

FR 8600 175

FRADOC-J-2

R1

LE PROJET DE REACTEUR PWR AVANCE N4, A CHOOZ.

*P. LABAT, C. LEROY, C. PROUILLAC*

FRAMATOME, 92-Courbevoie (France)

Communication présentée à : VGB Congress "Power plants 1984"  
The Hague (Netherlands)  
9-12 Oct 1984

## Le Projet de réacteur PWR avancé N4, à CHOOZ

### INTRODUCTION

Le programme nucléaire français, malgré la baisse sensible de la cadence des ordres d'exécution qui l'affecte, demeure un programme actif et performant. Ainsi, alors que nous procédons en France à la mise en route de la série du palier de 1300 MWe (voir session C.5), ELECTRICITE DE FRANCE a procédé au lancement de la réalisation du premier réacteur avancé de la série 1400/1500 MWe. C'est cette première réalisation à Chooz que nous allons évoquer ici, en indiquant tout d'abord les caractéristiques techniques de ce type de chaudière, puis en rappelant la collaboration franco-belge à laquelle elle donne lieu avant d'en venir aux conditions de réalisation proprement dites.

#### I - LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU MODELE N4

##### I-1 GENERALITES

Initié en mars 1980, après conclusion de la phase préliminaire du choix des grandes options, l'avant-projet N4, objet d'une étroite collaboration avec EDF, a été établi par FRAMATOME pour permettre une remise d'offre en mai 1982. Les autorités de sûreté ont pu évaluer le projet dès le début de 1981 et ont donné un avis favorable sur les principales options techniques de sûreté en octobre 1983.

Les premières études d'évaluation ont montré l'intérêt de maintenir les principaux choix de conception dans une ligne de continuité avec le programme français en tenant compte notamment des évolutions acquises dans la deuxième série des 1300 MWe, série dite P'4, et du retour d'expérience que l'ampleur du programme déjà réalisé nous a permis de recueillir. Il va de soi que, de leur côté, toutes les innovations techniques ont été soigneusement contrôlées par l'expérience ou des essais spécifiques.

Nous avons ainsi abouti à un modèle dont la conception marque la pleine maîtrise de notre société. Rappelons en effet que des accords de coopérations se sont substitués à ceux de licence qui avaient lié à l'origine la société FRAMATOME à la société Westinghouse.

Voici les facteurs techniques essentiels qui, en résumé, caractérisent le N4 et en assurent la compétitivité : (annexe 1)

- accroissement de puissance du réacteur avec un surcoût limité des matériels,
- économies potentielles apportées par le nouveau combustible AFA et par un taux d'épuisement de rejet accru,
- amélioration de l'aptitude du réacteur au suivi de charge et au télé-réglage,
- optimisation technico-économique des composants directement liés aux performances de la chaudières,
- efforts particuliers sur des composants importants (générateur de vapeur et pompes primaires),
- reconduction ou ajustement limité des systèmes auxiliaires P'4.

On peut compléter cette appréciation en situant ces caractéristiques par rapport aux chaudières des paliers précédents (annexe 2).

## I-2 CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX COMPOSANTS

Les éléments résumés étant rappelés, passons rapidement en revue les principaux composants :

### I-2.1 Assemblages du coeur (annexe 3)

La taille du coeur est accrue de 193 (P4-P'4) à 205 assemblages combustibles après une évaluation de faisabilité/coût/performances. L'analyse détaillée de la manoeuvrabilité a permis de définir deux niveaux de puissance :

- un régime nominal de fonctionnement en base à 4270 Mwth,
- un régime nominal de fonctionnement en suivi de charge-télé-réglage à 4056 Mwth.

La conception du coeur est basée sur le combustible 17x17 AFA XL (Advanced Fuel Assembly de longueur 4,27 m, développé par FRACEMA). La géométrie de base (diamètre du crayon, pas du réseau, dimensions extérieures) et sa technologie sont identiques à celles du combustible standard (SFA), ce qui permet toute référence à l'expérience de fonctionnement du combustible FRACEMA, qui porte actuellement sur environ 1 700 000 crayons combustible déchargés ou en réacteur.

Les modifications de l'AFA concernent en particulier :

- le remplacement de l'inconel 718 par du zircaloy 4 comme matériau de structure des grilles,
- la possibilité de remplacement d'un crayon combustible défectueux par les deux extrémités.

La première modification procure un gain sur l'enrichissement de l'ordre de 0,07% en valeur absolue à cause de la plus faible absorption du zircaloy et réduit le niveau d'activité dans le circuit primaire, la teneur en cobalt du zircaloy étant plus faible que celle de l'inconel.

Les modes de gestion du combustible ont été réévalués compte tenu de l'augmentation prévue du taux d'épuisement de décharge de 33000 à 45000 MWJ/t. Deux possibilités principales sont offertes :

- privilégier la disponibilité en allongeant les campagnes (campagnes longues de 18 mois avec rechargements par tiers de coeur),
- réduire la consommation d'uranium (campagnes annuelles avec rechargements par quart).

Enfin, la manoeuvrabilité de la chaudière a été améliorée par l'utilisation du système DMAX qui permet le contrôle total de la réactivité et de la distribution axiale de puissance par les mêmes groupes de contrôle.

### I-2.2 Cuve

Le diamètre de la cuve est porté de 4,39 m à 4,49 m consécutivement à l'accroissement de taille du coeur. Les autres évolutions significatives sont :

- l'élaboration des viroles à partir de lingots creux, ce qui améliore la qualité du matériau en peau interne, près du revêtement, (annexe 4)
- un effort de réduction des teneurs en impuretés (Cu et P) pour abaisser la température de transition ductile-fragile,
- une réduction du diamètre des pénétrations inférieures favorables sous l'aspect sûreté.

### I-2.3 Générateur de vapeur (annexe 5)

Un effort de conception particulier a été fait sur le générateur de vapeur, dans la continuité du concept à recirculation et vapeur saturée, faisceau de tubes en U, pour aboutir au nouveau modèle 73/19 E. Les points essentiels sont les suivants :

- la surface d'échange a été optimisée sous l'aspect performances/coûts,
- un concept d'économiseur simplifié à écoulement axial et compatible avec une alimentation en eau en partie supérieure a été développé. Il permet un gain de pression de vapeur tout en conservant les avantages intrinsèques du générateur à tore d'eau alimentaire (en particulier absence de chocs thermiques sur la plaque tubulaire),
- la compacité du faisceau est accrue par passage au pas triangulaire,
- de nouveaux séparateurs eau-vapeur et un arrangement plus compact des sècheurs permettent une réduction des dimensions du ballon eau-vapeur,
- des améliorations sont apportées dans le domaine de l'inspection (accès aux soudures) et de la maintenance.

Les améliorations génériques introduites dans les séries 900 et 1300 MWe, visent à réduire le risque de dégradation du tube, sont reconduites (améliorations hydrauliques, brochages, dudgeonnage, etc.).

Enfin, le passage de l'inconel 600 à l'inconel 690 a été décidé concrétisant l'aboutissement d'un important programme de Recherche et Développement sur ce matériau. Ce matériau a des qualités égales ou supérieures à l'inconel 600 selon les phénomènes de corrosion considérés et présente l'avantage d'un relâchement moindre d'activité dans le fluide primaire.

#### 1-2.4 Groupe moto-pompe primaire (annexe 6)

En liaison avec la société JEUMONT-SCHNEIDER, un développement important a été effectué sur ce composant pour aboutir à la pompe N 24 caractérisée par:

- un accroissement du débit nominal,
- une amélioration du rendement hydraulique par la mise au point d'une nouvelle cellule roue-diffuseur,
- le renforcement des marges de conception mécanique avec notamment l'emploi d'un palier hydrostatique en ceinture de roue,
- l'amélioration des conditions de maintenance avec un nouveau dispositif d'accouplement d'arbre.

#### 1-2.5 Systèmes auxiliaires et de sauvegarde

Le projet de chaudière N4 reconduit essentiellement dans ce domaine les dispositions du palier P'4 pour lesquelles un effort important d'améliorations avait été engagé par rapport à P4. Ces systèmes sont caractérisés comme suit :

- systèmes à fonctions séparées et redondance 2 trains 100%,
- système de refroidissement à l'arrêt implanté entièrement dans l'enceinte,
- système d'injection de sécurité à double barillet d'injection branche froide et 2 injections séparées branche chaude.

## II - COLLABORATION FRANCO-BELGE

Ainsi, on le voit, notre modèle N4 possède toutes les caractéristiques de nature à en faire l'un des plus avancés qui soit défini, dans le monde, à ce jour. Mais il ne serait qu'un bon dossier de plus si une première réalisation n'était d'ores et déjà bien engagée, dans le cadre d'un programme qui reste maintenant à préciser.

Avant de le faire, cependant, jetons un regard sur l'originalité d'accords de coopération auxquels cette réalisation donne lieu et voyons leurs effets immédiats dans le domaine industriel.

Tout concourrait, dès l'abord, à une coopération franco-belge :

- . le site, sur une enclave de territoire français en territoire belge, cerné par un fleuve précieux à tous : La Meuse ;
- . la contestation écologique et le besoin d'activité locale qui ignorent les frontières ;
- . la recherche naturelle de l'entente européenne dans l'action commune, portée par l'habitude de rapports fructueux entre producteurs et par une collaboration industrielle déjà ancienne dans le domaine.

C'est ainsi que, dès 1981, l'idée se fit jour d'une collaboration possible entre la France et la Belgique par l'harmonisation de leurs programmes comportant une participation, croisée entre producteurs, aux investissements et à l'utilisation du courant produit dans chaque pays.

Les termes de cette collaboration apparaissaient comme pouvant être satisfaisants également pour les partenaires industriels. Pour nos amis belges, d'abord, qui envisageaient la perspective -vitale pour eux- de prochaines commandes pour la réalisation de CHOOZ ; pour les français, ensuite, qui espéraient voir assurée, en réciprocité, leur participation à la centrale nucléaire suivante en Belgique.

Aux Pouvoirs Publics revenait en propre la charge de la mise au point prioritaire d'une collaboration profitable à tous dans le domaine de la sûreté des installations ainsi que le règlement du délicat problème du débit des eaux de la Meuse, après quoi des accords entre Etats pourraient sceller l'ensemble des conventions.

On imagine aisément qu'une opération de cette ampleur n'était pas simple à mettre au point dans tous ses détails. Beaucoup de discussions, d'approfondissement de tel ou tel aspect furent nécessaires. En particulier, celui de l'adaptation des accords à l'incertitude des besoins, s'agissant de ceux de la dernière décennie du siècle, celui du souci, légitime, de préserver des prix de courant concurrentiels et celui, bien normal, d'assurer la compréhension et de requérir l'accord de toutes les instances de représentation et d'autorité.

Mais finalement, après d'ultimes ajustements, les points de vue de tous convergèrent et les gouvernements purent signer, en mai dernier, des accords authentifiant ceux de tous les partenaires.

Outre la signature par les Producteurs belges de l'engagement de commande de la prochaine chaudière en Belgique à un groupement dont FRAMATOME est le chef de file, le résultat immédiat en fut la mise en route effective de la collaboration de l'industrie belge à la réalisation de la chaudière nucléaire de CHOOZ B1.

C'est ainsi que, sous le contrôle de la société FRAMATOME :

- . les ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES DE CHARLEROI (ACEC) fourniront, notamment, une part d'équipements internes et de mécanismes de commande de grappes et participeront à la réalisation des groupes motopompes primaires. En outre, comme ce fut le cas sur des chantiers précédents, ils participeront à l'ingénierie des travaux sur le site ;
- . COCKERILL MECHANICAL INDUSTRIES (CMI), de son côté, oeuvre à la réalisation d'équipements importants comme les générateurs de vapeur et les tuyauteries primaires ;
- . FABRICOM se verra attribuer des parts de la réalisation des tuyauteries auxiliaires et eau-vapeur ainsi que de l'installation électrique générale ;
- . enfin, l'usine de Dessel de la société Franco-belge de fabrication de combustibles (FBFC), fabriquera les assemblages combustible.

Maintenant que le rappel de cette collaboration, originale si non exemplaire, est fait, voyons dans quel cadre vont agir les réalisateurs, qu'ils soient français ou belges :

### III - RÉALISATION DES DEUX PREMIERES CHAUDIERES N4

EDF a notifié à FRAMATOME, le 2 mai 1984, la commande de deux chaudières à réaliser sur le site de CHOOZ. Cette commande porte également sur les études détaillées du palier N4 et sur la première charge de combustible de chaque tranche.

L'ordre d'exécution de la première tranche est intervenu le 1er juillet 1984, pour une mise en service industriel à pleine puissance prévue en mai 1991. La date de l'ordre d'exécution de la deuxième tranche dépendra du programme français au-delà de la tranche du 1300 MWe PENLY 2 dont l'ordre d'exécution est planifié en 1985. Les tranches construites en France à partir de là seront du modèle N4, à l'exception de GOLFECH 2, dernière tranche du modèle précédent (P'4).

### III-1 PLANNING (annexe 7)

Le planning général de réalisation de la première tranche CHOOZ B1 est représenté sur la figure jointe.

Le délai global entre ordre d'exécution et mise en service industriel (MSI) est de 82 mois pour la première tranche. A noter qu'il sera de 70 mois pour la série, dès la deuxième tranche.

La mise à disposition du pont polaire de manutention du bâtiment réacteur, qui conditionne le début de montage des gros équipements primaires est prévue en mars 1988, soit 44 mois après l'ordre d'exécution.

La réalisation des gros équipements primaires se trouve sur le chemin critique. C'est pourquoi les approvisionnements correspondants sont lancés, en accord avec EDF, avant l'ordre d'exécution officiel. La durée de fabrication considérée pour la cuve et les générateurs de vapeur est respectivement de 58 et 47 mois à partir du lancement des approvisionnements. Ces délais résultant de l'expérience de fabrication des paliers précédents.

La fabrication du premier groupe moto-pompe primaire a été également anticipée afin de pouvoir effectuer des essais en vraie grandeur sur l'installation EDF de Gennevilliers, en temps utile pour la fabrication des autres groupes, ces essais de performance étant ensuite suivis d'essais d'endurance.

Un autre chemin critique est constitué par l'étude, la fabrication et le montage des tuyauteries auxiliaires. Le début de ce montage constitue d'ailleurs la première intervention de FRAMATOME sur le chantier. Elle se situe 40 mois après l'ordre d'exécution pour CHOOZ B1, soit 4 mois avant la mise à disposition du pont polaire. Le montage de la plus grande partie des tuyauteries (hors petites lignes) se termine 4 mois avant l'épreuve hydraulique dans la zone du circuit primaire, soit une durée de montage de 20 mois. Il est prévu de démarrer le câblage électrique environ 20 mois avant le début des essais à chaud, alors que le tiers du montage des tuyauteries auxiliaires est effectué.

La durée d'essais entre épreuve hydraulique et mise en service industriel a été prise égale à 19 mois pour la première tranche et 14 mois pour la deuxième. Ces valeurs sont cohérentes avec l'expérience de démarrage des chaudières de 900 MWe, mais faibles vis-à-vis des délais de PALUEL 1 tête de série 1300 MWe (deux ans environ prévus actuellement).



Le planning de réalisation des tranches N4 doit bénéficier de l'expérience des nombreuses réalisations de FRAMATOME. Le ralentissement de la cadence des ordres d'exécution pourra néanmoins allonger les délais, le volume de fabrications en cours permettant plus difficilement d'atténuer l'effet des perturbations éventuelles.

### III-2 SITUATION ACTUELLE / PARTICULARITES

L'état actuel de la réalisation et ses particularités sont les suivants :

#### Etudes :

A partir des études et caractéristiques du modèle N4 déjà présentées, ont été lancées les études détaillées de réalisation. Elles ont porté principalement sur les sujets suivants :

- Etudes d'installation générale dans les différents bâtiments en vue de figer le génie civil et de préparer les commandes de tuyauteries auxiliaires. Ces études sont menées en liaison étroite avec EDF et faites à l'aide du système de CAO PDMS,
- Etablissement des spécifications relatives aux gros équipements primaires: cuves, générateurs de vapeur, pressuriseur, groupes moto-pompes primaires,
- Examen détaillé des zones "singulières" du circuit primaire principal afin d'en améliorer le profil, la constitution ou le contrôle à la lumière de l'expérience passée,
- Schémas des différents systèmes fluides auxiliaires et début d'élaboration des spécifications d'équipements auxiliaires (réservoirs, pompes).

A noter que les systèmes de contrôle-commande de la chaudière et la salle de commande (interface homme/machine) ont fait l'objet d'études de développement avec EDF, afin de choisir les orientations de modernisation en 1985.

#### Fabrication des matériels :

- Cuve : les différentes pièces de cuve sont terminées ou sur le point de l'être chez CREUSOT-LOIRE, la fabrication de la cuve a commencé dans l'usine FRAMATOME du Creusot. Outre la réduction de teneur en impuretés et l'élaboration de virole à partir de lingots creux, déjà évoquées, soulignons les améliorations de fabrication suivantes :
- . utilisation dans l'usine FRAMATOME d'un nouveau portique de soudage entièrement automatique et soudant par l'extérieur. Les premières pièces soudées par ce système possèdent une excellente qualité de joints.
- . revêtement par flux électroconducteur qui permet des bandes de dépôt plus large que par feuillard sous flux conduisant à une meilleure qualité de revêtement.

- Générateurs de vapeur : La fabrication des générateurs de vapeur dans l'usine de Chalon sur Saône, de FRAMATOME, et chez COCKERILL MECHANICAL INDUSTRIES (CMI) en Belgique, va bientôt débiter (les opérations de qualification sont en cours). Rappelons l'adoption, après essais de qualification, de tubes en inconel 690.
- Groupe moto-pompes primaires : JEUMONT-SCHNEIDER a lancé la fabrication du premier groupe moto-pompe primaire. Celui-ci doit être en effet essayé en vraie grandeur sur la boucle EDF de Gennevilliers (essais de performances et d'endurance prévus de mars 87 à février 88). Les autres pompes seront lancées prochainement chez JEUMONT SCHNEIDER et aux ACEC (Ateliers de Construction Electrique de Charleroi). Le planning des essais de Gennevilliers permet le cas échéant d'intervenir au niveau de la fabrication si les caractéristiques hydrauliques en sont pas satisfaisantes.
- Autres fabrication en cours. Sont également en fabrication les équipements nécessaires à l'avancement du génie civil :
  - . pièces d'ancrage qui doivent être noyées dans le béton,
  - . réservoirs situés dans les niveaux bas du bâtiment réacteur.

Ainsi, les fabrications de la chaudière nécessaires à la tenue du planning de CHOOZ B1 ont commencé de manière satisfaisante. Elles bénéficient, comme on l'a dit, de l'expérience de fabrication des paliers précédents et des essais de qualification effectués pour les matériels ou procédés nouveaux.

Il faut noter que parallèlement les travaux de génie civil conduits par EDF sur le site ont également démarré de manière satisfaisante, aussi bien pour le bâtiment réacteur que pour les bâtiments des auxiliaires nucléaires, des auxiliaires de sécurité et le bâtiment combustible. Une vue du site, prise en août, dernier vous montre l'état actuel du chantier. (annexe 8).

Dans FRAMATOME et chez les constructeurs principaux des équipes affectées à la réalisation de CHOOZ B1 ont été constituées, formées par des ingénieurs ayant l'expérience du programme français et utilisant des méthodes de travail perfectionnées à l'occasion de ce programme. Elles mettent en oeuvre leur dynamisme et leur compétence pour la bonne réalisation de ce nouveau palier de technologie française.

-----



- **PUISSANCE THERMIQUE: 4270 MW (P4 - P'4: 3817 MW)  
AVEC UN SURCOUT LIMITE DES COMPOSANTS  
DU REACTEUR**
- **UTILISATION DU COMBUSTIBLE AFA  
AVEC UN TAUX D'EPUISEMENT DE 45 000 MWJ/t**
- **MANOEUVRABILITE AMELIOREE (SUIVI DE CHARGE, TELEREGLAGE)  
AVEC LE SYSTEME D. MAX**
- **OPTIMISATION TECHNICO-ECONOMIQUE  
DES COMPOSANTS LIES AUX PERFORMANCES**
- **CONCEPTION DU GENERATEUR DE VAPEUR  
ET DE LA POMPE PRIMAIRE**
- **SYSTEMES DE SAUVEGARDE ET AUXILIAIRES SIMILAIRES  
A CEUX DE P'4 AVEC AJUSTEMENTS LIMITES**

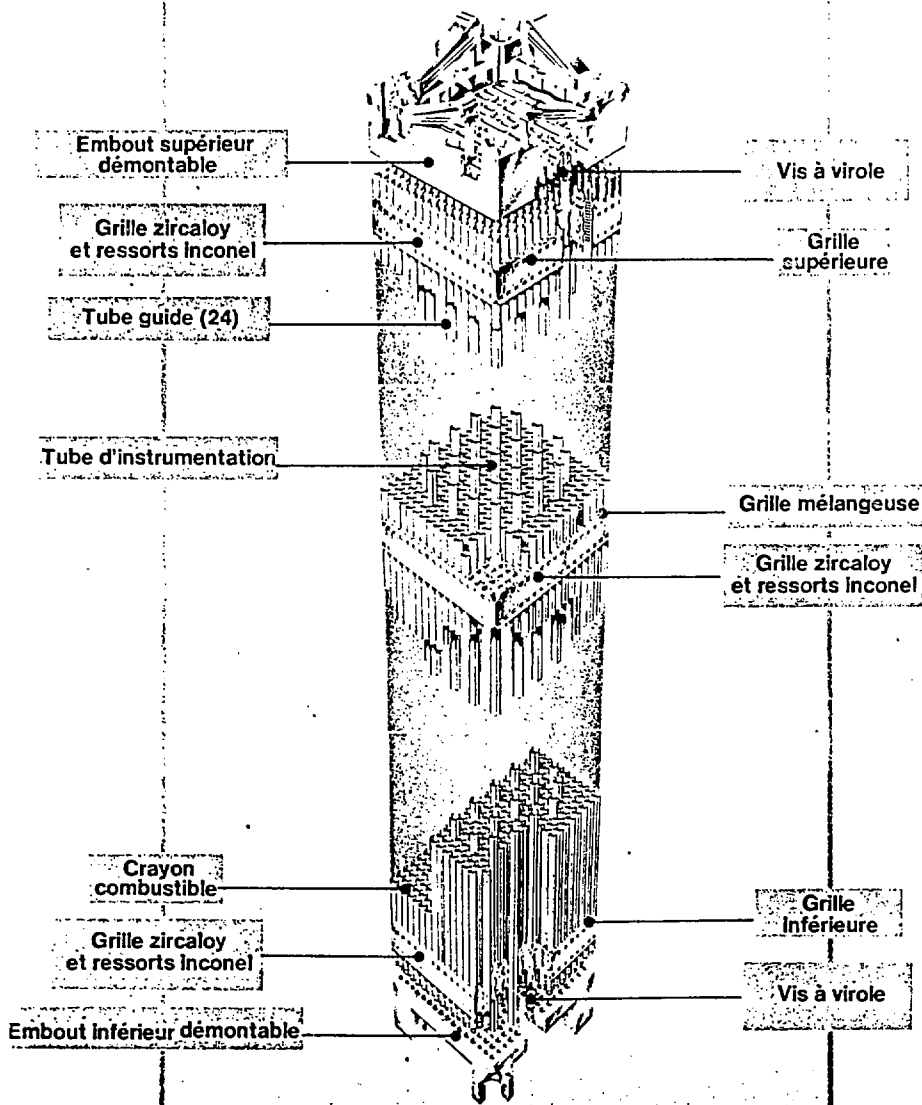
## **CHAUDIERE NUCLEAIRE N4**

### **CARACTERISTIQUES TECHNIQUES PRINCIPALES**

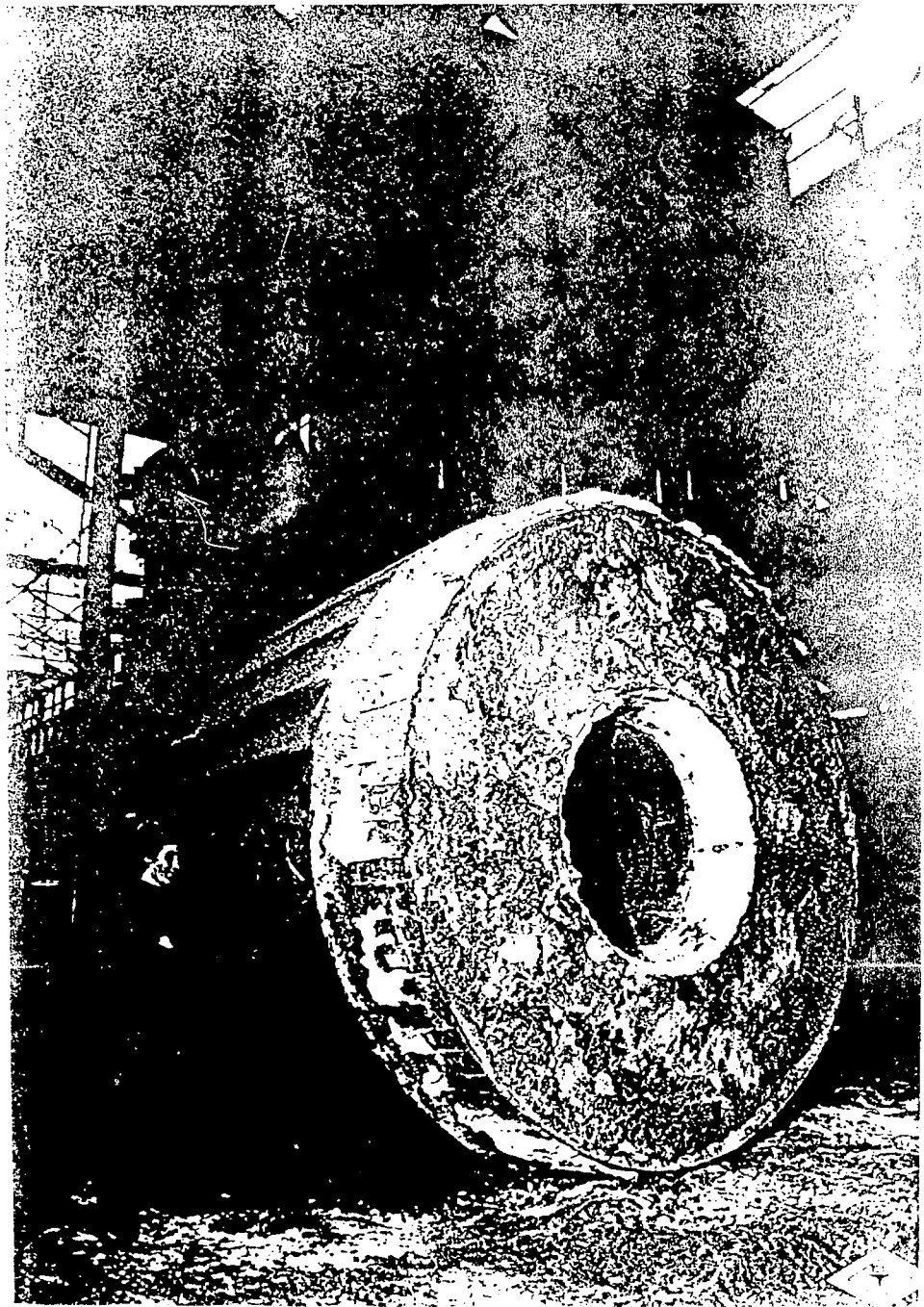


MODELES (NOMBRE DE ROUCLES)		CPY (3)	P4 - P'4 (4)	N <sub>4</sub> (4)
PUISSANCE CHAUDIERE	MW <sub>TH</sub>	2785	3817	4270
PRESSION DE VAPEUR	BAR	58	71	73
COMBUSTIBLE 17 X 17	-	STANDARD	STANDARD - XL	AFA - XL
LONGUEUR ACTIVE	M	3.66	4.27	4.27
NOMBRE D'ASSEMBLAGES	-	157	193	205
DIAMETRE INTERIEUR CUVE	M	3.99	4.39	4.50
MASSE TOTALE CUVE	T	330	430	455
MODELE DE GENERATEUR DE VAPEUR	-	51 B	50 - 19	73 - 19E
SURFACE D'ECHANGE	M <sup>2</sup>	4700	6900	7300
DIAMETRES D'ENVELOPPE	M	3.5/4.5	3.8/5.0	3.7/4.8
MASSE TOTALE	T	300	435	405
MODELE DE POMPE PRIMAIRE	-	93D	100	N24
DEBIT NOMINAL	M <sup>3</sup> /H	22700	22900	24500

## EVOLUTION DES CHAUDIERES PWR DU PROGRAMME FRANÇAIS

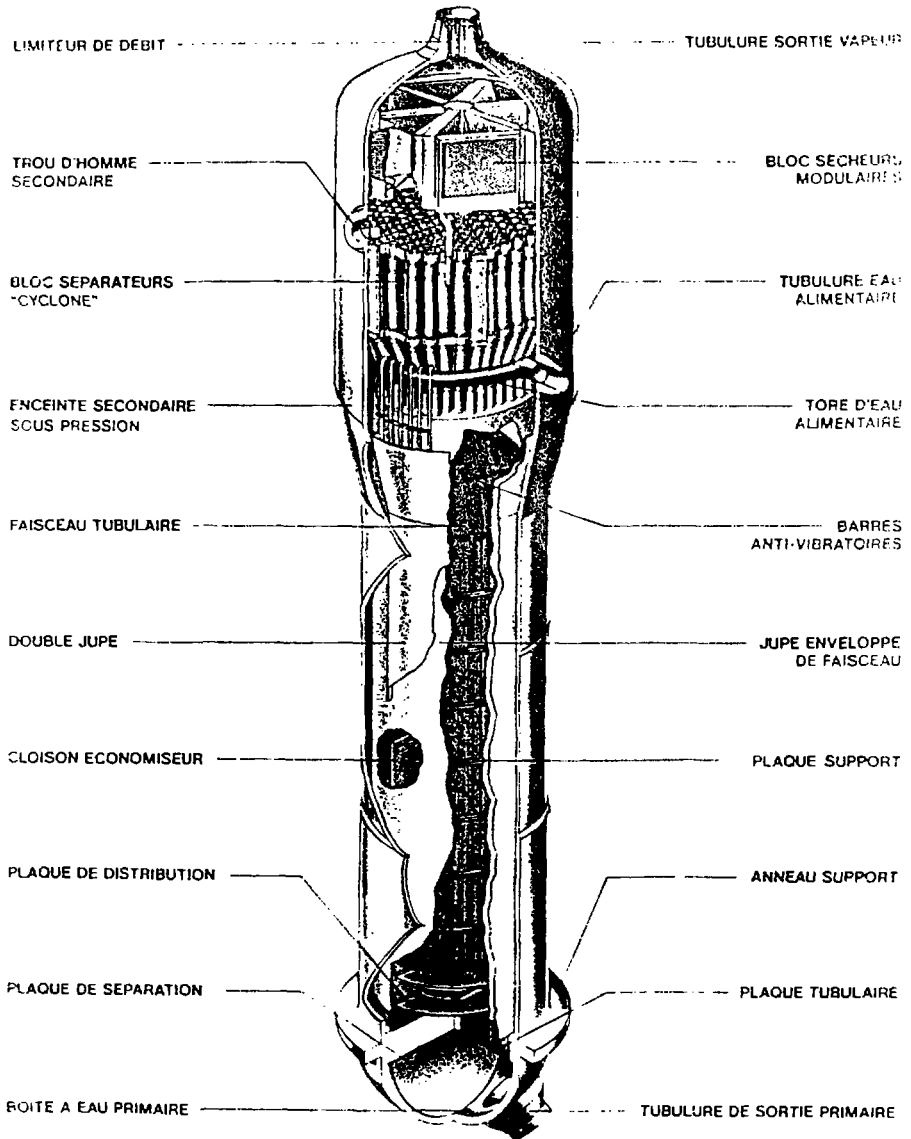


ASSEMBLAGE DE COMBUSTIBLE AVANCÉ (AFA)





# GÉNÉRATEUR DE VAPEUR





# GRUPE MOTO-POMPE PRIMAIRE

