

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 82 (1956)
Heft: 22: Énergie nucléaire, fascicule no 2

Artikel: Les réacteurs expérimentaux
Autor: Lalive d'Epinay, Jacques
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62093>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

élevées ne sont possibles qu'avec de l'uranium enrichi d'un prix élevé et dont la fabrication entraîne une forte consommation d'énergie.

Il est à l'heure actuelle difficile de prévoir quelle solution sera la plus intéressante du point de vue économique. Le point le plus important n'est pas le rendement thermique mais bien l'ampleur du total des moyens investis. Une augmentation du rendement n'a de sens que si elle entraîne une baisse de l'investissement total.

De ce point de vue il est nécessaire de considérer l'ensemble de ce que l'on peut appeler l'« économie ato-

mique » et non pas seulement la centrale atomique elle-même. Cette économie atomique comprend entre autres la fabrication et la régénération du combustible, l'utilisation des isotopes naturels, la production d'isotopes artificiels, l'utilisation des déchets et des produits radioactifs. Dans l'avenir immédiat l'économie atomique européenne portera son effort principal sur les combustibles naturels et faiblement enrichis. Peut-être en sera-t-il ainsi pour une très longue période. C'est pourquoi il est important de se rendre compte que cette limitation n'empêche en rien le développement des centrales atomiques.

LES RÉACTEURS EXPÉRIMENTAUX

par JACQUES LALIVE D'EPINAY, ing. E.P.F.

S. A. Brown Boveri & C^o, Baden

Les exposés précédents sur la physique nucléaire vous ont offert ce qu'on pourrait appeler une nourriture spirituelle et c'est à moi qu'incombe maintenant la tâche de présenter le réacteur ou plus exactement le réacteur nucléaire, siège de la réaction en chaîne, et d'entrer ainsi dans le domaine des réalisations.

H. S. Isbin, de l'Université de Minnesota (U.S.A.), avait préparé pour la Conférence de Genève une liste des quelque quarante réacteurs expérimentaux actuellement en service, auxquels on peut ajouter une vingtaine d'installations en construction. Je n'ai pas l'intention d'en faire l'énumération ni même de donner de quelques-unes une description complète, car tous ces réacteurs ont déjà été l'objet de nombreuses publications, autant à Genève que dans la plupart des revues techniques et scientifiques.

Il est intéressant de grouper dans un tableau synoptique les caractéristiques distinctives du réacteur d'où ressortira la grande diversité des réalisations possibles.

Rappelons que l'on désigne par matériau fissible un élément qui lors de la fission de son noyau produit plus

de neutrons qu'il n'en absorbe, et par matériau fertile un élément susceptible de se transformer en matériau fissible.

Des considérations de physique nucléaire excluent certaines combinaisons, par exemple l'uranium naturel - H₂O - acier - neutrons rapides - répartition homogène, d'autre part l'emploi simultané d'uranium fortement enrichi et d'eau lourde n'aurait aucun sens. Il faut donc se garder de calculer le nombre de combinaisons possibles des éléments du tableau, ce qui conduirait à plus de 120 000 cas. Plus de 1000 réacteurs à uranium enrichi semblent concevables et une centaine à uranium naturel. Actuellement une dizaine seulement de types différents de réacteurs producteurs d'énergie utile sont à l'étude ou à l'essai.

Nous expliquerons le principe de fonctionnement d'un réacteur à l'aide de la coupe schématique de la première réalisation française, en fonction depuis le 15 décembre 1948 (fig. 1). L'ensemble est constitué par une cuve C contenant de l'eau lourde, dans laquelle plongent des barres d'uranium U ainsi que les barres

TABLEAU

Caractéristiques distinctives des réacteurs

Matériaux							Etat			
fissible			fertile	modér.	réfrig.	réflect.	gaines	neutrons	répart.	mat. fiss.
	%	enrichi								
U 235	0,7	naturel	U 238	H ₂ O	air	H ₂ O	Al	thermiques réson. rapides	homogène hétérog.	solide solution suspension
U 235	< 2	léger		D ₂ O	CO ₂	D ₂ O	Zr			
U 235	2-20	moyen		C	He	C	Mg			
U 235	>20	fort		Be	(N ₂)	Be	Inox.			
Pu 239			U 238	BeO	H ₂ O	BeO				
U 233			Th 232		D ₂ O					
					Na	U 238				
					NaK	Th				
					Bi					

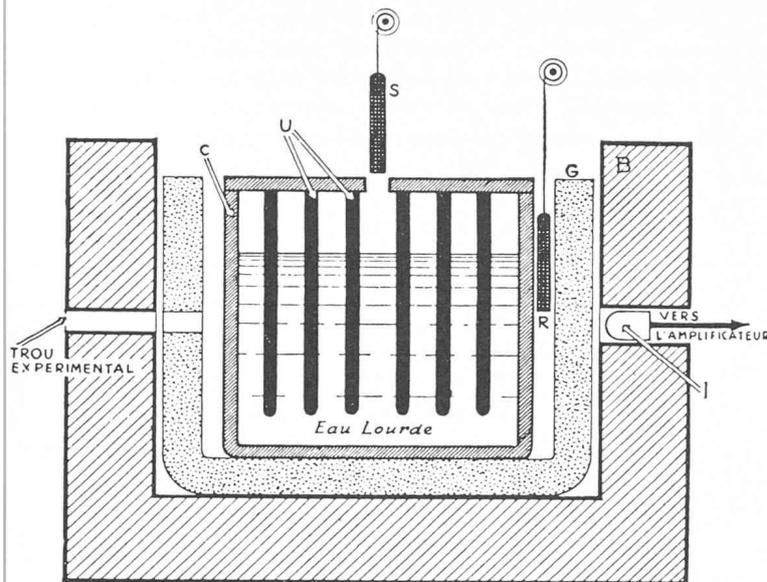


Fig. 1. — Coupe schématique d'un réacteur à eau lourde.
Atomes n° 39, février 1949.

de sécurité *S*. Ces dernières contiennent un élément absorbeur de neutron, bore ou cadmium. Alors que les barres d'uranium sont fixes, les barres de sécurité peuvent se placer en deux positions : d'arrêt, lorsqu'elles sont immergées dans l'eau ; de marche, lorsqu'elles sont complètement sorties.

C'est à l'extérieur de la cuve que se trouvent les plaques de réglage mobiles *R* qui contrôlent l'absorption des neutrons, c'est-à-dire la réactivité.

Les barres d'uranium sont entourées d'une gaine métallique dont la fonction est d'empêcher les produits de fission, solides et gazeux, de pénétrer dans le modérateur. Autour de la cuve est disposé un manteau de graphite *G* qui sert de réflecteur. Les neutrons qui s'échappent de la cuve sont réfléchis par le graphite et renvoyés dans la cuve, où ils participent à la réaction. Ce réflecteur permet de réduire les dimensions critiques du réacteur, autrement dit d'utiliser pour une puissance donnée une quantité moindre de modérateur et d'uranium. Un mur épais de béton *B* sert à absorber les rayonnements pénétrants qui accompagnent la fission et qui seraient nocifs aux travailleurs.

Le réacteur à eau lourde, de beaucoup le plus puissant (fig. 2 et 3), se trouve à Chalk River (Canada). Après avoir servi pendant cinq ans à des essais, dont les plus importants concernaient l'influence du flux de neutrons sur le comportement des matériaux, il a subi une avarie grave. Il s'est agi très probablement d'une manœuvre imprudente qui provoqua une augmentation de température telle que plusieurs barres d'uranium ont fondu, détériorant leur gaine et le tube intérieur en aluminium. Les produits de fission ont contaminé l'air et l'eau de refroidissement. Plusieurs milliers de mètres

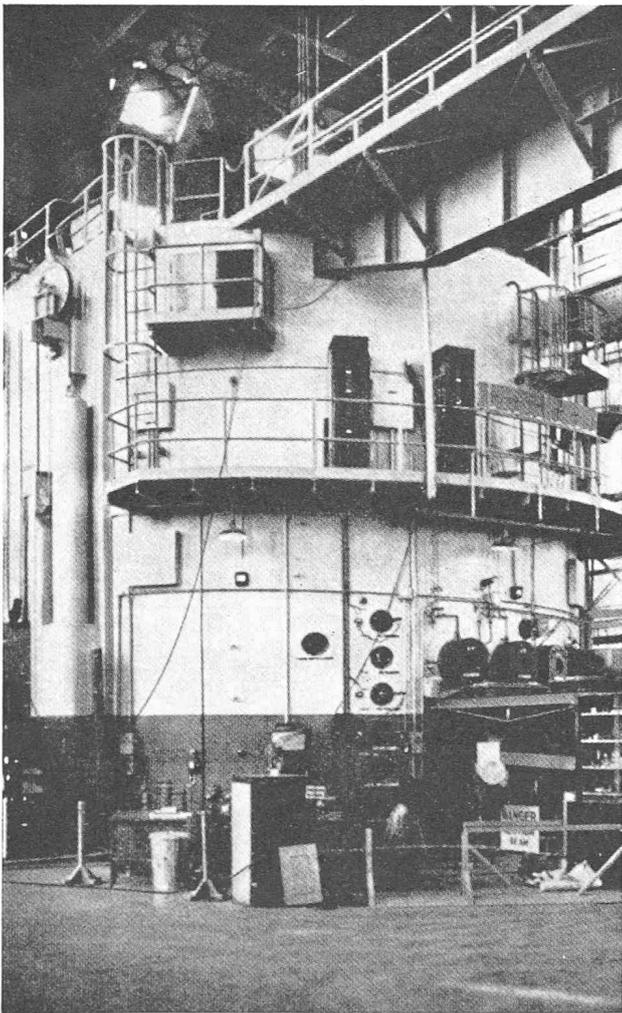


Fig. 2. — Réacteur NRX de Chalk River (Canada).
Nucleonics 10 (1952), 1.

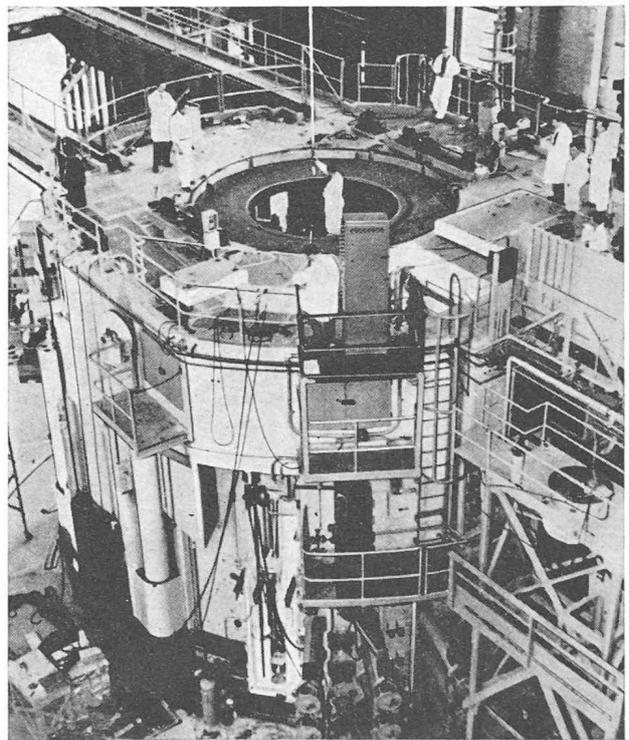


Fig. 3. — Réacteur NRX pendant la reconstruction.
« Atomic Energy of Canada, Ltd. »

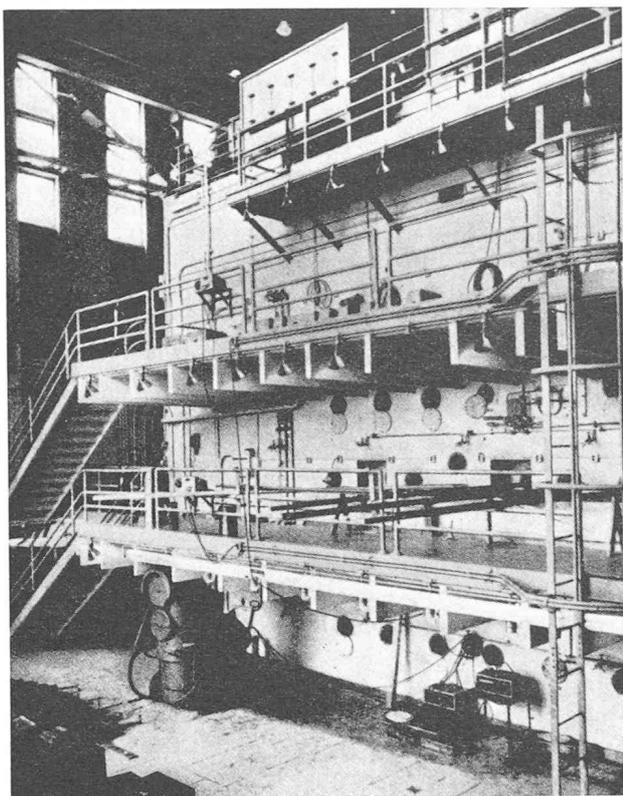
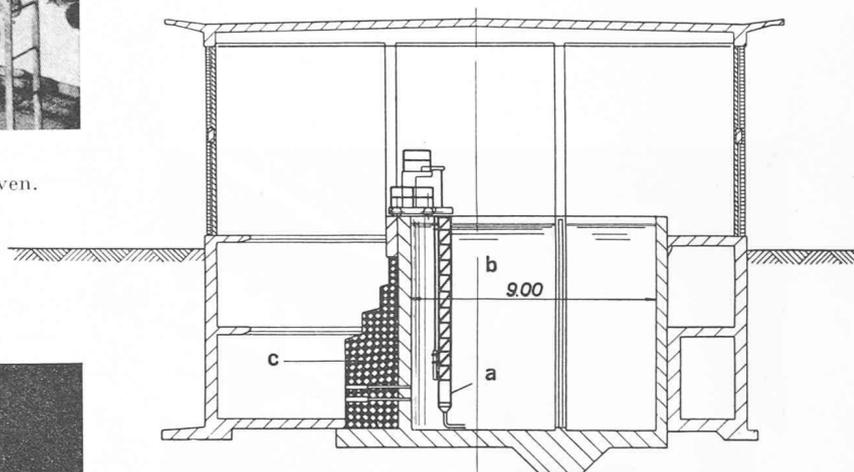


Fig. 4. — Réacteur à graphite de Brookhaven. *Physics to-day* 4 (1951), 9.

cubes d'eau, dont la radioactivité atteignit plus de six fois celle des réserves mondiales de radium, ont inondé les caves. On conçoit facilement que les travaux de réfection aient duré plus d'un an. Fait remarquable à citer : aucun des 1700 employés de l'entreprise n'a subi la moindre atteinte à sa santé, ni au moment de l'avarie ni pendant la période de reconstruction, tâche inusitée et dangereuse. Les modifications apportées permettent aujourd'hui d'atteindre une puissance de 40 000 kW. Ce réacteur contient environ 10,5 t d'uranium naturel et 20 t d'eau lourde.

Le réacteur avec lequel Fermi, à Chicago, réalisa en 1942 la première réaction en chaîne contenait des blocs d'uranium logés dans des briques de graphite, dont la répartition avait été soigneusement calculée. Avec 10 t d'uranium métallique, 40 t d'oxyde d'uranium et 470 t de graphite pur, le réacteur atteignit sa masse critique correspondant de très près aux valeurs données par le calcul. Cette expérience a conduit à la construction d'autres réacteurs à graphite dans des centres de



Coupe verticale du bâtiment.

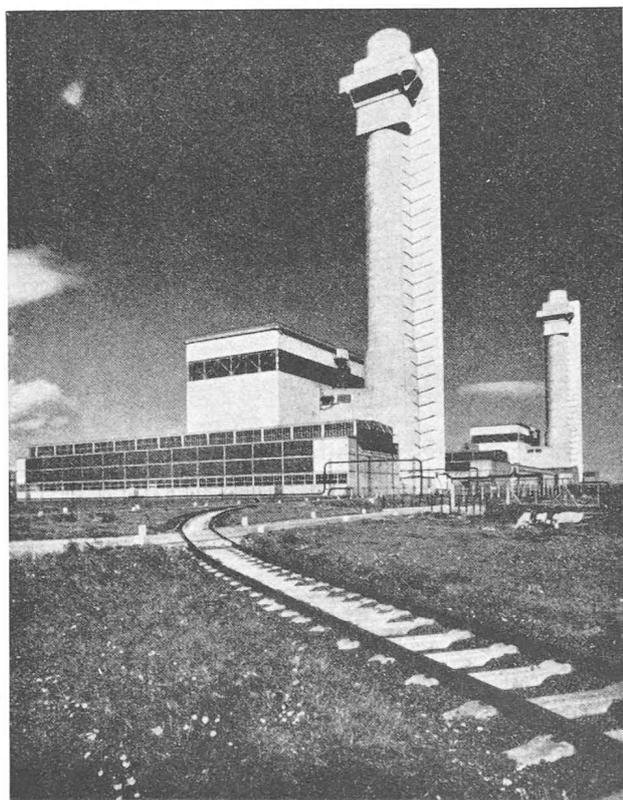
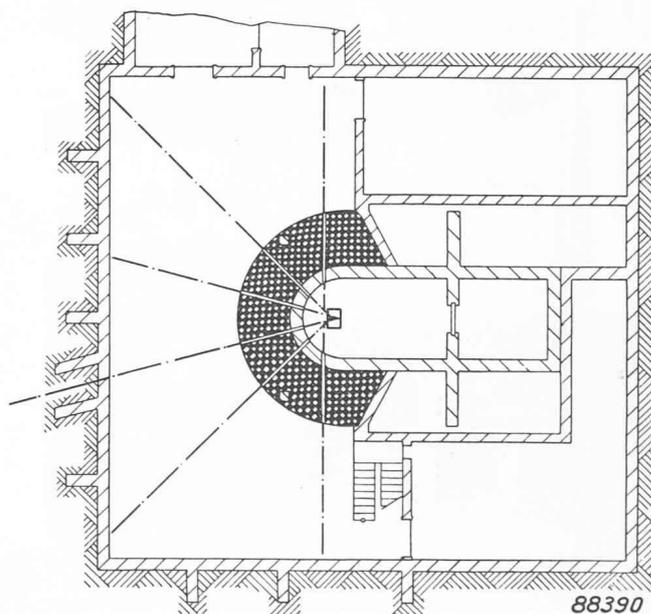


Fig. 5. — Réacteurs de Windscale (Angleterre). « Britains Atomic Factories », by K. E. B. Jay.



Coupe horizontale.

Fig. 6. — Réacteur expérimental type « Piscine ».

recherche ou de production de plutonium. Ce type de réacteur, illustré par la figure 4 (Brookhaven, U.S.A.), ressemble extérieurement beaucoup au réacteur à eau lourde. L'intérieur est toutefois très différent. La partie active est formée par des barreaux d'uranium reposant dans des canaux ménagés entre les blocs de graphite. L'ensemble est entouré d'un mur épais de béton protecteur.

Une image caractéristique d'une entreprise nucléaire est donnée par la photographie (fig. 5) des deux réacteurs de Windscale (Angleterre) destinés à la production de plutonium. Les cheminées de 120 m de hauteur sont munies à leur extrémité supérieure de filtres destinés à retenir les matières radioactives entraînées par l'air de refroidissement.

Parmi les réacteurs destinés à la production d'énergie électrique, citons les installations anglaises de Calder Hall et de Dounreay. La première est un type déjà classique utilisant l'uranium naturel et le gaz carbonique sous pression. Elle développera une puissance d'environ 50 MW. La seconde, par contre, marque une étape nouvelle. Elle contient une « pile couveuse »,

selon l'expression utilisée par M. le professeur Extermann, c'est-à-dire un réacteur contenant au départ assez de matériau fissible concentré pour permettre d'obtenir un rapport de conversion supérieure à l'unité.

Les réalisations américaines prévoient toutes l'utilisation d'uranium enrichi. On annonce pour 1957 la mise en service de deux centrales de 60 et 100 MW avec réacteurs refroidis à l'eau sous pression. D'autres réacteurs expérimentaux, d'une puissance nette de 2 à 15 MW, soit hétérogènes et refroidis par ébullition de l'eau ou par circulation de sodium liquide, soit homogènes avec une solution de matière fissible refroidie à l'extérieur du réacteur par un circuit secondaire, sont en état de construction avancée. On peut attendre pour 1959-1960 la mise en service de quatre installations de 75 et 236 MW conçues selon des principes différents. Il est évident que toute affirmation relative au prix de revient du kilowattheure restera aléatoire jusqu'au moment où ces centrales auront donné la preuve d'un fonctionnement continu.

Après cet aperçu très rapide de l'évolution à l'étranger, abordons le programme suisse. Les travaux de

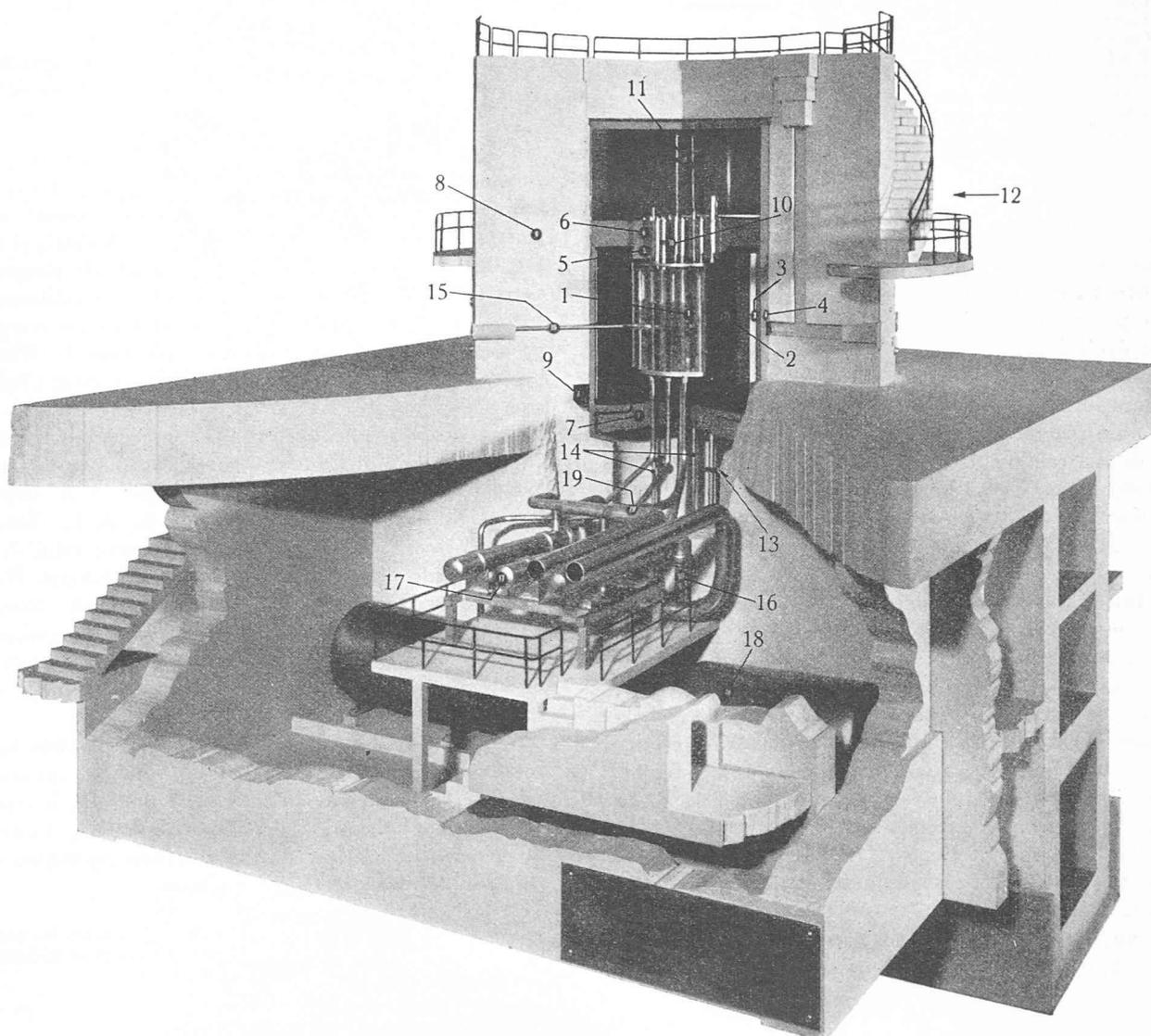


Fig. 7. — Maquette du réacteur expérimental suisse.

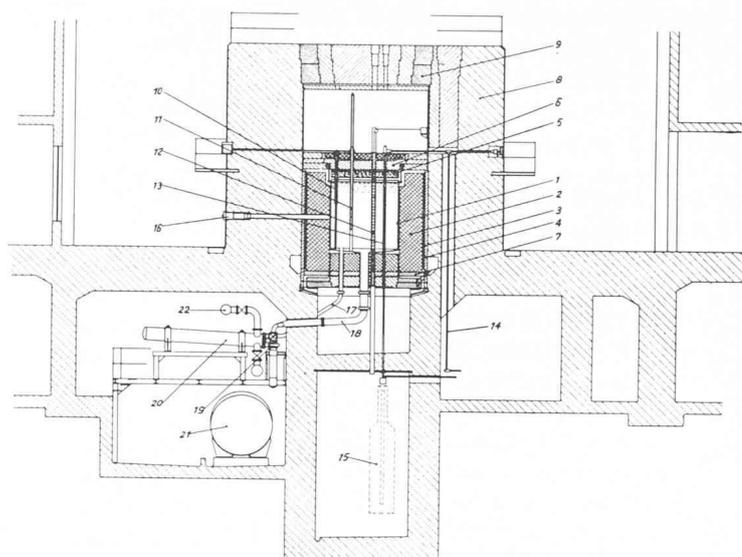


Fig. 8. — Coupe verticale du réacteur expérimental suisse.

- | | |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 Bac en aluminium contenant l'eau lourde. | 12 Canal d'irradiation vertical. |
| 2 Réflecteur en graphite. | 13 Canal d'essai « chaud ». |
| 3 Ecran protecteur. | 14 Tuyauterie pour 13. |
| 4 Cylindre en acier. | 15 Récipient en plomb. |
| 5 Ecran d'eau. | 16 Canal d'irradiation horizontal. |
| 6 Couvercle en acier. | 17 Entrée d'eau lourde. |
| 7 Fond en acier. | 18 Sortie d'eau lourde. |
| 8 Ecran de béton. | 19 Pompe à eau lourde. |
| 9 Couvercles de béton amovibles. | 20 Réfrigérant de l'eau lourde. |
| 10 Barre d'uranium. | 21 Récipient pour l'eau lourde. |
| 11 Barre de réglage en cadmium. | 22 Tuyauteries de l'eau de refroidissement. |

recherche des instituts universitaires, le haut niveau scientifique de nos chercheurs et les études du groupe industriel Brown Boveri, Escher Wyss et Sulzer Frères nous permettent aujourd'hui encore de participer à cette évolution.

Les journaux ont renseigné à diverses reprises leurs lecteurs sur les décisions prises relatives à la construction d'un réacteur expérimental suisse et sur la fondation de la Réacteur S. A., qui possède au bord de l'Aar, à Würenlingen (AG), un emplacement propre à l'installation d'un centre national de la recherche nucléaire. Il sera doté d'un réacteur du type « piscine » (Swimming Pool), celui qui fut exposé à Genève en août 1955 par les Etats-Unis, et d'un réacteur à eau lourde de conception suisse. A la question souvent posée : « Pourquoi deux réacteurs ? », nous répondrons que, loin de s'exclure l'un l'autre, ces deux réacteurs se compléteront. Le premier permettra de réaliser des travaux de recherche dans le domaine de la physique nucléaire, études qui seront très utiles, sinon indispensables à l'exploitation du second, et de former cette année déjà de jeunes physiciens et d'autres spécialistes. Du réacteur « piscine » présenté à Genève, ne seront reprises que les parties essentielles : noyau actif et tableau de commande. Des modifications constructives permettront d'en augmenter la puissance thermique de 100 à 1000 kW, par adjonction d'un circuit de refroidissement

de l'eau. D'autre part, le bâtiment sera mieux adapté aux besoins : dans le laboratoire placé au niveau inférieur de la cave, on disposera de six canaux d'essais pour irradiation de matériaux (fig. 6).

La Conférence de Genève n'a rien révélé qui pût justifier une modification essentielle de notre projet du réacteur à eau lourde, dont la maquette (fig. 7) a été exposée à Lausanne. Toutefois, le fait que les Etats-Unis se sont déclarés prêts à livrer l'eau lourde à un prix inférieur à 30 % de la valeur jusqu'ici admise, soit environ 300 fr./kg au lieu de 1000 fr., n'a pas manqué de nous surprendre. Etant donné cette situation nouvelle, il nous a semblé juste de proposer d'augmenter d'environ 20 % les quantités d'eau lourde et d'uranium prévues, ce qui permettra de porter de 10 000 à 12 500 kW la puissance du réacteur et d'élargir sensiblement le programme d'essais.

Ce réacteur expérimental qui, nous le rappelons, ne livrera pas de puissance utile, est destiné :

- aux essais de matériaux ;
- aux recherches fondamentales physico-techniques concernant les réacteurs industriels ;
- à la recherche des solutions pratiques pour la production d'énergie de source nucléaire ;
- à la production d'isotopes radioactifs ;
- à la formation des physiciens et d'ingénieurs, futurs constructeurs et exploitants d'usines nucléaires.

Une de ses particularités essentielles, que l'on ne retrouve dans aucun des réacteurs de ce type, est l'aménagement de quelques canaux traversant verticalement le noyau actif (fig. 8) et dans lesquels il sera possible de mettre à l'essai des éléments de réacteurs. Ceux-ci pourront être soumis aux mêmes conditions de travail que celles qu'ils rencontreront dans un réacteur producteur de puissance utile. Ce réacteur de Würenlingen sera donc un véritable laboratoire pour l'industrie.

La Réacteur S. A., avec son personnel propre et avec l'appui de la Communauté pour l'étude du réacteur nucléaire, formée par les trois maisons : S. A. Brown, Boveri & C^{ie}, Baden, Escher Wyss S. A., Zurich, Sulzer Frères S. A., Winterthour, et avec celui de la Communauté d'ingénieurs formée par Electro-Watt, Entreprises Electriques et Industrielles S. A., Zurich, et Motor Columbus S. A. d'Entreprises Electriques, Baden, estime qu'il sera possible de mettre ce réacteur en service deux ans après le réacteur « piscine », soit au cours de 1958.

Rappelons que notre industrie est dans une très large mesure tributaire de l'exportation de ses produits manufacturés. Ce fait justifierait à lui seul, indépendamment des besoins d'énergie nationaux, l'intérêt qu'elle manifeste envers les applications pacifiques des découvertes de la physique nucléaire.

Résumé d'un exposé présenté au Cours d'introduction à l'énergie atomique organisé par l'E.P.U.L., les 24 et 25 février 1956.