

REFERENCE 90

J. BRUNA, J. P. BRUNET, R. CAIZERGUES, C. CLOUET d'ORVAL, J. KREMSER, J. LeCLERC, AND P. VERRIERE, "CRITICALITY EXPERIMENT ON A PLUTONIUM SOLUTION," (IN FRENCH) COMISSARIAT a "ENERGIE ATOMIQUE REPORT CEA-2274, CENTRE d'ETUDES NUCLEAIRES, SACLAY (1963).

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**ALECTO , EXPERIENCE DE CRITICALITE
SUR UNE SOLUTION DE PLUTONIUM**

par

J. BRUNA , J. P. BRUNET , R. CAIZERGUES

C. CLOUET D'ORVAL , J. KREMSER

J. LECLERC , P. VERRIERE

RAPPORT C.E.A. n°2274

CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY



- Rapport C.E.A. n° 2274 -

Service des Expériences Critiques

A L E C T O

EXPERIENCE DE CRITICALITE SUR UNE SOLUTION DE PLUTONIUM

Résultats Expérimentaux

Cuve n° 1 (ϕ = 324 mm)

par

J. BRUNA, J.P. BRUNET, R. CAIZERGUES

C. CLOUET D'ORVAL, J. KREMSER, J. LECLERC, P. VERRIERE

(Rapport SEC/S n° 111)

- 2° - Effet du réflecteur axial bas
- 3° - Conclusions

QUATRIEME PARTIE - MESURE DE α , CONSTANTE DE DECROISSANCE DES
NEUTRONS PROMPTS.

- I - PRINCIPE DE LA MESURE
- II - DEFINITION DE α
- III - THEORIE UTILISEE POUR LE CALCUL DE α
- 1° - Equations utilisées
- 2° - Calcul de β_{eff}
- Résultats obtenus - Conclusion
- IV - MODE OPERATOIRE UTILISE DANS LA MESURE
- V - APPAREILLAGE
- 1° - Les sources "pulsées"
- 2° - La détection
- 3° - Le sélecteur T M C
- VI - DEPOUILLEMENT ET RESULTATS
- 1° - Méthode graphique
- 2° - Calcul machine
- 3° - Résultats

CINQUIEME PARTIE - CONTROLE DE LA CONCENTRATION DU STOCKAGE
ANNULAIRE PAR COMPTAGE DE NEUTRONS

- CONCLUSIONS UTILISABLES POUR LA SECURITE
- BIBLIOGRAPHIE

ALECTO

EXPERIENCE DE CRITICALITE SUR UNE SOLUTION DE PLUTONIUM

RESULTATS EXPERIMENTAUX

(Cuve n° 1 ($\varnothing = 324$ mm))

INTRODUCTION

L'assemblage critique ALECTO est destiné à permettre l'étude des conditions critiques de récipients, contenant une solution de Plutonium, réfléchis par un réflecteur infini d'eau.

Cette expérience a pour objectifs :

1° - L'étude systématique des conditions critiques d'un certain nombre de récipients destinés à recevoir des solutions de Plutonium. Ces récipients, cylindriques, ont des diamètres variables (20 à 50 cm) et des hauteurs pouvant aller jusqu'à 100 cm. Ils peuvent être réfléchis latéralement sur toute la hauteur et sur la partie inférieure.

2° - L'étude complète des conditions critiques et des propriétés neutroniques essentielles de quelques récipients de géométrie simple, dits académiques, voisins des cylindres du paragraphe précédent, sur lesquels un mode de calcul direct est possible et dont les résultats permettent une vérification de la théorie et des constantes utilisées pour ce genre de milieux.

La première cuve essayée appartient à la première catégorie. Dans la seconde catégorie, nous choisirons des cylindres réfléchis latéralement.

Le dispositif critique comporte essentiellement la cuve à essayer, dans laquelle on introduit, à partir d'un stockage, une solution de Plutonium sous forme de nitrate, en milieu nitrique 2N. Cette cuve plonge dans un réservoir d'eau formant réflecteur.

Cette expérience a été construite dans un double but : à la fois répondre aux exigences de la sûreté du point de vue nucléaire et présenter un maximum de possibilités expérimentales. Ces impératifs ont conduit à donner à l'appareillage un certain nombre de caractéristiques principales qui ont guidé le projet :

a) - Des cuves de dimensions variables peuvent être placées dans un réservoir contenant de l'eau, équivalent à un réflecteur infini.

b) - La cuve en essai est surmontée d'une boîte à gants contenant deux barres de

sécurité, pouvant plonger rapidement dans la solution de Plutonium.

c) - La vidange très rapide du réflecteur d'eau et la vidange rapide du coeur accroissent la sécurité.

d) - Une cuve particulière (cuve n° 1, ϕ int : 324 mm) a été choisie pour le démarrage de l'expérience. Ce choix a été guidé par des conditions de sécurité car le diamètre de cette cuve correspond à une masse critique minimum.

e) - Le processus expérimental choisi et particulièrement les manipulations de solution, ont été étudiés en fonction de leur degré de sécurité. Ainsi par exemple, on a commencé, dans l'étude des masses critiques de la cuve en essai, par les concentrations les plus faibles, correspondant à des hauteurs fortes, donc à des effets de réactivité liés aux variations de niveaux faibles.

f) - Toutes dispositions ont été prises pour limiter les effets d'une excursion critique. Le volume d'expansion laissé au-dessus de la solution assure le libre dégagement des gaz de radiolyse. Par ailleurs trois enceintes étanches assurent, à l'intérieur du hall, la localisation d'une contamination éventuelle.

On a particulièrement étudié, à propos de la cuve dont il est question ici :

1° - Les masses critiques en fonction de la hauteur

2° - Le temps de vie des neutrons prompts

La proportion effective des neutrons retardés par la méthode des neutrons pulsés.

Ces dernières mesures permettent d'avoir une meilleure connaissance de la réaction en chaîne, car la détermination de la masse critique ne suffit pas pour avoir des informations complètes sur le milieu. Les mesures "cinétiques" apportent un précieux supplément d'information, utile dans le domaine de la criticalité.

On a essayé par ailleurs d'établir une corrélation d'une part, entre les calculs théoriques et ces expériences, d'autre part, entre les résultats publiés dans d'autres laboratoires et les nôtres.

Enfin, on a essayé de tester la sécurité de notre stockage annulaire par comptage des neutrons émis par le Plutonium dans l'eau. Ce procédé permet, en outre, de mesurer sur un récipient où la multiplication est faible, la quantité de Plutonium avec une bonne précision.

Il est important de préciser que notre plage expérimentale s'est étendue, pour cette première cuve, de 23,45 à 45,54 g/l correspondant respectivement à $H/Pu = 1069,6$ et $541,1$.

Le Plutonium était sous forme de solution de nitrate dissous dans l'eau légère, d'acidité 2N.

PREMIERE PARTIE
DESCRIPTION DE L'INSTALLATION [1]

I - IMPLANTATION.

Cette expérience occupe la partie Est du hall "PROSERPINE", qui abrite également la pile de ce nom. Le hall est particulièrement conçu pour permettre la manipulation des solutions de Plutonium. Il est d'une bonne étanchéité, sans fenêtre ; une ventilation filtrée assure cinq renouvellements par heure de l'air qui est contrôlé lui-même en permanence quant à son activité alpha.

Les solutions de Plutonium sont préparées dans un laboratoire de chimie contigu à ce hall ; les analyses sont effectuées dans un laboratoire situé en dehors de l'enceinte des piles.

Un mur de protection épais entoure ce hall et un toit de paraffine assure, pour cette expérience, une bonne protection contre le rayonnement diffusé [2] .

La salle de commande, d'où sont effectués les opérations de contrôle, les mesures neutroniques et les prélèvements de santé, est située contre l'un de ces murs.

Le plan de la figure n° 1 permet de situer l'implantation de cette pile dans le hall.

L'ensemble expérimental est démontable et peut être transporté par camion dans les cabines qui le contiennent.

II - DESCRIPTION DE L'ASSEMBLAGE CRITIQUE ET DU CIRCUIT DES FLUIDES.

L'assemblage critique a été construit en donnant une importance particulière, comme nous l'avons dit, aux problèmes de sécurité nucléaire, de contamination par le Plutonium et de résistance à la corrosion.

a) - L'ensemble de l'installation, excepté évidemment le réacteur, a été réalisé en géométrie sûre. La vitesse de transvasement de la solution de Plutonium dans le réacteur se trouve limitée, par la pompe elle-même, à des taux raisonnables, et les changements de réactivité sont toujours lents.

b) - L'ensemble des circuits de Plutonium est entouré d'une enceinte étanche formée de boîte à gants, sacs de raccordement, etc... Cette première enceinte se trouve elle-même située en cabines fermées, permettant de localiser une éventuelle contamination. Ces cabines, munies de filtres, sont posées dans le hall.

c) - Une grande attention a été portée aux problèmes des fuites. D'une part tous les circuits de Plutonium peuvent fuir dans des "lèches-frites" sûrs ; d'autre part les principales soudures ont été examinées par radiographie, et l'étanchéité de tous les circuits a été testée à l'aide d'un détecteur à Hélium. Les points importants comportent un détecteur de fuite.

Les circuits de Plutonium peuvent être divisés en deux parties, situées chacune dans une cabine. Entre ces deux cabines, les solutions sont transvasées par un système dont nous verrons ensuite le principe. Un circuit d'eau complète l'installation.

1° - Cabines :

Elles sont métalliques et constituées de panneaux de tôle (épaisseur 2 mm) soudés sur une charpente d'acier. Elles sont étanches et décontaminables. La fermeture des portes, panneaux ouvrants et hublots, est rendue hermétique par la pression de joints de polyuréthane. Un revêtement plastique intérieur lavable colmate joints et fissures.

Elles sont ventilées par circulation forcée d'air, retournant dans la ventilation du hall à travers des filtres.

La cabine de stockage est reliée à la cabine pile par un seul conduit, utilisé pour le passage du Plutonium.

Ces cabines doivent être considérées comme la limite d'une contamination éventuelle ; elles ne sont pas destinées à supporter une pression.

a) - La cabine pile (2,80 x 2,80 x 4,30 m) (fig. 3)

Elle comprend essentiellement :

- le dispositif critique
- les organes de sécurité

A la partie supérieure de la cabine se trouve une ouverture permettant de sortir le coeur (cuve de Plutonium et boîte à gants contenant les organes de sécurité), en vue du changement de cuve.

Le réflecteur est un pseudocylindre en acier, de diamètre 110 cm et de hauteur 132,5 cm. Muni latéralement de plusieurs hublots, permettant d'introduire des doigts de gants jusqu'à la partie centrale, il comporte également un palpeur donnant le niveau d'eau. Son diamètre est tel que, pour la plus grande cuve à essayer, le réflecteur latéral d'eau est suffisant (730 cm) pour être considéré comme infini. Le stockage d'eau est effectué dans un ballon extérieur. Il est relié au réflecteur par un tube de diamètre 125 mm, comportant une vanne de sécurité double, assurant une vidange rapide de l'eau du réflecteur (16 mm/s).

La partie démontable comporte la cuve intérieure et la boîte à gants renfermant les barres de sécurité. Cuve intérieure et boîte à gants sont fixées l'une à l'autre et il est possible de les séparer, à travers des sacs de vinyle, pour le changement de cuve. La partie supérieure de la cuve "réflecteur" se referme sur une collerette, où vient s'appuyer la partie démontable.

La cuve à essayer vient se fixer à la partie inférieure de la boîte à gants citée plus haut, sur un couvercle laissant le passage à deux barres de sécurité, une barre de réglage, deux pointes de mesure de niveau et un réservoir d'expansion.

La boîte à gants, contenant le dispositif de sécurité, peut s'adapter sur toutes les cuves (fig. 4).

Les barres de sécurité, verticales, sont constituées de sandwiches Cadmium - Acier inoxydable dont l'embout, pénétrant dans la solution, a une forme particulièrement étudiée pour provoquer peu de remous et de projections de gouttes sur les parois internes de la cuve. Chacune d'elles est mue verticalement au moyen d'un câble enroulé sur un tambour et renvoyé sur une poulie située en haut de la boîte à gants. Le tambour est relié au moteur par un crabot commandé par un électro-aimant. Le signal de chute coupe l'alimentation de l'électro-aimant qui laisse

échapper le crabot. Les barres chutent alors par gravité. Un dash-pot assure leur freinage en fin de course.

Une barre de réglage, dont l'efficacité est variable, peut être descendue dans la solution pour certaines expériences.

Deux pointes palpeuses assurent la mesure des niveaux de Plutonium : l'une mobile est composée d'une aiguille solidaire d'une masselotte fixée elle-même au bout d'un câble. Le câble s'enroule sur un tambour qui donne une lecture du niveau. L'autre pointe est fixe et permet le recalage de la pointe cuve et de la pointe réflecteur selon le schéma de la figure 4.

L'air situé au-dessus de la solution se trouve en légère dépression par rapport à celui de la boîte à gants supérieure, pour éviter des remontées de vapeurs acides dans les mécanismes de sécurité. Il est extrait à travers un récipient, qui peut servir éventuellement de réservoir d'expansion à la solution.

b) - Les stockages :

Ils sont situés dans une seconde cabine (2,45 x 5 x 2,10 m) munie d'une ventilation filtrée, raccordée à celle du hall.

Le stockage, sûr géométriquement, comprend deux parties :

- Un stockage "à long terme" dit stockage primaire où peuvent être entreposées des solutions de toutes concentrations soit nouvelles soit déjà utilisées.

- Un stockage secondaire dit "d'expérience" où se trouve réunie la quantité juste suffisante pour une expérience. De ce stockage, le Plutonium est envoyé dans le réacteur.

On peut alimenter ce dernier stockage en Plutonium soit directement soit en passant par l'intermédiaire du stockage primaire.

a) - Le stockage primaire : (fig. 5)

Il est constitué de deux rangées de bouteilles de polythène identiques, réparties entre deux boîtes à gants.

Chaque bouteille a les dimensions suivantes :

diamètre 10 cm. hauteur 100 cm. Leur volume utile est de huit litres environ.

La disposition des bouteilles dans leur boîte à gants est faite selon deux rangs parallèles, l'entre-axe des bouteilles étant de 50 cm.

Cette disposition est sûre par géométrie.

Une des bouteilles est suspendue au fléau d'une balance et l'on peut y mesurer les quantités de solution transvasées (poids et volume).

b) - Le stockage secondaire : (fig. 6)

Il est composé de deux réservoirs annulaires, chaque réservoir étant suffisant pour contenir toute la solution nécessaire pour une expérience. Chaque réservoir peut être considéré comme une lame mince d'épaisseur 4 cm, repliée sur elle-même. Cette épaisseur est sûre, même avec un réflecteur infini d'eau. Pour éviter l'interaction des faces internes du réservoir, des blocs Paraffine - Cadmium y sont plaqués, formant ainsi un anneau interne d'isolement d'épaisseur 10 cm. Un seul réservoir est utilisé, ce qui élimine les problèmes d'interaction entre les réservoirs.

Dans une cheminée, reliée à la base de chaque réservoir, à leur partie inférieure, on peut, à l'aide d'une pointe de lecture, connaître le niveau de solution dans le stockage secondaire.

Au pied de la cheminée aboutissent d'une part un tube servant à la chute rapide de la solution de Plutonium, d'autre part un tube fin de montée de cette même solution.

Il y a une cheminée par réservoir.

c) - Circuits des fluides : (fig. 7)

Plutonium :

Aux divers stockages décrits plus haut s'ajoutent des dispositifs de transvasement des solutions.

a) - Circuit des stockages :

Un tube fin ($\phi = 6$ mm) relie les stockages primaires et secondaires.

b) - Circuit allant vers l'assemblage critique :

Il se partage en deux parties. La première est constituée d'un tube de gros diamètre ($\phi = 16$ mm) reliant le bas de la cuve - réacteur, à travers les cabines, aux réservoirs annulaires, en passant par une vanne de sécurité double, à air comprimé, permettant la vidange rapide de la solution de Plutonium ($2,7$ mm/s^{*}).

L'autre section comporte un tube fin de montée ($\phi = 6$ mm) reliant le bas des réservoirs annulaires, au tube de gros diamètre au-delà des vannes de sécurité. Sur ce tube, on trouve une pompe de montée rapide ($1,2$ l/mn^{*}), une pompe de montée lente ($0,3$ l/mn^{*}), une vanne de montée.

Un certain nombre d'électrovannes et de vannes à main complètent le circuit.

"L'homogénéisation" des solutions peut se faire de trois manières :

- agitateur à marche périodiquement inversée dans les réservoirs annulaires
- mouvements entre réservoirs annulaires
- montées et chutes successives de la solution en se servant de la cuve - réacteur.

Eau :

Le circuit d'eau comporte un tube de gros diamètre muni d'une vanne double de sécurité et un tube fin de montée conduisant à une pompe avec dispositif de montée rapide et de montée lente (by-pass de la pompe).

d) - Détecteurs de fuites :

La détection des fuites est réalisée en douze points du circuit de Plutonium, jugés particulièrement importants.

Le principe de cette détection est le suivant :

L'ensemble du circuit est à la masse et on applique sur les parties métalliques à tester un papier buvard. De l'autre côté du buvard se trouve une partie métallique qui peut être soit un simple fil, soit une fine tôle, soit un grillage, soit un enroulement, etc... Si une goutte de

* Pour la cuve $\phi = 324$ mm.

solution traverse le circuit, elle imprègne le buvard et établit un contact (la solution 2N est conductrice), entre le circuit lui-même et la partie métallique extérieure. Le circuit électrique de fuite présente donc, en cas de fuite, une résistance moins grande et la détection est très facile.

Les douze détecteurs sont répartis aux points suivants, à raison de un ou plusieurs détecteurs chaque fois.

- Cuve - Un buvard est enroulé sur la cuve, et un fil d'acier inoxydable est enroulé sur le buvard; le tout est entouré de deux sacs de vinyle, pour permettre l'isolement par rapport au réflecteur.
- Fond de cuve - Même principe.
- Bouchon bas de cuve (raccord avec le tube de Pu venant du stockage).
- Conduite Pu
- Vannes de sécurité et pompe - C'est une plaque buvard - enroulement métallique serré, placée sous les vannes et sous la pompe.
- Réservoirs annulaires - Buvard et grillage garnissent complètement les faces internes, externes, et le fond des réservoirs.
- Tubes des pointes de mesure du stockage annulaire.
- Fonds des boîtes à gants de stockage.

DEUXIEME PARTIE

SECURITE DE FONCTIONNEMENT ET TECHNIQUE EXPERIMENTALE

INSTRUMENTATION ET CIRCUITS DE SECURITE.

Le dispositif de contrôle comprend un certain nombre d'appareils situés sur la pile (arrêts, compteurs, chambres, pointes de niveau) et un tableau de manoeuvre et de mesure situé dans la salle de commande.

L'instrumentation utilisée consiste en détecteurs divers, particulièrement chambres à dépôt de bore et compteurs BF₃, munis d'amplificateurs, reliés à des enregistreurs ou aux appareils de sécurité : périodemètre, sécurité minimum - maximum.

Nous allons passer successivement en revue les appareils de mesure eux-mêmes, puis la chaîne de sécurité.

- Les chaînes de mesure :

Elles comportent des appareils utilisés en partie pour les approches sous-critiques, en partie pour la sécurité de fonctionnement.

Chaînes BF₃ (6), avec enregistrement automatique des comptages.

Deux chambres d'ionisation à dépôt de bore, types CCP1N5 et CCP1N10, munies d'amplificateurs linéaires ACC3 à seuil électronique et d'un enregistreur.

Une chambre d'ionisation à dépôt de bore, type CCP1N5, munie d'un amplificateur logarithmique ACC3L à seuil électronique et d'un enregistreur.

→ Une chambre d'ionisation à dépôt de bore, type CCP1N5, suivie d'un périodemètre, type P60, à seuil électronique sur la puissance et la période (période minimum : 3 secondes).

→ Une chambre γ , type MX3, suivie d'un amplificateur ACC3 avec seuil électronique et d'un enregistreur.

→ Un photomultiplicateur γ suivi d'un dispositif à seuil électronique de constantes très rapides (quelques millisecondes)

Des contacts reliés aux seuils électroniques sont renvoyés sur la chaîne de sécurité, ainsi qu'un contact témoignant que l'appareil est en bon fonctionnement et que la THT des chambres est mise.

Les gammes d'un BF₃ de démarrage et d'une chambre linéaire doivent obligatoirement se recouvrir l'une l'autre afin d'obliger l'opérateur à choisir correctement les gammes de lecture, sous peine d'ouvrir la chaîne de sécurité.

Nous rappelons pour mémoire la présence de deux pointes mobiles de mesure de niveau dans le coeur et dans le réflecteur, avec dispositif de recalage.

La commande de ces pointes comporte, outre la marche automatique en pointe suiveuse, des positions "montée", "descente", "arrêt", et "sécurité". Sur la position "arrêt", la montée du Plutonium s'arrête lorsque le liquide vient au contact de la pointe. Sur la position "sécurité", il y a chute totale (voir plus loin) lorsque le liquide vient au contact de la pointe.

Il y a également des mesures de niveau sur les deux réservoirs annulaires, et sur le ballon de stockage de l'eau.

2° - La chaîne de sécurité :

La "chute totale" de l'installation consiste en une chute des deux barres de sécurité et en une vidange rapide des deux liquides : coeur et réflecteur.

La chute totale est provoquée soit par une commande manuelle directe, soit par l'ouverture de la chaîne de sécurité commandée, elle-même, par un défaut quelconque de l'installation ou le dépassement d'un niveau neutronique affiché.

Les contacts de la chaîne de sécurité sont placés en série et ils doivent être fermés, qui correspond à une marche normale, pour que des opérations de montée de solutions puissent être effectuées.

Les contacts de la chaîne sont les suivants :

S₁ Contact pointe réflecteur (sur sécurité)

S₂ Contact pointe cuve (sur sécurité)

S₃ Maximum de puissance chaîne linéaire neutrons ou BF3

S₄ Maximum de puissance chaîne logarithmique neutrons

S₅ Maximum de réactivité

S₆ Alimentation des chambres d'ionisation

S₇ Maximum de puissance chaînes gamma

S₈ Fuite solution active

S₉ à S₁₂ : Alimentation électrique de la pile et interdictions diverses (portès du hall, etc...)

II - MISE EN MARCHÉ ET FONCTIONNEMENT

Le principe adopté pour la mise en marche comporte les obligations suivantes :

a) - tous les appareils de mesure sont en bonne marche et un certain nombre de conditions matérielles sont satisfaisantes (alimentations, etc...)

b) - on respecte un ordre opérationnel prévu, en dehors duquel les manoeuvres de montée ne peuvent être effectuées.

Après quelques manoeuvres de base (contrôle, activité de l'air, mise sous tension du tableau, sélection du circuit de montée, mesure du niveau réservoir annulaire, interdiction du hall), il est nécessaire d'armer les sécurités. Cet armement ne peut se faire que lorsque certains appareils de mesure sont en position marche et sur la bonne sensibilité.

Cette dernière condition concerne particulièrement la chaîne "neutrons" de démarrage. Celle-ci, en effet, doit compter un minimum de coups sur un compteur BF3 pour que la sécurité correspondante puisse être armée.

Les sources de neutrons utilisées permettent de réaliser cette condition. On a utilisé d'abord deux sources de Ra-Be de 50 cm dans des tubes plongeant dans le réflecteur, à proximité du coeur, puis une source de 5 mc de Ra-Be, située à proximité du compteur de démarrage

1° - Montée de la solution :

La chaîne de sécurité étant fermée, on peut procéder à la montée des barres de sécurité. Lorsque les deux barres sont arrivées en position haute, on peut armer les relais de montée de

la solution.

Pour cette montée, on dispose de deux procédés.

a) - Montée rapide par pompe, le débit étant d'environ 1,2 l/minute, ce qui, dans le cas des solutions les plus concentrées, ne correspond pas à des accroissements de réactivité supérieurs à 40 pcm/s.

b) - Montée lente, rendue obligatoire à partir d'un certain niveau par une pointe fixe située dans la cheminée du réservoir annulaire. Cette montée s'effectue à une vitesse maximum de 0,3 l/minute, mais peut être plus faible.

2° - Etablissement d'un niveau désiré :

Une étape préliminaire consiste en la préparation d'une certaine quantité de solution, homogénéisée, à la concentration désirée, dans un des deux réservoirs annulaires de stockage. La lecture du niveau de solution dans ce réservoir et la connaissance, par étalonnage préalable, de la correspondance entre la hauteur et le volume, permettent de connaître la masse de Plutonium dont on dispose, pour une concentration donnée.

L'établissement d'un niveau de solution dans la cuve s'effectue par pompe. Deux vitesses sont utilisées. La première vitesse, rapide, de montée ($0,25^{\#}$ mm/s) est maintenue jusqu'à ce que le liquide, dans le réservoir annulaire, soit descendu jusqu'à un niveau repéré par une pointe fixe. A partir de cette hauteur, le reste de la solution (1/5ème environ) est monté en vitesse lente.

Pendant toute la montée, rapide ou lente, un dispositif automatique oblige l'eau du réflecteur à suivre exactement le même cycle de montée que le Plutonium. Ceci est obtenu à l'aide d'un appareil comportant une fourchette, branché sur les selsyns de copie des niveaux coeur et réflecteur, et agissant sur les pompes de montée pour garder les deux liquides à un niveau voisin à ± 3 mm.

L'ajustement final de la solution s'obtient par impulsions de liquide données en montée lente.

Le liquide est maintenu dans la cuve par des vannes électromagnétiques placées sur les circuits de montée. Pendant toute la montée et la durée de l'expérience, les vannes de sécurité, placées sur les circuits "chute" du coeur et du réflecteur, sont évidemment fermées et permettent, à tout moment, une vidange rapide des deux circuits.

Le niveau étant constant, on effectue soit des comptages sous-critiques, soit des mesures en régime critique dont il sera question par la suite.

III - TECHNIQUES EXPERIMENTALES.

La plus grande partie des expériences correspond à des approches sous-critiques. Dans d'autres mesures, à des niveaux variables ou stables, certains paramètres "cinétiques" sont étudiés en sous-critique, ou en sur-critique.

[#] Pour la cuve $\phi = 324$ mm

1° - Positions des compteurs : (fig. 8)

Les compteurs BF3, destinés au démarrage et aux approches sous-critiques, étaient disposés de la façon suivante :

- 2 compteurs type 14 NE 31 près de l'axe de la pile, sous le réflecteur inférieur.
- 2 compteurs type 14 NE 31, radiaux, diamétralement opposés, situés à 20 cm du fond de la cuve, à l'extérieur du réflecteur.
- 1 compteur 12 EB 40 près de l'axe de la pile.
- 1 compteur 12 NE 31 au-dessus du réflecteur, dans un canal radial.

Les chambres d'ionisation à dépôt de bore étaient placées dans des doigts de gants, à l'extérieur du réflecteur. Elles étaient utilisées dans les approches sur-critiques.

2° - Approches sous-critiques : (fig. 8)

La position des compteurs est d'une certaine importance dans l'allure des approches sous-critiques. Quelques essais nous ont amenés aux conclusions suivantes :

1° - Les compteurs placés assez près de l'axe de la pile, au-dessous de la pile, donnent une extrapolation assez linéaire ($\frac{1}{c}$, h) à partir de quelques centimètres de l'état critique.

(c : comptage, h : hauteur)

2° - Au contraire, les compteurs placés à l'extérieur du réflecteur, selon des rayons, ne donnent des réponses utilisables qu'à partir de quelques millimètres de l'état critique.

Ainsi, sur la figure 8, les baies 2, 3 et 4, placées presque dans l'axe, donnent une extrapolation plus linéaire que les baies 1, 5 et 6 placées selon des rayons.

On n'a pas donné d'exemple d'approche sur-critique, mais un certain nombre de points critiques ont été vérifiés par cette méthode, qui permet, si l'on se donne une relation de NORDHEIM, de mesurer également l'effet en réactivité du millimètre.

Ces mesures "dynamiques" n'ayant pas été systématiques, elles ne peuvent apporter, pour cette cuve, d'autre renseignement que la vérification de quelques points critiques. Sur la cuve suivante on a décidé de mesurer l'effet du millimètre en réactivité tout au long de la courbe des masses critiques.

TROISIEME PARTIE MASSES CRITIQUES

Après avoir donné les résultats bruts de masses critiques, nous les comparerons à des masses obtenues dans certaines expériences étrangères. La comparaison ne peut s'effectuer sur des géométries identiques. En effet, notre cuve a une forme assez particulière et elle a été essayée justement parce qu'elle ne rentrait pas dans une série d'expériences déjà effectuées.

Néanmoins, moyennant certaines hypothèses, et autour d'un certain diamètre, on peut ramener un ensemble de résultats expérimentaux à une même géométrie (hauteur), ce qui permet de vérifier le bien fondé du choix du gain de réflecteur.

Nous avons par ailleurs comparé, à nos résultats expérimentaux, des calculs à deux groupes dans lesquels nous avons tenté un ajustement de constantes. Ces dernières ne pourront être utilisées qu'avec réserve, en attendant une confirmation sur d'autres expériences.

Enfin, nous reportons à la fin du rapport, dans nos conclusions, les résultats de ces expériences pouvant servir à améliorer le problème de la sécurité. En particulier, nous redonnerons la masse critique minimum et la concentration critique minimum intéressant directement certains utilisateurs.

I - RESULTATS DE LA PREMIERE CAMPAGNE.

1° - Description de la cuve : (fig. 9)

La première cuve choisie a un diamètre intérieur de 324 mm, une épaisseur de 3mm. Elle est constituée d'une tôle roulée formant un cylindre, et soudée selon une génératrice ; le fond est bombé, obtenu à partir d'une tôle, qui après mise en forme, a été soudée à la partie inférieure du cylindre précédent. La cuve est réfléchiée sur ses côtés et sur sa base.

De sa partie inférieure, part un tube $\phi = 16$ mm, servant au remplissage et à la vidange. Il est entouré d'une petite collerette de protection ($\phi = 80$ mm) à l'intérieur de laquelle il n'y a pas de réflecteur d'eau.

Comme on l'a signalé précédemment, la cuve est entourée d'un détecteur de fuites, formé d'une feuille de buvard recouverte d'un enroulement, et de sacs de protection en vinyle.

Le niveau, dans cette cuve, est mesuré par l'intermédiaire de deux pointes : l'une mobile, donnant le niveau à $\pm 0,1$ mm, l'autre fixe, mais déplaçable à la main, permettant le recalage de la pointe précédente.

On a, avant la mise en actif, étalonné le volume de cette cuve en fonction du niveau.

Le niveau 0 correspond à la partie la plus basse de la cuve. Les hauteurs critiques expérimentales données dans le tableau I sont prises à partir de ce niveau.

2° - Résultats : (fig. 9) et Tableau I

La criticalité a été atteinte pour la première fois le 8 novembre 1961 avec une concentration en Plutonium de $23,45^{\pm}$ g/l et une masse de 964,3 g (point 0).

[±] Toutes les concentrations sont déterminées par analyse avec une précision de $\pm 0,5$ p. 100. Nous remercions MM. CORPEL, HELOU et REGNAUT qui ont préparé les solutions de Plutonium et effectué les analyses.

Grâce à la présence de deux sources Ra-Be de 50 mc introduites dans deux tubes plongeant dans le réflecteur à environ 5 cm du coeur, la multiplication avait été étudiée auparavant pour quatorze concentrations échelonnées de 0,16 g/l à 23,07 g/l.

La courbe donnant les masses critiques en fonction de la hauteur a été tracée à l'aide de vingt-cinq approches sous-critiques pour des concentrations croissantes de 23,45 g/l à 45,54 g/l. On trouvera en outre, un tableau donnant la composition pour sept de ces concentrations, vérifiées par le calcul.

L'expérience a montré que pour l'ensemble des compteurs et pas très loin du niveau critique (à partir de - 15 mm), les courbes d'extrapolation $1/N = f(H)$ étaient linéaires avec une très bonne précision, et que ces droites convergeaient avec une incertitude en moyenne inférieure à la précision de lecture du niveau.

- A L E C T O -

- Cuve ϕ int 324 épaisseur = 3 mm -

- Réflecteur infini d'eau -

- Résultats expérimentaux -

- Masses critiques⁺

Manip.	Pu g/l * ± 0,5 p.100	p. 100 * Pu 240	Densité * ± 0,2 p. 100	H ₂ O * g/l * ± 0,5 p.100	Total NO ₃ * g/l ± 1 p. 100 (1)	Acidité * H ⁺ g/l ± 1 p. 100	Total * H/Pu * ± 1 p. 100	Hauteur cri- tique ± 0,5 Exp. (mm)	Volume ± 0,1 critique (l)	Masse (g) critique
O	23,45	1,45 ± 0,015	1,094	927	144,6	1,94	1070	515,6	41,72	964,3 ± 7
P	25,67	" "	1,110	926	145,7	1,92	976	437,5	34,73	891,5 ± 7
T	27,97	" "	1,105	922	151,8	1,98	891,5	384,6	30,45	851,4 ± 7
X	30,07	" "	1,111	918	160,8	2,09	830	355,9	28,13	845,9 ± 7
AC2	33,28	" "	1,118	915	167,8	2,15	750	327,2	25,73	856,3 ± 7,5
AJ	38,17	" "	1,113	910	176	2,20	646	290,0	22,71	366,8 ±
AN	45,54	" "	1,133	909	176,8	2,09	541	262,6	20,53	934,9 ± :

(1) dont environ 2 x 62 = 124 g provenant des ions de l'acide

+ Les points ont été choisis sur la figure 9 ; ils ont donné lieu à un calcul à deux groupes

* Mesurées

* Calculées

- TABLEAU 1 -

On a admis cependant, pour tenir compte des jeux mécaniques inévitables dans le système de téléaffichage, une erreur de reproductivité du niveau pour toute la campagne égale à $\pm 0,5$ mm. ce qui, compte tenu de l'erreur d'étalonnage en volume de la cuve, donnerait pour le volume critique une incertitude de $\pm 0,1$ l.

Remarques :

1° - Afin de comparer les résultats obtenus avec des expériences étrangères il faut diminuer les hauteurs lues de 13 mm pour se ramener à un cylindre à fond plat.

2° - Il est intéressant de connaître la forme de la courbe $C = f(H)$ pour des concentrations faibles. Par des extrapolations, on a pu déterminer les points suivants :

$$\begin{array}{ll} C = 21,01 \text{ g/l} & 730 < H < 760 \\ C = 22,22 \text{ g/l} & 597 < H < 616 \end{array}$$

L'extrapolation à zéro de la courbe (fig. 10)

$$(B^2)_{\text{axial}} = \left(\frac{\pi}{H}\right)^2 = f(C) \text{ pour un réflecteur total infini d'eau avec :}$$

H = hauteur critique mesurée - 13 mm

Ce mode de calcul permet d'avoir une idée de la concentration critique minimum pour un cylindre de ce diamètre, et de hauteur infinie. On trouve $C = 19 \pm 1,5$ g/l (fig. 10, également prévisible par la fig. 11).

Conclusions :

1° - Les courbes de la figure 9 montrent que l'on peut adopter comme masse critique minimum de cette cuve, la valeur :

$$M_c = 845 \pm 7 \text{ g}$$

correspondant à un volume de 28,4 litres

et à une concentration de 29,75 g/l

2° - La concentration critique correspondant à un cylindre infini de ce diamètre est de $19 \pm 1,5$ g/l.

Rappelons que la cuve est réfléchiée sur ses côtés et sur sa base, par un réflecteur d'eau d'épaisseur pratiquement infinie.

II - COMPARAISON AVEC LES EXPERIENCES ETRANGERES - (fig. 11 et 12)

A notre connaissance, deux séries d'expériences ont été effectuées : la première, aux Etats-Unis (1952), porte sur des sphères et des cylindres, nus ou réfléchis, et a été déclassée en 1960 [3] ; la seconde, sur un seul cylindre, a été effectuée à HARWELL (G.B.) et publiée à GENEVE en 1955 [4] .

1° - Expériences américaines : [3]

Les conditions de réaction en chaîne ont été examinées pour deux séries de récipients :

- sphères de diamètres 11, 12, 13, 14 et 15 pouces

- cylindres de diamètres 8, 9, 10, 11 et 12 pouces réfléchis totalement par un réflecteur

infini d'eau légère.

Pour les cylindres, l'éventail des concentrations en Pu étudiées s'étend de 25 g/l à 110 g/l pour une teneur en Pu₂₄₀ de 2,9 p.100 en poids et une acidité variant de telle sorte que la concentration en ion NO₃⁻ change peu.

Afin de comparer les résultats des expériences américaines avec les nôtres, deux sortes de corrections ont été apportées, pour les ramener à nos conditions.

a) - Correction de géométrie :

La première cuve d'ALECTO a un diamètre intérieur de 324 mm, soit 12³/₄. On a donc extrapolé les courbes américaines obtenues pour les cylindres de 10, 11 et 12 pouces, à cette valeur du diamètre 12³/₄, et ajouté à chaque hauteur un gain de réflecteur $\delta = 6$ cm pour tenir compte de la suppression du réflecteur axial haut. Cette valeur est tirée d'une étude américaine (3) sur des cylindres contenant de l'uranium-235 et réfléchis par de l'eau, et montrant que :

$$\delta \approx 6 \text{ cm pour } 0,25 < \frac{h/d}{1 + h/d} < 0,8$$

L'extrapolation au diamètre 12³/₄ de la concentration critique du cylindre totalement réfléchis pour une hauteur de solution donnée conduit aux résultats suivants :

Hauteur en pouces (Réflexion totale)	: H + δ en mm	: C Pu g/l extrapolée	: C NO ₃ ⁻ g/l estimée	: $10^3 \left(\frac{\pi}{H}\right)^2$ pouce ⁻²
8	: 263	: 46,5	: 142	: 154
10	: 314	: 36	: 138	: 99
12	: 365	: 29,8	: 136	: 68
14	: 416	: 26,3	: 134	: 50
16	: 467	: 24	: 132	: 38,5
18	: 518	: 22,3	: 130	: 30,5

Remarques :

L'extrapolation a consisté en une opération purement graphique. Cependant, on peut utiliser une formule de passage d'un cylindre à un autre :

1° - En admettant que le rapport $\frac{\text{surface du coeur}}{\text{volume du coeur}}$ à l'état critique est le même pour des diamètres différents et une concentration.

Ce rapport vaut environ 0,5 pouce⁻¹ et varie au plus de 4 p.100 pour des diamètres allant de 9" à 12" (à 50 g/l). Ce qui entraîne malgré tout pour H une incertitude de 10 p.100.

2° - En comparant les bucklings des cylindres critiques nus équivalents par la formule :

$$B^2 = \left(\frac{2,405}{R + \delta}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{H + 2\delta}\right)^2$$

A 50 g/l, les calculs pour des valeurs de δ comprises entre 1" et 2¹/₂ ont montré que la dispersion des B² pour les diamètres de 10, 11 et 12 pouces varie de 2 p.100 à 1,25 p.100. Soit pour H, une incertitude comprise entre 2,5 et 4 p.100.

b) - Correction d'empoisonnement :

Pu-240

La teneur en Pu-240 de la solution ALECTO déterminée par analyse isotopique au spectrographe de masse est de 1,45 p. 100 en poids. Des expériences américaines indiquent une variation de 3 p. 100 de la concentration critique par pourcentage de teneur en Pu-240 [5].

Il faut donc diminuer les concentrations extrapolées du tableau précédent de :

$$3 \text{ p. } 100 \times (2,9 - 1,45) = 4,35 \text{ p. } 100$$

Ions NO₃⁻

La concentration en ions NO₃⁻ de la solution ALECTO varie de 145 g/l à 177 g/l.

D'après l'étude américaine de l'influence du nitrate sur les masses critiques des sphères, la correction à apporter varie en fonction de la concentration en Pu comme suit :

C Pu g/l	50	45	40	35	30	25
$\delta C \text{ Pu g/l}$	0,070	0,045	0,035	0,030	0,027	0,025
$\delta C \text{ NO}_3^- \text{ g/l}$						

Toutes corrections faites, la transposition des résultats américains, ramenés à notre géométrie et composition donne : (fig. 11 et 12)

H mm	C Pu - g/l	Mg
263	46,25	1003,5
314	35,3	914,4
365	28,9	870,3
416	25,5	875,2
467	23,3	897,7
518	21,7	927,4

Remarques :

1° - Il a été tenu compte uniquement des principaux effets d'empoisonnement pour lesquels on dispose de renseignements suffisants.

On n'a pas considéré en particulier les éléments tels que P, Mn, Bi, Li et l'ion SO₄⁻⁻

2° - L'extrapolation à zéro de la courbe (fig. 10)

$$B^2_{\text{axial}} = \left(\frac{\pi}{H}\right)^2 = f(C)$$

pour la cuve de 12''3/4 et le réflecteur total, donne C = 18 g/l environ, au lieu de 19 dans notre cas.

2° - Expériences anglaises [4]

Elles ont porté sur un cylindre de 30,5 cm de diamètre (12 pouces), réfléchi latéralement par de l'eau, et à sa partie inférieure par une plaque d'acier inoxydable de 6,35 mm d'épaisseur. Un compteur à BF_3 était placé dans un tube axial rentrant dans la solution et apportant une importante perturbation, ce qui rend difficile toute comparaison précise.

Dans le domaine qui nous intéresse, nous avons relevé les deux points suivants :

C Pu - g/l	C NO_3^- - g/l	H_c - cm	M_c - g
28,55	135	45	944
38,63	145	32,7	920

Après corrections (empoisonnement, gain de réflecteur bas), nous avons porté ces deux points sur la figure 11.

3° - Conclusions (voir figures 11 et 12)

Ces comparaisons ne peuvent avoir qu'une valeur indicative, tant sont grandes les différences de géométrie et de conditions d'expérimentation : composition de la solution.

Néanmoins, elles permettent de contrôler, pour un diamètre, qu'un gain de réflecteur de 6 cm est un bon ordre de grandeur.

Par contre, une formule simple de passage d'un cylindre à l'autre, pour des diamètres différents, ne semble pas possible à trouver si l'on veut garder dans la formule du paragraphe II p. 16 2° un δ constant. Il vaudra mieux effectuer un calcul complet, comme indiqué ci-dessous, en utilisant des constantes ajustées.

Ceci nous permet d'affirmer que, compte tenu des approximations faites, la correspondance entre les deux séries d'expériences est assez bonne.

III - COMPARAISON AVEC LES CALCULS.

1° - Masses critiques : (fig. 13)

On s'est appliqué jusqu'à présent à trouver une méthode de calcul simple, respectant au mieux la géométrie et s'ajustant autant que possible sur l'expérience.

Pour un réacteur thermique, la théorie à deux groupes était toute désignée, bien que l'on soit en présence de milieux fortement hydrogénés et que, dans ce cas, la théorie de l'âge de FERMI soit impropre.

- On a fait appel au programme PDQ 02 [7] en géométrie cylindrique, en tenant compte :
- de l'épaisseur de 3 mm d'acier de la cuve, par l'introduction d'un troisième milieu.
 - de la forme concave du fond de la cuve, par un découpage approchant la réalité.
 - du tube d'amenée de la solution de Pu.
 - de la forme exacte du réflecteur.
 - d'une longueur d'extrapolation au-dessus du coeur et du réflecteur :

$$0,71 \lambda_t = 0,34 \text{ cm}$$

- de l'ion NO_3^- et du Pu_{240} .

Les constantes utilisées sont les suivantes* (notations GLASSTONE et EDLUND) :

- Eau légère

$$D_1 = 1,135 \text{ cm} \quad 27 \text{ cm}^2 < \tau < 28,6 \text{ cm}^2$$
$$D_2 = 0,160 \text{ cm} \quad \Sigma_a = 0,0197 \text{ cm}^{-1}$$

- Plutonium - 239

$$\sigma_a = 982 \text{ b} \quad \sigma_f = 682,5 \text{ b} \quad \nu = 2,91$$

- Plutonium - 240

$$\sigma_a = 623 \text{ b}$$

- Azote

$$\sigma_c = 1,67 \text{ b}$$

La section microscopique d'absorption du Pu-240 a été choisie de telle sorte qu'aux concentrations faibles, le calcul et l'expérience coïncident pour $\tau = 27 \text{ cm}^2$. Ensuite, on a fait varier l'âge dans le coeur avec la concentration, afin de se recalibrer par le calcul sur la courbe expérimentale. On peut voir sur la figure 13 que τ varie linéairement avec C Pu.

Si l'on adopte la courbe de l'âge ainsi déterminée, on arrive à ajuster exactement les calculs sur l'expérience. Cette opération a été faite pour les concentrations marquées, sur la figure 9 d'un cercle.

2° - Effet du réflecteur axial bas :

On a admis implicitement dans le paragraphe II que le réflecteur axial bas d'ALECTO était équivalent à un réflecteur d'épaisseur infinie. Il a, en fait, une épaisseur variable de 10 à 12 cm.

Cette hypothèse repose sur les résultats d'une série de calculs PDQ qui ont montré que cela était vrai à 30 à 40 pcm près.

3° - Conclusions :

Les calculs présentés ne sont valables que pour certaines hypothèses. En particulier, les constantes ajustées ne peuvent être utilisées qu'avec ces mêmes hypothèses. Ainsi la longueur d'extrapolation dans l'air est d'un choix difficile. Nous l'avons prise égale à 0,34 cm et ne donnons la courbe de l'âge que pour cette valeur.

Il aurait été préférable de prendre une valeur plus grande, pondérée sur l'énergie des neutrons. Nous avons des raisons de penser, comme l'indiquent les américains et le prouve le théorème d'INONU pour une sphère, qu'il faut prendre une valeur voisine de 2 cm.

D'autres calculs seront effectués, si cette valeur est confirmée.

* Tables de Mme PONTIS

QUATRIEME PARTIE

MESURE DE α , CONSTANTE DE DECROISSANCE DES NEUTRONS PROMPTS.

La méthode des neutrons pulsés, utilisée pour la mesure du coefficient α caractérisant la décroissance des neutrons prompts dans une pile, est devenue une méthode classique utilisée par de nombreux manipulateurs.

I - PRINCIPE DE LA MESURE.

Il est donc bien connu ; nous le décrirons rapidement :

La méthode consiste à envoyer sur un empilement matière fissile et modérateur, des bouffées de neutrons d'énergie élevée (~ 14 MeV). Les bouffées de neutrons sont envoyées sur l'empilement à intervalles réguliers au moyen d'un accélérateur dont le principe sera décrit dans la suite du texte. L'intervalle de temps entre chaque bouffée peut être réglé à une valeur arbitraire.

Après un temps de l'ordre de 100μ s, suivant l'émission d'une bouffée de neutrons, on peut admettre que ces neutrons sont thermalisés. On mesure alors, à l'aide d'un analyseur multi-canaux, la décroissance de cette population de neutrons thermiques produite dans l'empilement.

Dans le cas où nous avons un empilement matière fissile - modérateur proche de la criticalité, on peut atteindre facilement le α correspondant à l'exponentielle du fondamental : $e^{\alpha t}$.

Dans le cas où on est loin de la criticalité, on risque de se trouver en présence d'une somme d'harmoniques spatiaux décroissant de façon différente, surtout si les dimensions du coeur sont grandes.

Le premier travail a consisté à déterminer, au moyen des constantes utilisées pour le calcul des masses critiques, une valeur de la quantité α correspondant à la décroissance des neutrons prompts, dans le but de voir si les constantes qui semblent convenir au calcul des masses critiques, sont encore bonnes pour la détermination des paramètres cinétiques.

II - DEFINITION DE α .

α , constante de décroissance des neutrons prompts, peut être définie comme le rapport:

$$\alpha = \frac{K_p - 1}{l}$$

dans lequel K_p désigne le coefficient de multiplication des neutrons prompts :

$$K_p = K_{eff} (1 - \beta_{eff})$$

K_{eff} : coefficient effectif de multiplication des neutrons dans le réacteur.

β_{eff} : proportion effective des neutrons retardés : β_{eff} est égal à β , proportion réelle de neutrons retardés émis par fission, multipliée par un coefficient dû à l'efficacité des neutrons retardés dans le réacteur [6] .

l : est souvent désigné sous le nom de temps de vie moyen des neutrons dans le réacteur. Mais il est plus approprié de lui donner le nom de temps de génération des neutrons prompts : temps séparant deux générations consécutives de neutrons .

L'expression de α est valable dans le cas d'un réacteur nu et d'un réacteur réfléchi.

L'expression analytique de α peut être obtenue facilement dans le cas d'un réacteur nu. Elle peut être obtenue également dans le cas d'un réacteur dont le coeur a une forme géométrique simple : sphère réfléchiée par un réflecteur d'épaisseur infinie.

Dans le cas d'une géométrie plus compliquée, telle que la première cuve du réacteur ALECTO, il n'y a plus de forme analytique de la constante α .

Nous donnons dans le paragraphe suivant une méthode de calcul permettant de déterminer la valeur de α pour une forme de réacteur susceptible d'un calcul par un programme IBM de détermination des paramètres critiques.

III - THEORIE UTILISEE POUR LE CALCUL DE α .

Le calcul de α a été fait en théorie à deux groupes d'énergie. Cette théorie, adoptée sur un réacteur tel que ALECTO, avec des constantes dans le groupe rapide adaptées sur des résultats expérimentaux, obtenus avec des sphères de solution d'Uranium enrichi (8), a donné de bons résultats pour les calculs de masses critiques.

1° - Equations utilisées :

On a écrit les équations classiques de la diffusion :

$$D_1 \nabla^2 \rho_1 - \Sigma_{1 \rightarrow 2} \rho_1 + k (1 - \beta_{\text{eff}}) \Sigma_a \rho_2 + \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i C_i = \frac{1}{V_1} \cdot \frac{\delta \rho_1}{\delta t}$$

$$D_2 \nabla^2 \rho_2 - \Sigma_a \rho_2 + \Sigma_{1 \rightarrow 2} \rho_1 = \frac{1}{V_2} \cdot \frac{\delta \rho_2}{\delta t}$$

avec :

ρ_1 : flux de neutrons rapides

ρ_2 : flux de neutrons thermiques

D_1 : coefficient de diffusion des neutrons rapides

D_2 : coefficient de diffusion des neutrons thermiques

V_1 : vitesse moyenne des neutrons dans le groupe rapide

V_2 : vitesse moyenne des neutrons dans le groupe thermique

$\Sigma_{1 \rightarrow 2}$: section efficace macroscopique de transfert du groupe 1 au groupe 2

Σ_a : section efficace macroscopique d'absorption des neutrons du groupe thermique.

k : coefficient de multiplication des neutrons en milieu infini

$\beta_{\text{eff}} = \beta \cdot \epsilon$ = proportion effective des neutrons retardés dans le réacteur

C_i : concentration i^{e} émetteur de neutrons retardés

λ_i : constante de décroissance du i^{e} émetteur

β_i : proportion réelle du i^{e} émetteur de neutrons retardés

ϵ_i : efficacité des neutrons retardés du i^{e} groupe

L'expérience montre que, au bout d'une centaine de microsecondes, la population de neutrons décroît dans le réacteur suivant une exponentielle pure qui est là même, que les détecteurs soient placés près ou loin de la cuve, coeur du réacteur.

Au bout de 100 μ s, les émetteurs de neutrons retardés n'ont pas encore eu le temps

de se manifester (la plus courte période est de l'ordre de 100.000 μ s). Nous pouvons donc écrire les équations de la diffusion :

$$D_1 \nabla^2 \rho_1 - \Sigma_{1 \rightarrow 2} \rho_1 + k \Sigma_a (1 - \beta_{eff}) \rho_2 = \frac{1}{V_1} \cdot \frac{\delta \rho_1}{\delta t}$$

$$D_2 \nabla^2 \rho_2 - \Sigma_a \rho_2 + \Sigma_{1 \rightarrow 2} \rho_1 = \frac{1}{V_2} \frac{\delta \rho_2}{\delta t}$$

Nous admettons, d'après notre raisonnement, une solution de la forme :

$$\rho = \psi e^{\alpha t} \text{ connue}$$

où ψ ne dépend que de la position du point considéré dans le réacteur.

On peut écrire les équations suivantes, après simplification :

$$D_1 \nabla^2 \psi_1 - \left(\Sigma_{1 \rightarrow 2} + \frac{\alpha}{V_1} \right) \psi_1 + k \Sigma_a (1 - \beta_{eff}) \psi_2 = 0$$

$$D_2 \nabla^2 \psi_2 - \left(\Sigma_a + \frac{\alpha}{V_2} \right) \psi_2 + \Sigma_{1 \rightarrow 2} \psi_1 = 0$$

On peut considérer ces équations comme les équations critiques d'un réacteur fictif dont la hauteur de solution dans le coeur et dans le réflecteur est la même que celle du réacteur réel, dont les constantes neutroniques sont obtenues en écrivant ainsi les équations de diffusion :

$$\frac{D_1 \times \Sigma_{1 \rightarrow 2}}{\Sigma_{1 \rightarrow 2} + \frac{\alpha}{V_1}} \nabla^2 \psi_1 - \Sigma_{1 \rightarrow 2} \psi_1 + \frac{k (1 - \beta_{eff}) \Sigma_{1 \rightarrow 2}}{\Sigma_{1 \rightarrow 2} + \frac{\alpha}{V_1}} \times \frac{\Sigma_a}{\Sigma_a + \frac{\alpha}{V_2}} \times \left(\Sigma_a + \frac{\alpha}{V_2} \right) \psi_2 = 0$$

$$D_2 \nabla^2 \psi_2 - \left(\Sigma_a + \frac{\alpha}{V_2} \right) \psi_2 + \Sigma_{1 \rightarrow 2} \psi_1 = 0$$

On pose :

$$D'_1 = D_1 \frac{\Sigma_{1 \rightarrow 2}}{\Sigma_{1 \rightarrow 2} + \frac{\alpha}{V_1}} \quad \Sigma'_{1 \rightarrow 2} = \Sigma_{1 \rightarrow 2} \quad k' = k (1 - \beta_{eff}) \frac{\Sigma_{1 \rightarrow 2}}{\Sigma_{1 \rightarrow 2} + \frac{\alpha}{V_1}} \times \frac{\Sigma_a}{\Sigma_a + \frac{\alpha}{V_2}}$$

$$D'_2 = D_2 \quad \Sigma'_a = \Sigma_a$$

Le programme PDQ 02 sur IBM 7090 nous permet d'itérer sur la valeur de α de façon que le Keff : coefficient effectif de multiplication du réacteur fictif, soit égal à 1.

On obtient ainsi, pour une valeur donnée de la concentration, et pour une série de hauteurs sous-critiques, la valeur de α , coefficient de décroissance des neutrons prompts.

Nous pouvons faire, sur ce mode de calcul, les remarques suivantes :

a) - la méthode de calcul est basée sur l'hypothèse d'une seule constante de décroissance α apparaissant dans les dépouillements d'expériences.

Le fait que la courbe de décroissance des neutrons prompts fasse apparaître des pentes de décroissance successives et mette en évidence des harmoniques, modifierait les données du problème. Le calcul des constantes α dues aux harmoniques serait possible dans le cas d'une cuve

d'Aleto réfléchi par un réflecteur latéral. Il ne l'est pas dans le cas de la cuve que nous venons de tester.

b) - On suppose connue la valeur de β_{eff} . Un autre calcul (ou une mesure) est nécessaire pour connaître sa valeur. Nous donnerons, dans le prochain paragraphe, la méthode utilisée.

2° - Calcul de β_{eff} :

Il est déterminé par la méthode donnée dans [9].

Nous donnerons le principe de la méthode.

C'est une application de la méthode des perturbations en théorie multigroupes.

Nous désignerons par :

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$: les flux dans les n groupes

$\phi_1^*, \phi_2^*, \dots, \phi_n^*$: les flux adjoints dans les n groupes

(ϕ_i, ϕ_i^* sont fonctions de l'espace.)

La méthode consiste à introduire entre les groupes de neutrons prompts des groupes correspondant aux neutrons retardés.

Si $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_n$ désignent les proportions réelles globales de neutrons émises dans les différents groupes,

$$B_1, B_2, \dots, B_m \quad \beta = \sum_{i=1}^{i=n} \beta_i \quad \text{les proportions réelles de neutrons retardés émises}$$

dans les différents groupes de neutrons retardés (β : proportion totale).

Les proportions réelles de neutrons prompts émises dans les groupes d'énergie correspondants seront :

$$x_1 (1 - \beta), \quad x_2 (1 - \beta), \quad \dots, \quad x_n (1 - \beta)$$

On introduira donc m groupes de neutrons retardés dans les n groupes de neutrons prompts. On aura donc au total m + n groupes de neutrons dont les constantes peuvent être déterminées à partir des programmes Muft et Sofocate.

Si on choisit une théorie à quatre groupes de neutrons prompts et que l'on insère les m groupes de neutrons retardés entre le 2ème groupe et le 3ème groupe de neutrons prompts, on pourra écrire :

$$\beta_{i\text{eff}} = \frac{\iiint x_{i+2} \phi_{i+2}^* \sum_{j=1}^{j=4+n} v_j \sum_j^F \phi_j \quad dv}{\iiint \sum_{i=1}^{i=4+n} x_i \phi_i^* \sum_{j=1}^{j=4+n} v_j \sum_j^F \phi_j \quad dv}$$

β_{ieff} désigne la proportion effective des neutrons retardés dans le 1er groupe de neutrons retardés (i + 2ème groupe dans l'ensemble).

$$\beta_{eff} = \sum_{i=1}^{i=n} \beta_{ieff}$$

On a :

$$c = \frac{\beta_{eff}}{\beta} \qquad c_i = \frac{\beta_{ieff}}{\beta_i}$$

On voit donc qu'un calcul machine permet de déterminer β_{eff} avec une précision liée à la précision de la théorie de la diffusion.

Résultats obtenus - Conclusion :

Les valeurs de α , calculées au moyen des constantes utilisées pour le calcul des masses critiques (théorie de la diffusion à deux groupes d'énergie), ne sont pas en bon accord avec celles déterminées par la méthode des neutrons pulsés, pour le même niveau.

La différence entre valeurs expérimentales et calculées est de l'ordre de 50 p. 100. Elle s'explique par le fait que les constantes, adaptées sur le calcul des masses critiques, ne correspondent pas à la réalité pour le calcul de l'effet du millimètre.

Une étude théorique plus poussée est entreprise sur la cuve de diamètre intérieur 300 mm, réfléchi seulement par un réflecteur latéral d'épaisseur infinie.

Le programme SEPR 008 permet de déterminer la valeur de α correspondant au niveau critique, en théorie multigroupes à partir des valeurs de β_{eff} et de 1 données directement par le programme ($\alpha = \frac{\beta_{eff}}{1}$)

IV - MODE OPERATOIRE UTILISE DANS LA MESURE.

Nous avons déjà dit que l'expérience consiste à injecter dans le réacteur pris en régime stationnaire souscritique, des bouffées récurrentes de neutrons rapides provenant d'une source auxiliaire.

Si l'on porte sur un graphique l'évolution dans le temps du flux thermique en un point du réacteur, le temps $t = 0$ correspondant au "pulse" de neutrons rapides, on observe trois phases :

1° - croissance rapide : temps de montée de quelques millisecondes (ralentissement des neutrons de 14 Mev)

2° - décroissance exponentielle du mode fondamental après extinction des harmoniques supposés brefs, pendant quelques dizaines de millisecondes (décroissance des neutrons prompts)

3° - décroissance plus lente du fait de l'apparition des neutrons retardés induits par le "pulse", et raccordement avec le bruit de fond initial.

Il est possible d'obtenir cette figure sur un oscilloscope, de la manière suivante : les impulsions délivrées par un compteur placé dans le réacteur sont, après mise en forme, dirigées sur un sélecteur multi-canaux à base de temps et stockées en mémoire au fur et à mesure de leur arrivée, le temps d'ouverture de chaque canal devant être petit si l'on veut avoir une définition convenable (entre 0,01 et 1 milliseconde pour un 256 canaux).

Le nombre d'impulsions stockées par canal et par "pulse" est très faible et il faut répéter l'opération un grand nombre de fois en conservant un déphasage constant entre le déclenchement du balayage des canaux et le "pulse" de neutrons rapides. Notons qu'il n'est pas nécessaire d'attendre chaque fois la fin complète de la décroissance et d'avoir retrouvé le bruit de fond initial, mais qu'il suffit de maintenir une fréquence de répétition stable pour que le bruit de fond, augmenté de la

contribution des neutrons retardés induits par les "pulses" successifs, demeure à un niveau constant. Il ne faut pas que cette fréquence soit trop grande pour conserver au rapport :

$$\frac{\text{signal}}{\text{bruit de fond}}$$

une valeur acceptable. Ceci est fonction de l'intensité de la source pulsée. Cette dernière condition interdit également de travailler trop près de l'état critique, de sorte que la valeur de $\alpha_c = \frac{\beta_{\text{eff}}}{1}$ ne peut être obtenue que par extrapolation.

On sait que α est lié linéairement à ΔK_{eff} , mais comme la valeur de la réactivité est mal connue, on a adopté pour paramètre une grandeur physique mesurable, caractéristique fondamentale du réacteur pour une concentration donnée : le niveau, donc le volume de solution.

Les approches sous-critiques étant linéaires, avec une très bonne précision, à partir de 1 cm au-dessous du niveau critique, il est permis de penser que α varie linéairement avec le niveau dans ce domaine.

V - APPAREILLAGE. (fig. 14)

1° - Les sources "pulsées" :

Pour ces expériences, on disposait de deux ensembles générateurs de neutrons prêtés par M. Marty, du centre de Limeil.

Chacun des générateurs est capable de fournir à partir de la réaction T (D, n) α une bouffée de quelques millions de neutrons de 14 MeV, avec une fréquence de répétition maximum de deux pulses par seconde et 10^7 n/pulse.

Ils étaient placés sous la cuve réflecteur, et aussi près que possible de l'axe du réacteur, comme indiqué sur la figure, afin :

a) - de voir le coeur sous l'angle solide optimum, à travers l'écran d'eau d'épaisseur minimum.

b) - de se placer dans les meilleures conditions d'extinction des harmoniques.

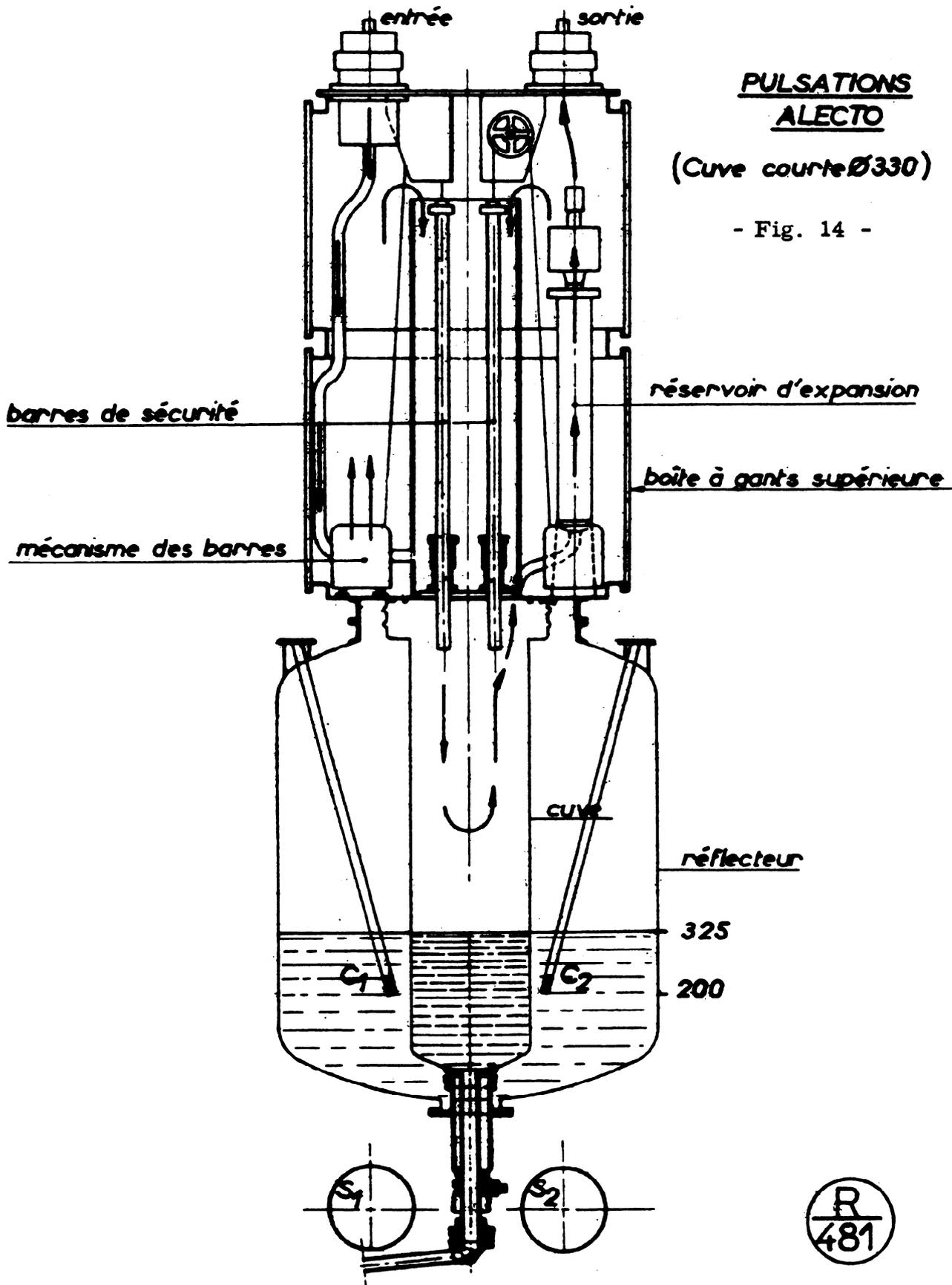
Les deux générateurs étaient déclenchés simultanément.

Des générateurs de plus faible encombrement pouvant pénétrer dans les doigts de gants qui équipent la cuve réflecteur sont actuellement en cours de mise au point.

2° - La détection :

On a utilisé deux chambres à fission à dépôt d'uranium enrichi à 90 p. 100 (chambres de type G n° 82 et 83) qui présentent un seuil de saturation considérablement plus élevé que celui des compteurs à BF₃ classiques. Leur efficacité est de 10^{-3} c/s pour $1 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ (neutrons thermiques).

Chaque chambre, montée sur une canne à faible capacité, était introduite dans les tubes "porte-sources" qui plongent dans le réflecteur jusqu'à 5 cm du coeur environ. La chaîne électronique comportait, par chambre, un pré-amplificateur à faible souffle auquel était raccordée la canne, lui-même suivi d'un amplificateur du type APT21, l'ensemble ayant un gain de 8 000 à 16 000 et un tiroir discriminateur dont le seuil était réglé sur 10 volts (amplitude maximum des



PULSATIONS
ALECTO

(Cuve courte Ø330)

- Fig. 14 -

C_1, C_2 Chambres à fissions
 S_1, S_2 Sources de neutrons pulsées



impulsions : 80 volts). Les impulsions provenant des deux chaînes étaient ensuite mélangées et dirigées sur le sélecteur, après mise en forme.

3° - Le Sélecteur T M C :

Entièrement transistorisé, il comporte 256 canaux dont la durée d'ouverture est ajustable de 10 à 2560 μ s. Au fur et à mesure de leur arrivée, les impulsions sont stockées dans une mémoire magnétique, avec un temps mort d'enregistrement indiqué par le constructeur, égal à 10 μ s par canal. Le temps mort d'entrée étant très petit ($3 \cdot 10^{-8}$ s environ), il est possible de travailler avec des taux de comptages très élevés. Le temps mort de toute l'électronique est imposé par le mélangeur et est de l'ordre de 5 μ s.

A tout moment, il est possible de lire le contenu de la mémoire et de le transcrire sans destruction à l'aide d'une imprimante.

Parmi les 256 canaux, le premier dit "canal bruit de fond" joue un rôle particulier : lorsque l'impulsion d'ouverture de cycle envoyée par le chronomètre parvient au sélecteur, elle provoque l'ouverture du premier canal pendant un temps multiple présélectionné du temps d'ouverture des autres canaux, et c'est seulement au bout de ce temps que l'ordre de déclenchement est envoyé aux générateurs de neutrons. Après un retard également réglable, mais constant pour une même série de pulsations, le balayage se fait.

Ces différents réglages sont trouvés d'une manière empirique, le but à atteindre étant d'étaler la décroissance exponentielle sur le plus grand nombre possible de canaux, en coupant le pic proprement dit. Il peut être intéressant d'enregistrer la fin de la décroissance pour avoir une autre estimation du bruit de fond.

Pour chaque point sous-critique, on a poursuivi les pulsations jusqu'à ce qu'il y ait environ 10 000 coups dans les premiers canaux.

VI - DEPOUILLEMENT ET RESULTATS. (fig. 14)

Le dépouillement consiste à ajuster une fonction de la forme $A + Be^{-\alpha t}$ sur la partie exponentielle de la courbe de décroissance des neutrons prompts. On peut y parvenir, soit graphiquement, soit par une méthode de moindres carrés sur calculatrice IBM 7090.

1° - Méthode graphique :

Sur un papier semi-log., on porte pour chaque canal la différence y entre son contenu et la valeur estimée du bruit de fond (A), en faisant s'il y a lieu une correction de temps mort.

En supposant qu'il n'y ait pas de cumul de temps mort, cette correction vaut en pourcentage :

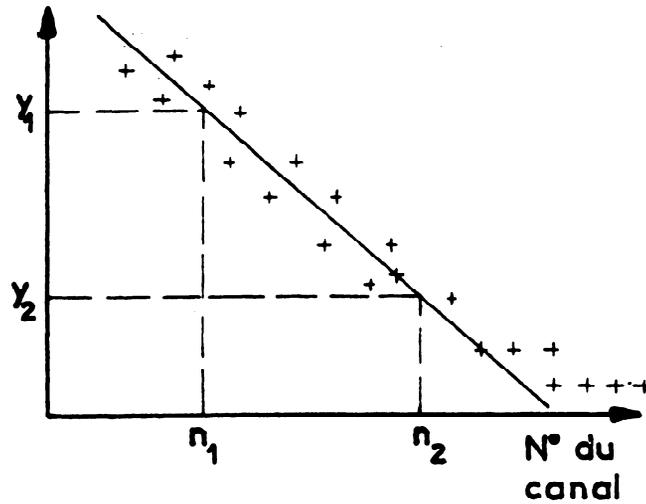
$$\frac{\mu n}{\theta - \mu n} \times 100$$

n : nombre de coups enregistrés dans le canal considéré

μ : temps mort par coup = 5 μ s.

θ : $N \times \Delta t \mu_s$: temps d'ouverture total du canal = produit du nombre de cycles par la largeur des canaux.

log. du nombre Y de coups



log. du nombre Y de coups

α est la pente de la partie linéaire de la courbe obtenue et se calcule par :

$$\alpha \text{ (s}^{-1}\text{)} = \frac{10^6}{(n_2 - n_1) (\Delta t + 10)} \log \frac{Y_1}{Y_2}$$

Y_1 et Y_2 correspondent aux canaux n_1 et n_2 de début et de fin de la décroissance.

2° - Calcul machine :

C'est une méthode des moindres carrés mise au point par M. Morier (Programme "Capucine" SEC/024). Elle consiste à itérer la valeur du bruit de fond sur la fin de la décroissance pour que le début s'identifie au mieux à une exponentielle dont on calcule à chaque fois l'argument.

3° - Résultats : (fig. 15)

$$C = 33,28 \text{ g/l}$$

$$H_c = 327,6 \text{ mm}$$

Niveau Pu en mm	Ecart par rapport au niveau critique corrigé en f. des comptages	Fréquence des pulses	Δt μs	α	
				Méthode graphique	Calcul machine
320	$7,6 \pm 0,05$	1	40	$252 \pm 5,5$	243,3
321	$6,3 \pm 0,1$	1	40	222 ± 5	216
323	$4,36 \pm 0,06$	1	40	$174,5 \pm 4,5$	174
325,2	$2,4 \pm 0,05$	1	80	$130,5 \pm 3$	123,4
326,2	$1,4 \pm 0,05$	0,6	80	$106,5 \pm 2,5$	100,3

* Les barres d'erreur indiquées tiennent compte uniquement de l'incertitude sur la pente de la droite représentant la décroissance en coordonnées semi-log.

$$\alpha_c = 73 \pm 6 \text{ s}^{-1}$$

On obtient par extrapolation : et $\beta_{eff} = 3,1 \pm 0,4 \text{ mm}$ critiques

Si l'on adopte pour $\beta_{eff} = \beta_{ANL} \times \epsilon$ où ϵ est l'efficacité des neutrons retardés

($1 < \epsilon < 1,1$), la valeur

$$210 \times 1,05 \approx 220 \text{ pcm}$$

$$l : \text{ temps de vie des neutrons prompts est } l = \frac{220 \cdot 10^{-5}}{73} \approx 30 \pm 5 \mu s$$

CINQUIEME PARTIE

CONTROLE DE LA CONCENTRATION DU STOCKAGE ANNULAIRE PAR COMPTAGE DE NEUTRONS

Un compteur à BF_3 du type 14 NE 31, disposé au centre du réservoir annulaire de stockage, nous a permis de suivre l'évolution de l'émission neutronique de la solution de Pu avec la concentration.

On sait que le réservoir est en tôle d'acier inoxydable (épaisseur 3 mm) et qu'il présente les dimensions suivantes : (fig. 6)

- diamètre intérieur (de la lame de solution) 90 cm
- diamètre extérieur 98 cm
- épaisseur utile 4 cm
- hauteur 80 cm

Contre la paroi intérieure, se trouve une couronne de paraffine de même hauteur et d'épaisseur 10 cm.

Cette paraffine est enfermée dans des containers en aluminium de section sensiblement rectangulaire, et dont deux côtés sont tapissés d'une feuille de cadmium d'épaisseur 0,7 mm de sorte qu'une fois tous les containers mis en place, seule la face interne de la couche de paraffine (celle qui regarde vers l'axe du réservoir) ne porte pas de cadmium (fig. 6).

Les neutrons détectés par le compteur sont de deux sortes :

- Les neutrons erratiques émis par différentes sources Ra-Be pouvant se trouver dans le hall : ils entretiennent un bruit de fond d'intensité variable avec l'emplacement des sources, qu'il faut faire intervenir comme terme correctif.
- Les neutrons émis par la solution (fissions spontanées du Pu-240 et réactions α, n) qui sont thermalisés dans la paraffine, et qui, sortant en direction du compteur, y sont absorbés.

Une correction doit être faite également pour tenir compte de la variation de l'angle solide avec la concentration puisque le volume de solution change. Des comptages effectués à différentes hauteurs pour une même concentration indiquent une variation proportionnelle (fig. 15).

Ces deux corrections étant faites, on constate que les comptages sont proportionnels à la concentration dans la plage étudiée de 0 à 45 g/l (courbe 2). Du fait de l'importance des fuites, la multiplication est trop faible pour être décelée.

Remarque :

Pour l'ensemble réservoir-paraffine (sans le cadmium), le calcul donne un Keff compris entre 0,345 et 0,662, lorsque la concentration en Pu varie de 10 à 50 g/l (Rapport de Sécurité).

Les figures 16 et 17 donnent respectivement :

- La mesure du comptage en fonction de la hauteur pour une même concentration.
- La mesure du comptage en fonction de la concentration pour une même hauteur.

On peut tirer de ces mesures les renseignements suivants :

- a) - La concentration de Plutonium dans le réservoir peut être suivie avec une précision de ± 10 p. 100.
- b) - Ce type de réservoir présente l'avantage de fournir une bonne efficacité à la détection des neutrons spontanés, si l'on peut placer le compteur au centre.

On a constaté en particulier que la répartition du Plutonium influe peu sur le comptage. L'introduction du Plutonium se faisant en un point, le comptage est pratiquement égal avant et après homogénéisation.

Ceci se comprend car la multiplication dans le réservoir est très faible, et tous les neutrons émis par ce réservoir se ralentissent dans la paraffine de la même façon.

Cette constatation sera particulièrement intéressante, sur ce type de réservoir pour le Plutonium. Si la solution fissile présentait une activité γ , on pourrait facilement mettre au centre un système de comptage par chambres à fission et offrant une efficacité suffisante.

CONCLUSIONS UTILISABLES POUR LA SECURITE

On peut retenir, des expériences faites sur cette première cuve, quelques résultats utilisables dans la sécurité des usines.

Pour le récipient essayé, réfléchi latéralement et sur la base :

$$\varnothing \text{ int.} = 324 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ ext.} = 330 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

fond bombé (voir figure n° 9)

a) - La masse critique minimum est : $M_{c \text{ min}} = 845 \pm 7 \text{ g}$

Elle correspond à une concentration de 29,75 g/l et à une hauteur de 352,5 mm.

b) - La concentration critique minimum, c'est-à-dire pour le récipient plein, est de $19 \pm 1,5 \text{ g/l}$.

c) - Si l'on est juste critique (criticalité contrôlée par les neutrons retardés) au niveau h_c correspondant à la masse critique minimum, les mesures sur α nous permettent de dire que l'on est prompt critique (criticalité incontrôlable), à $3,1 \pm 0,4 \text{ mm}$ au-dessus de h_c .

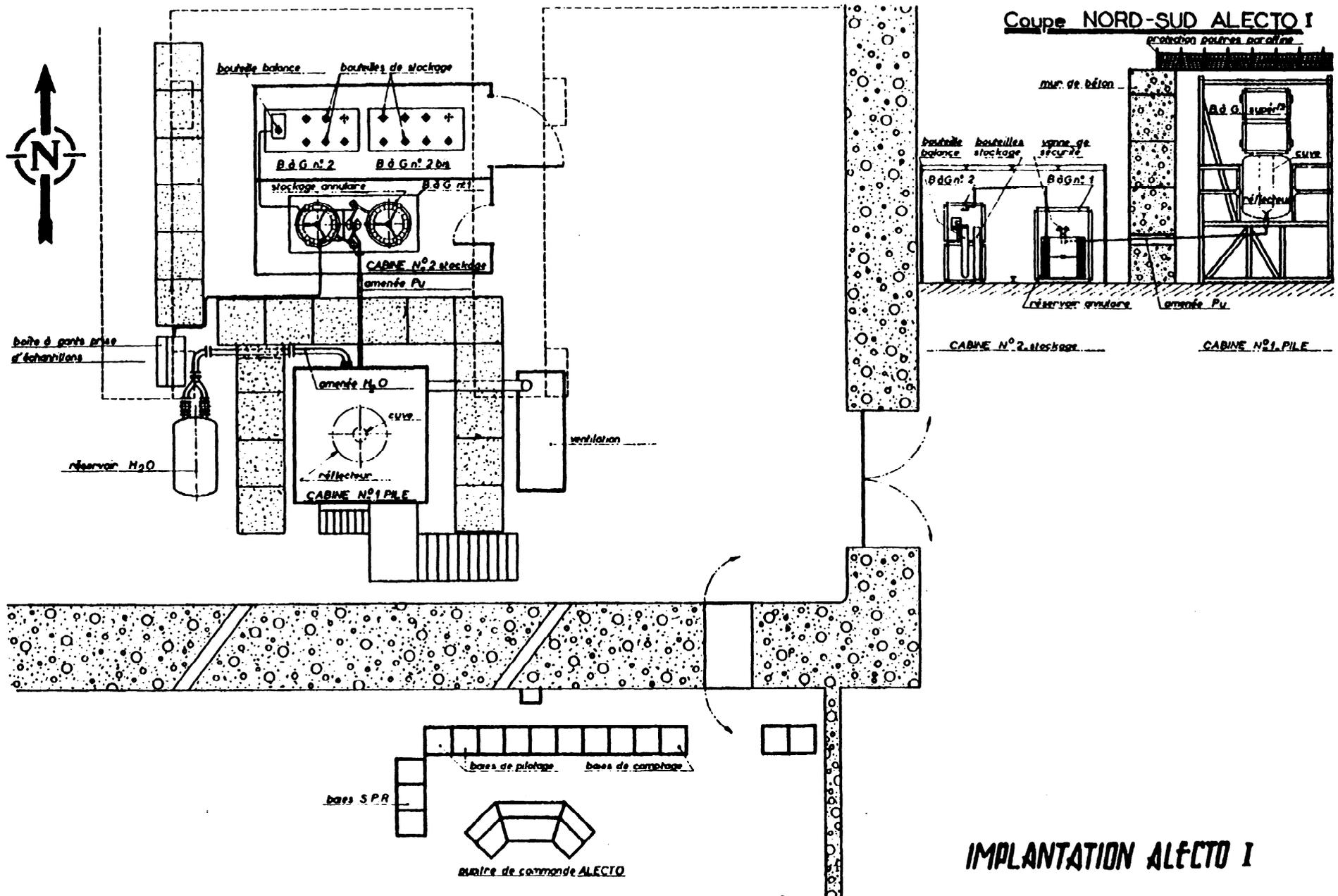
d) - Dans un réservoir annulaire épais de 4 cm, et dont la face interne est couverte de cadmium et d'une couche de paraffine de 10 cm, on peut suivre la concentration en Plutonium à l'aide d'un compteur BF3 placé au centre avec une précision de 10 p. 100.

Manuscrit reçu le 25 mars 1963.

- BIBLIOGRAPHIE -

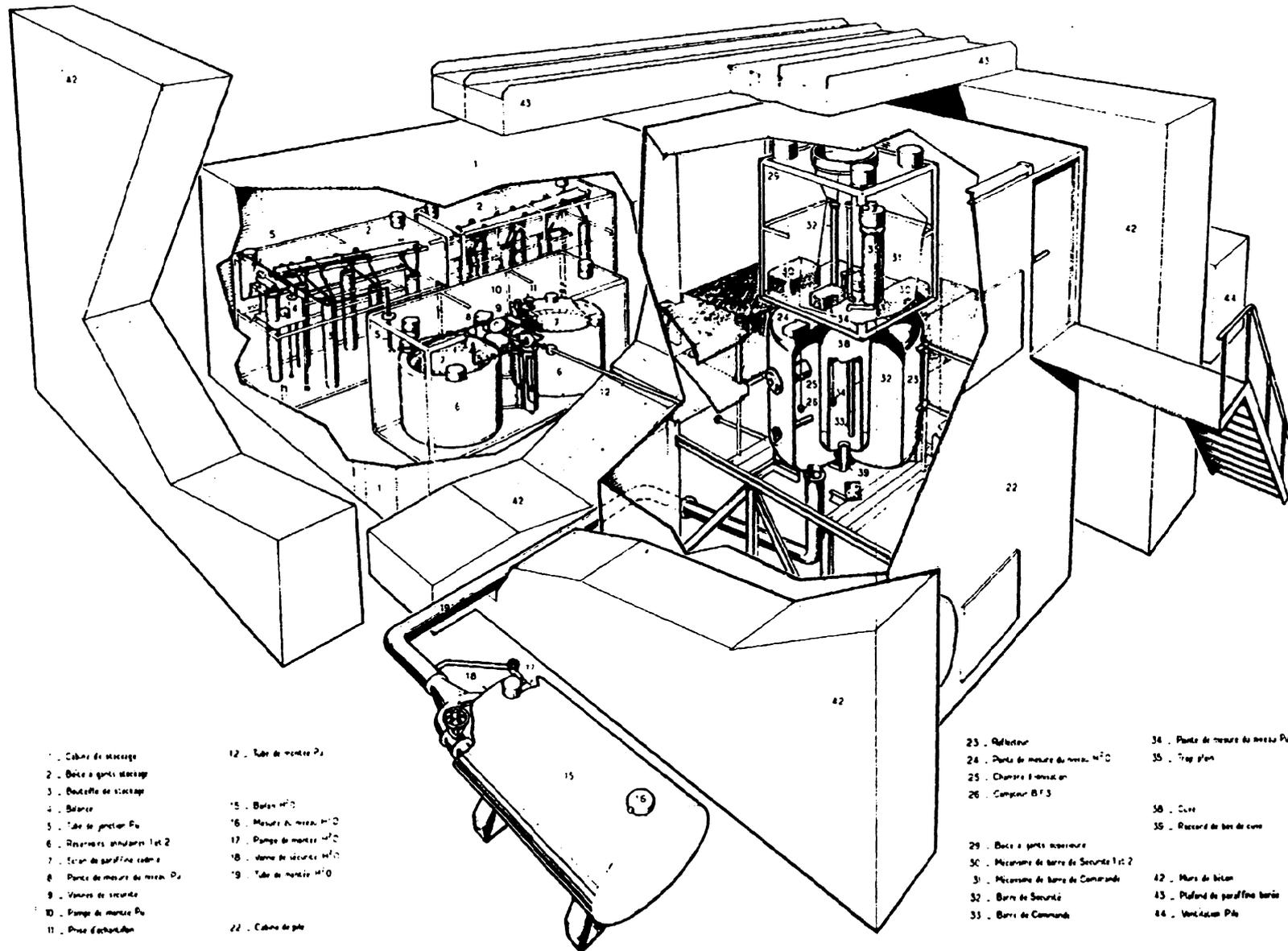
- 1 EC/S n° 86 Rapport de sûreté d'une expérience de criticalité sur une solution de Plutonium ALECTO par R. CAIZERGUES, C. CLOUET d'ORVAL, J. KREMSER, P. VERRIERE.
- 2 SEPP 143-61 Calcul de la dose reçue en cas d'excursion critique de 10^{18} fissions. ALECTO par MM. BARTHE et RASTOIN.
- 3 Critical Mass Studies of Pu Solutions F. E. KRUESI, J. O. ERKMAN, D. D. LANNING (HANFORD), Mai 1952
H. W. - 24 514 DEL
- 4 Pu Water Critical Assemblies
C. C. HORTAN, J. D. Mc CULLEN (HARWELL)
Conférence de Genève 1955 - P/248
- 5 Parametric Survey of Critical Size
W. M. ROACH (LOS ALAMOS)
- 6 ANL 5 800
Reactor Physics Constants (1958)
- 7 PDQ 02 - WAPD - PDQ - 2 - 90 - June 14, 1961
- 8 ORNL 2081
Parameters for two group analysis of control experiments with water reflected spheres of UO_2 F_2
J. T. THOMAS
- 9 ANL 6423
Multigroup calculations of effective neutron fraction β_{eff} , prompt neutron lifetime l_p and related kinetics parameters for large fast, Pu fueled reactor
H. A. SANDMEIER.

*Edité par
le Service de Documentation du C.E.A.
Centre d'Études Nucléaires de Saclay
Boite Postale n° 2 - GIF-sur-YVETTE (S.-et-O.)
France.*



IMPLANTATION ALECTO I

EXPERIENCE CRITIQUE ALECTO



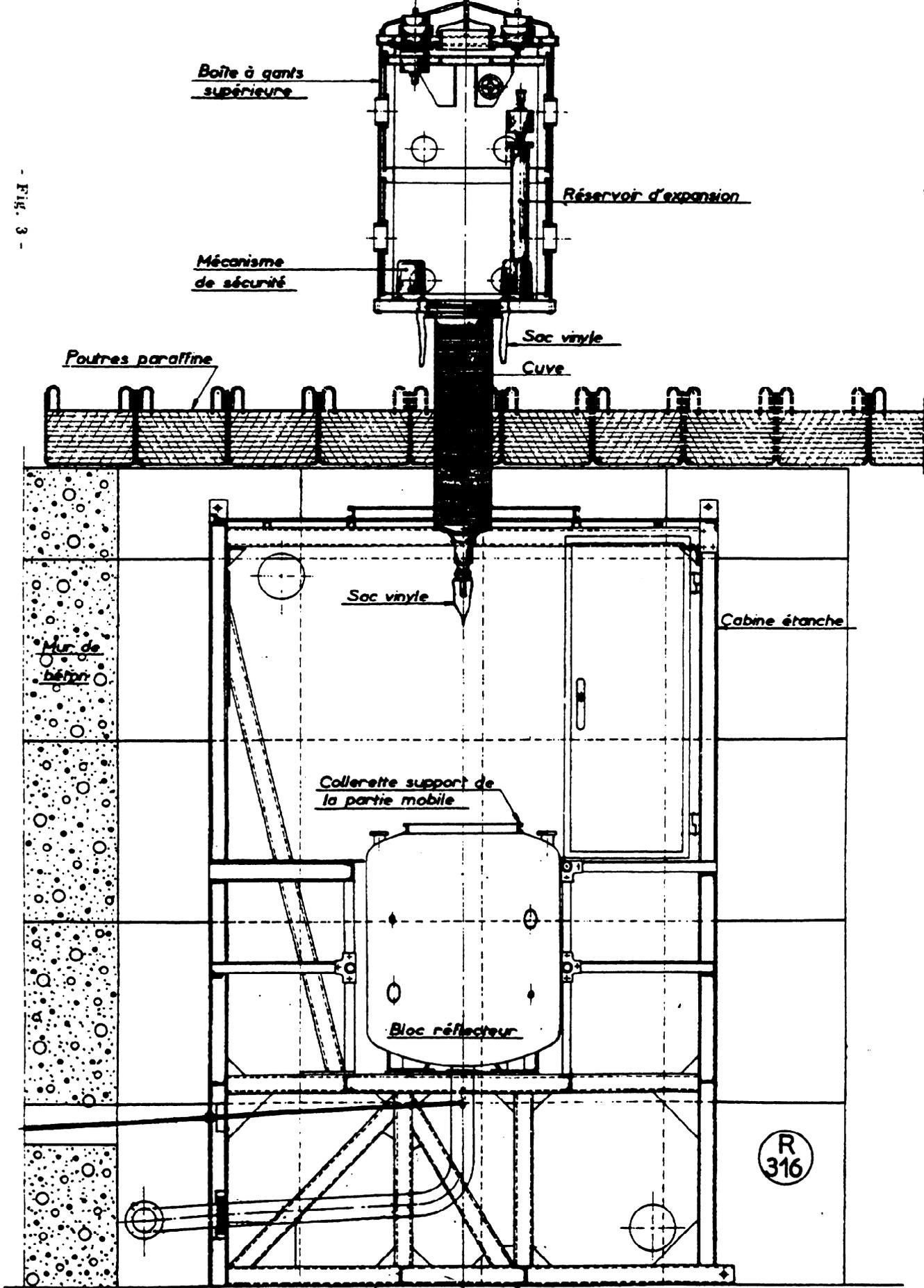
- Fig. 2 -

- 1 . Cabine de stockage
- 2 . Boîte à gants stockage
- 3 . Boutelle de stockage
- 4 . Balance
- 5 . Tube de pression Pu
- 6 . Réservoirs annulaires Tot 2
- 7 . Scrin de paraffine totale
- 8 . Pointe de mesure de niveau Pu
- 9 . Vannes de sécurité
- 10 . Pompe de mesure Pu
- 11 . Prise d'échantillon

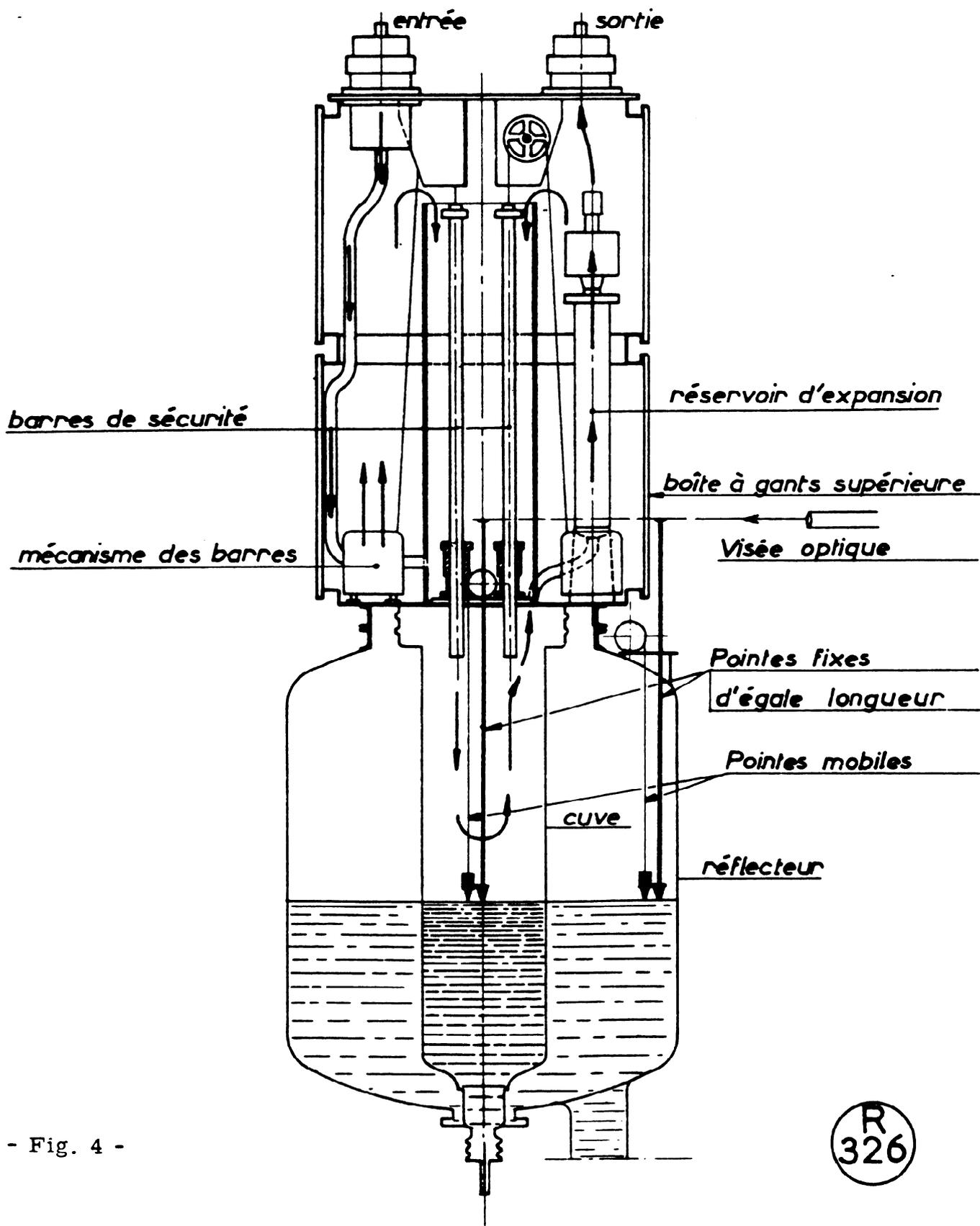
- 12 . Tube de mesure Pu
- 15 . Boîtes H²O
- 16 . Mesure de niveau H²O
- 17 . Pompe de mesure H²O
- 18 . Vanne de sécurité H²O
- 19 . Tube de mesure H²O
- 22 . Cabine de pile

- 23 . Reflecteur
- 24 . Pointe de mesure de niveau H²O
- 25 . Chambre d'analyse en
- 26 . Comparateur B.F.3
- 29 . Boîte à gants recevoir
- 30 . Mécanisme de barre de Sécurité 1 et 2
- 31 . Mécanisme de barre de Commande
- 32 . Barre de Sécurité
- 33 . Barre de Commande
- 34 . Pointe de mesure de niveau Pu
- 35 . Tray plan
- 36 . Clef
- 37 . Raccord de bar de cure
- 42 . Murs de béton
- 43 . Plafond de paraffine totale
- 44 . Ventilateur Pile

DEMONTAGE DES ELEMENTS DE LA PILE



- Fig. 3 -

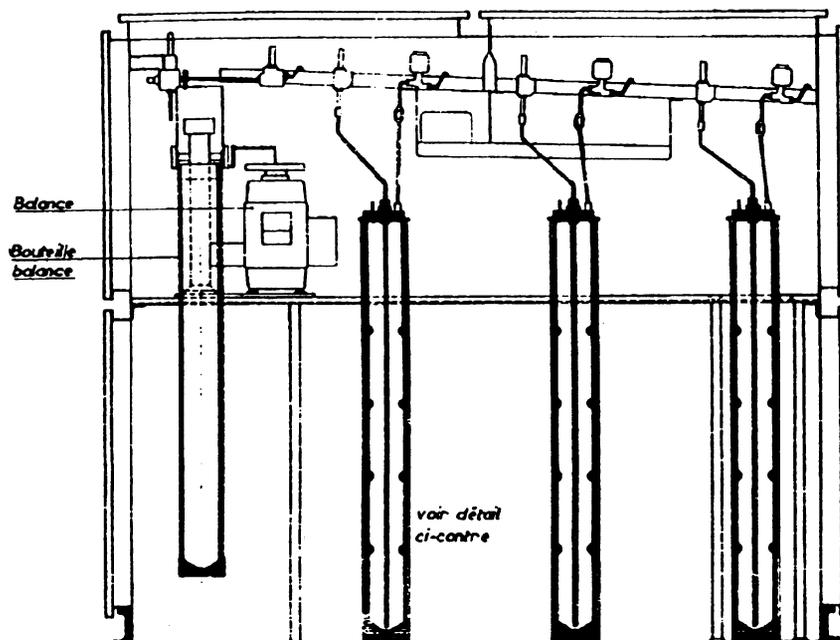


- Fig. 4 -

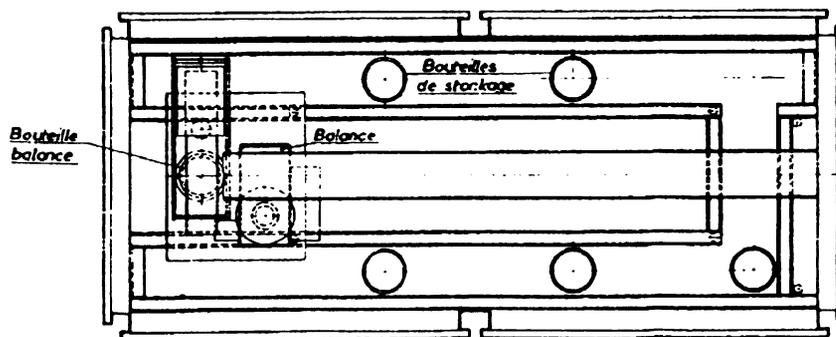
R
326

BOÎTE A GANTS SUPRE

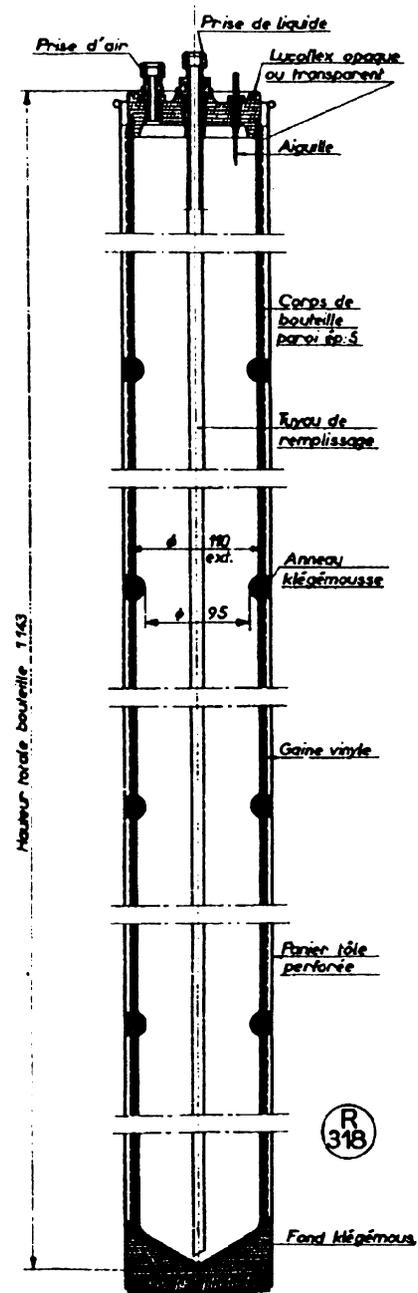
STOCKAGE PRIMAIRE bouteilles



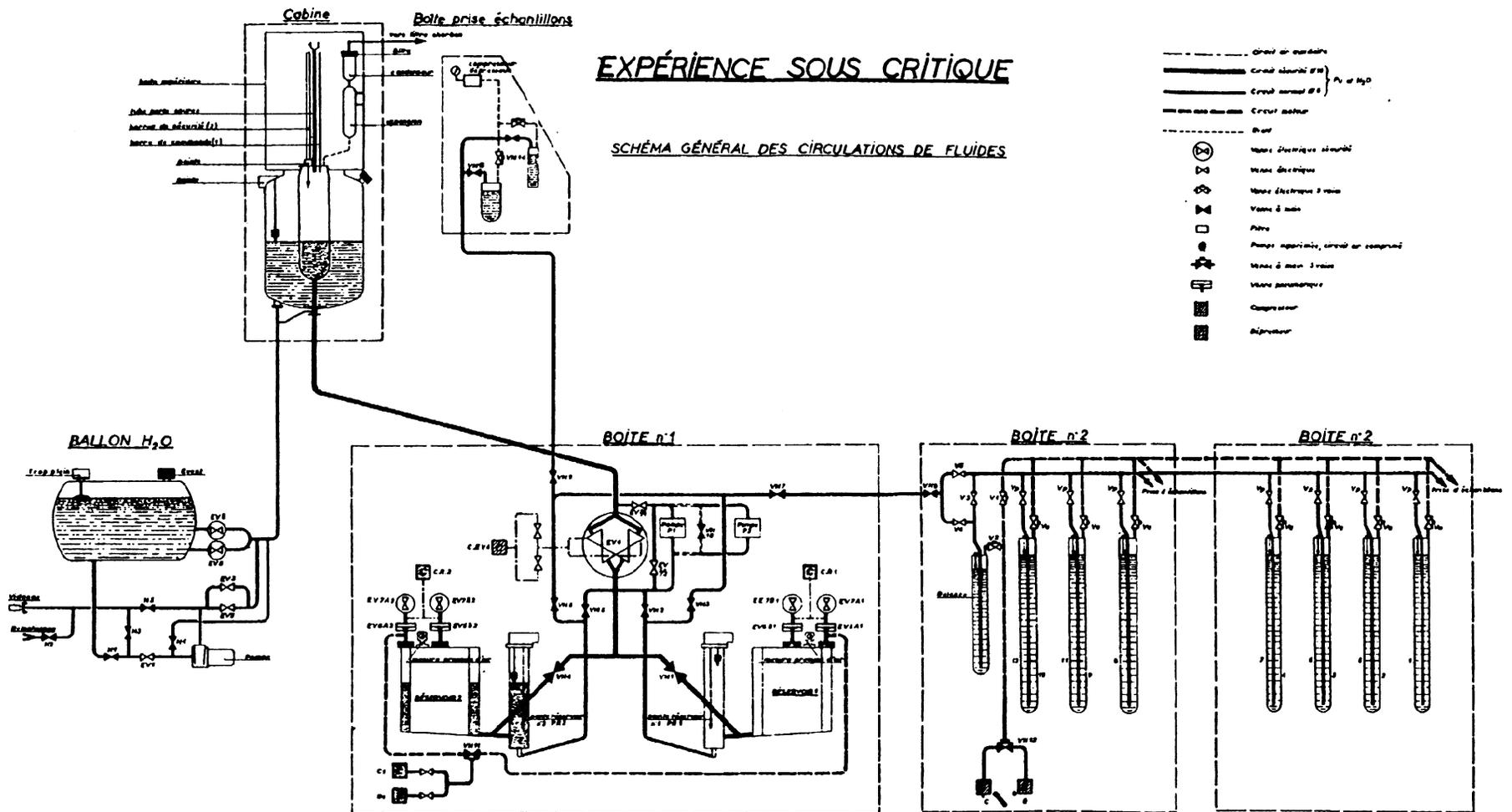
BOITE A GANTS N°2



DÉTAIL BOUTELLE DE STOCKAGE



- Fig. 5 -



- Fig. 7 -

- ALECTO -
SCHÉMA GÉNÉRAL DES
CIRCULATIONS DE FLUIDES

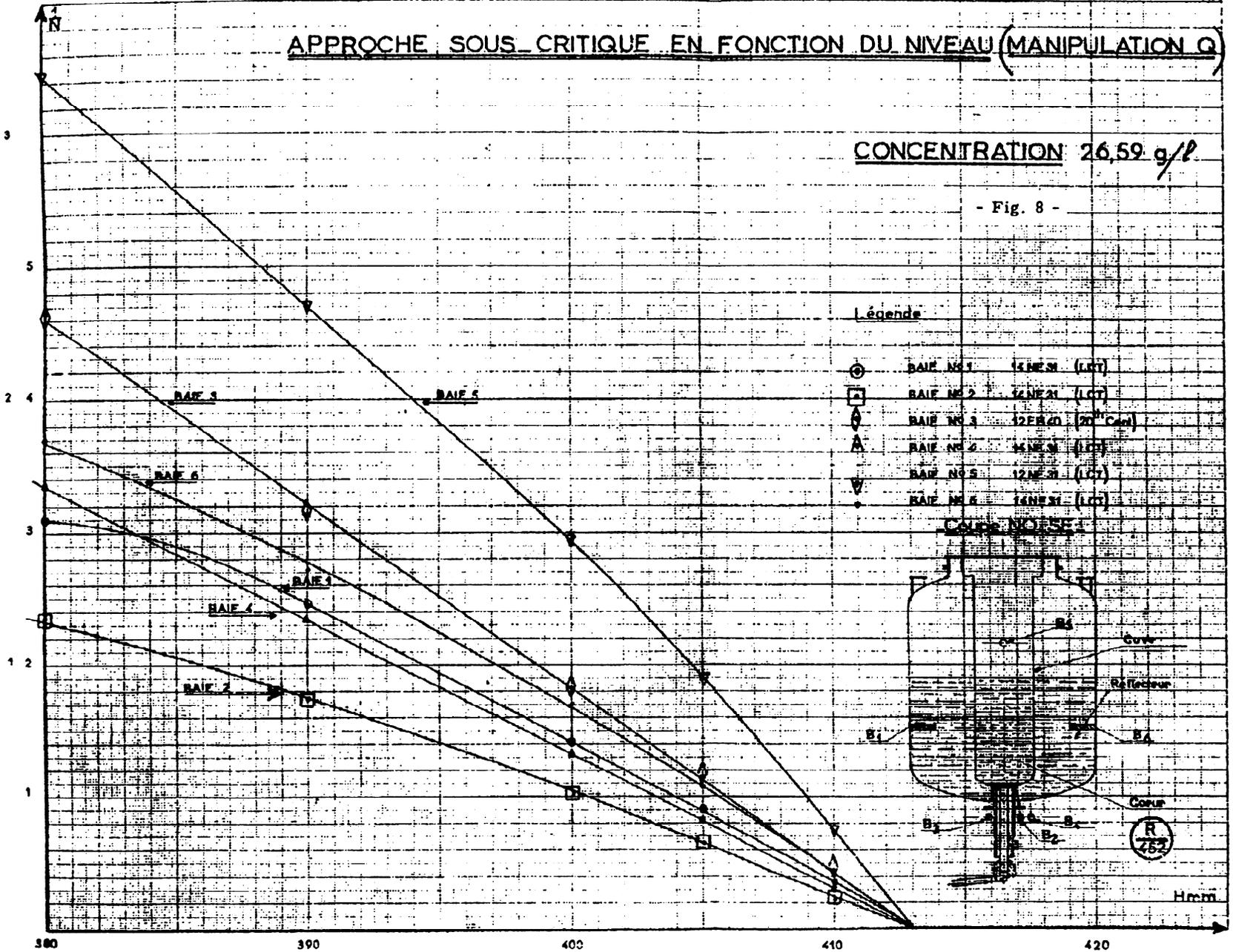
APPROCHE SOUS CRITIQUE EN FONCTION DU NIVEAU (MANIPULATION Q)

CONCENTRATION 26,59 g/l

- Fig. 8 -

Légende

- ⊙ BAIE N°1 14NE51 (LCT)
- ⊠ BAIE N°2 14NE21 (LCT)
- ◇ BAIE N°3 12NE20 (20th C&M)
- ▲ BAIE N°4 14NE31 (LCT)
- ▽ BAIE N°5 12NE31 (LCT)
- BAIE N°6 14NE31 (LCT)

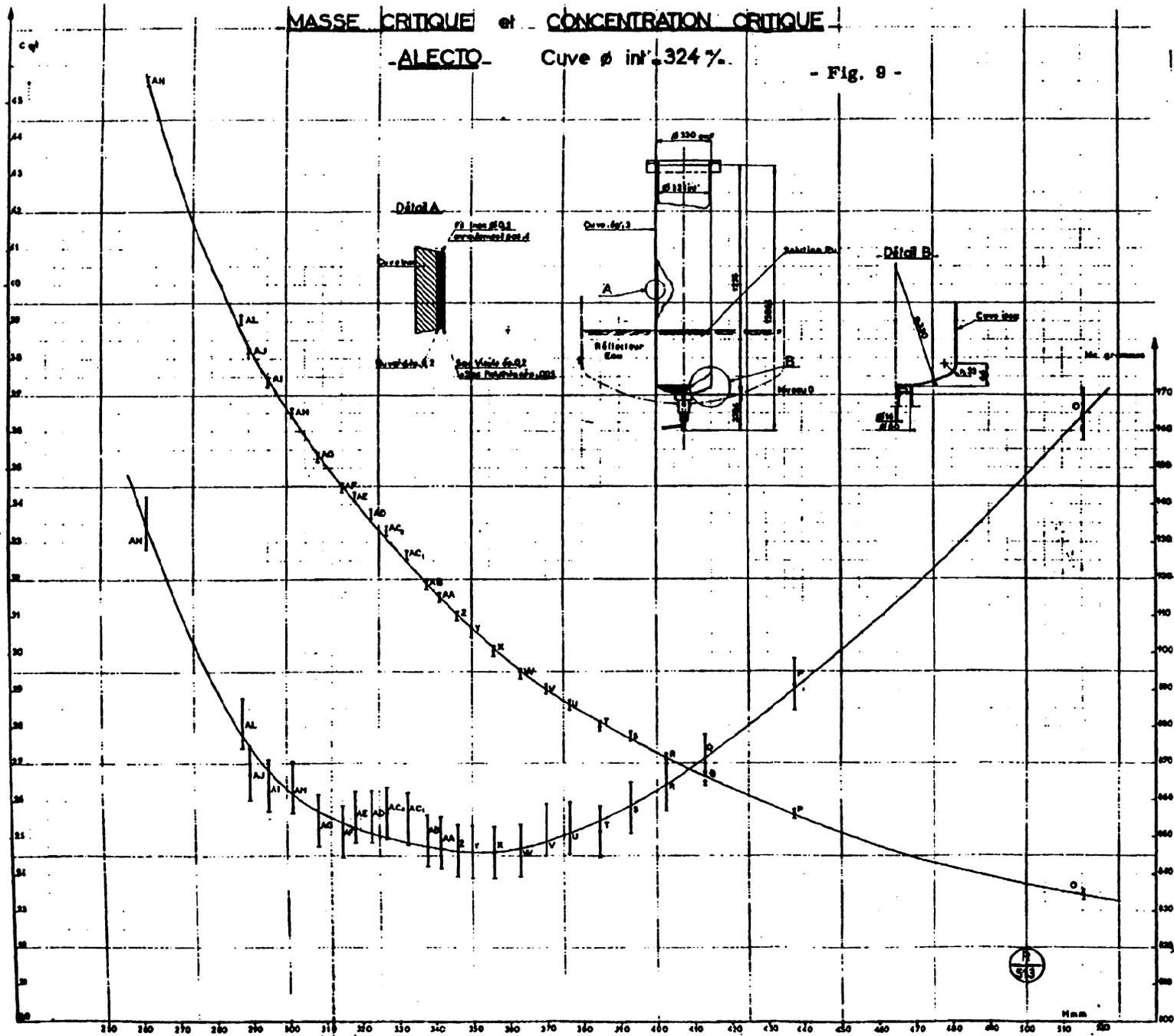


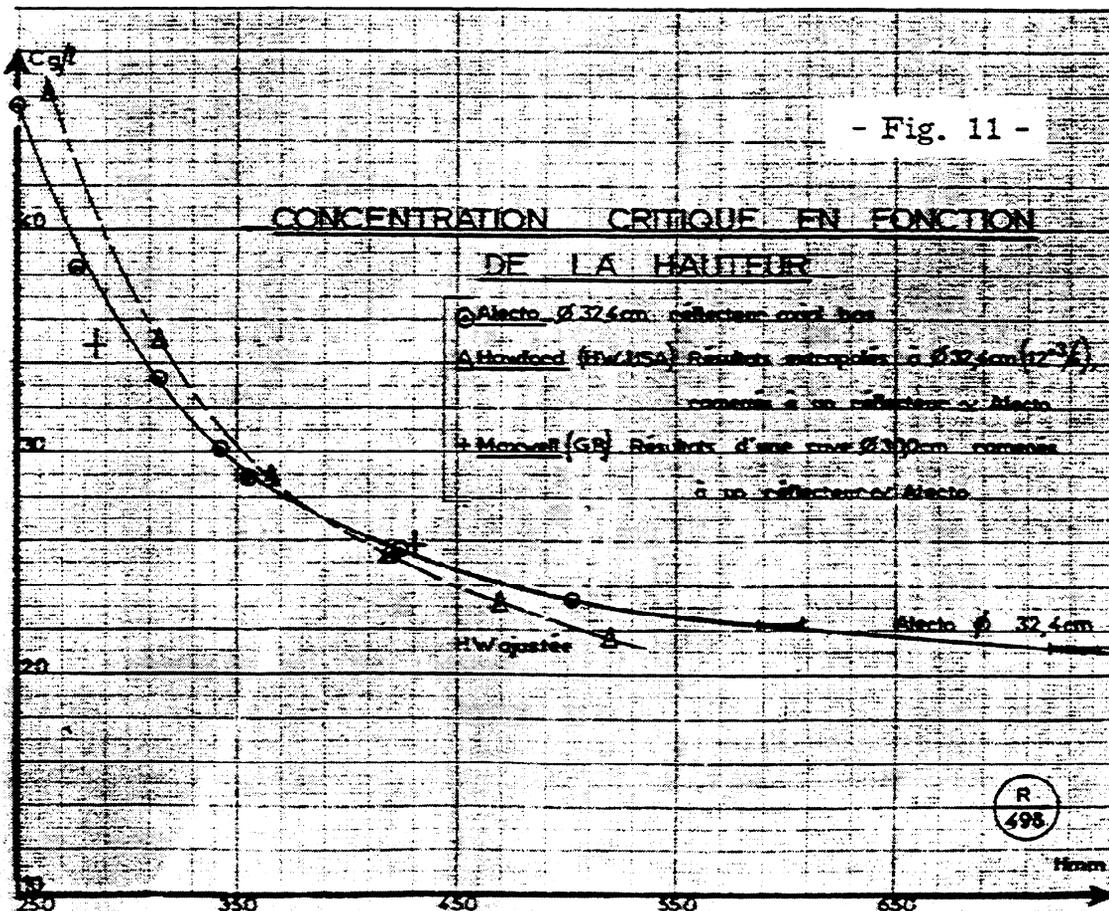
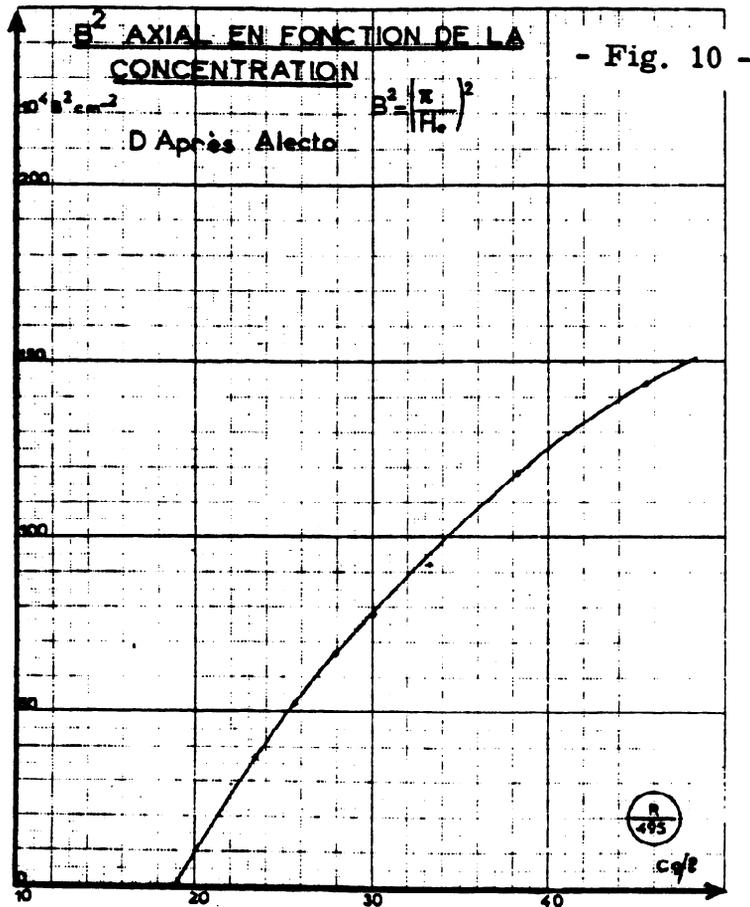
MASSE CRITIQUE et CONCENTRATION CRITIQUE

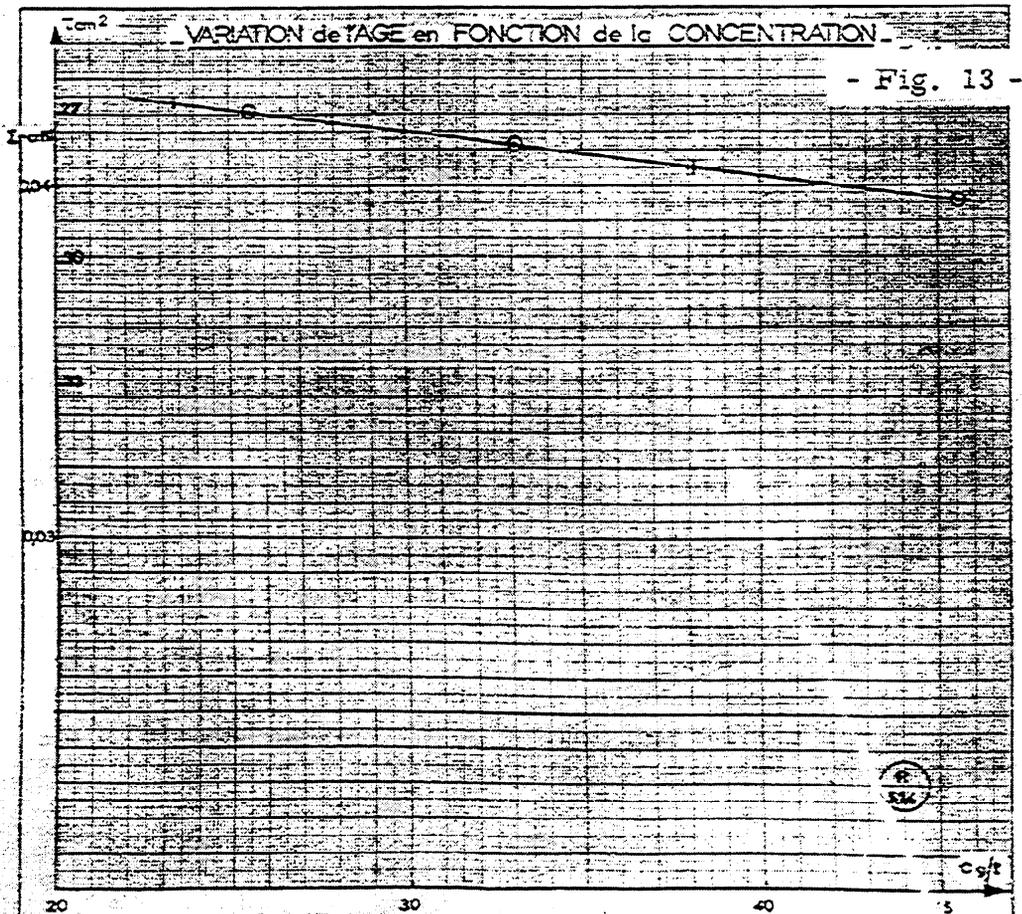
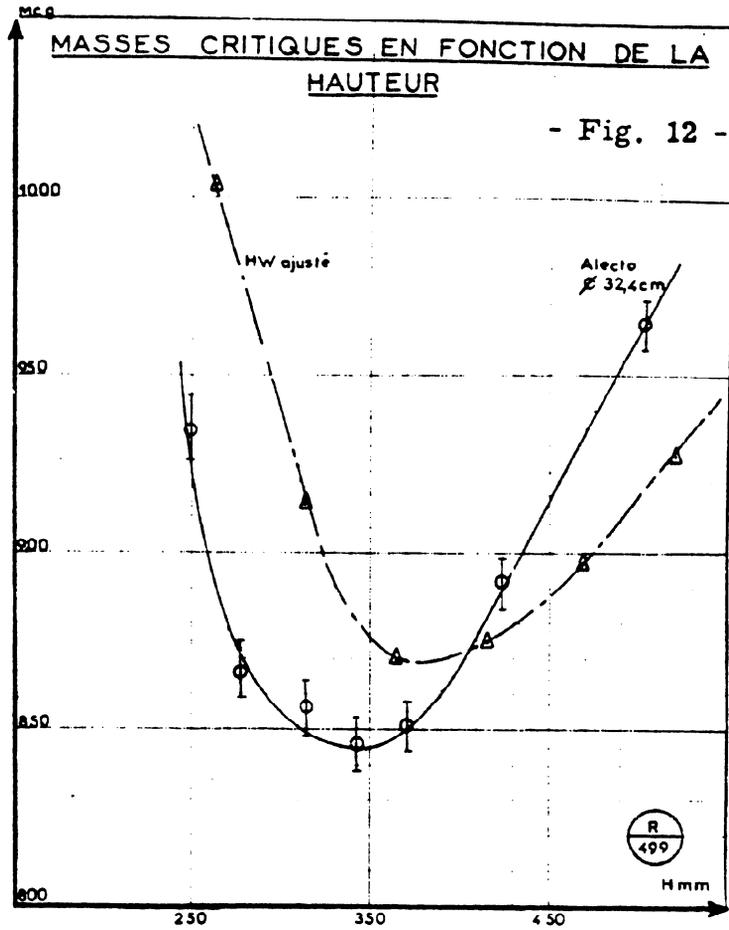
-ALECTO-

Cuve ϕ int. 324 mm.

- Fig. 9 -



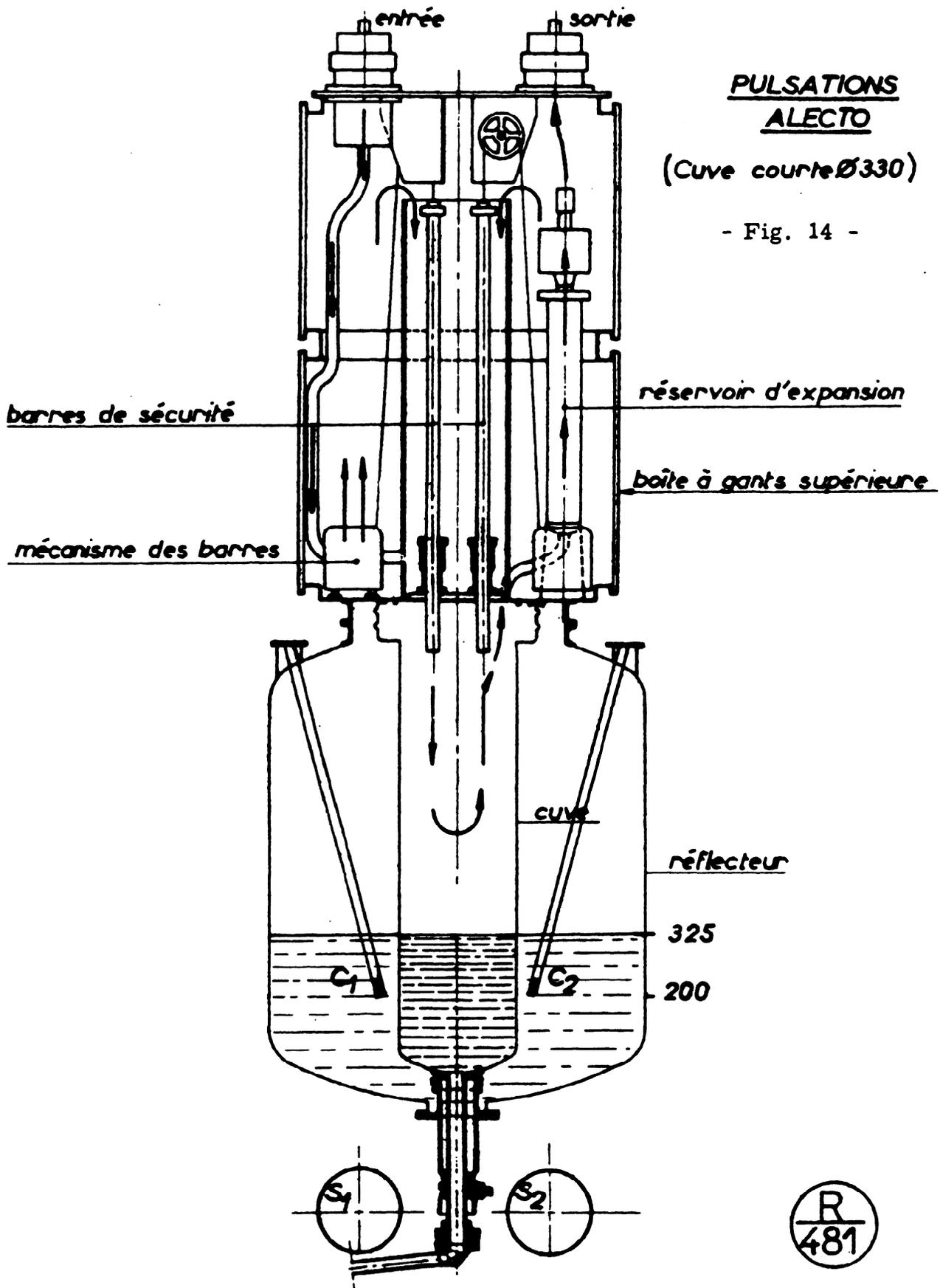




PULSATIONS
ALECTO

(Cuve courte Ø330)

- Fig. 14 -

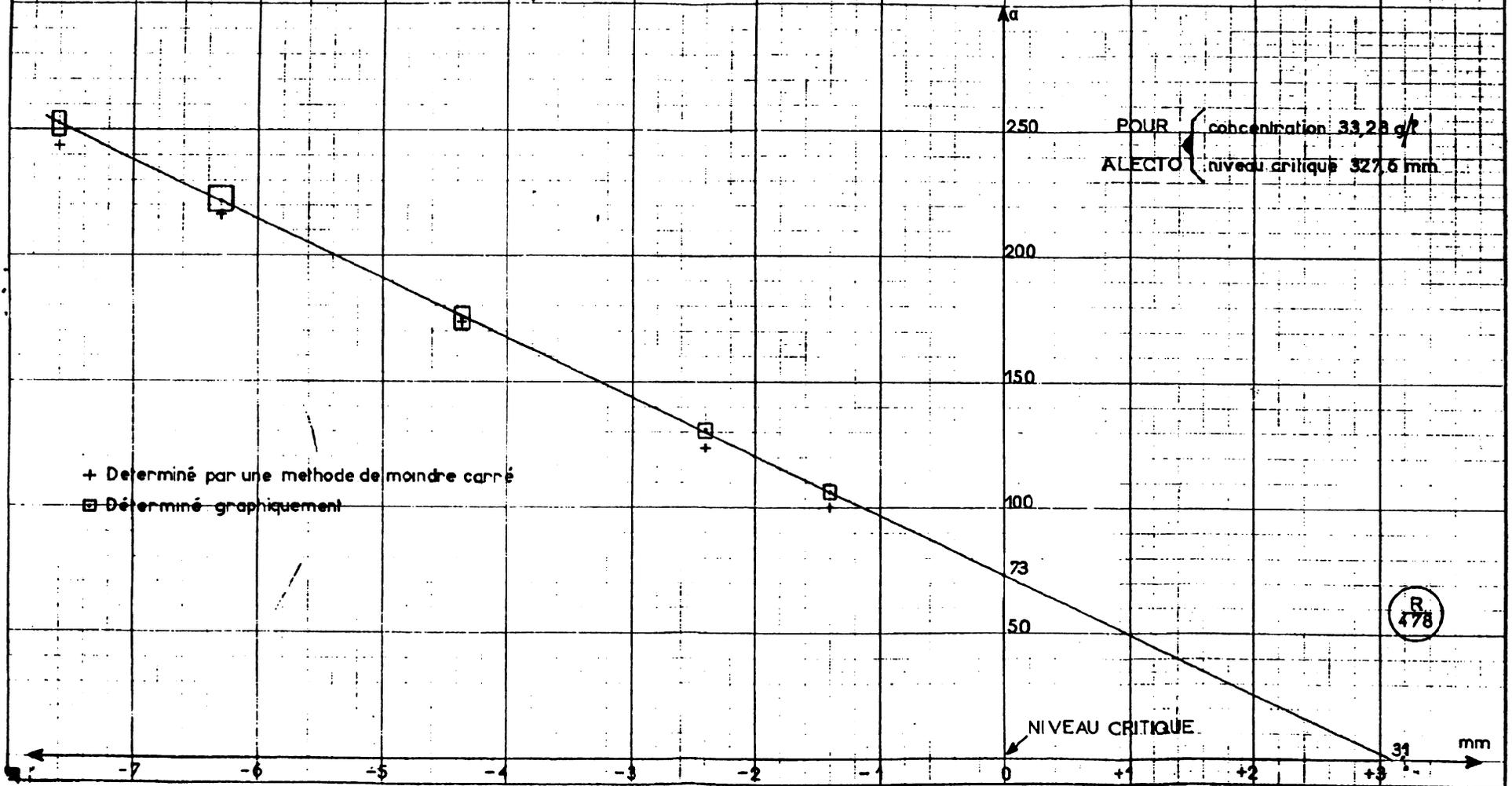


C_1, C_2 Chambres à fissions
 S_1, S_2 Sources de neutrons pulsées



CONSTANTE DE DECROISSANCE DES NEUTRONS PROMPTS PAR LA METHODE DES PULSATIONS

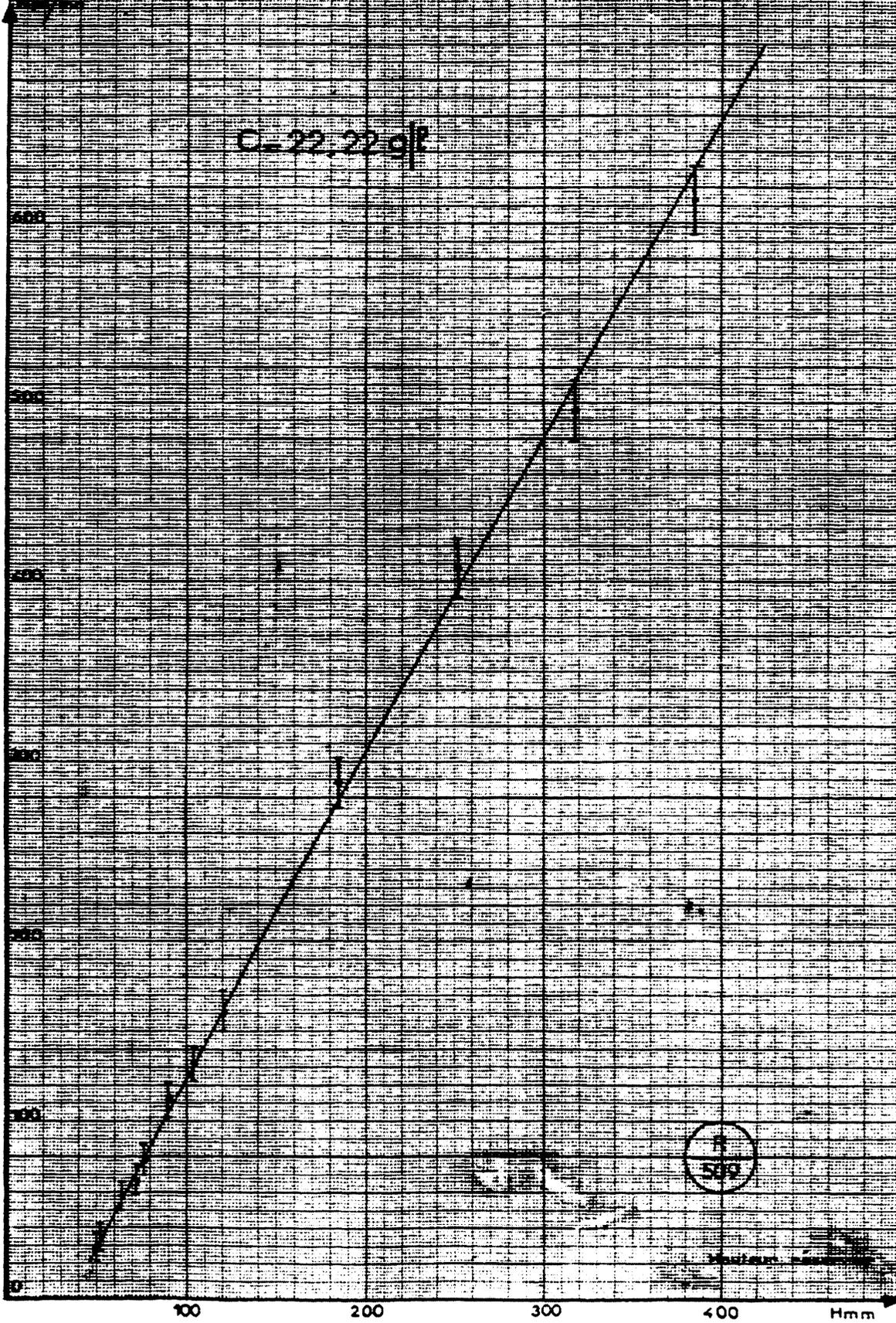
- Fig. 16 -



RÉSERVOIR ANNULAIRE

- Fig. 16 -

Taux de compage en fonction du niveau



509

- Fig. 17 -

