



Réacteurs de puissance pour les pays en voie de développement

La hausse des prix du pétrole a conduit les pays en voie de développement à s'intéresser de plus en plus à l'énergie d'origine nucléaire. De l'étude de marché de l'AIEA qui dans sa dernière version couvre 55 pays en voie de développement, il ressort que ces pays représenteront, avant 1990, un marché potentiel pour une puissance nucléaire installée de 150 000 à 200 000 MW(e) dont 20% environ seraient constitués par des centrales ne dépassant pas 500 MW(e). Les participants du groupe d'étude ont examiné en détail plusieurs modèles de petites centrales et les résultats de leur exploitation ainsi que d'autres questions telles que le financement, la passation des marchés et la formation du personnel. Ils ont établi des recommandations sur la façon dont l'Agence pourrait stimuler la production d'énergie d'origine nucléaire dans les pays en voie de développement. Bien qu'on ne puisse pas encore fixer de dates précises, il semble généralement admis que l'énergie d'origine nucléaire jouera un rôle de plus en plus important dans la production d'électricité des pays en voie de développement.

Marché potentiel et besoins en réacteurs de petite ou de moyenne puissance

En 1974, l'Agence a mis à jour son étude de marché et l'a étendue à d'autres pays en voie de développement. Les derniers chiffres, repris au **tableau 1**, montrent que le marché des petites centrales s'est développé beaucoup plus que ne le prévoyait l'étude de 1973. D'après ces chiffres, sur un marché total de 220 000 MW(e), environ 20% de la demande (soit 45 000 MW(e)) devraient être constitués par des centrales ne dépassant pas 500 MW(e), la majorité desdites centrales ayant une puissance de 150 à 200 MW(e) (environ 60) ou de 400 MW(e) (environ 45).

TABLEAU 1:

Marché des centrales nucléaires dans 55 pays en voie de développement, selon la puissance unitaire (1981-1990)

Puissance installée (MW(e))	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500	Total
Nombre d'unités	34	29	13	18	46	14	72	43	42	38	7	356
Puissance installée totale (GWe)	5,1	5,8	3,3	5,4	18,4	7,0	43,2	34,4	42,0	45,6	10,5	220,7

Il convient de souligner que cette étude de marché ne peut pas prévoir avec certitude la puissance nucléaire qui sera installée dans un pays donné. Il y a plusieurs raisons à cela:

- La hausse des prix du pétrole a interrompu la croissance de la demande d'énergie dans de nombreux pays. Le recul de la croissance voire de la consommation d'énergie peut très bien n'être que transitoire mais il est extrêmement difficile de prévoir quel en sera le rythme lorsque la situation sera stabilisée. Il est à prévoir qu'elle sera probablement plus faible que par le passé.

- b) De toute évidence, dans la plupart des pays considérés, les centrales alimentées au mazout peuvent maintenant être remplacées aussi bien par des centrales hydrauliques que par des centrales nucléaires mais l'absence de chiffres empêche d'évaluer avec précision le potentiel hydraulique de chaque pays. Plusieurs d'entre eux prévoient peut-être maintenant de construire des centrales hydrauliques fournissant de l'énergie à moindre prix que des centrales nucléaires. La méthode analytique employée dans l'étude de marché n'est pas suffisamment précise pour étudier la solution hydro pour chaque pays et des études plus détaillées s'imposent donc dans ce domaine.
- c) Les programmes d'expansion dépendront essentiellement des capitaux qui seront disponibles pour financer la construction de centrales et on ne peut pas dire avec certitude si les crédits seront suffisants et dans quelles conditions ils seront accordés. Les centrales à combustible fossile exigent au départ des investissements moindres que les centrales nucléaires, en sorte qu'elles emporteront peut-être la décision bien qu'elles soient à la longue moins rentables.
- d) Les principes fondamentaux et les paramètres de coût retenus pour l'étude de marché, notamment les hypothèses retenues en matière d'investissements sont peut-être éloignés de la réalité, mais de toute façon, l'expérience fait défaut pour pouvoir établir de meilleures estimations.
- e) De grandes centrales (600 MW(e) et plus sont déjà commercialisées mais l'offre a été jusqu'à présent très incertaine en ce qui concerne les petites centrales.

L'offre de réacteurs de petite ou de moyenne puissance

Tous les pays fabricants de réacteurs, (République fédérale d'Allemagne, Canada, Etats-Unis, France, Japon, Royaume-Uni, Suède et Union soviétique) offrent des unités entrant dans la catégorie des petits ou moyens réacteurs, cependant, la plupart des constructeurs, pour des raisons économiques, ont normalisé leur production sur des unités de 600 MW(e) et plus. En Suède, des études préliminaires ont été faites sur des unités souterraines de petite taille et l'Union soviétique a récemment mis en service des unités de 24 MW(e) à Bilibinsk, sur le détroit de Béring.

Dans la catégorie des unités de 300 MW(e), les projets envisagés porteraient sur des réacteurs à eau lourde du type soit CANDU, soit SGHWR (fabriqués respectivement par EAEL, au Canada, et Nuclear Power Group, au Royaume-Uni). On pourrait construire de tels réacteurs soit en réduisant des unités de 500 MW(e) (CANDU de Pickering) ou en développant les unités de 100 MW(e) (SGHWR de Winfrith Health) en service. Le réacteur choisi pour le programme britannique est le SGHWR de 600 MW(e), en sorte que cette version sera disponible. Dans le cas de ces deux réacteurs, les pays producteurs ne sont guère intéressés par les unités de petite ou moyenne puissance. Il faudrait donc que plusieurs clients éventuels se concertent pour obtenir que les fabricants envisagent de produire le type de réacteur voulu.

Aussi bien le CANDU que le SGHWR sont construits selon un principe modulaire dont il convient de tenir compte pour évaluer les problèmes que pose la diversification des puissances. Dans le cas du SGHWR, il est possible de porter la puissance jusqu'à 1 300 MW(e) en augmentant le nombre de canaux modulaires et en employant les paramètres de fonctionnement retenus pour la centrale de Winfrith. En ce qui concerne les autres éléments tels que cylindres de vapeur, pompes et soupapes, il n'est pas nécessaire d'étudier des modèles particuliers ou d'apporter des modifications aux modèles, déjà nombreux, qui ont fait leurs preuves.

Un autre type de réacteur qui rentre dans la catégorie des réacteurs de petite ou de moyenne taille et qui a été proposé au groupe d'étude est le réacteur à eau légère sous pression. En général, ce modèle de réacteur s'inspire du modèle utilisé pour la propulsion des navires. Les plans d'Interatom (République fédérale d'Allemagne) envisagent des réacteurs à eau légère sous pression et à échangeur intégré dont la puissance varie entre 35 et 310 MW(e) et s'inspirant du réacteur du Otto Hahn, (navire à propulsion nucléaire, voir **tableau 2**).

Un rapport sur l'analyse préliminaire de la sûreté a été soumis aux autorités nationales compétentes afin qu'elles autorisent la construction d'un réacteur pour navire de ce type qui équivaldrait à une centrale de 220 MW(e) et le certificat de sûreté correspondant devrait être accordé en 1975. La **figure 1** est une photographie de la chaudière du Otto Hahn dont la conception est identique à celles d'autres unités à terre.

Le **tableau 3** reprend des données techniques qui ont été présentées au groupe d'étude au sujet des réacteurs à eau sous pression fabriqués par Technicatome (France) s'inspirant d'unités servant à la propulsion des navires. La puissance de ces réacteurs varie de 35 à 95 MW(e) et atteint même dans un cas 340 MW(e). Le circuit primaire de la plus grande de ces unités est illustré par la **figure 2**. Ces centrales marquent l'aboutissement de plans très poussés pour lesquels on a calculé en détail les estimations de coût et qui ont été jugés intéressants.

Une centrale de 35 MW(e) pourrait être installée prochainement en Polynésie. En étudiant ce projet, on a également recherché les possibilités d'utiliser directement la chaleur et il se peut que l'on crée les premières installations de ce type en France pour la production de chaleur industrielle.

Une autre centrale du type réacteur à eau sous pression et à échangeur intégré a été examinée par le groupe d'étude: il s'agit d'un modèle mis au point par Babcock et Wilcox (Etats-Unis d'Amérique) pour la propulsion des navires. Cette unité pourrait produire plus de 90 MW(e) dans sa version à terre (**figure 3**). Un rapport préliminaire sur la sûreté de ce réacteur de navire a été soumis aux autorités des Etats-Unis qui n'ont pas encore terminé leur enquête. La première unité commerciale embarquée pourrait commencer à fonctionner au début de la prochaine décennie. Bien qu'un réacteur embarqué soit plus difficile à construire qu'un réacteur à terre, il faut pour passer du premier au second des travaux techniques considérables et coûteux. Peut-être ce type de réacteur finirait donc par être commercialisé pour équiper des centrales mais il faudra pour cela attendre de nombreuses années.

TABLEAU 2: Données techniques relatives aux réacteurs à eau sous pression et à échangeur intégré d'Interatom

Puissance fournie MW(e)	35	58	89	120	182	245	310
Besoins d'électricité sur place MW	2	3,5	5,5	7	11	14,5	18,5
Production d'électricité brute MW	37	61,5	94,5	127	193	259,5	328,5
Puissance thermique MW(t)	120	200	300	400	600	800	1000
Puissance volumique du réacteur MW(t)/m ³				70			
Nombre d'éléments combustibles	32	45	57	69	89	101	121
Disposition des barres de combustible				15 X 15			
Diamètre extérieur des barres de combustible, mm				10,75			
Pression du système primaire, kg/cm ²				98,4			
Débit de vapeur produite, kg/s	62	103	155	206	309	412	515
Pression de la vapeur, kg/cm ²				48			
Température de la vapeur, °C				270			

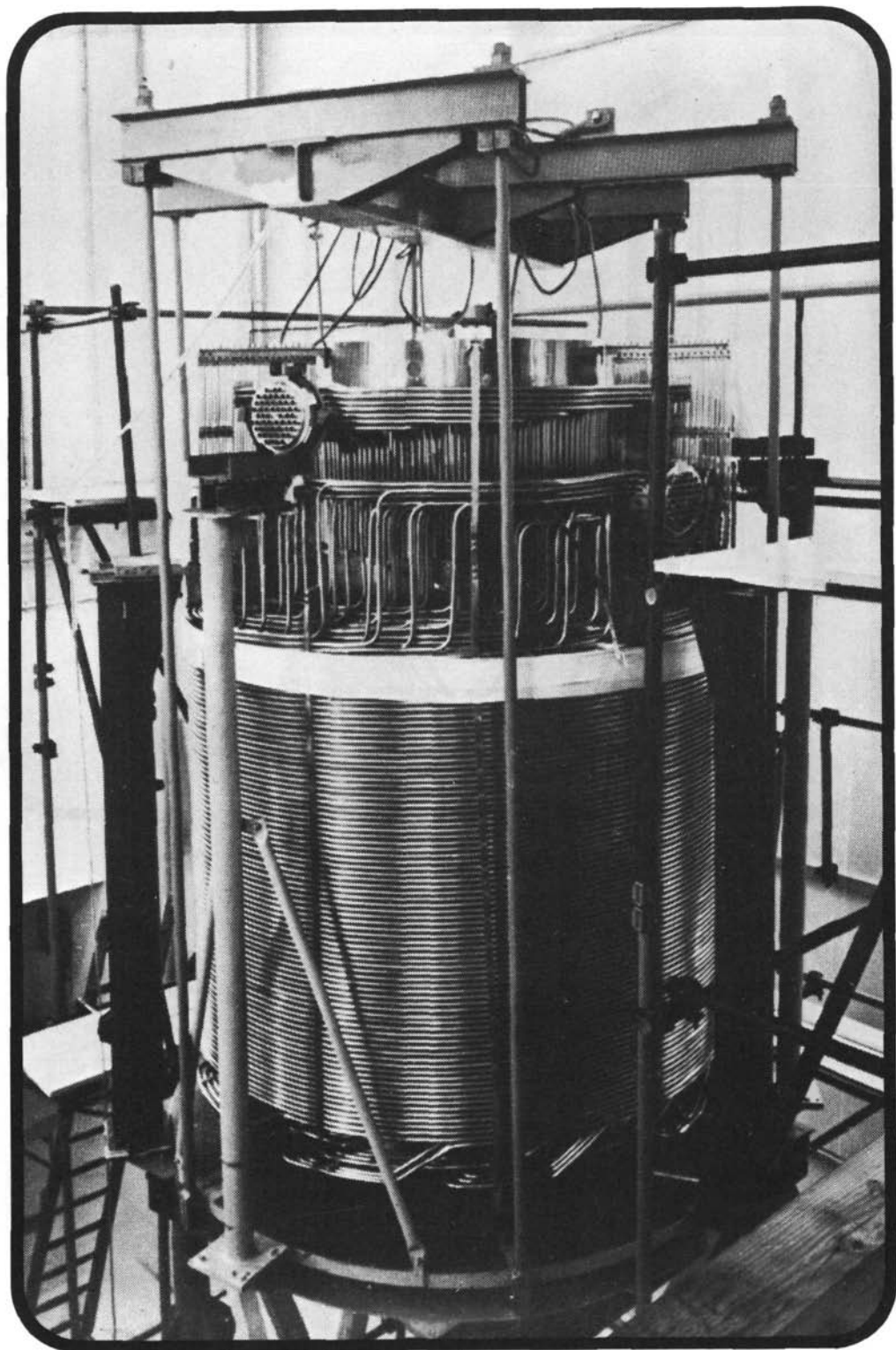


Fig. 1. Chaudière du Otto Hahn. Photo: Interatom

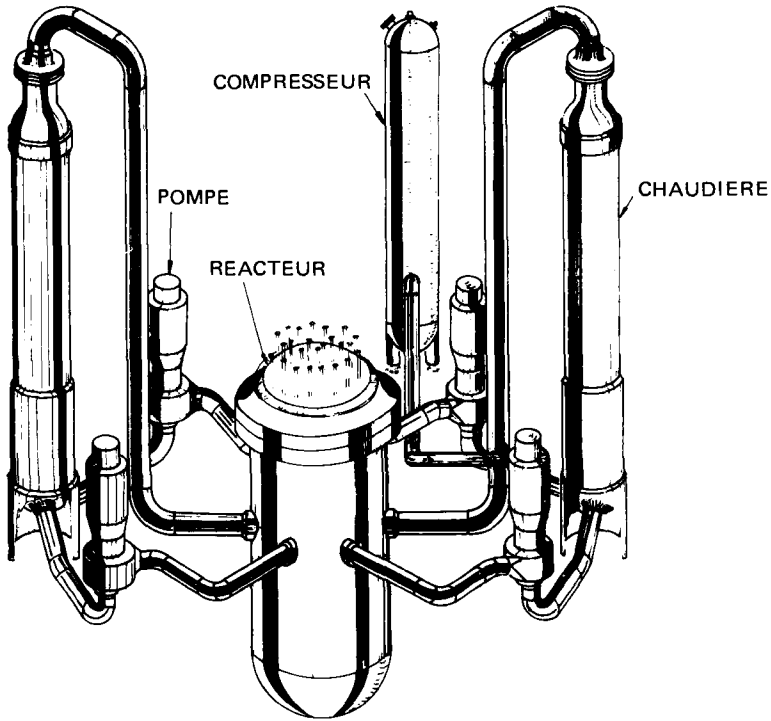


Fig.2. Circuit primaire de l'unité de 340 MW(e) étudiée par Technicatome.
Communiqué par Technicatome

TABEAU 3: Données techniques relatives aux réacteurs à eau sous pression et à échangeur intégré de Technicatome

Puissance nette fournie MW(e)	35	60	95	340
Puissance thermique MW(t)	135	220	330	1100
Nombre d'éléments combustibles	56	72	112	112
Enrichissement du combustible % en poids de U 235	5	5	5	3,5
Nombre de barres de contrôle	12	16	20	33
Pression du système primaire kg/cm ²	143	143	143	160
Pression de la vapeur kg/cm ²	48	48	48	59
Température de la vapeur °C	261	261	254	298
Nombre de boucles	1	2	3	2

- 1 ENTREE ET SORTIE DU CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT
- 2 GRUE DE 75 TONNES
- 3 MAGASIN DU REACTEUR
- 4 SALLE DE MANUTENTION DU COMBUSTIBLE ET STOCKAGE INTERNE
- 5 GRUE DE 125 TONNES
- 6 STOCKAGE DU COMBUSTIBLE IRRADIE
- 7 EVACUATION DU COMBUSTIBLE IRRADIE
- 8 STOCKAGE DU COMBUSTIBLE NEUF
- 9 BATIMENT ABRITANT LE REACTEUR
- 10 SAS D'ENTREE
- 11 DEMINERALISEUR
- 12 INSTALLATION DE DECOMPRESSION

- 13 TURBO-GENERATEUR DE 90 MW(e)
- 14 REACTEUR
- 15 ENVELOPPE PRIMAIRE DE SECURITE
- 16 SALLE DE COMMANDE
- 17 BATIMENT ADMINISTRATIF

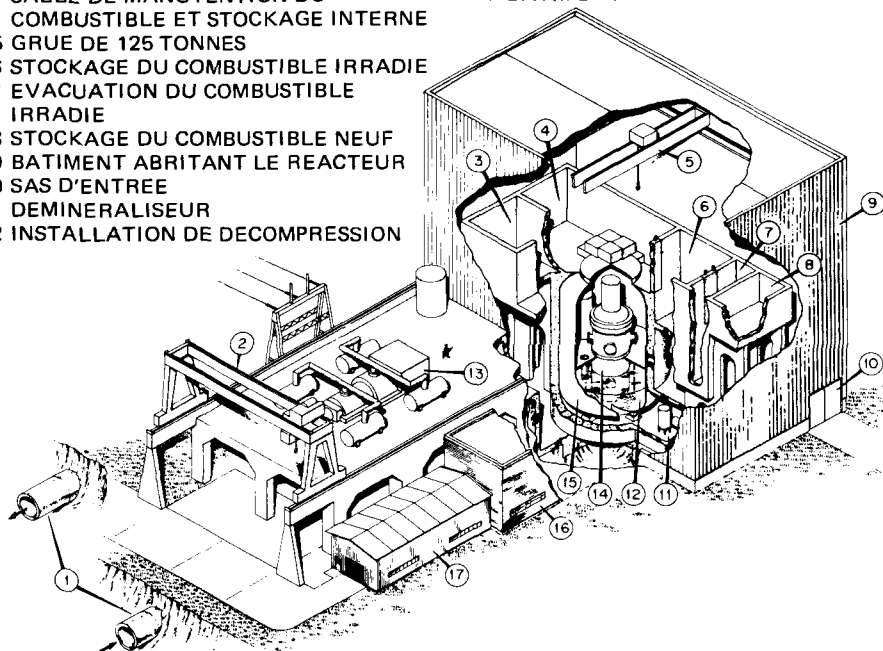


Fig.3. Générateur de vapeur nucléaire de 313 MW(t) et turbo-générateur de 90 MW(e).
Communiqué par Holifield Nat. Lab.

Types de contrat et modalités de financement

Comme il fallait s'y attendre, les types possibles de contrat varieront fortement entre les différents fournisseurs et pourront aller du contrat clé en main proprement dit, qui porte sur une usine entière vendue par le fournisseur du réacteur, jusqu'à des contrats distincts pour le système d'arrivée de la vapeur, la turbine et le reste de la centrale. Certains organismes de financement ont marqué leur préférence pour des contrats partiels garantissant le caractère concurrentiel des différentes soumissions. De tels contrats pourraient porter sur le système de fourniture de vapeur d'origine nucléaire d'une centrale, un bureau d'étude et de construction se chargeant de l'ensemble du projet.

D'après les critères appliqués par les organismes de financement, il faudrait normalement que les unités susceptibles d'être vendues aux pays en voie de développement puissent être considérées comme ayant fait leurs preuves et ayant reçu les autorisations nécessaires à leur fabrication. Le premier critère est généralement assez difficile à appliquer et doit être considéré en fonction de chaque cas particulier. Le travail accompli par l'AIEA pour établir

toute une série de critères et de normes de sûreté acceptables sur le plan international aidera les pays en voie de développement à résoudre les difficultés qu'ils éprouveront probablement pour répondre au deuxième critère. Le fonctionnement, dans le pays du fournisseur, d'une unité ou d'une centrale analogue à celle qui est vendue au pays en voie de développement semble être la réponse idéale aux conditions posées par ces organismes financiers.

Un autre point important doit être étudié, celui des crédits qui seront nécessaires jusqu'en 1990. Dans l'étude de marché de l'AIEA, on a estimé que les différentes régions auxquelles appartiennent les 55 pays en voie de développement examinés absorberaient les investissements suivants:

	Milliards de dollars*
Europe, Proche-Orient et Afrique	24,5
Asie et Extrême-Orient	35,3
Pays à économie planifiée	13,9
Amérique centrale et Amérique du sud	24,3
Total	98,0

* Dollars constants de 1974.

Il s'agit là d'investissements considérables qui risquent de constituer l'un des obstacles au développement de l'énergie nucléaire dans ces pays. Les perspectives dans ce domaine risquent de ne pas être très encourageantes et il y a moins de chances que ces pays puissent toujours bénéficier des mêmes conditions favorables qui ont déjà été accordées par le passé pour certains réacteurs nucléaires.

Dans ces conditions, on ne peut guère s'attendre que ces pays choisissent parmi celles qui sont actuellement commercialisées, des unités dépassant leurs besoins afin de les faire fonctionner à puissance réduite à la place d'unités de petite taille. Une telle méthode pourrait à la longue être économique et permettre à ces pays d'acheter sans attendre les réacteurs déjà commercialisés, mais ils ne pourront probablement pas le faire car une telle opération leur poserait des problèmes de financement encore plus grands. En outre, une fois qu'une centrale électrique de grande taille est reliée à un réseau, on est tenté de l'exploiter à plein rendement du fait de son faible coût de fonctionnement. Si la puissance de la centrale nucléaire représente une grande partie de celle du réseau, la fiabilité de celui-ci risque d'être gravement réduite.

Plans de l'AIEA

En application des recommandations rédigées par le groupe d'étude en novembre 1974, l'Agence a réuni le 30 juin 1975 un groupe technique composé des représentants des pays fabricants de réacteurs afin d'établir un catalogue des caractéristiques des réacteurs de petite et de moyenne puissance. Ce catalogue contiendra des données techniques mises à jour et, dans la mesure du possible, des prévisions de coûts représentatives.

Ce catalogue pourra aider les Etats Membres à établir leurs programmes de production d'électricité. La session de la Conférence générale de septembre 1975 leur donnera l'occasion d'examiner la possibilité, évoquée par le groupe d'étude, d'établir une concertation entre plusieurs acheteurs éventuels de réacteurs de petite et de moyenne puissance.

Il serait plus facile de proposer plusieurs modèles si l'on pouvait trouver des acheteurs s'intéressant à 6 ou 10 unités essentiellement identiques. Une telle coopération entre les acheteurs éventuels permettrait probablement de maintenir les dépenses d'investissement dans des limites raisonnables.