

# LA PILE CABRI

par

Jean AILLOUD, Jean-Paul MILLOT

**Rapport C E A - R 2637**

Genève 1964, A Conf. 28/P/103

CEA-R 2637 - AILLOUD Jean - MILLOT Jean-Paul,

PILE CABRI.

Sommaire. -

Il devenait nécessaire de construire en France une pile qui permette d'étudier les conditions de fonctionnement des installations futures, de choisir, tester et mettre au point les dispositifs de sécurité à adopter. On a choisi une pile à eau, type de pile qui correspond aux constructions les plus nouvelles du C. E. A. en matière de piles laboratoire ou d'université ; il importe en effet de pouvoir évaluer les risques présentés et d'étudier les possibilités d'augmentation de puissance constamment demandées par les utilisateurs : il est particulièrement intéressant d'éclaircir les phénomènes d'oscillation de puissance et les risques de caléfaction (burn out).

Les programmes de travaux sur CABRI seront harmonisés avec les travaux effectués sur les "Spert" américains de même type ; lors de sa cons- /.

---

CEA-R 2637 - AILLOUD Jean - MILLOT Jean-Paul,

THE REACTOR CABRI.

Summary. -

It has become necessary to construct in France a reactor which would permit the investigation of the conditions of functioning of future installations, the choice, the testing and the development of safety devices to be adopted. A water reactor of a type corresponding to the latest C. E. A. constructions in the field of laboratory or university reactors was decided upon - it appeared important to be able to evaluate the risks entailed and to study the possibilities of increasing the power, always demanded by the users, on the other hand, it is particularly interesting to clarify the phenomena of power oscillation and the risks of burn out

The work programme for CABRI will be associated with the work carried out on the American "Sperts" of the same type, during its construction, very useful contacts were made with the American specialists who designed the- /.

truction des contacts fructueux ont été établis avec les spécialistes américains qui ont défini les premiers de ces réacteurs.

La communication donne une description sommaire de la pile et décrit le programme de travail des premières années dans le cadre des objectifs actuellement envisagés.

#### Description sommaire de la pile.

CABRI est une pile du type piscine à coeur ouvert, sans protection latérale, implantée au Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache dans un bâtiment renforcé et à fuites contrôlées. Elle est placée au centre d'une zone d'exclusion d'un rayon de 300 m. Les installations de contrôle et de mesures sont reportées à la périphérie de cette zone. Elle utilise des éléments combustibles du type "MTR". Les barres de contrôle-sécurité sont propulsées à l'air comprimé. Le débit maximum du circuit de refroidissement est de  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ . Les mesures transitoires sont enregistrées dans un ensemble RW 330. . /

---

se reactors.

A brief description of the reactor is given in the communication as well as the work programme for the first years with respect to the objectives up to now envisaged.

#### Rough description of the reactor

CABRI is an open core swimming-pool reactor without any lateral protection, housed in a reinforced building with controlled leakage, in the Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache. It lies alone in the middle of an area whose radius is 300 meters long. Control and measurements equipment stand out on the edge of that zone. It consumes "MTR" fuel elements. The control-safety rods are propelled by compressed air. The maximum flow rate of cooling circuit is  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ . Transient measurements are recorded in a RW330 unit.

#### Aims and work programme.

CABRI is meant for

. /

CEA-R 2637 - Suite 3

Objectifs et programme de travail.

CABRI est destinée :

- Aux études de sûreté des piles à eau :

- pour préciser les marges de sécurité en fonctionnement : études du maximum de puissance auquel il est prudent d'autoriser la marche d'une pile piscine en fonction d'un accident de refroidissement, de l'influence de l'ébullition locale sur le comportement nucléaire de la pile, des performances des instruments de contrôle et de sécurité dans des conditions limites ...

- Etudes expérimentales des excursions de puissance liées à des conditions initiales déterminées : leur but est de définir les bases de recherches théoriques et les limites au-delà desquelles les risques d'explosion deviennent non négligeables. Ces études seront menées de façon à assurer des recouplements avec des expériences hors pile chargées de les prolonger dans le domaine explosif. ./.  

---

CEA-R 2637 - Suite 3

- studies on the safety of water reactors :

- for the definition of the safety margins under working conditions :

research of maximum power at which a swimming-pool reactor may operate with respect to a cooling accident, of local boiling effect on the nuclear behaviour of the reactor, performances of the control and safety instruments under exceptional circumstances ...

- experimental investigations on power excursions linked with precise initial conditions : the aim of this work is to define the basis for theoretical research, and the limits beyond which the risks of explosion cease to be negligible. The research work will be done so as to enable checking with outside reactor experiments and to continue them in the explosion field.

- studies of the behaviour of the reactor control-instrumentation.

- experimental investigations related with transient operation with initial short life (study of boiling, temperature measurements, vacuum pres- ./.  

---

- Etudes du comportement des appareillages de contrôle-commande des piles.

- Aux études expérimentales concernant les régimes transitoires à courtes périodes initiales (étude de l'ébullition, mesures de température, pression et fraction de vide . . .) dans le but de définir les bases d'une théorie sur la cinétique des piles à eau liée aux phénomènes de transferts thermiques.

- Aux études du comportement de combustibles de piles (ces expériences étant prévues en boucles).

Premiers résultats expérimentaux.

CABRI a divergé le 21 décembre 1963. Les premiers essais transitoires sont prévus en mars 1964.

1964  
Commissariat à l'Energie Atomique - France

16 p.

---

sure and fraction . . .) with the aim of defining the hypotheses of a theory on swimming-pool reactor kinetics related to heat transfer phenomena.

- investigations of the behaviour of fuels in reactors (these experiments are planned to be carried out in loops)

Preliminary experimental results.

CABRI went critical on the 21st December 1963. The first transient experiments are expected for March 1964.

1964  
Commissariat à l'Energie Atomique - France

16 p.

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

## PILE CABRI

par

Jean AILLOUD — Jean-Paul MILLOT

Commissariat à l'Energie Atomique

CABRI est une pile expérimentale du type piscine qui est destinée essentiellement aux études de sûreté relatives aux piles à eau.

Au moment où les responsables des piles piscines et des réacteurs de recherche envisageaient l'augmentation de la puissance des réacteurs modérés à l'eau ordinaire, la Commission de Sûreté des Installations Atomiques a reconnu la nécessité de la construction de CABRI pour permettre une évaluation plus réaliste des risques que comporte ce genre d'installations et une détermination plus exacte des marges de sécurité à respecter.

L'avant-projet de cette pile a été étudié par le Groupement Industriel Français Atomique Alsacienne Atlantique (G. A. A. A.) sous le patronage de la Direction de la Physique et des Piles Atomiques du C. E. A.

L'organisation du programme expérimental et des études à effectuer avec la pile CABRI ainsi que leur réalisation ont été confiées à une équipe spécialisée du Département des Etudes de Piles appartenant au Service d'Etudes de Protection de Piles.

Le Département de Construction des Piles fut chargé des compléments d'études nécessaires au projet et des travaux de construction proprement dits. Il a été assisté dans cette tâche par G. A. A. A. Architecte Industriel.

### RAPPEL DES BUTS DE LA PILE CABRI

Le principal objectif de cette pile est de définir de façon aussi précise que possible les effets nucléaires, thermiques et mécaniques engendrés par des régimes transitoires, liés à des variations systématiques de conditions initiales

déterminées, figurant des incidents ou des accidents sur les piles modérées à l'eau ordinaire.

1° Il est prévu, essentiellement de réaliser des régimes transitoires consécutifs à des introductions de " réactivité initiale " soit en échelon, soit en rampe, et les étudier expérimentalement en vue :

a) d'assurer les recalages avec les expériences similaires déjà effectuées sur SPERT.

b) d'examiner le comportement d'éléments combustibles. Cette étude est prévue par charge entière ou par élément. Dans le dernier cas, l'élément pourra être mis en capsule ou en boucle de façon à permettre une étude poussée jusqu'à sa fusion au moins partielle.

c) d'examiner le comportement des appareillages de contrôle et de commande de piles en général et l'incidence de ce comportement sur la sûreté de celles-ci. Pour cela, il est prévu de tester principalement leurs qualités de stabilité de fonctionnement et leur temps de réponse pendant les montées rapides en puissance. Ces essais concernent les dispositifs tels que les chambres d'ionisation, les compteurs, les photomultiplicateurs associés ou non à leur scintillateur, les organes électroniques ou électromécaniques.

d) de définir les bases de recherches théoriques pour mieux comprendre les phénomènes d'exursion, en essayant de procéder par étapes successives : influence du coefficient de température, de la fraction de vide, des phénomènes d'ébullition, en tentant de préciser les limites au delà desquelles les risques d'explosion deviennent non négligeables. Dans ces études, est examinée systématiquement l'influence des paramètres hydrauliques : hauteur d'eau au-dessus du coeur, température de celle-ci, sens de circulation, (en particulier examen du passage de la convection forcée à la convection naturelle), débit.

Les phénomènes d'autolimitation de puissance mettent en jeu des facteurs physiques neutroniques et thermiques. Il est nécessaire d'étudier leurs évolutions conjointes dans le temps ainsi que leur mode d'interaction :

Pour les phénomènes neutroniques, dont les variations sont très importantes et très rapides, les méthodes de calcul et les théories habituellement utilisées doivent être revues et approfondies. Certaines études peuvent être qualifiées de fondamentales : ce sont celles qui ont trait aux équations elles-mêmes de la cinétique;



il faut réétudier et certainement examiner de près ces équations pour déterminer la signification des paramètres utilisés : réactivité, temps de vie, fraction de neutrons retardés.

En effet, il est difficile de dire ce que signifient ces paramètres lors d'une variation importante et rapide de la réactivité, que cette variation soit due aux mouvements des barres de contrôle (ou de départ) ou à la contre-réaction liée aux phénomènes thermiques. Il pourra être nécessaire de reprendre la signification des paramètres à partir des données physiques fondamentales du coeur (équation de la diffusion); de même l'étude des problèmes posés par les coeurs comportant des éléments réflecteurs particuliers nécessitera de revoir et peut-être d'améliorer les formalismes déjà proposés.

D'autres études sont plus proches de l'expérimentation et visent à déterminer la valeur des paramètres qui interviennent dans les équations de la cinétique: réactivité, temps de vie, pourcentage de neutrons retardés. Celles-ci ont déjà été conduites suivant des méthodes qui sont connues mais qui devront éventuellement subir des modifications rendues nécessaires par les objectifs particuliers de CABRI. Demeurent également des problèmes tels que la détermination de la puissance en régime transitoire : évolution des pertes neutroniques en fonction de déformations transitoires éventuelles de la carte des flux, évolution des spectres de rayonnement gamma en fonction des neutrons retardés, variation de la sensibilité des appareils de mesure en fonction de l'énergie des rayonnements à détecter, temps de réponse des instruments de mesure eux-mêmes.

Pour les phénomènes thermiques, il est nécessaire d'entreprendre des études fondamentales sur :

- la conduction calorifique transitoire dans l'épaisseur des éléments combustibles ainsi que dans le modérateur, ceci en vue :

- de déterminer l'importance des dilatations dans le processus de contre-réaction,
- de déterminer en fonction de la période des montées en puissance les instants de début d'ébullition ainsi que la fusion éventuelle de l'élément combustible.

- l'ébullition en régime dynamique, c'est-à-dire, la vitesse d'apparition des bulles ainsi que leur évolution afin de voir clairement comment intervient la phase vapeur

pendant des excursions de puissance et éventuellement son action dans les phénomènes de relaxation.

- l'influence de la propagation calorifique par rayonnement.

- l'évolution transitoire des pressions, des débits et plus généralement des phénomènes hydrodynamiques : relaxation de l'eau dans la cuve du coeur.

Les études appliquées dans le domaine de la mécanique et de la thermique sont essentiellement celles qui sont relatives à la signification des indications des différents instruments de mesures :

- pour la mesure des températures, recherche et évaluation de la perturbation locale apportée par l'instrument (thermocouple) et étude du temps de réponse.

- pour les mesures de pression, étude des mêmes problèmes auxquels s'ajoutent les difficultés d'interprétation dues aux phénomènes d'oscillation propres aux capteurs.

2° Il est prévu de réaliser des fonctionnements à puissance constante, pendant des intervalles de temps limités, en vue :

a) de préciser les marges de sécurité des piles piscines en régime d'exploitation en particulier celles qui ont trait aux éléments combustibles (burn-out) : la puissance maximale de fonctionnement liée à un accident de refroidissement, l'influence de l'ébullition locale sur le comportement nucléaire et sur les indications des instruments de contrôle, l'influence des phénomènes de cyclage sur la tenue dans le temps des éléments combustibles, etc...

b) de définir les bases de recherches théoriques sur les phénomènes d'instabilité à forte puissance, en régime de convection naturelle et en régime de convection forcée (par étude des fonctions de transfert).

c) d'examiner le comportement des appareillages de contrôle et de commande des piles en général, plus spécialement leurs performances à hauts niveaux (par exemple : raideur des dispositifs d'asservissement).

Ces études doivent être menées sur un certain nombre de configurations de coeur à réflecteurs variés et composées d'éléments combustibles de différents types. Là encore l'influence des paramètres hydrauliques, hauteur d'eau, température, sens de circulation, débit, sera examinée. Des expériences partiellement destructives sur un élément pourront être envisagées et différents essais devront permettre :

- d'une part de définir systématiquement les effets d'accidents causés sur une pile à eau, soit par erreur du personnel, soit par mauvais fonctionnement d'un dispositif de contrôle, et de minimiser leurs effets,
- d'autre part d'examiner l'efficacité des dispositifs de sûreté et éventuellement d'en mettre au point de nouveaux.

Les travaux théoriques concernant ces études expérimentales se rapportent essentiellement ici à l'étude de la contre-réaction résultant de dilatations et de l'ébullition en fonction des conditions hydrodynamiques et du niveau de puissance (effet sur la réactivité, sur les temps de vie, sur les coefficients de fuite).

La principale étude appliquée consisterait à essayer de déterminer expérimentalement la contre-réaction en étudiant par exemple, la fonction de transfert de la pile à différentes puissances en employant une méthode de modulation.

Chronologiquement, les études des régimes transitoires sont effectuées en premier lieu car leur réalisation n'exige pas les importants dégagements d'énergie que nécessitent, par contre, les études expérimentales des excursions de puissance qui impliquent des activations appréciables des installations proches du coeur de la pile.

#### INSTRUMENTATION UTILISEE DANS CABRI

Nous n'envisageons ici que les mesures transitoires rapides. Les mesures effectuées en régimes permanents ou pendant des variations " lentes " de puissance sont effectuées par les appareils de mesures classiques des autres piles. Nous diviserons l'instrumentation en deux domaines, nucléaire et non nucléaire.

##### 1° Mesures nucléaires

##### a) Mesures globales de la puissance du coeur.

Les appareils de mesures doivent :

- avoir une constante de temps aussi faible que possible (au plus quelques milli-secondes),
- pouvoir couvrir une dynamique relativement grande (2 décades au moins dans le cas des chaînes linéaires),
- être peu sensibles aux distorsions transitoires de flux dans le coeur (distorsions dues aux différents échauffements du combustible et du modérateur et éventuellement aux phénomènes d'ébullition). Ceci exige un appareil qui mesure un rayonnement

peu atténué par l'aluminium et par l'eau ; il s'agira donc d'un instrument placé à une certaine distance du coeur ( de l'ordre de 1m ou plus) mesurant la lumière de l'effet CERENKOV, le rayonnement gamma ou les neutrons émis par le coeur.

L'utilisation d'un détecteur à effet CERENKOV nécessite des études et travaux préliminaires. Elle a été reportée à un stade ultérieur.

En ce qui concerne la mesure de la puissance à partir du rayonnement gamma, une étude expérimentale effectuée au Centre d'Etudes Nucléaires de FONTENAY-AUX-ROSES [1] a montré que les perturbations dues aux gamma des produits de fission après le pic de puissance peuvent être très atténuées pourvu que la mesure soit effectuée à une distance du coeur supérieure à 2m. En effet les gamma des produits de fission ayant une énergie inférieure aux gamma de fission et aux gamma de capture sont davantage atténués par l'eau. L'erreur provenant de la contribution des gamma des produits de fission reste inférieure à 1% dans ces conditions, la mesure étant effectuée avec une chambre d'ionisation. En utilisant un détecteur à impulsions (scintillateur associé avec un photomultiplicateur) il est possible de diminuer encore cette erreur systématique par une discrimination convenable.

La mesure de la puissance à partir des neutrons rapides est réalisée grâce aux neutrons thermiques qu'ils engendrent par leur ralentissement à proximité du détecteur. Ce dernier peut être soit une chambre d'ionisation à bore (mesure de courant), soit une chambre à fission ou un scintillateur gazeux associé à un photomultiplicateur.

Pour les mesures en courant, des essais effectués au Centre d'Etudes Nucléaires de GRENOBLE sur la pile MELUSINE ont montré qu'une chambre à bore du type couramment utilisé dans le contrôle classique des piles (type CCC 2 B de la S. A. C. M. par exemple) avait une constante de temps inférieure à la milliseconde pour un courant de l'ordre de  $10^{-10}$  ampère au moins débité par la chambre.

En ce qui concerne les mesures par impulsions, en s'imposant une durée maximale de comptage de l'ordre de la milliseconde et en supposant une dynamique de mesure de 2 décades avec un nombre minimal d'impulsions pendant la durée de comptage de l'ordre de 100 (condition de précision des mesures), le pouvoir de résolution du détecteur et de son électronique associée doit être au moins de l'ordre de 10 nanosecondes.

Les détecteurs à scintillateur gazeux font actuellement l'objet d'études au Département d'Etudes de Piles, Service des Expériences Critiques.

En attendant leur mise au point, on utilise des chambres à fission subminiatures dont le pouvoir de résolution est de l'ordre de quelques centaines de nanosecondes seulement.

b) Mesures instantanées de flux en un point du coeur.

Dans des expériences telles que l'étude de l'ébullition dans une boucle ou dans une capsule, l'étude de la fusion locale d'un élément combustible, etc... il est nécessaire de connaître aussi exactement que possible l'évolution du flux thermique en fonction du temps en un point particulier du coeur. Les qualités demandées au détecteur sont alors :

- être aussi ponctuel que possible,
- pouvoir supporter une élévation de température atteignant 130°C,
- avoir un temps de réponse de l'ordre de la milliseconde,
- fournir des résultats aussi précis que possible (quelque %) sur une échelle de puissance importante (2 décades au minimum),
- pouvoir fonctionner dans un flux de neutrons thermiques de  $10^{16}$  neutrons/cm<sup>2</sup>/sec au minimum,
- pouvoir supporter des flux intégrés de l'ordre de  $10^{15}$ .

Actuellement les seuls détecteurs qui puissent remplir ces conditions sont à notre connaissance les chambres à fission subminiatures (General Electric).

2° Mesures non nucléaires

Les mesures non nucléaires envisagées sont essentiellement des mesures de températures, de pression, de contrainte et de débit, effectuées en des points déterminés du coeur de la pile.

a) Mesure de températures

Nous avons voulu bénéficier des expériences déjà effectuées dans ce domaine sur les réacteurs SPERT plus particulièrement sur SPERT 1 et avons décidé d'utiliser des thermocouples similaires [2]. Les mesures sont effectuées, en un premier temps, sur les faces extérieures des gaines des éléments combustibles.

La technique de fixation des fils de thermocouples utilisée est l'incrustation au moyen d'une soudeuse électrique par points. Il est prévu également d'utiliser une véritable soudure ponctuelle des fils conducteurs sur la gaine par fusion locale au

moyen d'un éclair LASER.

Ultérieurement, des mesures seront effectuées à l'intérieur des éléments combustibles en constituant un thermocouple aluminium-nickel en profondeur dans l'élément. L'étude et la mise au point de cette technique sont en cours, sous contrat avec l'industrie privée. Parallèlement des études expérimentales sont menées hors pile pour mesurer les constantes propres aux thermocouples utilisés (temps de réponse et perturbation locale). Pour cela leurs indications transitoires sont comparées avec celles que donne une méthode de mesure de température complètement différente (phénomènes de photoluminescence) [ 3 ]

b) Mesures de pression

Compte tenu des informations dont nous avons bénéficié à partir des rapports publiés sur les piles SPERT nous avons décidé d'utiliser des capteurs à membranes dont on mesure la déformation grâce à une jauge de contrainte associée (capteurs type 4 313 et 4 316 de C.E.C.). Compte tenu des phénomènes de résonance propre à ce type de capteurs, il nous a paru indispensable de faire réaliser des études systématiques dans ce domaine et un contrat a été passé dans ce but avec la Marine Nationale à la Pyrotechnie de Toulon. [4]

c) Mesures de contraintes

Les jauges utilisées sont du type étanche (MICRODOT et BALDWIN)

Des essais de soudure électrique de ces jauges sont actuellement tentés sur l'aluminium et ne donnent pas entière satisfaction. Aussi, des essais de collage sont également prévus. La fixation des jauges sur les pièces en acier inoxydable n'a pas posé de problèmes particuliers.

d) Mesures de débit

Il est prévu d'effectuer des mesures de débit dans le pied de certains éléments combustibles du coeur au moyen de dispositifs à moulinet associé à une transmission électro-magnétique. La gamme des mesures va de 0,5 à 25 l/sec. Le temps de réponse est approximativement de 10 millisecondes dans toute la gamme des mesures.

## DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA PILE ET DE SES INSTALLATIONS

Compte tenu du programme de fonctionnement [5] qui a été rappelé ci-dessus, la pile CABRI a été aménagée selon les dispositions suivantes :

1° l'implantation est réalisée dans une zone isolée du Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache,

2° la cuve du coeur est disposée en sous-sol dans une fouille creusée dans le calcaire et profonde de 10m environ. Il a également été tenu compte au maximum des possibilités offertes par le relief du terrain pour obtenir des protections naturelles,

3° la pile proprement dite est contenue dans un bâtiment en forme de hall, du type renforcé (pression d'épreuve 40cm d'eau) dont l'étanchéité est du type " amélioré " (passages étanches pour les câbles et les canalisations, porte d'accès à joint gonflable etc...),

4° l'agencement des circuits de ventilation fait du bâtiment pile un ensemble à fuites éventuelles contrôlées par rejet après filtration dans une cheminée de 30m de hauteur,

5° autour du hall pile, une zone d'exclusion d'un rayon de l'ordre de 300m a été aménagée. Elle est matérialisée sur son pourtour par une barrière, l'entrée dans cette zone ne peut s'effectuer qu'en un seul point et elle est strictement réglementée,

6° le contrôle de la pile-enregistrement des différents signaux, ordres de déclenchement, signalisations- se fait à distance depuis la salle du tableau de commande et celle qui est affectée à l'ensemble de centralisation des mesures dont il est question plus loin. Ces deux salles sont situées dans le bâtiment de contrôle proprement dit qui est reporté au delà de la limite de la zone d'exclusion,

7° Au centre de la zone d'exclusion, outre le hall pile proprement dit, se trouve une série de locaux formant un bâtiment extérieur qui lui est accolé et qui abrite :

a) la zone de ventilation comprenant : une salle de décompression de la nef-pile, une salle des ventilateurs et des compresseurs, une salle des filtres,

b) la zone constituée d'une salle de contrôle annexe qui contient des organes de répartition, les amplificateurs nécessaires pour les liaisons avec le tableau de contrôle proprement dit qui se trouve à 300m, les dispositifs relatifs aux mesures transitoires nucléaires et non nucléaires (constitués schématiquement d'étages amplificateurs précédant un dispositif de commutation rapide pour le raccordement au centralisateur des mesures transitoires que nous verrons plus loin),

c) une zone réservée aux installations électriques "courants forts" :

cellules d'arrivée haute tension, protections des transformateurs d'alimentation, cellules basse tension de distribution, armoires de relaying, synoptiques des circuits hydraulique et électrique, local des batteries de secours associées à leurs redresseurs et à un onduleur prévu uniquement pour les circuits de contrôle,

8° au delà de la zone d'exclusion à 300m de la nef-pile se trouve le bâtiment de contrôle, comprenant :

- a) une salle pour le calculateur et le centralisateur des mesures transitoires,
- b) une salle de contrôle proprement dite,
- c) une salle réservée aux expérimentateurs dans laquelle s'effectuent les contrôles des manipulations particulières,
- d) un laboratoire d'électronique,
- e) un laboratoire d'instrumentation transitoire,
- f) un laboratoire affecté à la Section de Protection contre les Radiations,
- g) une série de bureaux,
- h) la chaufferie et les sanitaires,

9° une ferme provençale placée à proximité du bâtiment contrôle a été rénovée et abrite en particulier les bureaux des théoriciens, une salle de réunion - conférence-documentation, un laboratoire de mécanique de précision, la salle des installations de comptage de détecteurs et le magasin uranium.

#### DESCRIPTIONS PARTICULIERES

Les différentes parties des installations qui méritent des mentions particulières sont les suivantes :

##### 1° Cuve et support du coeur

Le coeur de la pile est contenu dans une cuve cylindrique de 5m de diamètre et de 10m de hauteur environ. Elle est du type auto-portante en acier inoxydable et peut supporter des surpressions de l'ordre de 40m d'eau. Deux séries de hublots permettent l'observation des phénomènes ayant lieu dans le coeur et leur enregistrement au moyen de caméras (télévision ou cinéma).

Le coeur est constitué avec des éléments du type MTR (18 plaques, uranium enrichi à 90%). Ces éléments sont mis en place sur une grille comportant 10 x 10 emplacements . Dans chaque emplacement un dispositif à membrane élastique fonctionnant à l'eau sous pression permet de serrer les pieds des éléments



combustibles et de les y maintenir dans le cas où un refroidissement par convection forcée dans le sens ascendant est utilisé (effort à l'arrachement de l'ordre de 150 kg).

La grille du coeur est supportée par un tabouret de 2m de hauteur dont les pieds sont fixés directement sur le fond de la cuve du coeur. Ce tabouret supporte également la tuyauterie qui permet de faire circuler l'eau de refroidissement dans les éléments dans le sens vertical ascendant ou descendant. Cette tuyauterie est munie d'un clapet à verrou pour permettre aussi l'étude du refroidissement par convection naturelle.

Dans le plan horizontal de la grille du coeur, se trouve disposé également un certain nombre de grilles annexes destinées à recevoir les perches de contrôle et à faciliter la manutention des éléments et des dispositifs expérimentaux.

### 2° Circuit d'eau

a) Le circuit principal permet de faire circuler un débit maximum de  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$  dans le coeur par l'intermédiaire de tuyauteries en acier inoxydable.

La vitesse de circulation de l'eau dans un élément combustible peut ainsi atteindre 5 m par seconde environ.

Ce circuit permet, comme nous venons de l'indiquer, l'inversion du sens de circulation de l'eau dans les éléments.

b) Le circuit d'épuration et de remplissage utilise le principe d'épuration par résines échangeuses d'ions à lits séparés. Il permet de traiter au remplissage la totalité du volume d'eau nécessaire à la pile et aux circuits sans régénération intermédiaire. Ce même circuit sert également à l'épuration en circuit fermé, et la résistivité de l'eau peut être maintenue entre 0,5 et  $2 \frac{\text{M}\Omega \text{ cm}^2}{\text{cm}}$  pour un Ph compris entre 5 et 7.

### 3° Ventilation

a) Lorsque la pile est à l'arrêt, son enceinte se trouve à la pression ordinaire, la ventilation et le conditionnement sont assurés avec recyclage partiel de l'air (en moyenne 1/3 d'air frais aspiré à l'extérieur à travers un simple filtre à poussière),

b) Lors des expériences, le bâtiment pile et ses annexes étant évacués,

les portes fermées, l'étanchéité réalisée, on crée à l'intérieur du hall pile une dépression de l'ordre de 4 millimètres d'eau : une aspiration est réalisée par un ventilateur d'extraction asservi avec un organe déprimomètre et les gaz extraits sont dirigés sur des filtres "absolus" incombustibles et sur piège à iode avec rejet dans une cheminée de 30 m de hauteur.

#### 4° Barres de contrôle-sécurité et barre de départ

Le coeur de la pile CABRI comporte cinq barres : quatre barres de contrôle-sécurité et une barre de départ.

Les barres de contrôle-sécurité sont des barres absorbantes d'un type similaire à celles qui équipent des piles telles que MELUSINE, TRITON et SILOE. Elles sont dotées chacune d'un mécanisme qui permet de les déplacer verticalement dans le coeur avec un repérage de leur position à  $\pm 2/10$  de millimètres près et d'un dispositif de sécurité à propulsion pneumatique pour leur réintroduction brutale dans le coeur (en 1/10 de seconde environ).

La barre de départ est constituée d'un élément absorbant semblable au précédent équipé d'un dispositif pneumatique permettant de l'éjecter rapidement vers le haut hors du coeur (en 1/10 de seconde environ) à partir d'une cote réglable repérée avec la même précision que les barres de contrôle.

#### 5° Contrôle transitoire

En plus des appareillages de mesure conventionnels qui constituent l'équipement de contrôle et de commande d'une pile classique, CABRI est équipée d'un ensemble d'appareils qui permet d'effectuer un certain nombre d'enregistrements pendant la durée d'une expérience : mesures nucléaires de flux, mesures de températures, mesures de débit, mesures extensométriques de contraintes et de pression... à concurrence de 48 voies.

L'enregistrement des différentes mesures a été prévu, en première étape, sous forme arithmétique par la méthode de l'échantillonnage périodique sur chaque voie de mesure. Pour cela, on utilise l'organisation logique et les mémoires d'une machine électronique à calculer (RW330) qui sert ainsi de centralisateur des mesures. Les possibilités de cette machine sont utilisées pour réaliser également : des télécontrôles et des télécommandes avant et après expériences, des calculs de traitement d'information sur les résultats bruts des différents

échantillonnages de façon à obtenir sous forme de tableaux ou de courbes sur une table traçante, des résultats exploitables plus commodément et directement par les expérimentateurs. En fonction des expériences à réaliser, il est possible de faire varier la cadence de scrutation sur les voies de mesures ; la cadence de base est de 400 par voie et par seconde (durée 2,5 millisecondes pour un cycle de scrutation complet des 48 entrées).

Il est possible d'obtenir une fréquence d'échantillonnage plus élevée sur des voies déterminées en raccordant celles-ci à plusieurs entrées régulièrement espacées sur le dispositif de scrutation. Il est possible au contraire de ralentir la cadence en bloquant périodiquement l'enregistrement des mesures sur chaque voie, celle-ci continuant à être explorée à la cadence de base. La capacité de mémoire du centralisateur de mesures permet d'effectuer des enregistrements, à la cadence de base, pendant 6 secondes au maximum.

En deuxième phase, il est prévu d'effectuer les enregistrements d'un certain nombre de voies de mesures sur bandes magnétiques en utilisant le procédé de modulation de fréquence. Le centralisateur de mesures sera alors équipé des organes nécessaires pour l'analyse des bandes magnétiques ainsi obtenues. La durée d'enregistrement des phénomènes sera alors portée à 15 minutes environ.

PREMIERS RESULTATS EXPERIMENTAUX

La divergence "classique" de la pile CABRI a été effectuée le 21 Décembre 1963 et la première excursion transitoire de puissance a été réalisée le 16 Avril 1964.

Les premiers résultats expérimentaux obtenus seront exposés en séance.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] GIRARD C.  
Etude d'une méthode de mesure de la puissance pendant un test transitoire sur la pile CABRI - Rapport C. E. A. à paraître
- [2] SPANO A. H. & MILLER R. W.  
SPERT I Destructive test program safety analysis report  
U. S. A. E. C. , 1962, IDO 16 790, 24.
- [3] THUREAU P. Professeur à la Faculté des Sciences de Caen  
Mesure de températures superficielles par photoluminescence  
Journées de la transmission de la chaleur, 1961.

[4] PASCOUET A.  
Simulation des excursions de puissance  
1964

[5] C. E. A.  
CABRI Avant - projet  
1-3 à 1-5, VIII-1 à VIII-6

**FIN**