

Les grandeurs caractéristiques de la pile de Chatillon

L. Kowarski

► **To cite this version:**

L. Kowarski. Les grandeurs caractéristiques de la pile de Chatillon. J. Phys. Radium, 1951, 12 (7), pp.751-755. <10.1051/jphysrad:01951001207075100>. <jpa-00234469>

HAL Id: jpa-00234469

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00234469>

Submitted on 1 Jan 1951

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES DE LA PILE DE CHÂTILLON (1)

Par L. KOWARSKI.

Laboratoire du Fort de Châtillon,
Fontenay-aux-Roses (Seine).

Sommaire. — L'auteur donne les dimensions des éléments de la pile de Châtillon : cuve à eau lourde, barres actives contenant de l'oxyde d'uranium, bloc tubulaire, barres de sécurité, réflecteur, colonne diffusante, réseau, plaques de réglage ainsi que la position des canaux expérimentaux.

Il précise les conditions de démarrage de la réaction en chaîne, le régime actuel de fonctionnement de la pile ainsi que la puissance qu'elle développe.

Il termine en donnant quelques observations sur la réactivité de la pile.

D'après les indications données par le Haut Commissaire à l'Énergie atomique dans sa conférence de presse du 16 décembre 1948, l'opportunité de la divulgation des détails techniques des machines construites par le Commissariat serait considérée dans chaque cas particulier en tenant compte, notamment, de la situation internationale. Un changement notable de cette situation s'est produit en novembre 1950, à la suite de la divulgation d'un grand nombre de détails concernant certaines piles atomiques américaines, anglaises et canadiennes. Les dirigeants scientifiques du Commissariat ont jugé opportun de contribuer à cette documentation internationale en rendant publiques les principales dimensions et grandeurs physiques de la pile de Châtillon.

Les principaux organes de la pile (*fig. 1*; les majuscules entre crochets correspondent aux majuscules entourées d'un cercle sur la figure). —

Cuve à eau lourde [A]. — En aluminium 99,5 pour 100. Épaisseur des parois, 3 mm; fond, 6 mm; diamètre intérieur demandé aux constructeurs, 182 cm (en fait, résultante des nombreuses mesures, 181 cm). Fond très légèrement conique. Hauteur effective près de la paroi, 235,5 cm.

Barres actives [B]. — Manchons tubulaires en aluminium; fond soudé; paroi, 1,6 mm; diamètre intérieur, 66 mm. Matière active (UO_2 fritté en pastilles d'environ 3 cm de hauteur) empilée jusqu'à une hauteur d'environ 180 cm avec une densité effective (répartie sur le volume intérieur total, tous les interstices compris) de 8,3.

Bloc tubulaire [D]. — Boîte en acier aménagée de façon à livrer passage aux barres actives, dont

chacune peut être retirée individuellement. Lorsque les barres sont en position, les tubes de passage sont obstrués par des bouchons pleins en acier afin de réduire le rayonnement s'échappant par le haut. Dans le même but, l'espace entre les tubes de passage est rempli de sable baryté. Le bloc est raccordé à la cuve par l'intermédiaire d'une manchette [C] en acier.

Barres de sécurité [E]. — Deux trains indépendants de deux barres chacun. A titre d'expérience deux types différents de barres ont été installés. Dans l'un des deux trains les barres sont constituées par des cylindres en cadmium (diamètre, 4,4 cm; hauteur, 174 cm) protégés par un étui en acier inoxydable. Poids total d'une barre : 12 kg. Dans l'autre train, les cylindres en Cd ont 4,8 mm de diamètre et 50 cm de longueur; poids total avec l'étui lesté de plomb : 7,5 kg (le lestage assure une chute rapide et régulière). En position de marche de la pile, les barres sont maintenues en place (dans le bloc tubulaire) par un mécanisme de suspension [F] à électroaimant; en cas de dépassement d'un certain niveau de puissance fixé à l'avance, et dans certaines autres conditions anormales (telles qu'une panne de secteur), l'aimant est désactivé et les barres descendent dans le milieu actif (position marquée en pointillé). Le mécanisme comporte un léger freinage en fin de chute.

Réflecteur [G]. — En blocs de graphite d'une pureté correspondant à une longueur de diffusion de l'ordre de 45 cm. Section octogonale, anneau circulaire inscrit de 90 cm de largeur. La plupart des blocs sont usinés à $60 \times 14 \times 14$ cm; quelques-uns à $60 \times 10,5 \times 7,5$. L'espace entre la surface intérieure du réflecteur et la paroi de la cuve a la forme approximative d'un anneau cylindrique large de 5 mm.

Colonne diffusante [H]. — S'évasant de 50×50 cm

(1) Communication à la Société française de Physique, séance du 16 mars 1951.

à l'intérieur jusqu'à 150×150 cm à l'extérieur. Blocs de graphite comme ci-dessus. La face extérieure de la colonne est recouverte d'un système de volets [I] en bronze cadmié (2,5 pour 100 de Cd); ces volets sont manipulés à l'aide du palan [J].

Le canal expérimental [K] est plus visible sur la figure 2 (voir plus loin). La canalisation [L] relie l'atmosphère de la cuve à celle du réservoir de stockage d'eau lourde (non montré sur la figure) de façon à équilibrer la pression d'air. La venti-

lation [M] d'air autour de la cuve, assurée par deux ventilateurs, permet d'évacuer une partie de la chaleur dégagée (de l'ordre de 1 à 2 kW). Le bloc protecteur en béton [N] offre une épaisseur protectrice de 150 cm autour des parties non enterrées de la pile (le niveau du sol est indiqué). La figure 1 montre, enfin, le dispositif [P, Q] qui permet de faire passer l'eau lourde de la cuve au réservoir de stockage, et l'emplacement de quelques appareils de mesure (mesure de puissance [O], mesure de niveau de rayonnement dans une région extérieure [R]).

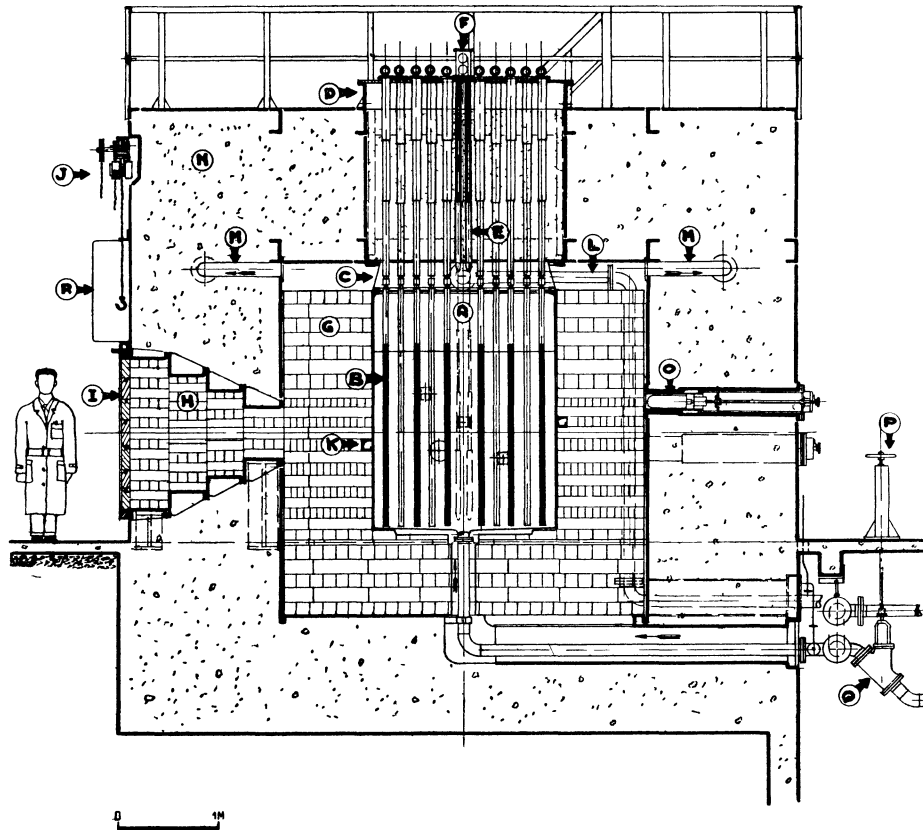


Fig. 1.

[A], Cuve à eau lourde; [B], Barre active; [C], Manchette; [D], Bloc bubulaire; [E], Barre de sécurité; [F], Dispositif de sécurité; [G], Réflecteur (graphite); [H], Colonne diffusante; [I], Volets de protection; [J], Palan; [K], Canal tangentiel; [L], Équilibre; [M], Ventilation; [N], Protecteur (béton); [O], Chambre d'ionisation; [P], Commande de la vanne de sécurité; [Q], Vanne de sécurité; [R], Chambre de santé.

Réseau, réglage, canaux expérimentaux (fig. 2). — Le réseau (visible en [A]) est hexagonal à cellules centrées. Distance entre barre suivant le rayon des hexagones, 18,6 cm. La pile contient au maximum 69 barres actives renfermant environ 3,55 t d' UO_2 , soit 3,15 t d'élément U. Huit barres, les plus proches de la paroi de la cuve, ont été légèrement décalées, de façon à garder un jeu convenable avec la paroi.

Plaques de réglage [F]. — Se déplacent vertica-

lement dans des nids aménagés dans le réflecteur le long de la paroi de la cuve. Sur quatre nids réservés, deux seulement sont occupés. Chacune des deux plaques est commandée séparément et présente une surface utile en cadmium (épaisseur 0,7 mm, encastrée en acier) de 60×30 cm. Course utile le long du segment vertical situé dans une région entre le centre de densité et le niveau de l'eau lourde, de l'ordre de 60 cm. Dans toute cette région, le déplacement de la plaque affecte la réactivité d'une façon sensiblement linéaire.

Un réglage supplémentaire plus fin peut être obtenu en déplaçant une des plaques dans la région (plus basse) où la densité neutronique est plus voisine du maximum.

Canaux expérimentaux. — La figure 2 montre en détail un canal radial [M] qui traverse le réflecteur et (à l'intérieur d'un fourreau en acier) le protecteur en béton. Son axe horizontal est situé approximativement dans le plan dit « médian », c'est-à-dire correspondant au maximum de densité

neutronique à l'intérieur de la cuve. Certains détails tels que la glissière en aluminium formant le plancher du canal, et la gaine-support qui raccorde le trajet dans le graphite avec celui dans le béton, sont indiqués sur la figure [C, D]. Deux autres canaux, approximativement radiaux, se trouvent dans des plans situés un peu au-dessus et au-dessous du plan horizontal dit « médian ». La figure 2 montre un de ces canaux en pointillé. Trois autres canaux se trouvent sur la face opposée de la pile, soit six au total.

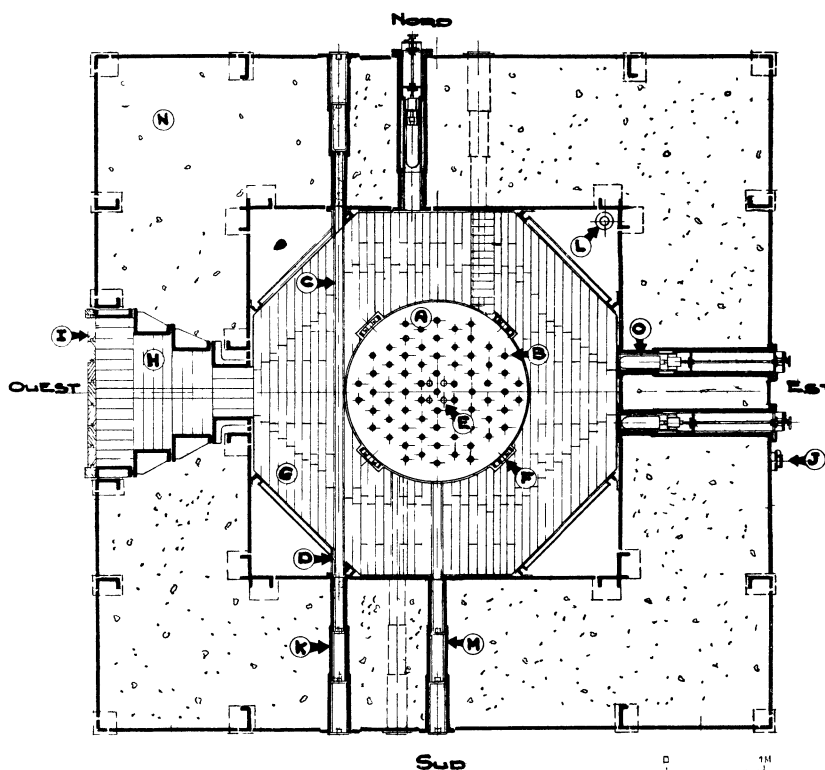


Fig. 2.

[A], Cuve à eau lourde; [B], Barre active; [C], Glissière; [D], Gaine; [E], Barre de sécurité; [F], Plaque de réglage; [G], Réflecteur; [H], Colonne diffusante; [I], Volets de protection; [J], Niveau d'eau lourde; [K], Canal tangentiel; [L], Équilibre; [M], Canal radial; [N], Protecteur (béton); [O], Chambre d'ionisation.

Le plan de la figure 2 renferme également trois logements dans le béton pour chambres d'ionisation (dont une marquée [O] sur la figure) et un canal [K] à deux ouvertures traversant le réflecteur de part en part tangentiellement à la cuve. Un autre canal tangentiel (non indiqué sur la figure) se trouve à l'« Est » de la cuve, à une hauteur d'environ 25 cm au-dessus du plan médian.

Tous les canaux présentent une section utile de 10×10 cm.

On voit en [J] l'emplacement de l'indicateur du niveau d'eau lourde dans la cuve.

Démarrage et fonctionnement. — La réaction

en chaîne divergente fut observée pour la première fois le 15 décembre 1948; le niveau critique était à environ 177 cm au-dessus du « plan zéro » (ce plan était défini comme passant par les faces inférieures des empilements d' UO_2 dans les barres actives; comme en réalité ces faces présentent de légers décalages en hauteur, il s'agit d'une position moyenne). Ce niveau correspondait à 4,52 t d'eau lourde effectivement comprise dans le volume réagissant. En pratique, il faut ajouter à ce tonnage l'eau lourde retenue dans les tuyauteries et la mince couche comprise entre le « plan zéro » et le fond de la cuve.

On aurait pu obtenir le démarrage avec un tonnage

un peu plus faible en opérant à une température plus basse (*voir plus loin*) et en soignant l'efficacité du réflecteur (en fait, lors de l'expérience de démarrage, tous les canaux expérimentaux étaient vides). Avec des produits plus purs et un réseau se rapprochant davantage de l'optimum (*voir plus loin*), on pourrait probablement produire une réaction divergente, même à 15°, avec 4,0 à 4,2 t de D₂O et 2,5 t d'élément U sous forme de UO₂.

Le régime normal actuel du fonctionnement de la pile comporte des périodes de marche à pleine puissance (nuits, fins de semaine, fêtes) et des journées de travail à puissance variable. La puissance dite pleine est choisie de façon à excéder légèrement la puissance dissipée par la convection naturelle à travers les parois et par la convection dans l'espace entre la cuve et le réflecteur, forcée au moyen de deux petits ventilateurs (*voir plus haut*). A la fin d'une période de marche à pleine puissance, la température du milieu réagissant est plus élevée qu'au début; la chaleur ainsi emmagasinée se dissipe lentement pendant la marche à puissance variable, qui est presque toujours suffisamment faible pour ne pas s'opposer au refroidissement spontané du système. Cette lente oscillation de la température se joue dans l'intervalle d'une dizaine de degrés autour d'une moyenne de l'ordre de 40°C mesurée dans l'eau lourde non loin de la région centrale.

Dans les conditions actuelles d'utilisation, la barre centrale ne contient pas d'uranium; elle constitue un canal creux en aluminium dans lequel on peut notamment faire osciller des échantillons de corps dont on veut étudier l'interaction avec les neutrons lents [1]. L'efficacité du réflecteur est diminuée par la présence de canaux non bouchés et de substances diverses qu'on y introduit aux fins d'irradiation. Dans ces conditions, et compte tenu de la température plus élevée ainsi que de la marge de réactivité allouée pour le réglage, le niveau normal d'eau lourde au-dessus du « plan zéro » se situe aux environs de 195 cm. C'est donc sur une profondeur de 15 cm environ que le milieu deutérié est exempt d'uranium et agit comme un pur réflecteur.

La distribution de la densité neutronique dans les différentes régions intéressant les utilisateurs de la pile a été décrite dans un autre article [2]. Signalons que les puissances indiquées dans l'article en question étaient incexactes; elles étaient calculées à partir des valeurs mesurées de densité neutronique en négligeant la structure fine de cette densité correspondant à la structure réticulaire du milieu réagissant. Un calcul plus détaillé a montré que cette approximation particulièrement peu exacte dans le cas du réseau D₂O-UO₂, en raison du grand volume relatif et de la composition chimique des régions uranifères. Les évaluations précédentes

doivent être réduites environ d'une moitié: par exemple, la « pleine puissance », correspondant au centre à un flux de 2 ou 3 × 10¹⁰ neutrons thermiques par cm² × s, est voisine de 5 kW, et non de 10, comme nous le croyions en 1949. Le même ordre de grandeur est indiqué par certaines évaluations grossières indépendantes, basées notamment sur la mesure directe de la température et sur le dosage du plutonium formé dans les barres.

Pour faire varier la puissance de la pile, on doit pouvoir donner à volonté à son coefficient de reproduction effectif k des valeurs voisines, mais distinctes, de 1. Les valeurs telles que 1,0001 ou 0,9999 sont déjà significativement distinctes. Il est commode d'exprimer $k - 1$ (positif ou négatif) en cent-millièmes (unité sans dimension dite « pour cent mille » ou p. c. m.). k dépend de la position des plaques de réglage, du niveau d'eau lourde et de la température. Une approximation linéaire, assez grossière mais commode en pratique, s'énonce :

$$\Delta k = 0,5 \frac{\Delta p}{\text{cm}} + 5 \frac{\Delta h}{\text{mm plaque}} - 24 \frac{\Delta \theta}{\text{mm niveau}} \quad ^\circ$$

L'unité américaine « inhour », d'après sa définition actuelle, est exactement égale à 2,5 p. c. m.

Observations critiques. — Dans la théorie la plus simple des piles, tout milieu réagissant est caractérisé par une valeur numérique de la constante λ^2 (curieusement appelée « le laplacien » dans la littérature de langue anglaise), figurant dans l'équation réagissant la densité neutronique

$$\nabla^2 \rho + \lambda^2 \rho = 0.$$

Pour une pile donnée, le « laplacien » peut être calculé :

- 1° *a priori*, à partir de la géométrie et des constantes nucléochimiques des ingrédients;
- 2° à partir de la valeur observée de la masse critique;
- 3° à partir de la répartition des densités ρ dans le milieu réagissant.

Dans notre cas spécial le calcul 1° souffre de l'imperfection de nos connaissances quant au rôle joué par l'oxygène, notamment dans la capture par résonance, et le calcul 2° est rendu incertain par la présence du réflecteur dont il est difficile d'évaluer la contribution. Les trois méthodes donnent des résultats compatibles avec la valeur $\lambda^2 = 6,5 \text{ m}^{-2}$ avec une marge d'incertitude de l'ordre de 10 pour 100

Nous avons observé que la réactivité de la pile augmente toujours quand on enlève *une* barre active et souvent même quand on enlève *deux* barres non limitrophes. Les mêmes expériences ont montré que la réactivité varie quand une barre est remplacée par une autre d'apparence identique; ceci prouve que la teneur totale en impuretés absorbantes varie

d'une barre à l'autre. Les constructeurs futurs éventuels peuvent donc espérer obtenir des valeurs plus élevées de k^2 à la fois en soignant la pureté de UO_2 et en la répartissant d'une façon plus raréfiée (ce qui conduirait, notamment, à une diminution du rapport en poids $\frac{\text{UO}_2}{\text{D}_2\text{O}}$).

D'autres perfectionnements, difficiles ou impossibles à réaliser après coup, sont suggérés par notre expérience de l'opération de la pile :

— l'évasement de la colonne diffusante devrait être moins prononcé. Avec le profil actuel, la population neutronique à la sortie de la colonne comporte une proportion insuffisante de neutrons filtrés par toute la profondeur de la colonne (voir [3]).

— la hauteur de l'uranium dans les barres actives devrait être fixée en tenant compte de la température à laquelle on se propose de maintenir le milieu. Dans notre cas, cette température ne descendant presque jamais au-dessous de 359, les caractéristiques

du milieu pourraient être améliorées en ajoutant 10 cm à la hauteur effective des barres d'U.

Note ajoutée en épreuve. — Six barres représentant les centres des hexagones qui entourent l'hexagone centré du milieu ont été enlevées le 10 avril 1951. Le « laplacien » de la pile, qui ne comporte désormais que 62 barres pleines (et un manchon vide au centre) a accusé une légère amélioration qui a permis de réduire de près de 3 cm la hauteur normale d'eau lourde dans la cuve. Des expériences supplémentaires ont montré que le nombre actuel de barres représente un optimum compte tenu des caractéristiques difficiles à modifier telles que le poids d'une barre ou le pas du réseau.

Je remercie MM. E. Le Meur, A. Ertaud et J. Yvon de m'avoir aidé à rassembler la documentation contenue dans le présent article. D'autres articles, déjà publiés [2, 4] ou sous presse [3], [5], [6], [7] apportent des compléments utiles.

Manuscrit reçu le 5 avril 1951.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] BENOIST, KOWARSKI, NETTER. — Mesures d'absorption des neutrons thermiques par la modulation d'une pile, à paraître au *J. Physique Rad.*, 1951, **12**, 5, 584-589.
- [2] KOWARSKI. — Quelques caractéristiques de la pile de Châtillon en tant que source de neutrons thermiques, *Helv. Phys. Acta*, 1950, **23**, Suppl. III, 70-73.
- [3] ERTAUD, BEAUGÉ. — Mesure de la température des neutrons dans le réflecteur d'une pile à eau lourde, *J. Physique Rad*, 1951, **12**, 580-584.
- [4] « Atomes », numéro spécial de février 1949.
- [5] ERTAUD, RAJEVSKI, BRETON. — Méthode d'oscillation dans la pile, appliquée à la comparaison d'échantillons de graphite, à paraître au *J. Physique Rad.*
- [6] ERTAUD, BEAUGÉ, FAUQUEZ. — Étude de la répartition de densité de neutrons dans la pile de Châtillon (en préparation).
- [7] ERTAUD, BEAUGÉ, FAUQUEZ, VAUTREY. — Étude expérimentale de la cinétique de la pile de Châtillon, à paraître au *J. Physique Rad.*