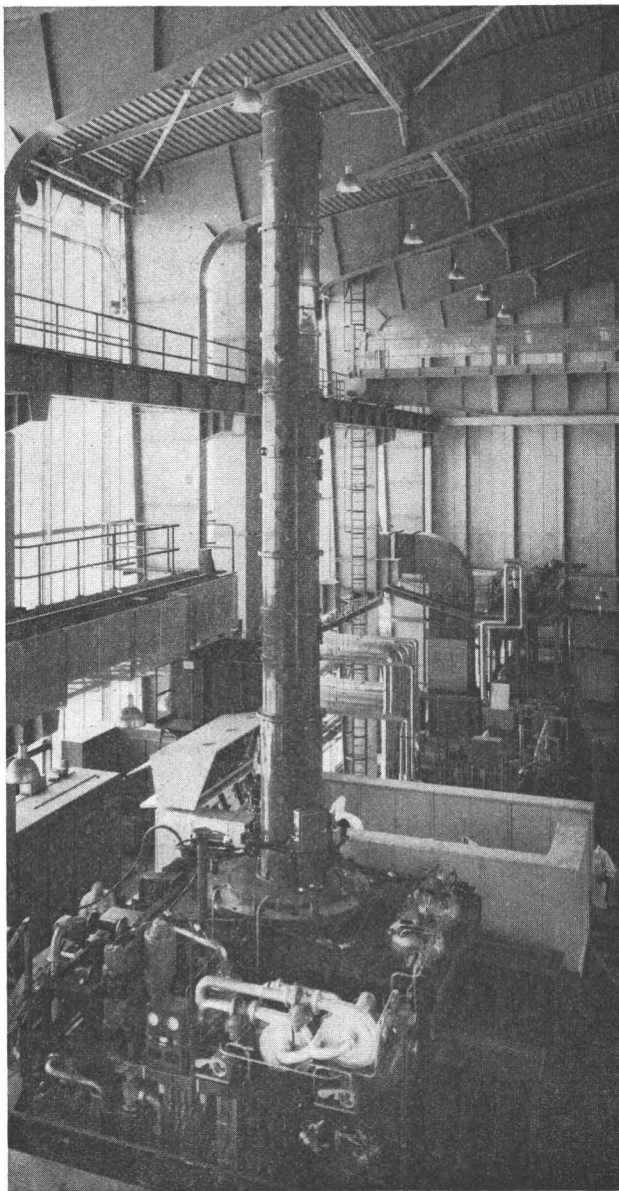


Figure 2. Hotte de manutention primaire montée à Cadarache à proximité de la cuve maquette

ment toute rupture, doivent être hautement improbables. De là découlent les très grandes précautions prises au cours de la fabrication.

La qualité des matériaux est particulièrement surveillée lors des approvisionnements d'abord : pureté du graphite, absences d'inclusions dans les aciers inoxydables, par exemple, puis au cours des transformations qu'ils subissent : recherche du meilleur cycle de traitement thermique de la cuve, par exemple.

Mais, les soins les plus attentifs sont consacrés à la réalisation des assemblages et au contrôle de l'étanchéité des soudures. Ainsi pour la maquette de la cuve, la vérification de la qualité des soudures a comporté deux phases :

Un ressuage coloré et une radiographie complète de toutes les soudures avant traitement thermique.

Un essai par le procédé Hélistest après traitement. La cuve, qui a subi cette épreuve avec succès, a été maintenue sous un vide de l'ordre de  $10^{-2}$  mm de mercure.

Compte tenu de la difficulté de ces réalisations les industriels doivent s'organiser de manière telle que, d'une part, la voix de l'expérience de fabrication puisse être entendue au cours des études, et que, d'autre part, les exigences du bureau d'études soient respectées au pied de la lettre et sans assouplissement par le personnel des ateliers de construction.

Le troisième caractère que nous relèverons est celui de la *propreté nucléaire*. Plus que dans d'autres réalisations nucléaires, la propreté de l'installation au démarrage est essentielle et ceci tant à cause des risques de corrosion

*Liste des Industriels participant aux travaux principaux du réacteur Rapsodie*

<i>Nom de la Société</i>	<i>Domaine d'activité</i>
Groupement Atomique Alsacienne Atlantique (GAAA)	Architecte Industriel
<i>Etudes</i>	
Société des Forges et Ateliers du Creusot (SFAC)	Bloc-pile
GAAA	Manutention des combustibles
SICN	Assemblages fertiles pour couverture radiale
Hispano-Suiza	Hotte de manutention primaire
Stein & Roubaix	Circuits sodium
Rateau	Circuits gaz
Carrier	Conditionnement de l'enceinte étanche
GAAA	Etudes générales de contrôle-commande
Alsthom	Installation du contrôle-commande
SACM	Réalisation du contrôle-commande
SACM	Génie civil bâtiments
<i>Fabrications</i>	
Compagnie Industrielle de Travaux (CITRA)	Génie civil gros œuvre
Lorraine Escaut	Tôles de l'enceinte étanche
Dingler	Etudes, fabrication et montage de l'enceinte étanche
Ferrand & Frantz	Pont-tournant de 60 et 5 tonnes
Hispano-Suiza	Pompes à sodium
Stein & Roubaix	Réservoirs de sodium
Bureau Veritas	Missions de contrôle technique
CEP	Missions de contrôle technique
Institut de Soudure	Missions de contrôle technique
Socotec	Missions de contrôle technique

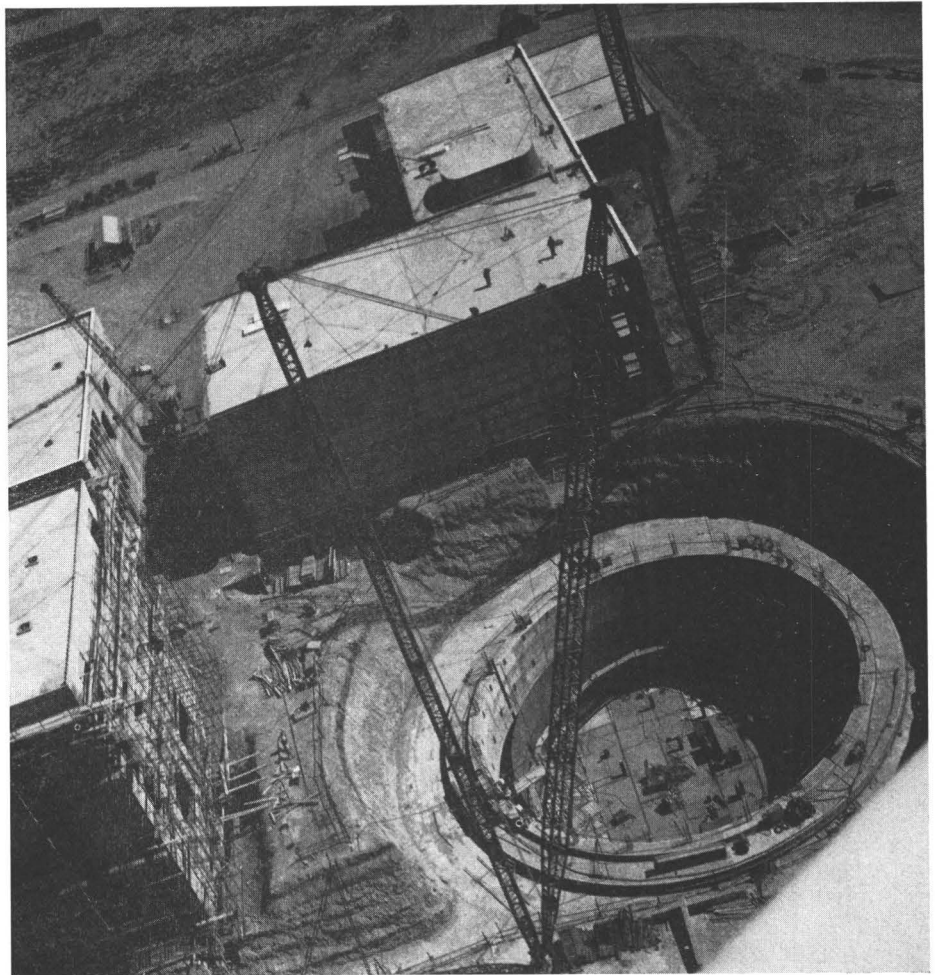


Figure 3. Chantier de la pile Rapsodie

que pour obtenir une propreté initiale du sodium permettant son épuration. Il en résulte que de grandes précautions de propreté doivent être prises au cours de la fabrication et lors du montage. Des aires de travail, des salles de propreté, des locaux de traitements de surface ont été créés spécialement; il faut inculquer à la main d'œuvre de nouvelles habitudes de soin et de propreté: c'est plus que partout l'ère des ouvriers en blouse et gants blancs.

On a vu plus haut que de nombreuses maquettes: de pompes, de circuits, de cuve, d'appareils de maintenance, ont été réalisées. Autant que pour satisfaire les besoins d'expérimentation des projeteurs, c'était pour se plier à la nécessité pour les industriels d'une sorte de «répétition générale» qu'ont été réalisées ces maquettes, très onéreuses par elles-mêmes.

Les difficultés qu'elles ont permis de découvrir et de résoudre amélioreront d'autant la construction du réacteur.

Cependant, l'expérience du démarrage du réacteur seule permettra de voir si ces maquettes ont joué leur rôle comme on l'espérait.

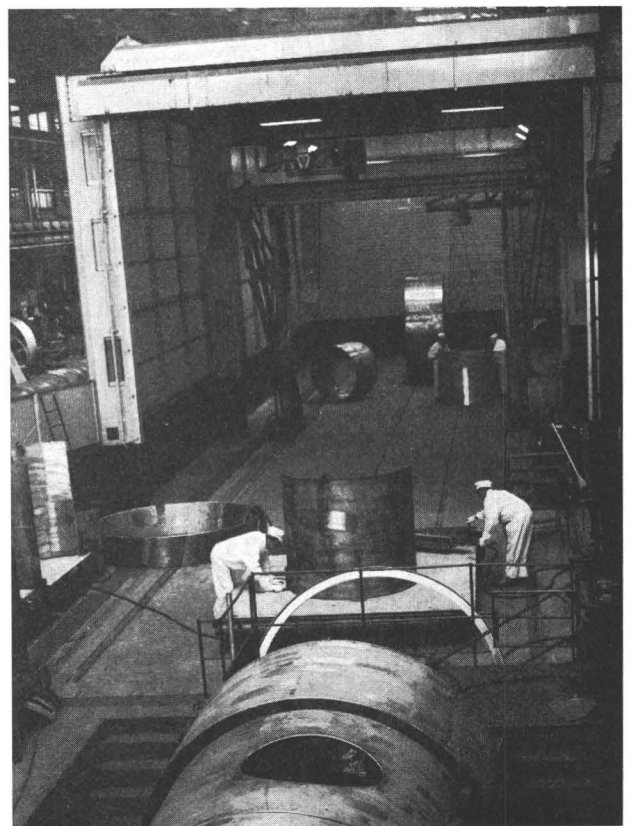
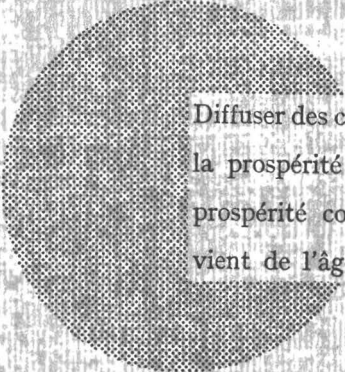


Figure 4. Atelier propre chez S.F.A.C. pour la fabrication de la cuve maquette. Le toit est coulissant. Des rideaux de fer analogues à celui du fond permettent d'isoler l'atelier propre



Diffuser des connaissances c'est distribuer de la prospérité — j'entends la prospérité collective et non la richesse individuelle — et cette prospérité contribue largement à la disparition du mal qui nous vient de l'âge des ténèbres.

Alfred Nobel

