

M

élusine

*

*

*



**m
é
l
u
s
i
n
e**

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE



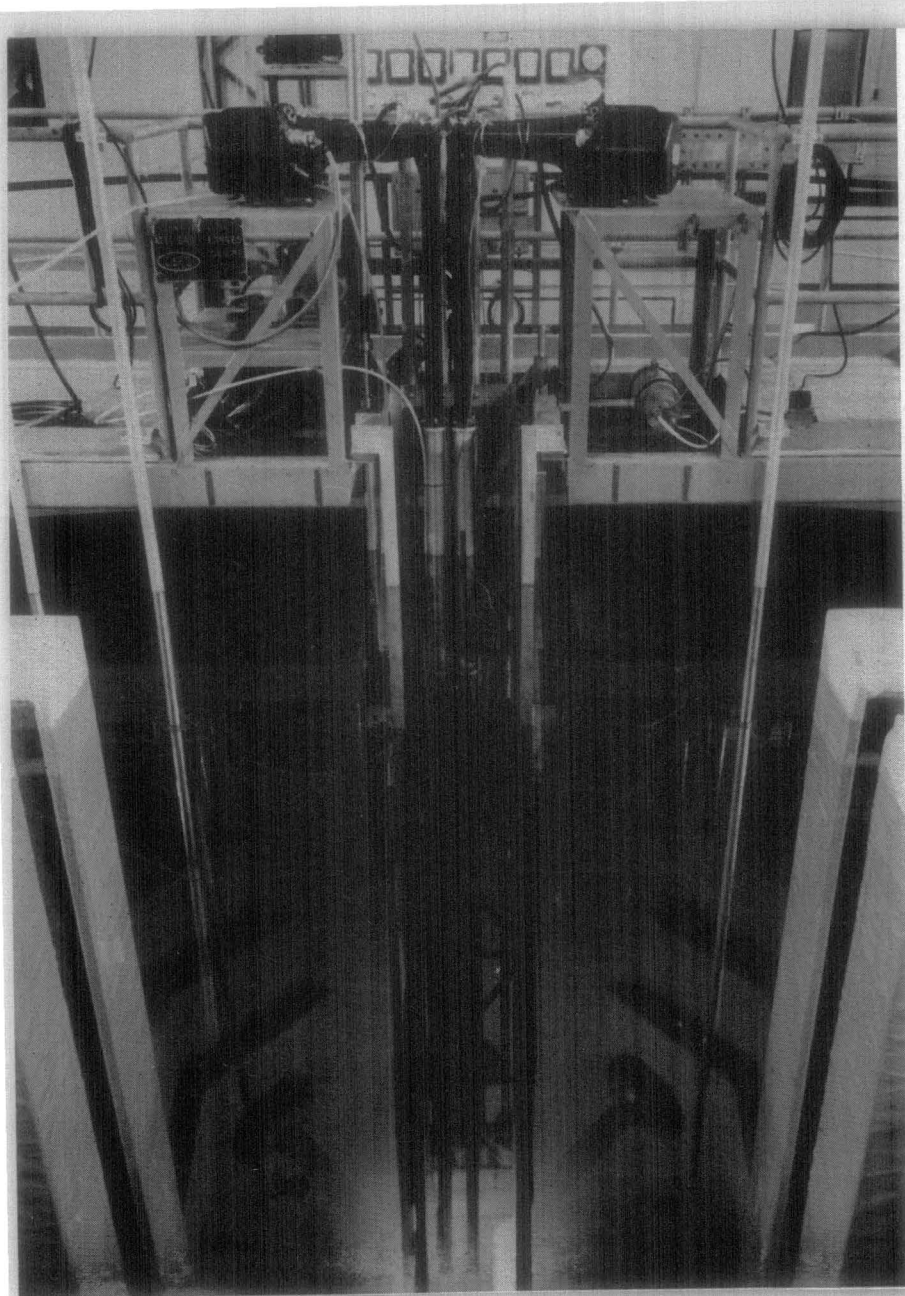


Fig. 1. — Mélusine : Le cœur (effet Cerenkov.)

I. — DESCRIPTION GÉNÉRALE.

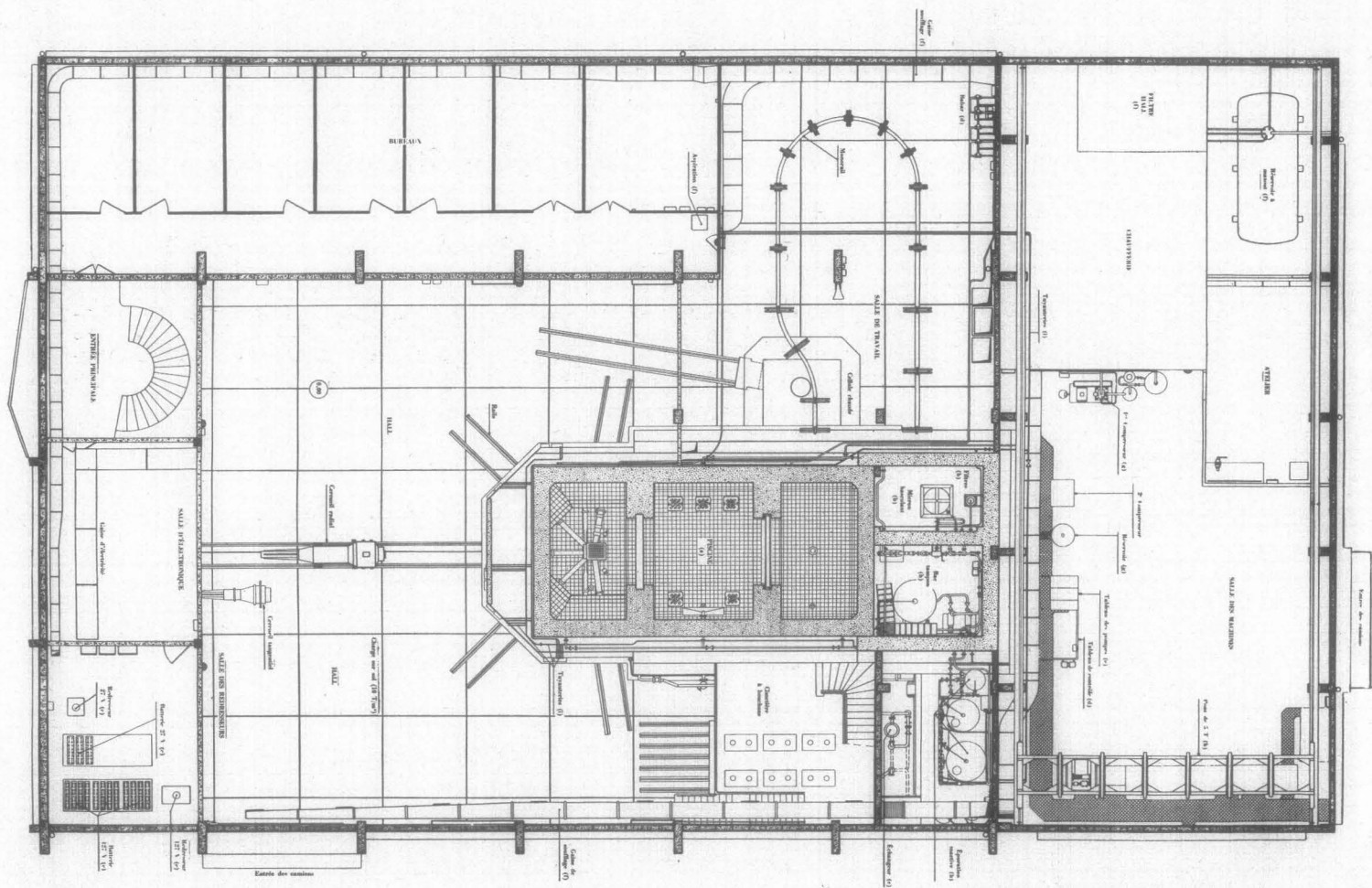
La Pile MÉLUSINE, construite à Grenoble, est mise à la disposition des chercheurs du Centre d'Etudes Nucléaires.

L'étendue du programme de recherche, la diversité des utilisateurs et l'implantation de cette pile aux abords d'une grande ville, imposant à la fois une grande souplesse d'expérimentation et une sécurité complète, ont conduit tout naturellement au choix d'une pile piscine.

Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

type :	piscine à 2 positions de travail
puissance normale :	1.200 kW
flux thermique :	10^{13} neutrons/cm ² /sec.
combustible :	uranium enrichi à 20 %
modérateur :	eau déminéralisée
réfrigération	circulation forcée de l'eau

La pile Mélusine a été réalisée sous la direction du C.E.A. au Centre de Grenoble par la Société Indatom.



II. — LE BATIMENT (fig. 2).

Le bâtiment comporte essentiellement :

- un hall de $34 \times 20 \times 20$ m abritant la pile et les installations annexes (réfrigération, épuration de l'eau, contrôle, etc.) ;
- un appentis sur le pignon sud-ouest, comprenant la salle des machines et les installations de chauffage et ventilation ;
- un appentis sur la façade sud-est abritant les bureaux et laboratoires.

LE HALL (fig. 6)

Il est constitué par des portiques en béton armé supportant le chemin de roulement du pont de 15 tonnes desservant le hall et la dalle de couverture également en béton armé. Le remplissage est constitué d'éléments de béton moulé.

La construction est conçue de telle sorte que, les portes d'accès et les aérateurs situés sur le toit étant fermés, les fuites d'air vers l'extérieur ne soient pas supérieures à $1 \text{ m}^3/\text{sec.}$, ceci pour éviter une pollution dangereuse de l'atmosphère à l'extérieur du bâtiment en cas d'accident.

De ce fait, les châssis métalliques destinés à l'éclairage du hall sont fixes.

Le sol autour de la pile est constitué de dalles en béton armé pouvant supporter une charge de 10 t/m^2 .

La piscine est adossée au pignon sud-ouest du hall par l'intermédiaire d'une casemate dans laquelle se trouve le bac de désactivation et les colonnes échangeuses d'ions du circuit d'épuration d'eau de la pile.

Sur le côté nord-ouest de cette dernière se trouvent :

- les installations de réfrigération et celles d'épuration de l'eau de ville destinée au remplissage de la piscine et à la compensation des pertes.
- un cimetière à bouchons.

Sur le côté sud-est, partie dans le hall, partie dans l'appentis s'étend une salle de travail d'une hauteur sous plafond de 6,80 m pouvant être desservie par un palan électrique de 5 t. Cette salle contient une cellule chaude de 10 kilocuries accolée à la piscine avec laquelle elle communique par un sas air-eau.

Le dégagement autour de la piscine qui atteint jusqu'à 15,80 m dans le prolongement de l'axe de cette dernière est au minimum de 6,15 m sur les côtés, en dehors de la salle de réfrigération.

Un plancher situé à la cote supérieure de la piscine s'étend sur les côtés sud-ouest et nord-ouest de celle-ci.

A l'intérieur du hall et adossés au pignon opposé à la piscine se trouvent deux étages de locaux abritant le tableau et le pupitre de contrôle (au 2^e étage avec vue sur la pile), les groupes convertisseurs, les batteries et un atelier d'électronique.

LES BUREAUX ET LABORATOIRES

Installé au rez-de-chaussée et au premier étage de l'appentis sud-est, l'ensemble bureaux et laboratoires ne communique que par deux portes, situées au rez-de-chaussée, avec le hall dont il peut être suffisamment isolé en cas d'incident pour donner au personnel le temps d'évacuer sans risque ces locaux.

LA SALLE DES MACHINES ET LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE ET VENTILATION

Dans la salle des machines d'une superficie de 200 m² environ, desservie par un pont roulant de 5 t, sont installés :

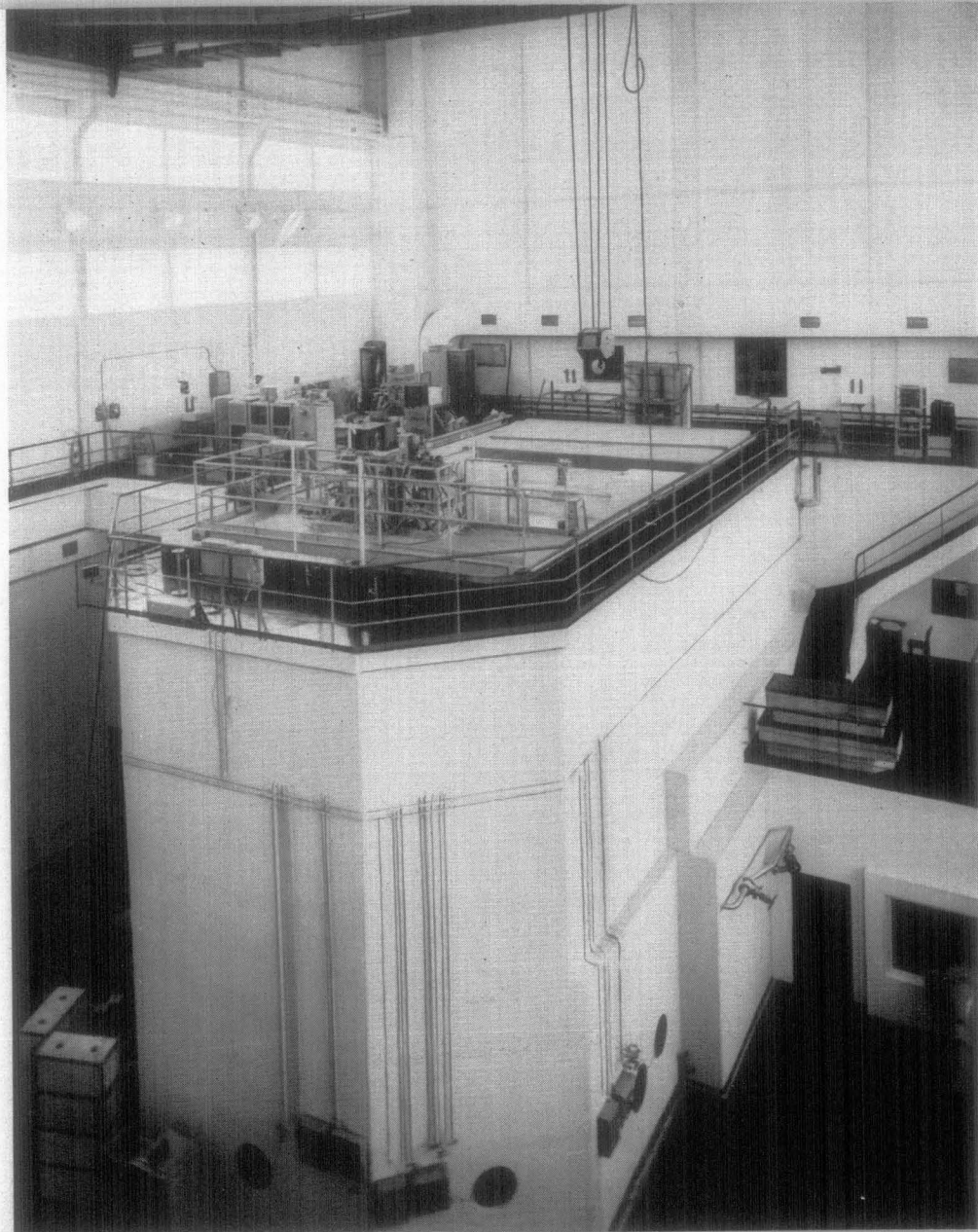
- un petit atelier ;
- le poste de transformation 15.000/220/127 volts, 400 kVA ; (+ 1 poste de secours 200 kVA).
- le tableau de commande électrique ;
- le tableau de contrôle, donnant la recopie de certaines mesures de santé (activité d'effluents liquides et gazeux) et de surveillance de l'eau ;
- 2 compresseurs d'air (un en secours) ;
- un poste de régénération des résines échangeuses d'ions radioactives.

Les installations de chauffage et de ventilation, logées dans le même appentis que la salle des machines comportent :

- les filtres ;
- les ventilateurs donnant un débit total de 60.000 m³/h ;
- les chaudières ;
- les gaines de distribution et de reprise de l'air ;
- les aérateurs placés sur les toits.

Le circuit du hall et le circuit desservant la salle des machines, les bureaux et les laboratoires sont indépendants pour éviter en cas d'incident toute pollution de l'ensemble du bâtiment par l'air du hall.

Sur le circuit hall, dont le débit d'air est de 40.000 m³/h, dont 30.000 m³ recyclés, les filtres sont susceptibles d'arrêter 90 % des poussières d'un diamètre supérieur au micron. Ils sont munis d'un dispositif permettant, si nécessaire, leur démontage à distance. Sur le circuit salle des machines, bureaux, laboratoires, dont le débit est de 20.000 m³/h, dont 15.000 m³ recyclés et où la présence de poussières est moins gênante, seuls des filtres grossiers sont installés.



III. — LA PISCINE (fig. 3).

La piscine est un réservoir parallélépipédique en béton comportant trois compartiments dont l'un des extrêmes peut être isolé à l'aide d'un batardeau.

On trouve de l'avant vers l'arrière :

- le compartiment avant, dit des canaux radiaux
- le compartiment central ;
- le compartiment arrière.

En position dans le premier ou le dernier de ces compartiments, le cœur peut fonctionner à 1.200 kW, le refroidissement en convection forcée y étant possible.

Il peut fonctionner à 100 kW, dans n'importe quelle position, le refroidissement par la convection naturelle étant alors suffisant.

Les dimensions du réservoir et l'épaisseur des parois ont été déterminées de manière à :

- éviter une activation anormale du béton ;
- limiter le rayonnement de manière à ne pas dépasser la dose biologique ou une fraction de cette dose suivant les endroits.

Les dimensions intérieures du réservoir proprement dit sont les suivantes :

- longueur : 11 m ;
- largeur : 5 m ;
- profondeur : 8 m 60 permettant une protection de 6 m 50 d'eau au-dessus du cœur.

La piscine est revêtue intérieurement de carrelages jointoyés à l'araldite dans le but :

- d'augmenter la garantie d'étanchéité ;
- d'éviter le délavage du béton par l'eau pure ;
- d'améliorer l'éclairement sous l'eau.

La protection contre les rayonnements est assurée par :

- l'eau ;
- les parois du réservoir (60 cm de béton ordinaire)
- des épaisseurs variables de béton coulé contre les parois, béton ordinaire au droit des compartiments central et arrière (1 m 40), béton lourd à la baryte de densité 3,5 (1 m 65) pour le compartiment avant.

Dans ce dernier sont installés :

- 5 canaux radiaux dont l'axe est à 1 m 30 au-dessus du sol extérieur ;
- 1 canal tangentiel.

Dans le compartiment arrière, deux fourreaux de 400 mm et un de 150 mm, provisoirement obturés, ont été prévus. L'un sert de sas à la cellule chaude située dans la salle de travail.

L'utilisation d'un batardeau permet de séparer des autres l'un des deux compartiments extrêmes qui pourra ainsi être asséché et dans lequel l'accès sera possible, le cœur étant en marche à 1.200 kW dans l'autre position de travail.

L'épaisseur d'eau entre le cœur et le batardeau, qui est dans ce cas de 6 m 30, est suffisante pour assurer la protection.

Le batardeau construit en aluminium A5 assure une bonne étanchéité. Un système de récupération des fuites doit éviter en cas de défaillance des joints en perbunan, que celles-ci n'atteignent le compartiment asséché.

La manutention du batardeau se fait à l'aide du pont roulant de 15 t, desservant le hall pile.

A la partie supérieure et autour de la piscine, une galerie permet le passage des canalisations de fluides divers et des cables électriques et sert de passerelle de circulation.

Trois problèmes ont été posés pour la réalisation de cet ouvrage par : les fondations, l'étanchéité, la mise en place des canaux.

— La nature du terrain de fondation constitué d'alluvions à graviers renfermant des lentilles d'argile et la présence à 2 m de profondeur de la nappe phréatique n'ont pas permis une construction enterrée ; de ce fait le radier de la piscine est fondé à la cote — 1 m.

— L'étanchéité absolue, qui ne peut être garantie formellement, malgré les revêtements, que dans la mesure où le béton porteur est lui-même parfaitement étanche, a été considérée comme un impératif. Pour éviter toutes fissures pouvant être principalement causées par le retrait, par des tassements différentiels du terrain de fondation, ou par des forces extérieures, il fallait éviter que le béton travaille à la traction. Ce résultat est obtenu par l'utilisation de béton précontraint pour la construction du réservoir proprement dit. La précontrainte est de 40 kg/cm² dans le sens horizontal, 20 kg/cm² dans le sens vertical.

— L'axe des canaux doit être positionné avec une très grande précision.

Or, les efforts auxquels ces canaux sont soumis lors du coulage, de la prise du béton et de sa mise en contrainte peuvent les déformer ou les déplacer.

De plus, leur conception définitive n'étant pas encore connue lorsque ont commencé les travaux de la piscine, la solution adoptée consiste, sans rechercher une précision quelconque, à couler dans le béton des fourreaux métalliques de grand diamètre. Ceux-ci jouent le rôle de coffrages perdus, à l'intérieur desquels les canaux sont par la suite mis en place avec toute la précision désirable, grâce à de fausses brides usinées à la demande.

L'intervalle entre fourreaux et canaux est rempli d'agrégat injecté sous pression, dont la granulométrie a été spécialement étudiée.

IV. — LE CŒUR (fig. 4).

Le cœur est constitué d'éléments adaptables dans $8 \times 7 = 56$ logements d'une épaisse plaque de base en aluminium.

Chaque élément (du type MTR) a l'aspect d'un prisme à section carrée de 80 mm de côté environ, de hauteur 70 cm. Il est constitué par la juxtaposition de 12 plaques parallèles faites d'un alliage d'aluminium et d'uranium enrichi à 20 % enrobé dans de l'aluminium. Il y a 178 gr. d'U 235 par élément.

L'eau de la piscine utilisée pour la réfrigération passe par les trous de la plaque de base et circule entre les plaques verticales des éléments. Quatre éléments spéciaux sont évidés pour permettre le passage des barres de contrôle et de compensation.

Trois éléments incomplets permettent de doser le chargement du cœur. Une source de neutrons antimoine-béryllium est logée dans une boîte en aluminium qui occupe un trou de la grille.

Le nombre des logements de la plaque de base étant très supérieur au nombre d'éléments combustibles nécessaires pour diverger, une grande diversité de géométries du cœur sera possible. Des éléments réflecteurs en graphite ou en béryllium pourront être adaptés sur la plaque de base. Le cœur peut être déplacé dans la piscine selon l'axe longitudinal de celle-ci.

Dans le compartiment avant, le cœur peut fonctionner à une puissance d'au moins 1 MW. Cette puissance nécessite une réfrigération par convection forcée.

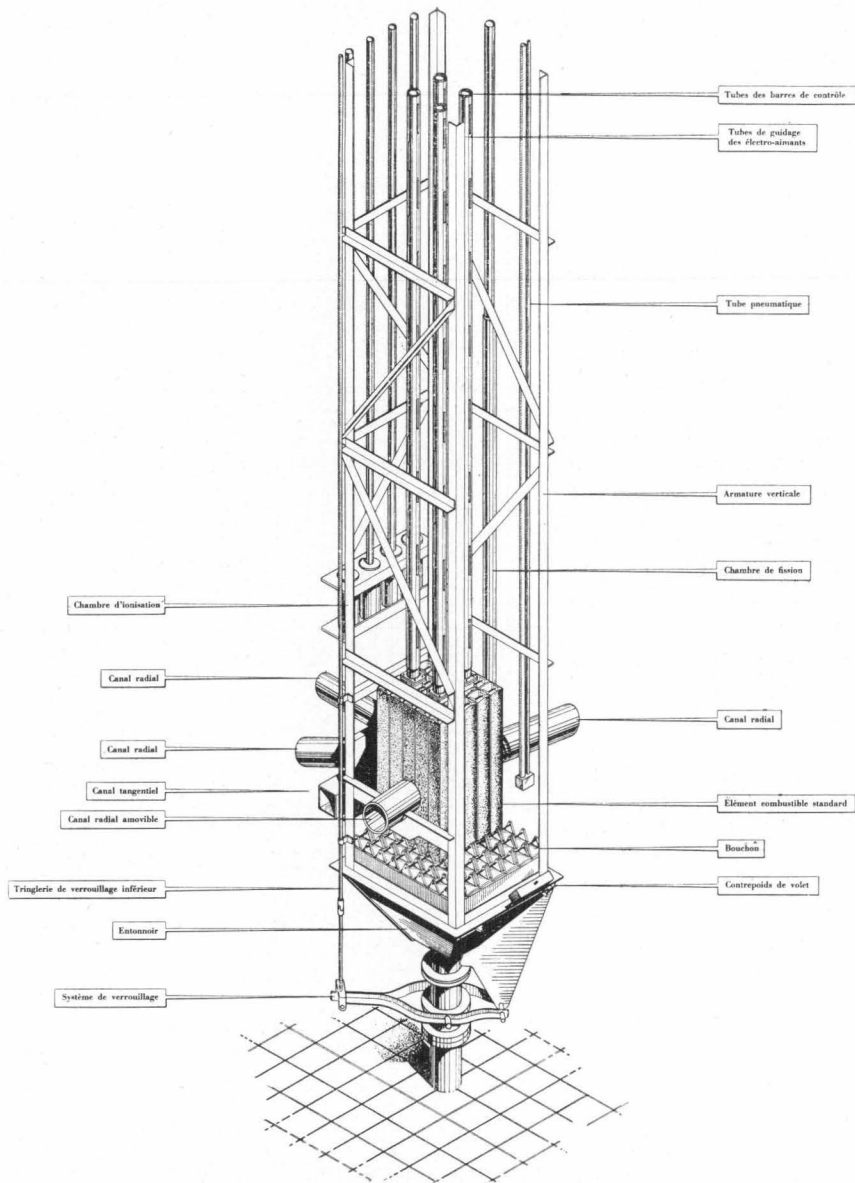


Fig. 4. — Le cœur.

A cet effet, un entonnoir fixé sous la plaque de base du cœur peut être verrouillé sur une canalisation d'aspiration. En cas d'arrêt des pompes, les faces de l'entonnoir s'ouvrent par gravité et permettent la convection naturelle.

En toute position, le cœur peut fonctionner à puissance réduite, le refroidissement étant assuré par la convection naturelle. La puissance est limitée à environ 100 kW par l'échauffement et par la remontée en surface d'azote 16 radioactif.

Le déplacement longitudinal du cœur est obtenu grâce à un pont roulant reposant sur 2 rails situés au bord de la piscine. La plaque de base du cœur est suspendue au pont par un bâti en cornières d'aluminium. Sa précision de positionnement est 1 mm dans le sens longitudinal et 2 mm dans le sens transversal.

Le déplacement du pont du cœur est commandé manuellement et sa vitesse de translation volontairement réduite à 1 m par minute. Il peut être verrouillé dans les positions de travail à 1 MW. Ces dispositions ont pour but d'éviter tout accroissement brutal de réactivité qui pourrait résulter d'un déplacement intempestif du cœur par rapport à un corps absorbant.

Les éléments combustibles peuvent être manipulés au fond de la piscine depuis la passerelle du pont du cœur grâce à une perche munie d'un crochet mobile. Les éléments non utilisés seront stockés dans des paniers d'aluminium disposés dans le compartiment central pour l'utilisation normale de la piscine. Ces paniers étant amovibles, on pourra les stocker dans le compartiment arrière si on assèche le compartiment central.

V. — LES INSTALLATIONS DE RÉFRIGÉRATION ET D'ÉPURATION DE L'EAU (fig. 5).

La réfrigération forcée du cœur de la pile devient nécessaire dès que la puissance dépasse quelques centaines de kW ; elle est alors assurée par une circulation d'eau déminéralisée, elle-même refroidie dans des échangeurs tubulaires par un circuit d'eau non traitée.

L'installation comprend :

LE CIRCUIT PRINCIPAL

a) A puissance élevée, certaines précautions doivent être prises par suite de la présence d'azote 16 et d'oxygène 19 :

- l'aspiration de l'eau à travers le cœur a lieu vers le bas ;
- l'eau séjourne environ 5 minutes dans un bac de désactivation de 18 m³.

b) Le circuit comprend en outre :

- 3 pompes de 100 m³/h dont 2 en service normal ;
- 1 échangeur ramenant la température de l'eau de 30° C à 25° C.

c) Pour éviter une vidange accidentelle de la piscine en cas de rupture des canalisations, celles-ci traversent les parois en formant siphon à un niveau supérieur à celui du cœur qui doit toujours rester noyé.

LE CIRCUIT SECONDAIRE

L'eau est pompée dans la nappe phréatique, puis rejetée à l'égout après passage dans l'échangeur.

MELUSINE

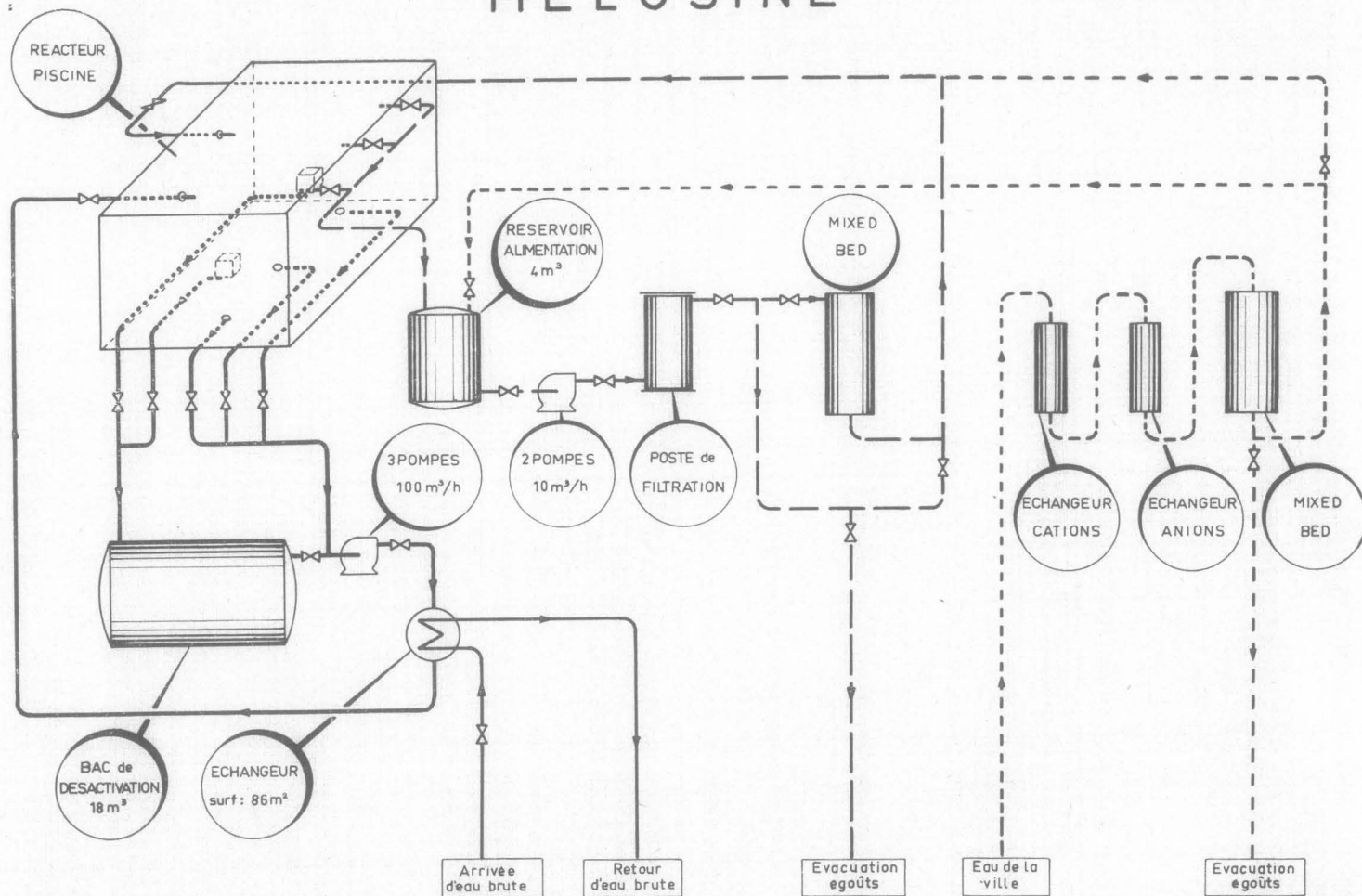


Fig. 5. — Schéma de réfrigération et d'épuration d'eau.

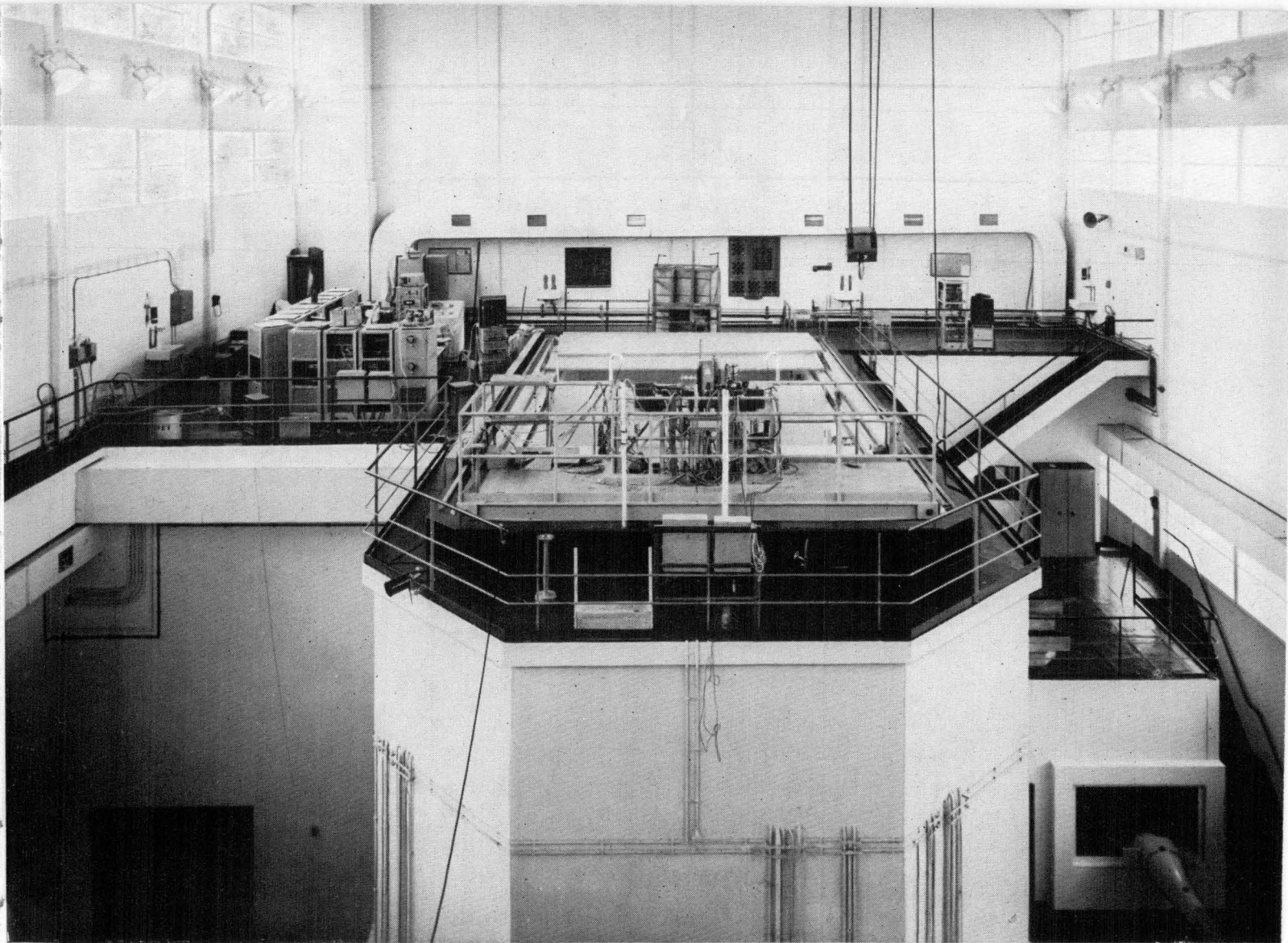


Fig. 6. — Le Hall.

*LE CIRCUIT
D'ÉPURATION
ET DE
FILTRATION*

a) L'eau de ville est déminéralisée à l'aide d'une batterie d'échangeurs d'ions de façon à obtenir une résistivité finale de 400.000 ohms/cm²/cm. Cette eau est destinée au remplissage de la piscine, et à la compensation des pertes par évaporation ;

b) L'eau de la piscine est maintenue dans un état de pureté constant par circulation continue d'un débit de 10 m³/h à travers des filtres et d'un poste de déminéralisation. Ce poste est également utilisé avant le rejet éventuel de l'eau de la piscine à l'égout.

La résistivité est à la sortie de 1.000.000 ohms/cm²/cm. Les résines saturées et radioactives, sont régénérées dans une installation spéciale à l'intérieur du bâtiment pile.

*LE SYSTÈME
DE DÉTECTION
DE RUPTURE DE GAINÉ
DES ÉLÉMENTS
COMBUSTIBLES*

La mesure de l'activité en neutrons de l'eau du bac de désactivation permet une détection globale des ruptures de gaines de combustible. Des prélèvements d'eau dans les éléments, à basse puissance, permettent la détermination de l'élément défectueux. Une mesure de rayonnement gamma à la sortie du bac de désactivation complète la sécurité.

VI. — LE CONTRÔLE.

Le réacteur est équipé de 3 barres de compensation et d'une barre de contrôle. Ces barres jouent en même temps le rôle de barres de sécurité.

La barre de contrôle a les caractéristiques suivantes :

- course utile : 70 cm.
- réactivité totale : 400 pcm.
- vitesse maximum : 1 cm/sec.

La réactivité libérale par seconde est au maximum de 10 pcm.

Les barres de compensation ont les caractéristiques suivantes :

- course utile : 70 cm.
- réactivité totale : 2.000 pcm (pour chaque barre).
- vitesse maximum : 0,5 mm/sec.

La réactivité libérale par seconde et par barre est de 2,5 pcm.

Les barres se déplacent verticalement à l'intérieur d'éléments combustibles partiellement évidés. Elles sont retenues à leurs tiges de commande par des électro-aimants.

Les mécanismes de commande sont situés sur le pont du cœur. Ils comprennent pour chaque barre un moteur diphasé 400 périodes qui, par un système de pignons réducteurs et vis sans fin, commande la translation de la tige supportant la barre.

Le réacteur peut être piloté manuellement ou automatiquement depuis le pupitre de la salle de contrôle.

EN COMMANDE MANUELLE

— la barre de contrôle peut être déplacée par un asservissement de télécommande position, ou vitesse.

— les barres de compensation peuvent être déplacées isolément ou simultanément par une commande « tout ou rien », « montée » ou « descente ».

EN COMMANDE AUTOMATIQUE

— le moteur de la barre de contrôle reçoit son signal d'un ensemble calculateur qui élabore le signal nécessaire pour amener le réacteur à une puissance dont la valeur est affichée.

— le mouvement des barres de compensation est déclenché automatiquement lorsque la barre de contrôle est presque en bout de course, en position haute ou basse.

En pilotage automatique la barre de contrôle est commandée par un signal de la forme :

$$A \left(\frac{P_0 - P}{P_0} \right) - B R$$

- P_0 étant la puissance désirée,
- P la puissance du réacteur ;
- R la réactivité du réacteur.

La puissance et la réactivité sont calculées par un simulateur analogique, les écarts éventuels avec la puissance et la réactivité réelles du réacteur étant constamment corrigés par l'action d'une tension d'erreur provenant de la comparaison avec le signal d'une chambre d'ionisation.

CHAMBRES DE DÉTECTION

Le contrôle de la puissance neutronique est obtenu par 2 chambres à fission et 4 chambres d'ionisation.

La chambre à fission utilisée pour le démarrage peut occuper deux positions commandées automatiquement.

- près du cœur au démarrage,
- à 1 m du cœur en fonctionnement normal.

L'autre chambre à fission est fixe.

La première chambre d'ionisation est suivie d'un enregistreur de puissance à échelle linéaire.

La deuxième chambre d'ionisation est suivie d'un enregistreur de puissance à échelle logarithmique et d'un enregistreur de réactivité.

Les troisième et quatrième chambres d'ionisation sont utilisées en liaison avec le calculateur de pilotage automatique. Ces 4 chambres sont placées côte à côte sur une face de l'armature support du cœur dans des boîtes étanches.

Les enregistreurs sont situés sur un tableau dans la salle de contrôle.

SÉCURITÉ

La chute des barres est commandée soit :

- manuellement depuis la salle de contrôle ou dans certains cas depuis le hall par des expérimentateurs,
- automatiquement pour l'une des causes suivantes :
 - excès de puissance neutronique ;
 - excès de réactivité ;
 - excès de température ;
 - excès d'activité de l'eau de réfrigération ;
 - excès provenant d'un appareil de santé.

MESURES DE SANTÉ

Les appareils de santé comprennent :

- 7 chambres d'ionisation pour mesure des γ et neutrons thermiques ;
- 4 détecteurs de neutrons rapides (scintillateurs, long compteur) ;
- 1 appareil de contrôle des poussières prélevées en 5 points ;
- 1 chambre différentielle de contrôle de gaz.

Un contrôle permanent des effluents gazeux (chambre d'ionisation) et liquides (scintillateur, bacs de rétention) assure la protection du site.

VII. — LES DISPOSITIFS DESTINÉS AUX EXPÉRIENCES

Certains dispositifs sont déjà définis.

D'autres seront mis au point au fur et à mesure par les expérimentateurs eux-mêmes qui mettront à profit la souplesse d'exploitation caractéristique des piles « piscine ».

CANAUX HORIZONTAUX

La première position du cœur comporte 5 canaux de diamètre intérieur 150 mm prévus pour sortir des faisceaux de neutrons ; quatre d'entre eux permettent en outre d'effectuer des irradiations. Bien que les irradiations soient plus communément réalisées dans ce type de pile par immersion dans la piscine, on a tenu au prix d'une complication sensible de la construction, à avoir aussi la faculté d'irradiation dans les canaux en prévision de certains montages délicats nécessitant des circulations de fluides.

Les extrémités des canaux sont à 15 mm des faces du cœur.

La première position du cœur comporte en outre un canal tangentiel à section carrée de 100 mm de côté.

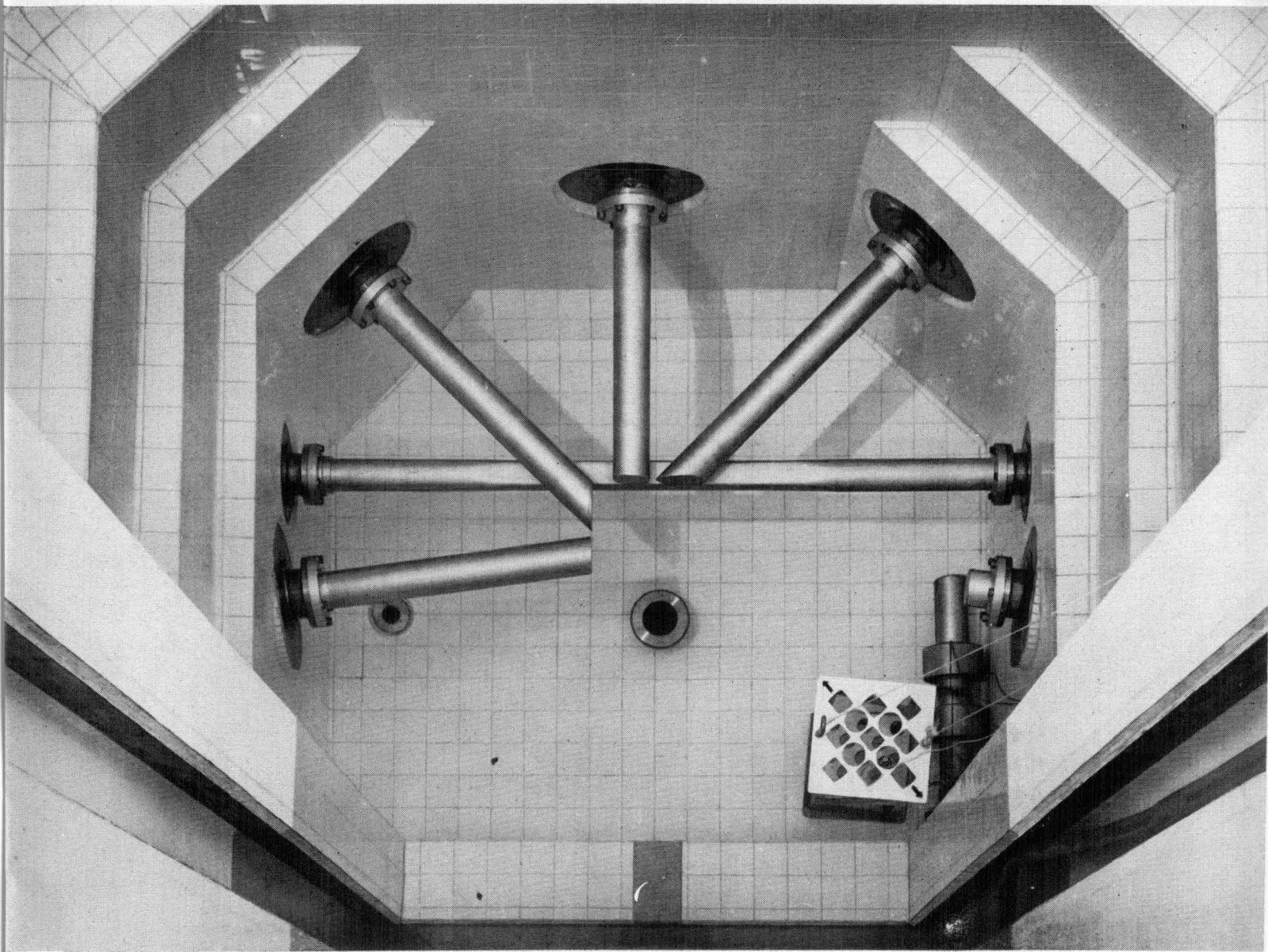
Les expérimentateurs disposent devant chaque canal de prises de courant alternatif, de prises d'eau épurée d'eau de ville et d'air comprimé.

BOUCLES DE FLUIDES

Les parois du compartiment arrière de la piscine sont munies de fourreaux qui permettront le passage de tuyaux de circulation de fluides en vue d'expériences d'échanges de chaleur, ou de tenues sous rayonnement ou d'obtention de rayonnements γ de haute énergie (boucle de sulfate d'indium).

Fig. 7. — Les canaux expérimentaux.





IRRADIATIONS DANS LA PISCINE

Des containers ayant la forme des éléments combustibles et adaptables sur la plaque de base permettent l'irradiation d'échantillons en cartouches étanches qui sont refroidies par le circuit de réfrigération du cœur.

Un tube pneumatique pour irradiations rapides descend le long du bâti support du cœur jusqu'au voisinage de celui-ci. Ce tube peut être prolongé jusqu'à un laboratoire.

CELLULE CHAUDE

Une cellule chaude est accolée au compartiment arrière et communique avec lui par un sas. Cette cellule chaude peut également recevoir la nacelle d'un canal d'irradiation.

PONT DES INSTRUMENTS

Ce pont se déplaçant sur deux rails parallèles aux rails du pont du cœur permet de positionner des appareils de mesure en un point quelconque de la piscine.