

# LA PILE P<sub>2</sub> :

## Seconde étape vers l'autonomie atomique

La France qui a toujours tenu, dans la recherche nucléaire, un rôle de premier plan, a pris, du fait de la guerre, un retard qu'elle comble peu à peu. En effet, avec ses ateliers spécialisés, sa pile P<sub>2</sub>, son cyclotron de 25 millions d'électrons volts et son accélérateur « Van de Graaf » de 5 millions de volts, le centre de Saclay doit apporter les moyens de créer les piles de production prévues par un plan quinquennal doté, à cet effet, de 37 milliards:

**L**A pile P<sub>2</sub> à l'eau lourde qu'on vient de terminer à Saclay est pour la France une étape importante, car elle doit nous fournir le plutonium qui nous fait défaut et qu'il est impossible d'acheter à l'étranger, même au cours fantastique d'un milliard de francs le gramme. Dès que nous aurons suffisamment de plutonium pour faire marcher un « breeder », autrement dit une pile autorégénératrice capable de doubler son capital plutonium en un an, nous pourrions envisager l'avenir avec sérénité.

En effet, de tous les domaines dans lesquels la dernière guerre nous a valu des retards, aviation, sidérurgie, etc., c'est dans le secteur atomique que l'on rattrape le plus malaisément le temps perdu. En ce qui concerne la fabrication des piles atomiques, le problème est fort délicat. Certaines étapes sont obligatoires et l'on ne peut prétendre d'un seul coup atteindre un certain « standing ». En Amérique il a fallu commencer par la pile d'essai de Fermi (à Chicago) pour pouvoir construire la pile de Clinton (à Oak Ridge) et arriver aux piles de production de Hanford.

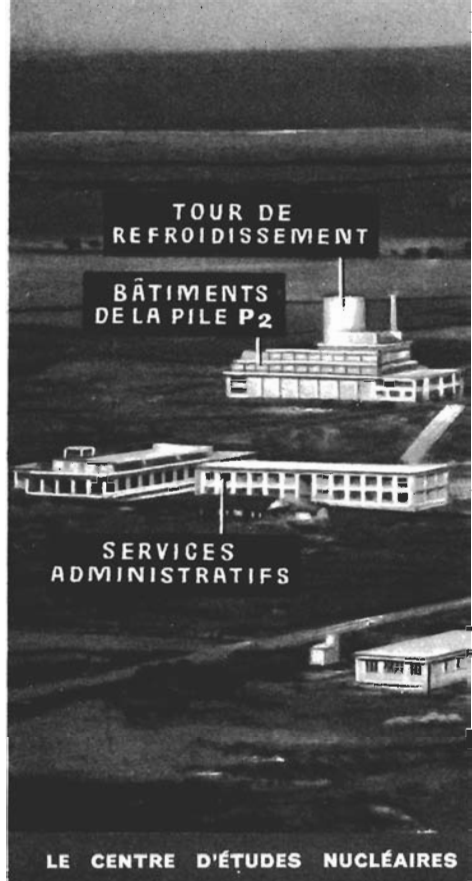
Nous retrouvons l'équivalent chez nous avec

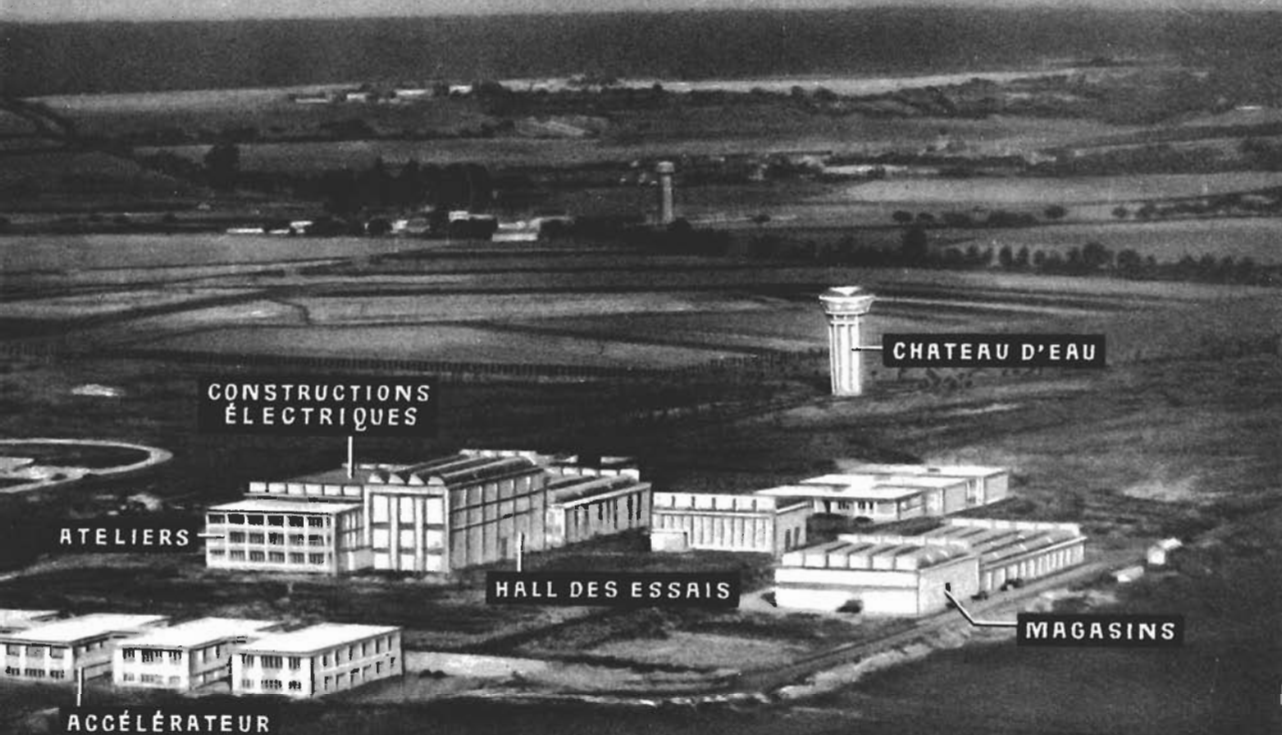
Zoé, et l'actuelle pile P<sub>2</sub> de Saclay, qui constituent des étapes nécessaires avant qu'on puisse envisager la construction des piles G1 et G2 prévues par le deuxième plan quinquennal à la Dent de Marcoule, à 13 km au sud de Pont-Saint-Esprit-sur-Rhône. Ces piles de production, qui atteindront une puissance de 50 000 et 100 000 kW, seront terminées dans quatre ans.

En attendant, Saclay, après avoir développé une puissance de 500 kW pendant trois heures, le 18 février 1953, atteignait 850, puis 1 020 kW, par amélioration du refroidissement. On compte dépasser 1 500 et arriver à 3 000 kW. A titre de comparaison, la puissance maximum que l'on ait atteinte avec une pile à eau lourde se situe aux environs de 30 000 kW (pile NRX Canada).

### P<sub>2</sub> produira 500 g de plutonium par an

La pile de Saclay a trois usages principaux. Zoé n'avait qu'une puissance de 10 kW en régime constant, aussi étions-nous obligés d'acheter au centre nucléaire anglais d'Harwell les radioisotopes, carbone 14 et cobalt 60 qu'elle ne pouvait nous fournir. Avec P<sub>2</sub> on dispose de 58 ca-





DE SACLAY OU SE TROUVE LA PILE P2, ACTUELLEMENT 100 FOIS PLUS PUISSANTE DÉJÀ QUE ZOÉ

naux d'irradiation horizontaux, de 37 canaux verticaux, et d'une porte blindée spéciale permettant d'introduire en une seule fois une grande quantité de matière à irradier.

D'autre part, l'azote qui sert au refroidissement en circuit fermé se transformant en carbone 14, P2 devient ainsi la plus grande productrice dans le monde de carbone 14.

En plutonium, sa production doit pouvoir dépasser 500 g par an, en tenant compte des augmentations de puissance futures et en se basant sur une production de 1 mg de plutonium par kilowatt et par jour. (Il faut de 10 à 12 kg de plutonium pour faire une bombe atomique; nous avons encore de la marge.)

En dehors de ces productions, P2 va permettre d'étudier le comportement des matériaux à température élevée, sous un flux intense de neutrons, ce qui facilitera la construction des futures piles G1 et G2.

Il n'est pas question d'envisager de produire de l'énergie; la pile peut tout au plus chauffer les différents bâtiments. Des essais de turbine auront cependant lieu lorsqu'elle fonctionnera à pleine puissance.

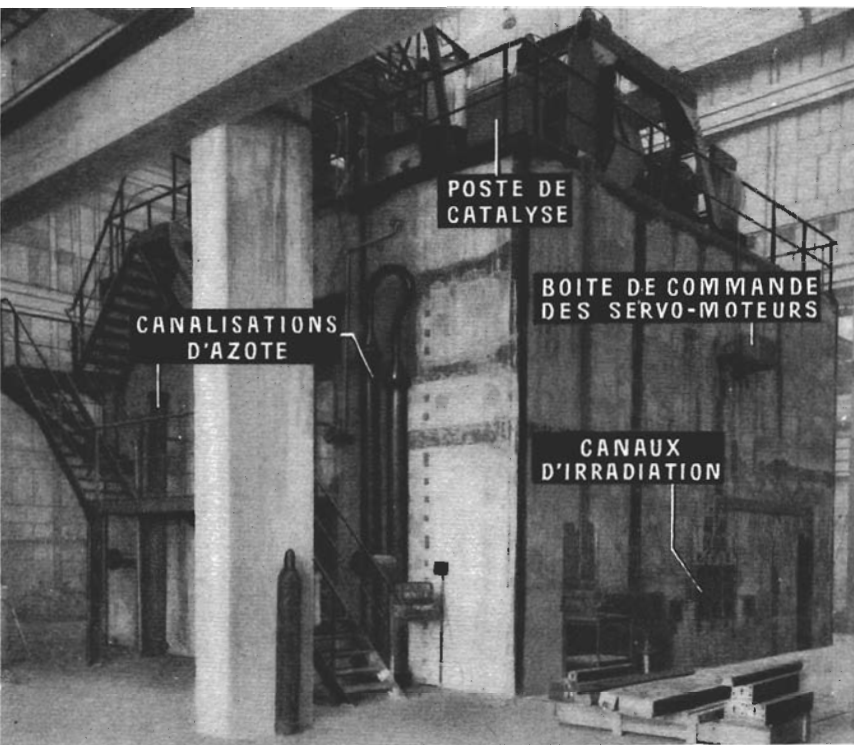
### 3 tonnes d'uranium, 6 à 7 tonnes d'eau lourde

Au lieu d'être constitué par des pastilles d'oxyde d'uranium comme dans Zoé, le corps fissionnable est ici de l'uranium métallique en barre qui provient de l'usine du Bouchet. Au total 3 t d'uranium, en 136 barres. Ces barres, de 28 mm de diamètre sur 2,15 m de long, prennent place dans des gaines en aluminium.

Le modérateur anti-absorbant, qui doit ralentir les neutrons sans les absorber, se compose de 6 à 7 t d'eau lourde que contient une cuve de 2,01 m de diamètre sur 2,50 m de haut. Remarquons, à ce sujet, qu'une pile qui emploie du graphite comme modérateur peut comporter 1 000 t de graphite pour 100 t d'uranium.

Le cours de l'eau lourde oscillant entre 200 et 300 000 fr le litre, il convient de récupérer la fraction de ce liquide qui est décomposée en deutérium et oxygène par les rayons gamma. Dans ce but on recombine ces deux corps en se servant de palladium comme catalyseur. Le poste de catalyse est placé au-dessus de la pile.

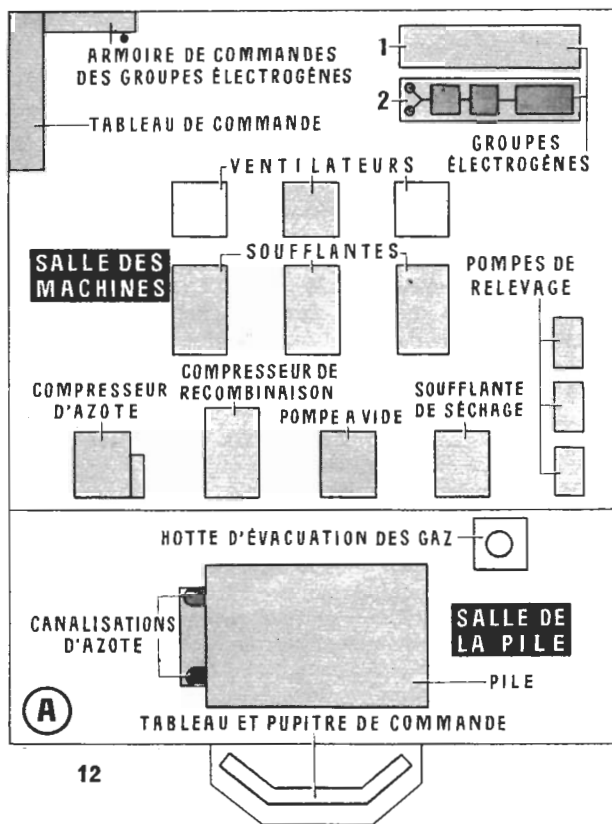
Lorsque l'uranium est porté à 250° C — ce qui



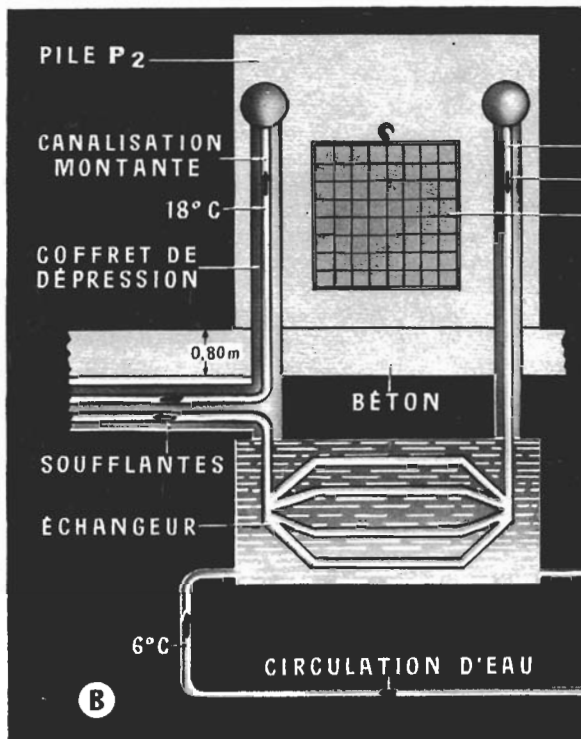
## LA PILE A EAU LOURDE DE SACLAY

Le pilier au premier plan cache la porte de 3 t permettant d'introduire en une seule fois d'importantes quantités de matières à irradier. Au-dessus de la pile se trouve le poste de catalyse qui a pour but de récupérer une partie de l'eau lourde décomposée par les rayons gamma. Le refroidissement de la pile est assuré par de l'azote sous pression, lui-même refroidi par de l'eau ordinaire qui retrouve sa température initiale après pulvérisation du haut d'une tour. Les barres d'uranium placées dans des gaines d'aluminium sont plongées dans l'eau lourde qui joue le rôle de modérateur. Les schémas **A**, **B** et **C** aident à comprendre l'ensemble.

### PLAN DU BATIMENT DE LA PILE



### SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT



sera le cas lorsque l'on arrivera aux grandes puissances envisagées — chaque barre doit être refroidie individuellement de façon énergique pour que la température de l'eau lourde ne dépasse pas 100° C. Or, les parois de la cuve, qui doivent rester minces, empêchent d'utiliser de l'eau lourde sous pression. Cette question primordiale du refroidissement est l'une des difficultés résultant de l'emploi de ce modérateur.

**Un réflecteur de 100 tonnes**

Le réflecteur, dont le but est de réduire les pertes de neutrons par la surface, est en graphite (100 t) pur à un millionième, en ce qui concerne le bore. Même au dix millième, des traces de ce corps constitueraient pour la pile un véritable poison. On pourrait utiliser de l'oxyde de béryllium fritté, qui permet dans les piles américaines de restreindre la masse critique de la pile, mais il n'est pas encore possible d'obtenir du béryllium suffisamment pur.

L'intérieur du protecteur en béton est tapissé de blocs de fonte qui, grâce à leur conductibilité et leur faible épaisseur (0,20 m), supportent mieux les effets de la chaleur dégagée. L'épaisseur totale des parois de protection est de 2,25 m.

**Le refroidissement se fait en circuit fermé**

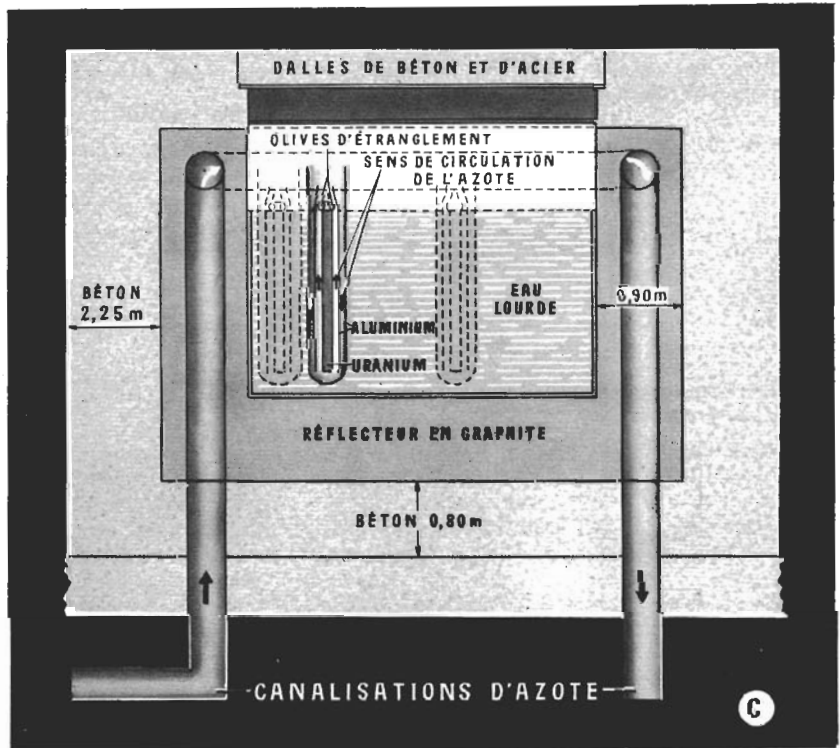
Le refroidissement de chaque barre est obtenu avec de l'azote comprimé à 10 kg/cm<sup>2</sup> qui circule en circuit fermé entre deux manchons en aluminium à une vitesse de 60 m/s.

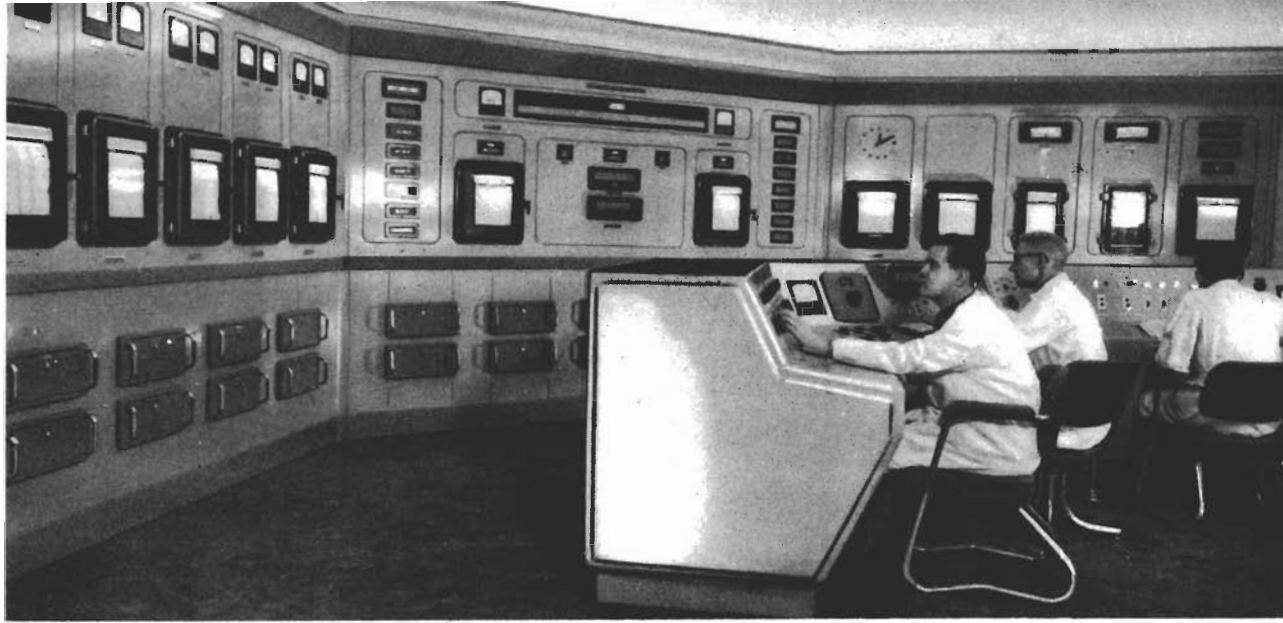
Chaque barre porte à sa partie supérieure des olives d'étranglement par lesquelles on règle le débit de l'azote. Les barres travaillant le plus, celles du centre, bénéficient du plus grand débit.

Le circuit de l'azote se termine en sous-sol sous 0,80 m de béton. La totalité de ce circuit est entourée d'un coffret de dépression chargé d'absorber les fuites éventuelles d'azote qui, ayant été en contact avec les gaines en aluminium entourant l'uranium, est devenu radioactif. Une rupture, d'ailleurs peu probable, des manchons entraînerait la fermeture du circuit d'azote par une soupape de sûreté.

Au régime de 500 kW, l'azote rentrait à 18° C pour sortir à 50° C et passer dans un échangeur de température à refroidissement à eau. De son côté, l'eau rentrant à 6° C ressortait à 20° C. Mais il n'y a pas d'eau à Saclay, aussi cette circulation se fait, comme pour l'azote, en circuit fermé. L'eau chaude aboutit au sommet d'une tour et se refroidit en retombant en pluie.

**COUPE SCHÉMATISÉE DE P<sub>2</sub>**





● Le pupitre de commande est prévu pour trois opérateurs, mais un seul peut suffire. On aperçoit de droite à gauche le tableau des appareils de mesures thermodyna-

miques, celui des mesures de puissance et celui dénommé « santé et température » qui renseigne, entre autres, sur l'intensité des radiations dans le bâtiment de la pile.

Trois soufflantes de 400 ch tournant à 9 600 t/mn assurent la circulation de l'azote. Une boîte étanche, contenant le réducteur et le circuit de pression d'huile, empêche toute fuite dangereuse.

Si une coupure de courant se produit, un volant de 1,5 t entraîne les soufflantes pendant cinq minutes encore ; ce temps suffit pour mettre en route l'un des groupes diesels de secours constitués par des moteurs d'autorails Renault de 200 ch. Ces groupes entraînent deux alternateurs de 100 kW, respectivement de 50 à 25 périodes. Cette marche à mi-régime suffit car on arrête alors la production de neutrons.

Trois autres ventilateurs assurent une circulation d'air entre la cuve et le réflecteur comme entre le réflecteur et la paroi de béton. Le but est de refroidir les blocs de graphite : Au-dessus de 50° C les blocs se dilateraient et leur empilement serait compromis.

### Une précaution à prendre, un danger à éviter

Le flux de neutrons est de  $10^{12}$  neutrons au centimètre carré. (Dans la pile canadienne NRX, on est arrivé à  $5 \times 10^{13}$ . Elle a explosé, il y a trois mois, par suite de la fusion d'une barre d'uranium et de la volatilisation de l'eau lourde ; c'est le premier accident de ce genre que l'on ait à déplorer). Leur densité plus forte, au centre, décroît lorsqu'on s'écarte de l'axe pour augmenter sur la face du réflecteur.

Pour éviter que le gainage des barres d'uranium n'absorbe les neutrons, on a choisi des métaux légers : aluminium ou magnésium. Mais il faut

alors que le gainage soit particulièrement soigné, car l'uranium se désagrège sous l'influence de l'hydrogène lourd aussi bien que de l'oxygène.

Le facteur de multiplication constitue, lui, un grave danger. S'il devenait trop grand on ne pourrait plus arrêter la pile. Des plaques de cadmium placées à la périphérie de la cuve permettent de parer à cette éventualité.

### 20 000 soudures, toutes capitales

Le pupitre de commande et les divers appareils de contrôle sont assez éloignés de la pile. Disposé à l'intérieur d'une baie vitrée, l'ensemble se signale par son automatisme très poussé. 20 000 soudures furent nécessaires, et la minutie d'un tel travail vous laisse rêveur lorsqu'on sait que la rupture d'une seule soudure provoque obligatoirement l'arrêt de la pile.

Trois opérateurs sont prévus pour manœuvrer le pupitre, mais un seul peut y pourvoir. Sur le tableau on trouve les appareils de puissance, les appareils de mesures thermodynamiques et un dernier panneau intitulé « santé et température ». Ce panneau donne les intensités des radiations en divers points du bâtiment ; il renseigne, en outre, sur les neutrons lents et rapides, les rayons gamma, la radioactivité des gaz dans la cheminée, les diverses fuites de l'azote à travers les canalisations, et la température de la pile.

Une machine à calculer fournit le produit, différence de température de l'azote  $\times$  pression  $\times$  débit, qui représente le nombre de calories emmagasinées par le circuit de refroidissement.

Une autre originalité réside dans la mesure de la radioactivité, qui, avec l'aide de la machine à calculer, permet de prévoir l'état de la pile une demi-heure à l'avance.

### Même en cas de défaillance du personnel la sécurité est assurée

Pour mettre la pile en marche, on monte les barres de sécurité au moyen de moteurs électriques comme dans Zoé; leur réglage se fait du pupitre à 0,5 mm près.

Une pompe monte l'eau lourde, mais elle s'arrête au bout de trente secondes si l'on n'appuie pas de nouveau sur son bouton de contact. Sans cet arrêt, une trop grande quantité d'eau lourde pourrait amorcer une réaction divergente catastrophique. Le réglage est combiné de telle façon que si l'employé s'évanouissait avec la main sur le bouton, l'eau lourde ne monterait quand même pas pendant plus de trente secondes.

Trois facteurs entraînent l'arrêt automatique : la panne de secteur qui provoque la chute immédiate des barres de sécurité retenues par un électroaimant, une puissance excessive de la pile, enfin, une température anormalement forte.

Peu après l'arrêt du fonctionnement, la puissance résiduelle de la pile peut, malgré tout, atteindre 1 % de sa puissance en marche. Il nous a été donné de constater que trois jours après un fonctionnement de trois heures sa puissance restait encore de l'ordre du kilowatt.

Pour extraire le plutonium produit, une hotte de protection de 6 t est descendue dans un puits de décantation à 6 m au-dessous du sol, ce qui garantit les opérateurs contre le rayonnement extrêmement intense du métal radioactif.

### Le cyclotron du centre de Saclay

Le centre de Saclay n'abrite pas que la pile P2. On y trouve un pavillon d'électronique qui construit toutes sortes d'appareils de physique nucléaire, un accélérateur Van de Graaf parmi les plus modernes, enfin, un cyclotron dont la construction sera achevée dans six mois.

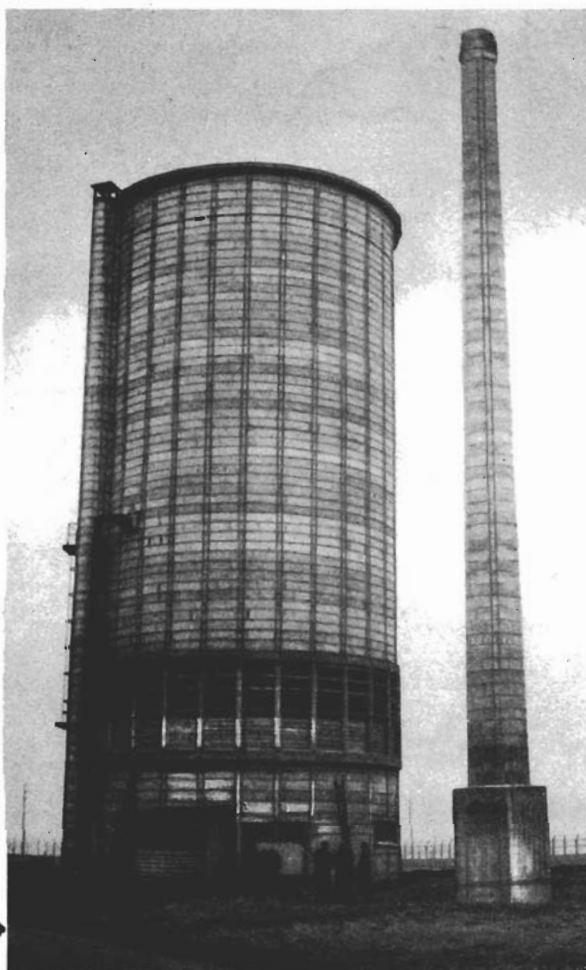
En utilisant des deutons comme projectiles, ce cyclotron donnera 25 millions d'électrons-volts; avec des hélions ou corpuscules  $\alpha$ , il atteindra 50 MeV. Construit en sous-sol, à une certaine profondeur, cet appareil de prix sera à l'abri des bombardements aériens. Il semble surprenant que l'on n'ait pas pris la même précaution pour la pile.

Le cyclotron de Saclay pèse 270 t pour une énergie de 25 millions d'électrons-volts. Un

électroaimant de 90 kW sous 100 à 150 A donnera un champ de 15 000 à 19 000 œersteds qui agira dans un entrefer de 30 cm sur un diamètre de 1,60 m. La puissance de l'oscillateur sera de 200 kW, la tension accélératrice de 200 000 V et le vide de un cent millième de millimètre de mercure. On espère obtenir un faisceau d'ions d'une intensité de 100  $\mu$ A.

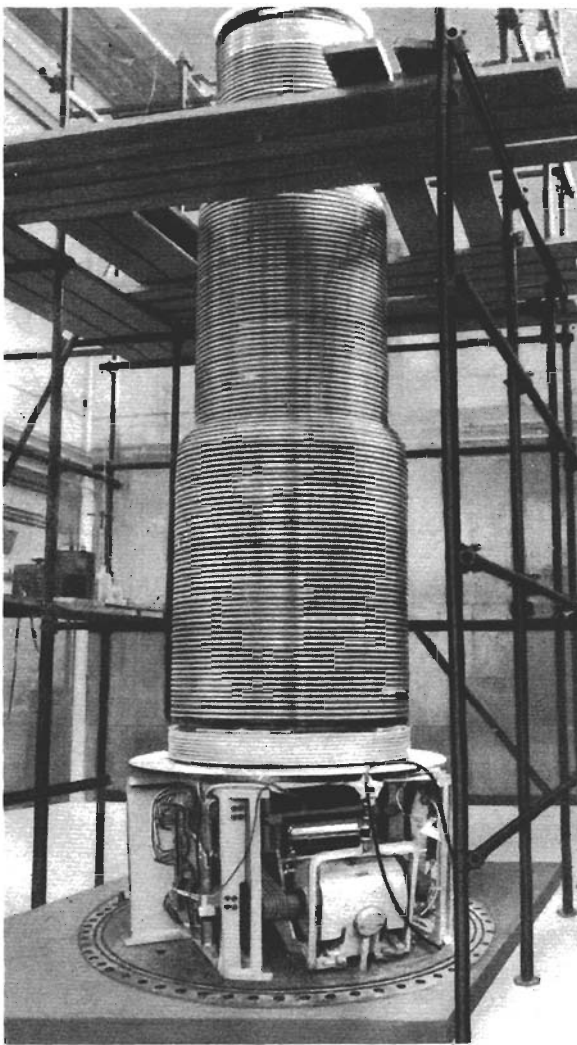
Comparativement, le cyclotron du Collège de France pèse 27 t pour un champ du même ordre, mais dans un entrefer de 11 cm sur 0,80 cm de diamètre, l'énergie des particules en deutons étant de 6,8 MeV. On voit que le tonnage est multiplié par un nombre nettement plus élevé que l'énergie des particules.

La salle de commande est située au rez-de-chaussée, deux étages au-dessus du cyclotron, près duquel il est interdit de séjourner, la radioactivité dans le voisinage étant considérable. Tous les réglages se font à distance; celui de



La tour de réfrigération du haut de laquelle l'eau de refroidissement tombe en fines gouttelettes et retrouve sa température initiale. A droite, la cheminée d'évacuation des gaz.





## ← L'ACCÉLÉRATEUR VAN DE GRAAF

Les possibilités de cet appareil le classent comme un des meilleurs du monde de cette catégorie. Les charges électriques, créées et transportées par deux courroies, s'accumulent à la partie supérieure où une électrode est portée à 5 millions de volts. Les ions ainsi électrisés sont précipités à vitesse accélérée vers le bas de la colonne, en traversant des électrodes à potentiel décroissant supportées par des plateaux métalliques; la cible sur laquelle ils arrivent, à la partie inférieure, contient la substance à irradier.

volts. Cette électrode et les électrodes intermédiaires sont supportées par un empilement de 150 plateaux métalliques séparés par des colonnes isolantes. Un potentiomètre disposé tout le long répartit les tensions.

L'ensemble prend place dans une tour métallique qui supporte la pression d'un mélange d'azote avec 10 % de fréon servant de diélectrique.

La pression du mélange est de 11 kg/cm<sup>2</sup>, c'est-à-dire 10 kg/cm<sup>2</sup> de plus que la pression atmosphérique. L'avantage réside dans le fait que la puissance d'une machine électrostatique est multipliée par 20 lorsque la pression passe de 1 à 10 atmosphères. D'autre part le fréon possède, à pression égale, une rigidité diélectrique triple de celle de l'air.

Le tube accélérateur situé dans la partie axiale de la colonne comprend cinquante éléments de porcelaine entre lesquels passent des électrodes; un système de joints de caoutchouc étanches permet d'y faire le vide. Au sommet du tube, la source d'ions reçoit son énergie d'un alternateur de 1 kW placé dans une des poulies supérieures du générateur.

### 5 millions de volts à 100 volts près

Suivant que l'on ionise de l'hydrogène ordinaire ou lourd, on obtient des protons ou des deutons qui sont accélérés en traversant les électrodes à potentiels décroissants.

La cible située à la partie supérieure contient la substance à irradier.

On espère pouvoir atteindre une stabilisation du millième et même du dix millième, c'est-à-dire que l'on espère régulariser une tension de 5 millions de volts à 100 V près.

Cette stabilisation sera la meilleure que l'on ait obtenue jusqu'ici, elle permettra d'obtenir des particules accélérées pratiquement monoénergétiques. Enfin c'est le premier appareil qui ait fonctionné au premier essai à 4 500 000 V.

Comme on le voit, bien que modeste à côté de certains centres nucléaires américains ou anglais, le centre de Saclay possède un équipement ultra-moderne qui nous promet une accession rapide aux étapes nucléaires suivantes.

Pierre O. Robert

l'entrefer pourra même s'effectuer en cours de marche. Quatre tubes pneumatiques, amèneront les radioéléments dans des laboratoires, cinq secondes après la fin de l'irradiation.

### Un accélérateur rectiligne unique au monde

Le Van de Graaf est un accélérateur rectiligne qui comporte un générateur à haute tension placé dans une atmosphère comprimée à 11 kg/cm<sup>2</sup> et un tube accélérateur dans lequel on a fait le vide. Ce tube comprend un générateur d'ions à sa partie supérieure et une cible à sa partie inférieure.

Le générateur à haute tension possède deux courroies qui transportent des charges, chaque courroie est entraînée par un moteur, l'ensemble transportant jusqu'à 600  $\mu$ A. A la partie supérieure, une électrode est portée à 5 millions de