

**J. C. BOULY, R. CAIZERGUES, E. DEILGAT, M. HOUELLE, AND L. MAUBERT,
"NEUTRON INTERACTION IN AIR BETWEEN CYLINDRICAL CONTAINERS
HOLDING EITHER URANIUM OR PLUTONIUM SOLUTIONS," (IN FRENCH)
COMMISSARIAT a l'ENERGIE ATOMIQUE REPORT CEA-R-3946 (MARCH 1970).**

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

10.1

INTERACTION NEUTRONIQUE DANS L'AIR
DE RECIPIENTS CYLINDRIQUES
CONTENANT SOIT DES SOLUTION D'URANIUM,
SOIT DES SOLUTIONS DE PLUTONIUM

par

*Jean-Claude BOULY, Robert CAIZERGUES,
Edouard DEILGAT, Michel HOUELLE,
Louis MAUBERT*

DIRECTION DE LA PROTECTION
ET DE LA SURETE RADIOLOGIQUES

Rapport CEA - R - 3946

1970

Ja*

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A

C.E.N - SACLAY B.P. n°2, 91 - GIF-sur-YVETTE - France

A partir de 1968, les rapports CEA sont classés selon les catégories qui figurent dans le plan de classification ci-dessous et peuvent être obtenus soit en collections complètes, soit en collections partielles d'après ces catégories.

Ceux de nos correspondants qui reçoivent systématiquement nos rapports à titre d'échange, et qui sont intéressés par cette diffusion sélective, sont priés de se reporter à la lettre circulaire CENS/DOC/67/4690 du 20 décembre 1967 que nous leur avons adressée, et qui précise les conditions de diffusion.

A cette occasion nous rappelons que les rapports CEA sont également vendus au numéro par la Direction de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, Paris 7^e.

PLAN DE CLASSIFICATION

- | | | | |
|------|---|------|---|
| 1. | APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES ISOTOPES ET DES RAYONNEMENTS | 8. | PHYSIQUE |
| 2. | BIOLOGIE ET MEDECINE | 8. 1 | Accélérateurs |
| 2. 1 | Biologie générale | 8. 2 | Electricité, électronique, détection des rayonnements |
| 2. 2 | Indicateurs nucléaires en biologie | 8. 3 | Physique des plasmas |
| 2. 3 | Médecine du travail | 8. 4 | Physique des états condensés de la matière |
| 2. 4 | Radiobiologie, radioagronomie | 8. 5 | Physique corpusculaire à haute énergie |
| 2. 5 | Médecine nucléaire | 8. 6 | Physique nucléaire |
| 3. | CHIMIE | 8. 7 | Optique, électronique quantique |
| 3. 1 | Chimie générale et organique, Chimie physique | 8. 8 | Physique atomique et moléculaire |
| 3. 2 | Chimie analytique | 9. | PHYSIQUE THEORIQUE ET MATHEMATIQUES |
| 3. 3 | Procédés de séparation | 10. | PROTECTION ET CONTROLE DES RAYONNEMENTS, TRAITEMENT DES EFFLUENTS |
| 3. 4 | Radiochimie | 10.1 | Protection sanitaire |
| 4. | ETUDES DU DOMAINE DE L'ESPACE | 10.2 | Contrôle des rayonnements |
| 5. | GÉOPHYSIQUE, GÉOLOGIE, MINÉRALOGIE ET MÉTÉOROLOGIE | 10.3 | Traitement des effluents |
| 6. | MÉTALUX, CÉRAMIQUES ET AUTRES MATÉRIAUX | 11. | SEPARATION DES ISOTOPES |
| 6. 1 | Fabrication, propriétés et structure des matériaux | 12. | TECHNIQUES |
| 6. 2 | Effets des rayonnements sur les matériaux | 12.1 | Mécanique des fluides, techniques du vide et des hautes pressions |
| 6. 3 | Corrosion | 12.2 | Transferts thermiques, techniques du froid et de la chaleur |
| 7. | NEUTRONIQUE, PHYSIQUE ET TECHNOLOGIE DES REACTEURS | 12.3 | Mécanique, outillage |
| 7. 1 | Neutronique et physique des réacteurs | 12.4 | Contrôle des matériaux |
| 7. 2 | Refroidissement, protection, contrôle et sécurité | 13. | UTILISATION ET DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE ATOMIQUE |
| 7. 3 | Matériaux de structure et éléments classiques des réacteurs | 13.1 | Centres d'études nucléaires, laboratoires et usines |
| | | 13.2 | Divers (documentation, administration, législation, etc.) |
| | | 14. | ETUDES ECONOMIQUES ET PROGRAMMES |

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VII^e.

The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VII^e.

- Rapport CEA-R-3946 -

Commissariat à l'Energie Atomique
Direction de la Protection et de la Sûreté Radiologiques
Service d'Etudes de Criticité

INTERACTION NEUTRONIQUE DANS L'AIR
DE RECIPIENTS CYLINDRIQUES
CONTENANT SOIT DES SOLUTIONS D'URANIUM
SOIT DES SOLUTIONS DE PLUTONIUM

par

Jean-Claude BOULY, Robert CAIZERGUES,
Edouard DEILGAT, Michel HOUELLE,
Louis MAUBERT

- Mars 1970 -

LISTE DES CHAPITRES

	<u>Pages</u>
- Introduction	
- <u>CHAPITRE I</u> Dispositifs expérimentaux	5
- <u>CHAPITRE II</u> Processus expérimental, paramètres mesurés, précision des mesures.	9
- <u>CHAPITRE III</u> Résultats expérimentaux	12
- <u>CHAPITRE IV</u> Remarques sur quelques courbes expérimentales.	18
- <u>CHAPITRE V</u> Confrontation des résultats théoriques à l'expérience.	21
- <u>CHAPITRE VI</u> Normes d'interaction pour des réseaux de tubes dans l'air.	32
- Conclusion	36
- Références bibliographiques	38
- Liste des figures	40
- Liste des tableaux	43

INTERACTION NEUTRONIQUE DANS L'AIR DE RECIPIENTS CYLINDRIQUES CONTENANT SOIT DES SOLUTIONS D'URANIUM, SOIT DES SOLUTIONS DE PLUTONIUM

- I N T R O D U C T I O N -

L'interaction neutronique entre des appareils, et principalement entre des récipients de stockage, est un aspect important de l'étude de sûreté - criticité des installations traitant des matières fissiles; des critères trop pessimistes peuvent nuire à la compacité souhaitée des installations, et par suite augmenter inutilement leur prix de revient.

L'étude de l'interaction de récipients nus dans l'air est relativement simple; cette étude devient délicate et complexe pour une interaction en présence d'écrans modérateurs partiels et pour une interaction en présence à la fois d'écrans modérateurs partiels et de réflecteurs collectifs.

Les expériences réalisées et celles que nous poursuivons devraient permettre d'éprouver, voire d'améliorer, les méthodes théoriques utilisées pour les calculs d'interaction dans les installations. Notre espoir est aussi de pouvoir dégager de cette étude des règles pratiques simples et réalistes, ainsi que des normes d'interaction.

Ce rapport traite uniquement de l'interaction neutronique dans l'air. Un rapport ultérieur traitera des effets sur l'interaction de divers écrans et réflecteurs (béton, paraffine, permali, plexiglass, bitume ...).

CHAPITRE I

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

I.1. - MESURES SUR L'URANIUM

L'appareillage utilisé "CASTOR et POLLUX" est installé dans la cellule N° 1 de la Station de Criticité décrite par ailleurs (1) .

Il se compose (voir figures 1 - 2 - 3) de deux cuves cylindriques identiques surmontées chacune d'une boîte à gants contenant les mécanismes de contrôle et de mesure (barre de commande, barres de sécurité, pointe de mesure du niveau de solution). Chacun de ces ensembles se déplace sur deux rails, à partir d'organes de commande situés dans la salle de contrôle; pour des raisons de sécurité, seul l'écartement des cuves est possible lorsqu'elles contiennent la solution active, leur position est connue à ± 1 mm.

Les cuves sont en acier inoxydable Z3CN 18-10, d'épaisseur 3 mm; leur diamètre extérieur est de 300 mm et leur hauteur utile 850 mm.

Le niveau de solution est mesuré à l'aide de pointes palpeuses. Une première pointe donne une mesure grossière à $\pm 1/10$ mm, une seconde pointe, une mesure fine au $1/100$ mm.

Le stockage de la solution est réalisé en sous-cellule, dans un réservoir annulaire de diamètre intérieur 800 mm et d'épaisseur 60 mm; sa hauteur est de 900 mm et sa capacité de 150 l. La cavité centrale contient un anneau de briques de parafine de 100 mm d'épaisseur entourées de cadmium; il est placé dans une boîte à gants où l'on trouve aussi la pompe de montée de solution et le dispositif de mesure de niveau de solution.

Les ensembles électroniques de contrôle et de sécurité sont situés dans la salle de contrôle, ainsi que le pupitre de commande de l'appareillage.

I.2. - MESURES SUR LE PLUTONIUM

Le dispositif expérimental utilisé "Appareillage B" est situé dans la cellule N° 2 de la Station de Criticité.

Il est constitué (figures 4 - 5 - 6) par deux rails horizontaux sur lesquels peuvent se déplacer des ponts roulants; à ces ponts sont suspendus les récipients cylindriques par l'intermédiaire de chariots que l'on peut mouvoir le long de ces ponts. Le récipient peut occuper ainsi n'importe quelle position verticale dans l'espace délimité par les rails.

Les récipients sont positionnés manuellement à ± 1 mm avant la montée de solution active. Les cuves expérimentales sont en acier inoxydable Z3CN 18-10, d'épaisseur 3 mm; leur diamètre extérieur est de 300 mm ou de 256 mm, la hauteur utile est de 1010 mm.

Le niveau de solution est mesuré avec une précision de 1/10 mm, à l'aide de pointes vibrantes.

Le stockage de la solution est réalisé en sous-cellule dans des tubes de 100 mm de diamètre placés dans une boîte à gants qui contient aussi la pompe de montée et les vannes pneumatiques de vidange de la solution.

Le contrôle et la commande de l'Appareillage se font à partir d'un pupitre et d'un tableau de commande situés dans la salle de contrôle.

I.3. LES SOLUTIONS DE MATIERES FISSILES

L'uranium est sous forme de nitrate d'uranyle en milieu acide voisin de 2 N; son enrichissement en isotope 235 est de 89,9%. Le tableau N° 1 donne les résultats des analyses isotopiques; dans le tableau N° 2, on trouvera les résultats des analyses chimiques des différentes solutions utilisées repérées par la concentration.

Le tableau N° 3 rassemble les teneurs en impuretés de l'uranium.

Le plutonium est sous forme de nitrate de plutonium à la valence IV, en milieu acide voisin de 2 N. Sa teneur en ^{240}Pu est de 4,23%. Les tableaux 4 - 5 - 6 rassemblent les résultats des analyses isotopiques, chimiques et d'impuretés effectuées sur la solution.

CHAPITRE II

PROCESSUS EXPERIMENTAL, PARAMETRES MESURES

PRECISION DES MESURES.

Le paramètre principal que l'on détermine est le niveau critique de solution. Le processus de détermination de ce paramètre est celui que l'on utilise habituellement : il consiste à effectuer des comptages avec des détecteurs au BF_3 à des niveaux de solution inférieurs au niveau critique, à porter sur un graphique la fonction $\frac{1}{N} = f(H)$ représentant les inverses des comptages des différents détecteurs de l'assemblage en fonction des hauteurs de solution dans la cuve expérimentée lorsqu'elle est seule, dans une cuve pilote lorsqu'il y en a plusieurs en interaction; ensuite, on extrapole linéairement à :

$$\left(\frac{1}{N} = 0, H = H_c \right)$$

L'approche s'effectue généralement jusqu'à 2 ou 3 mm du niveau critique. Les extrapolations effectuées à partir des différents détecteurs se concentrent sur une plage de 2/10 mm.

Les tableaux de résultats comprennent les données suivantes :

- d : distance bord à bord entre les récipients en interaction, mesurée à ± 1 mm.
- H_c : niveau critique de solution. Dans l'appareillage B, c'est le niveau critique déterminé dans la cuve pilote. Dans Castor et Pollux, c'est le niveau critique dans la cuve Castor. Le niveau critique est le même pour toutes les cuves qui communiquent entre elles, mais les hauteurs critiques de solution sont un peu différentes, les bases des cuves n'étant pas toutes dans le même plan horizontal, la différence de niveau des bases est de l'ordre de 1,5 mm.
- $\triangle H_c$: erreur sur la détermination du niveau critique; elle comprend la dispersion des extrapolations linéaires des différents compteurs : $\pm 0,1$ mm et l'imprécision des mesures de niveaux sous-critiques : $\pm 0,1$ mm.
- V_c : volume critique de l'ensemble des récipients.

- ΔV_c : erreur sur le volume critique. On tient compte de l'erreur sur la détermination du niveau critique et des erreurs d'étalonnage, soit 0,1%.
- M_c : masse critique en élément fissile de l'ensemble des récipients, obtenue à partir du volume critique et de la concentration en élément fissile de la solution.
- ΔM_c : erreur sur la masse critique. On tient compte de l'erreur sur le volume critique et de celle commise sur la détermination de la concentration en élément fissile, soit : 0,5%.
- Θ : température donnée par un thermocouple isolé de l'ambiance, plaqué contre la paroi extérieure de la cuve pilote dans la zone de la solution active.

On observe dans l'appareillage B des différences de température entre les expériences. La solution est plus ou moins chauffée suivant les expériences par la pompe centrifuge d'approche sous-critique.

Dans le cas de Castor et Pollux, la température fluctue peu durant une campagne d'expérience; la pompe utilisée est une pompe à membrane.

D'autre part, les solutions de plutonium ont une température plus élevée que celle des solutions d'uranium de 4 à 5°C.

- S_M : section moyenne du cylindre de solution; elle est obtenue par le rapport du volume critique à la hauteur critique et en divisant par le nombre de récipients, dans le cas de l'appareillage B où on ne dispose que d'une seule mesure de niveau de solution pour l'ensemble des cuves. Pour Castor et Pollux où chaque cuve est munie d'un dispositif de mesure de niveau de solution, la section moyenne est donnée pour chaque cuve. Cette valeur n'est pas constante, les cuves n'étant pas géométriquement parfaites. C'est cette section moyenne qui sera utilisée dans les calculs.

- ΔS_M : erreur sur la section moyenne dépendant de ΔH_c et ΔV_c .

CHAPITRE III

RESULTATS EXPERIMENTAUX

3.1. - CUVE SEULE

Nous avons rassemblé toutes les données concernant une cuve cylindrique de 300 mm de diamètre. Les sources des données sont

Uranium

- a) Expériences "ALECTO" effectuées au CEN de SACLAY [2] .
- b) CASTOR et POLLUX

Le domaine des concentrations expérimentées s'étend de 281 g/l à 72 g/l en uranium total.

Plutonium

- a) Expériences avec du plutonium à 3,13% de ^{240}Pu à la Station de Criticité.
- b) Cuve appartenant à l'assemblage d'étude de l'interaction "Appareillage B"

Le domaine d'expérience s'étend de 278 g/l à 45,5 g/l de plutonium total.

Les courbes de variation de la hauteur critique en fonction de la concentration pour les deux éléments fissiles sont tracées sur le même graphique de la figure N° 7. Les courbes de masses critiques en fonction de la concentration sont regroupées sur le graphique N° 8.

III.2. - INTERACTION ENTRE DES CUVES DE 300 mm DE DIAMETRE CONTENANT UNE SOLUTION DE PLUTONIUM à 146,0 g/l D'ELEMENT FISSILE

Les configurations suivantes ont été étudiées :

- deux récipients
- trois récipients dont les centres sont les sommets d'un triangle équilatéral

- trois récipients dont les centres sont les sommets d'un triangle rectangle isocèle.
- quatre récipients dont les centres sont les sommets d'un carré.

Les tableaux N° 7 rassemblent les résultats des approches sous-critiques effectuées à cette concentration de 146 g/l en élément fissile. Les courbes de la figure N° 9 représentent les variations de la hauteur critique de la cuve pilote en fonction de la distance entre les cuves.

III.3. - INTERACTION ENTRE DES CUVES CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE A LA CONCENTRATION
DE 110,2 g/l EN PLUTONIUM OU EN URANIUM

En ce qui concerne le plutonium, les mêmes configurations que ci-dessus ont été étudiées, auxquelles il faut ajouter trois récipients en ligne; en plus, a été déterminée l'interaction, en fonction de la distance les séparant, de deux groupes formés chacun de deux récipients distants de 15 cm bord à bord. Les variations de la hauteur critique en fonction de la distance entre les éléments sont représentées sur la figure N° 10. Sur le même graphique a été tracée la courbe relative aux deux cuves de 300 mm contenant la solution d'uranium; on trouvera les résultats des approches sous-critiques dans les tableaux N° 8 et 9-1.

III.4. - COMPARAISON DE L'INTERACTION ENTRE DEUX CUVES
DE 300 mm CONTENANT UNE SOLUTION DE PLUTONIUM
A 110,2 g/l ET UNE SOLUTION D'URANIUM A 80,5 g/l :
 concentrations critiques équivalentes.

Les déterminations du paragraphe précédent permettent une comparaison entre les deux éléments fissiles à concentrations égales; afin de compléter cette étude comparative, des expériences ont été effectuées avec une solution d'uranium telle que la concentration en uranium donne pour une cuve seule la même hauteur critique que la solution de plutonium à 110,2 g/l; cette concentration équivalente est de 80,5 g/l.

Les variations de la hauteur critique en fonction de la distance de deux cuves en interaction contenant une solution à 110,2 g/l pour le plutonium, à 80,5 g/l pour l'uranium, sont représentées sur la figure N° 11.

Les résultats des expériences concernant les solutions d'uranium à 80,5 g/l sont rassemblés dans le tableau N° 9-2.

Le tableau N° 9-3 rassemble les résultats des expériences effectuées à la concentration intermédiaire de 100,1 g/l d'uranium total.

III.5. - INTERACTION DE CUVES CYLINDRIQUES DE 256 mm
DE DIAMETRE CONTENANT UNE SOLUTION DE PLUTONIUM
A 110,2 g/l D'ELEMENT FISSILE

Les configurations suivantes ont été étudiées :

- Deux cylindres.
- Trois cylindres dont les centres sont les sommets d'un triangle équilatéral.
- Trois cylindres dont les centres sont les sommets d'un triangle rectangle isocèle.
- Trois cylindres en ligne.
- Quatre cylindres dont les centres sont les sommets d'un carré.
- Six cylindres sur deux lignes.
- Sept cylindres : six d'entre eux formant un hexagone dont le septième occupe le centre.
- Neuf cylindres sur trois lignes, les centres formant un réseau carré.

Les tableaux N° 10 rassemblent les résultats obtenus.

Les courbes de la figure N° 12 donnent les variations de la hauteur critique en fonction de la distance séparant les cylindres.

Les distances bord à bord entre les cylindres n'ont pas pu excéder 20 cm à cause de la masse totale de plutonium limitée dont nous disposons.

III.6. - EXPERIENCES A CONFIGURATIONS DISSYMETRIQUES

Les résultats de ces expériences sont rassemblés dans le tableau N° 11.

III.6.1. - Interaction entre une cuve de 300 mm de diamètre et une cuve de 256 mm de diamètre à même niveau de solution

Les expériences ont été effectuées avec des solutions de plutonium à la concentration de 146 g/l et 110,2 g/l en élément fissile.

Les courbes de variation de la hauteur critique de l'ensemble en fonction de la distance séparant les deux cuves sont représentées sur la figure N° 13

L'effet réflecteur d'une cuve de 256 mm de diamètre contenant de l'acide nitrique 2 N sur la cuve de 300 mm de diamètre contenant la solution de plutonium à 110,2 g/l, a aussi été déterminé. Cet effet a été chiffré de la manière suivante :

$$\text{Soit } \sigma_1 = \frac{H_0 - H_i}{H_0}$$

où H_0 est la hauteur critique de la cuve de 300 mm isolée,
 H_i " " " " " " en présence
 de la cuve de 256 mm contenant la même solution.

La diminution relative σ_1 est représentée en fonction de la distance bord à bord des deux récipients par la courbe N° 1 de la figure N° 14.

$$\sigma_2 = \frac{H_0 - H_r}{H_0}$$

où H_r est la hauteur critique de la cuve de 300 mm en présence de la cuve de 256 mm contenant 20,1 litres d'acide nitrique 2 N (41 cm).

σ_2 est représentée en fonction de la distance bord à bord des deux cuves par la courbe N° 2 de la figure N° 14.

La contribution de la réflexion dans le couplage $\sigma = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ est représentée par la courbe 3 de la figure N° 14.

III.6.2. - Interaction entre une cuve de 300 mm de diamètre et une cuve de 256 mm de diamètre à niveaux de solution différents

Les expériences ont été effectuées avec la solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l d'élément fissile.

Le niveau de solution était maintenu constant dans l'un des récipients placé à une distance donnée, et l'approche sous-critique était effectuée dans l'autre. La courbe de la figure N° 15 illustre les résultats obtenus.

III.6.3. - Interaction entre deux cuves de 300 mm de diamètre à niveaux de solution différents

Le mode opératoire est le même que celui ci-dessus mais, en plus, pour confirmer la symétrie de la courbe, des approches ont été effectuées dans la deuxième cuve, le niveau de solution étant maintenu constant dans la première. Les expériences ont été réalisées avec la solution de plutonium à la concentration en élément fissile de 110,2 g/l, et avec la solution d'uranium à la concentration de 89 g/l en élément fissile. Les variations de la hauteur critique de la cuve pilote en fonction du niveau de solution dans la 2ème cuve placée à distance donnée, sont représentées sur la figure N° 16, aussi bien pour le plutonium que pour l'uranium; les masses critiques correspondantes sont représentées sur la figure N° 17.

CHAPITRE IV

REMARQUES SUR QUELQUES COURBES EXPERIMENTALES

IV.1. - FIGURE N° 7

Sur la figure N° 7, on constate, pour une même géométrie cylindrique non réfléchée, que :

- pour des faibles concentrations, une solution nitrique de $(\text{NO}_3)_4 \text{Pu}$ (3,13% en ^{240}Pu , acidité voisine de 2 N) est plus réactive qu'une solution nitrique de $(\text{NO}_3)_2 \text{UO}_2$ (90% en ^{235}U , acidité voisine de 2 N).

- pour une concentration d'environ 82 g/l, les deux solutions considérées présentent la même réactivité.

- pour des concentrations supérieures à 82 g/l, c'est la solution d'uranium qui devient la plus réactive.

Cette constatation doit être indépendante de la géométrie.

Par contre, on sait qu'une solution nitrique de ^{239}Pu pur est toujours plus réactive que la même solution de ^{235}U pur.

IV.2. - FIGURES N° 7 et 11

On appelle concentrations équivalentes deux concentrations, l'une d'uranium, l'autre de plutonium, qui conduisent à une même géométrie non réfléchée critique.

Au chapitre III, paragraphe III.4., on a déjà mentionné le couple expérimental (110,2 g/l de $\text{Pu}^{239} + ^{241}$ - 80,5 g/l d' U^{235}) qui conduit à une hauteur physique critique sensiblement égale. Il faut remarquer que ces deux valeurs expérimentales sont des valeurs approximatives de concentrations équivalentes puisque les deux cuves utilisées ne sont pas exactement identiques.

L'examen de la figure N° 11 montre que pour des distances bord à bord supérieures à 10 cm, les courbes d'interaction entre deux pots présentent la même allure de variation avec un écart absolu faible.

Si on admet que les couplages sont identiques dans les deux cas (mêmes probabilités de fuite) on en déduit que l'effet du millimètre est sensiblement le même pour des pots nus isolés près de la hauteur critique.

Un calcul effectué à l'aide du programme SECI 11 avec la même configuration géométrique que dans V.3.2.4. (6 pots de plutonium sur deux lignes), mais avec la solution d'uranium à concentration équivalente de 80,5 g/l d' U_5 , a donné un $K_{eff} \simeq 0,982$ qui, d'après V.4., correspond à un état critique, ce qui tend à montrer que :

Toute configuration critique dans l'air obtenue expérimentalement pour une solution nitrique de $(NO_3)_4 Pu$ ($C(Pu_T) = 115,1$ g/l, 4,23% de ^{240}Pu) est également approximativement critique pour une solution nitrique de $(NO_3)_2 UO_2$ (90% d' U^{235}) à la concentration équivalente de 89,5 g/l d'uranium total. Ce résultat est applicable à tout couple de concentrations équivalentes.

IV.3. - FIGURE N° 14

La courbe 3 de la figure N° 14 traduit bien l'importance de la contribution \mathcal{S} de la pure réflexion dans le couplage : cette contribution \mathcal{S} est de 34% au contact des deux cylindres, et de 18% à 30 cm bord à bord. Il faut donc bien prendre garde dans les calculs précis d'interaction, dans la vérification du modèle théorique de l'angle solide par exemple, de considérer le facteur de coefficient effectif d'un élément modifié par la présence des autres éléments provoquant des réflexions multiples des neutrons [3] .

$$k^* = k \cdot \frac{1}{1 - \mathcal{V}_{12} \mathcal{V}_{21}}$$

k^* : facteur de multiplication effectif modifié d'un récipient.

k : facteur de multiplication effectif d'un récipient isolé.

$\mathcal{V}_{12} \mathcal{V}_{21}$: paramètres d'interaction.

\mathcal{V}_{12} : probabilité pour qu'un neutron né dans l'élément 1 parvienne dans l'élément 2.

\mathcal{V}_{21} : probabilité pour qu'un neutron né dans l'élément 2 parvienne dans l'élément 1.

CHAPITRE V.

CONFRONTATION DES RESULTATS THEORIQUES A L'EXPERIENCE.

V.1. - METHODES DE CALCULS UTILISEES

. Programme SECI 01

Le programme SECI 01 repose sur la méthode de Monte Carlo. Il est écrit pour l'ordinateur IBM 7094 [4] et utilise les sections efficaces du document anglais AWRE 64; deux options sont possibles, avec et sans corrections thermiques.

. Programme SECI 11 (MACAO)

Le programme SECI 11 repose sur la méthode de Monte Carlo. Il est écrit pour ordinateur IBM 360; il utilise les sections efficaces à 16 groupes d'énergie de HANSEN et ROACH; deux options sont possibles, avec et sans corrections thermiques des 15ème et 16ème groupes.

. Programme TDC

Le programme TDC résout l'équation du transport pour une géométrie à deux dimensions. Il est écrit pour ordinateur IBM 7094. Il utilise trois groupes rapides et un groupe thermique; les constantes correspondant aux trois groupes rapides sont déterminées à l'aide du programme MUFT IV [5] qui comporte en bibliothèque les constantes de 54 groupes fins d'énergie; les constantes correspondant au groupe thermique sont déterminées à l'aide du programme TEMPEST [6]; les limites d'énergie des quatre groupes sont : 10 Mev - 0,821 Mev - 5,5 Kev - 0,625 ev - 0 ev.

. "Formules simples"

Pour calculer le Keff d'une unité nue isolée, on a utilisé les formules pratiques explicitant les 5 facteurs de l'expression classique du Keff [7] :

$$K_{eff} = \xi \cdot p \cdot f \cdot \eta \cdot P$$

- Pour des milieux de plutonium, on considère :

$$\Sigma_p = 1$$

$$\eta = 2,03$$

$$f = \frac{1065}{1065 + 0,33 \frac{H}{Pu}}$$

- Pour des milieux d'uranium :

$$\Sigma = 1$$

$$f = \frac{GG}{GG + 0,33 \frac{H}{U}} \quad \text{avec } GG = 695,25 E + 2,75 \quad (E = \text{enrichissement en } U_5)$$

$$\eta = \frac{1451,4 E}{GG}$$

$$p = \exp. - \frac{(1 - E) A}{22,7115 \frac{H}{U}}$$

avec :

$$A = 3,9. S^{0,415} \quad \text{si } S = \frac{24,5 \frac{H}{U}}{1 - E} \leq 1000$$

$$A = 240 \exp. (-1,2463 \exp. (-0,324 \log \frac{S}{1000})) \quad \text{si } S > 1000$$

- Pour l'uranium et le plutonium, on considère :

$$P = \frac{1}{(1 + L^2 B_{th}^2) (1 + B^2) (1 + 4,2 B^2) (1 + 20,2 B^2)}$$

avec :

$$B_{th}^2 = \text{Laplacien géométrique thermique avec } 0,36 \text{ cm comme distance d'extrapolation}$$

$$B^2 = \text{Laplacien géométrique rapide avec } 2,5 \text{ cm comme distance d'extrapolation}$$

$$L^2 = 8,29 (1 - f)$$

. Programme SEC 043 [7]

Le programme SEC 043, écrit pour ordinateur IBM 360, résout les équations d'un système d'éléments.

Deux options sont possibles :

Option 1 : sans introduire les Keff nus de chaque élément supposé isolé; dans ce cas, le programme les calcule à l'aide des formules simples mentionnées ci-dessus.

Option 2 : en introduisant les Keff nus de chaque élément supposé isolé s'ils sont bien connus par ailleurs.

Ce programme utilise les angles solides fractionnels maximaux.

. Méthode de l'angle solide moyen de Pond [8]

On a utilisé :

- les Keff nus calculés par TDC
- la probabilité de fuite $F = \frac{\tau B^2}{1 + \tau B^2}$ avec l'âge τ donné par MUFT et 2,5 cm comme distance d'extrapolation.
- les angles solides moyens relevés dans le Guide de Criticité [3] .

V.2. - GOMETRIE RETENUE POUR LES CALCULS

Chaque pot expérimental n'ayant pas une géométrie rigoureusement cylindrique, nous avons dû considérer dans les calculs une configuration cylindrique droite, définie par :

- un volume de solution cylindrique droit
 - . de hauteur H_c = hauteur critique extrapolée mesurée
 - . de diamètre moyen $\bar{\phi}$ tel que la section droite constante soit égale à :

$$\frac{V \text{ (volume critique mesuré)}}{H_c \text{ (hauteur critique mesurée)}}$$

- une enveloppe parfaitement cylindrique droite, avec :
 - des parois latérales d'épaisseur réelle, de diamètre intérieur moyen $\bar{\phi}$ défini ci-dessus.
 - une base inférieure et une base supérieure planes, d'épaisseurs uniformes égales aux épaisseurs maximales réelles.

On a estimé que l'écart de réactivité entre un pot expérimental et la configuration parfaite retenue était faible (< 50 pcm).

V.3. - RESULTATS THEORIQUES

V.3.1. - Cylindre unique nu isolé

V.3.1.1. - Plutonium

SECI 11	SECI 01	TDC	Formules simples
"Point" critique expérimental considéré : repéré par C (Pu _{total}) = 152,5 g/l et par [1] dans le tableau (7-1)			
a) sans correction thermique Keff = 1,010 ± 0,010	a) sans correction thermique Keff = 1,097 ± 0,030	1,0023	1,1727
b) avec correction thermique Keff = 0,978 ± 0,010	b) avec correction thermique Keff = 1,016 ± 0,028		
Incertitude Δ Keff $< 750 \cdot 10^{-5}$			

V.3.1.2. - Uranium

SECI 11	SECI 01	TDC	Formules simples
"Point" critique expérimental considéré : repéré par C (U_{total}) = 264,6 g/l et une hauteur critique de 277,4 mm.			
a) 0,985 \pm 0,010 b) 0,982 \pm 0,010	a) 1,013 \pm 0,026 b) 1,036 \pm 0,025	1,0051	1,0883
$\Delta K_{eff} < 680.10^{-5}$			

SECI 11	SECI 01	TDC	Formules simples
"Point" expérimental considéré : repéré par C (U_{total}) = 100,1 g/l et par 1 dans le tableau (9-3)			
a) 0,976 \pm 0,010 b) 0,991 \pm 0,010	a) 1,013 \pm 0,028 b) 1,016 \pm 0,026	1,0021	1,0675
$\Delta K_{eff} < 780.10^{-5}$			

V.3.2. - Cylindres nus en interactionV.3.2.1. - 2 cuves identiques "Pu"

SECI 11 (MACAO) (sans corrections thermiques)	SEC 043		Méthode de l'angle solide moyen
	Option 1 : sans k nu	Option 2 : avec k nus (TDC) ajustés sur l'expérience	
"Point" critique expérimental considéré : repéré par C (Pu_T) = 152,5 g/l et par 2 dans le tableau (7-1)			
1,008 \pm 0,010	1,1549	1,0146	1,0003
Incertitude $\Delta K_{eff} < 770.10^{-5}$			

V.3.2.2. - 2 cuves identiques "U"

"Point" critique expérimental considéré : repéré par $C(U_T) = 100,1 \text{ g/l}$ et par 2 dans le tableau (9-3).			
$0,982 \pm 0,010$	1) 1,0512	2) 1,0225	0,9966
Incertitude $\Delta K_{eff} < 720 \cdot 10^{-5}$			

V.3.2.3. - 2 cuves dissymétriques "Pu"

SECI 11 (MACAO) (sans corrections thermiques)	SEC 043	SEC 043	Méthode de l'angle solide moyen
	Option 1 : sans k nu	Option 2 : avec k nus (TDC) ajustés sur l'expérience	
"Point" critique expérimental considéré : repéré par $G(Pu_T) = 115,1 \text{ g/l}$ et par 1 dans le tableau (11-2-2)			
$1,010 \pm 0,009$	1,1950	1,0408	0,974
Incertitude $\Delta K_{eff} < 800 \cdot 10^{-5}$			

V.3.2.4. - 6 cuves identiques sur 2 lignes

"Point" critique expérimental considéré : repéré par $C(Pu_T) = 115,1 \text{ g/l}$ et par 1 dans le tableau (10-5)			
$1,007 \pm 0,003$	1) 1,4130	2) 1,2312	0,9765
Incertitude $\Delta K_{eff} < 950 \cdot 10^{-5}$			

V.4. - REMARQUES ET CONCLUSIONS SUR LES RESULTATS DE CALCULS

V.4.1. - Conditions de calculs

Tous les calculs SECI 11 ont été effectués avec $5 \cdot 10^4$ neutrons; l'erreur statistique donnée est relative à un intervalle de confiance à 95%.

Tous les calculs SECI 01 ont été effectués avec 10^4 neutrons; l'erreur statistique donnée est relative à un intervalle de confiance à 95%.

. Dans les calculs SEC 043 option 2, on a introduit les keff (TDC) ajustés sur l'expérience des éléments nus supposés isolés.

. Pour les paragraphes V.3.2.1. et V.3.2.2. la relation critique établie par la méthode de l'angle solide moyen s'écrit :

$$\boxed{K + \nu = 1}$$

où K = keff d'une unité nue supposée isolée.

ν : paramètre d'interaction = $\nu_{12} = \nu_{21}$

ν_{21} : probabilité pour qu'un neutron né dans l'élément 1 parvienne dans l'élément 2

. Pour le paragraphe V.3.2.3., la relation critique s'écrit :

$$\frac{K_1 + K_2 + \sqrt{(K_1 - K_2)^2 + 4 K_1 K_2 \nu_{21} \nu_{12}}}{2 [(1 - \nu_{21} \nu_{12})]} = 1$$

où K_1 , K_2 : keff de chaque unité nue supposée isolée

ν_{12} , ν_{21} = paramètres d'interaction

. Pour le paragraphe V.3.2.4. la relation critique s'écrit :

$$K + \frac{2 \nu_1 + \nu_2}{2} + \frac{\sqrt{8 (\nu_1 + \nu_2)^2 + \nu_3^2}}{2} = 1$$

Les corrections thermiques améliorent le résultat pour le rendre en assez bon accord avec l'expérience.

Pour les solutions "U" :

. Le programme SECI 01, sans corrections thermiques, surestime le Keff de 1300.10^{-5} environ.

Avec corrections thermiques, les résultats ne sont pas améliorés.

Programme TDC

Compte tenu de l'incertitude sur les conditions critiques expérimentales ($\Delta Keff \sim 700.10^{-5}$), les résultats TDC sont en excellent accord avec l'expérience, tant pour les solutions uranium que pour les solutions plutonium considérées.

Formules simples

. Pour les solutions de plutonium, les formules simples employées ici surestiment considérablement le Keff, ce qui est dû en grande partie au fait qu'elles ne tiennent pas compte de l'absorption du Pu 240.

. Pour les solutions d'uranium, elles surestiment le Keff de 7000 à 9000 pcm.

V.4.2.2. - Cuves en interaction

Programme SECI 11

Le programme SECI 11, sans corrections thermiques, donne encore en interaction les mêmes résultats que pour une cuve unique nue isolée, c'est-à-dire :

- un très bon accord avec l'expérience pour les solutions de plutonium,
- une sous-estimation du Keff d'environ 2000.10^{-5} pour les solutions d'uranium.

Programme SEC 043 (option 1)

Pour des cylindres de plutonium, l'option 1 surestime beaucoup le Keff de l'ensemble, d'autant plus que les paramètres de couplages sont nombreux et forts.

Pour deux cylindres d'uranium, l'option 1 surestime le Keff de $5000 \cdot 10^{-5}$ pour un seul couplage peu fort.

Programme SEC 043 (option 2)

L'option 2 surestime encore notablement le Keff; la différence $K(\text{option 2}) - 1$ est représentative des majorations qu'introduisent les probabilités de fuite et les angles solides fractionnels maximaux calculés et considérés par le programme. Pour 6 unités identiques avec des couplages forts (distance bord à bord = 10 cm), la majoration due au simple couplage est de l'ordre de $20.000 \cdot 10^{-5}$.

Méthode de l'angle solide moyen

Les résultats sont en assez bon accord avec l'expérience, quels que soient le nombre et le type de couplages.

CHAPITRE VI

NORMES D'INTERACTION POUR DES RESEAUX
DE TUBES DANS L'AIR REMPLIS DE SOLUTIONS.

Les confrontations entre les méthodes théoriques et l'expérience ont montré que le programme SECI 11 (MACAO), sans corrections thermiques, donnait de bons résultats pour des cylindres en interaction dans l'air remplis de solutions, quels que soient le nombre et le type de couplages. Rappelons que cette méthode statistique simule bien l'ensemble des phénomènes physiques et que le calcul du Keff de l'ensemble se fait en une seule fois.

Devant l'intérêt que présentent notamment des normes de stockage de solutions en géométrie tubulaire, on a donc choisi le programme SECI 11 pour établir des normes d'interaction pour des réseaux de tubes dans l'air.

VI.1. - DONNÉES - HYPOTHESES DE CALCULSolutions étudiées

Pour être homogène avec les normes déjà établies dans le Guide de Criticité [3], on a considéré :

- d'une part : une solution d' UO_2F_2 (93,5% de ^{235}U) à une concentration en U total : $C(U_T) = 500 \text{ g/l}$.
- d'autre part : une solution de PuO_2F_2 (100% de ^{239}Pu) à une concentration en Pu total : $C(Pu_T) = 500 \text{ g/l}$.

On sait que cette concentration de 500 g/l est, pour des solutions d'uranium (93,5%) comme pour des solutions de plutonium (100% ^{239}Pu), la concentration sensiblement la plus réactive pour un cylindre nu donné et par suite pour un ensemble de cylindres identiques nus dans l'air.

Réseaux de tubes

On a considéré des réseaux plans réguliers de N tubes identiques dans l'air, réseaux carrés à maille carrée de pas P.

Définition des tubes :

- . hauteur = 400 cm
- . parois en fer, d'épaisseur constante de 3 mm
- . diamètres intérieurs
 - $\phi_i = 125 \text{ mm}$ et 150 mm pour l'uranium
 - $\phi_i = 110 \text{ mm}$ et 140 mm pour le plutonium

VI.2. - RÉSULTATS

. Pour une solution et un diamètre donnés, on a établi par interpolation de "points" (SECI 11) le pas P qui entraîne un K_{eff} sensiblement égal à 0,96 pour un réseau carré de N tubes dans l'air. Pour tenir compte de réflecteurs collectifs éventuels, extérieurs à l'ensemble des réseaux, on a appliqué un coefficient de réflexion de 0,6 sur les contours latéraux des réseaux sur le niveau inférieur et sur le niveau supérieur des tubes.

. Sur la figure N° 18, sont représentées les relations $N = F(P)$ calculées pour une solution d'uranium et pour deux diamètres intérieurs 125 mm et 150 mm.

. Sur la figure N° 19, sont représentées les relations $N = F(P)$ calculées pour une solution de plutonium et pour deux diamètres intérieurs 110 mm et 140 mm.

- C O N C L U S I O N S -

Les expériences réalisées confèrent au critique "de la pratique" et de la confiance en certaines valeurs. Elles lui permettent aussi de quantifier la fiabilité des outils de calculs dont il dispose; les "points" expérimentaux obtenus sont relativement précis et purs et par suite sont de bons modèles de comparaison.

Une solution de nitrate d'uranyle (90% en ^{235}U) présente, pour une même géométrie nue isolée et une concentration supérieure à 82 g/l, une réactivité supérieure à la réactivité d'une solution de nitrate de plutonium ($^{240}\text{Pu} > 3,13$).

On a déterminé un couple de concentrations uranium et plutonium équivalentes qui permet d'étendre directement les résultats expérimentaux d'interaction obtenus pour des solutions de plutonium (4,23% ^{240}Pu) à des solutions d'uranium (90% en ^{235}U).

La comparaison entre les résultats de diverses méthodes de calcul et l'expérience conduit principalement aux conclusions suivantes :

- Le programme TDC est en très bon accord avec l'expérience.
- Le programme SECI 11, sans corrections thermiques, surestime légèrement le Keff pour du plutonium (4,23% ^{240}Pu), sous-estime le Keff d'environ 1500 à 2000 pcm pour de l'uranium (90% ^{235}U).
- La méthode de l'angle solide fractionnel moyen est assez bien vérifiée.

- . Le programme SEC 043, dans ses deux options, présente pour le critiqueur une sécurité très confortable.

Des calculs effectués avec le programme SECI 11 ont permis d'établir des normes d'interaction pour des réseaux plans carrés de tubes dans l'air, remplis de solutions d' UO_2F_2 (93,5%) et de PuO_2F_2 (100%).

R É F É R E N C E S

- [1] J. Bertrand - D. Breton - R. Caizergues - C. Clouet d'Orval -
E. Deilgat - M. Molbert - P. Verrière.
Organisation de la recherche expérimentale en matière de
Criticité.
O.C.D.E. - KARLSRUHE - section VIII (1961).
- [2] J.G. Bruna - J.P. Brunet - R. Caizergues - C. Clouet d'Orval
J. Kremser - H. Tellier - P. Verrière.
ALECTO - résultats des expériences critiques homogènes
réalisées sur le ^{239}Pu , ^{235}U et ^{233}U .
Rapport CEA-R 2814 (1965).
- [3] Anonymes
Guide de Criticité
Rapport CEA-R 3114 (1967).
- [4] J. Moreau - H. Rabot - C. Robin
Méthode de Monte Carlo - Codes pour l'étude des problèmes
de criticité (IBM 7094)
Rapport CEA-R 2872 (1965).
- [5] R.L. Hellens
Multigroup Fourier transform calculation - description
of MUFT-III code
WAPD TM 4 - AEC Research and development report (1956)
- [6] The calculation of thermal constants averaged over a
WIGNER-WILKINS flux spectrum - Description of the TEMPEST
code.
WAPD TM 39 (1957)

[7] Moret-Bailly
Aspects théoriques de l'interaction neutronique
Rapport CEA-R 2614 (1965)

[8] J.A. Pond
Critical geometries for bore cylinders
GAT 189 (1956)

Manuscrit reçu le 25 Novembre 1969

LISTE DES FIGURES

- 1 - Appareillage CASTOR et POLLUX - cuve d'expérience
- 2 - Appareillage CASTOR et POLLUX - vue d'ensemble
- 3 - Appareillage CASTOR et POLLUX - vue en plan
- 4 - Appareillage B - cuve d'expérience
- 5 - Appareillage B - vue d'ensemble
- 6 - Appareillage B - vue en plan
- 7 - Hauteur critique en fonction de la concentration en élément fissile d'un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant, soit une solution d'uranium, soit une solution de plutonium et placé dans l'air.
- 8 - Masse critique en fonction de la concentration en élément fissile d'un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant, soit une solution d'uranium, soit une solution de plutonium et placé dans l'air.
- 9 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant de cuves cylindriques de 300 mm de diamètre, en interaction dans l'air, dans différentes configurations et contenant une solution de plutonium à une concentration de 146 g/l en élément fissile.
- 10 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant de cuves cylindriques de 300 mm de diamètre en interaction dans l'air dans différentes configurations et contenant soit une solution d'uranium, soit une solution de plutonium à une concentration de 110,2 g/l en élément fissile.

LISTE DES FIGURES (suite)

- 11 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant de deux récipients cylindriques de 300 mm de diamètre contenant, soit une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile, soit une solution d'uranium à la concentration de 80,5 g/l en élément fissile (concentrations critiques équivalentes).
- 12 - Hauteurs critiques en fonction de la distance les séparant de cuves cylindriques de 256 mm de diamètre en interaction dans l'air dans différentes configurations et contenant une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile.
- 13 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant de deux cuves cylindriques en interaction dans l'air, l'une de 300 mm de diamètre, l'autre de 256 mm de diamètre et contenant une solution de plutonium, soit à 146 g/l, soit à 110,2 g/l d'élément fissile.
- 14 - Contribution de la réflexion dans l'interaction neutronique entre une cuve de 300 mm de diamètre et une cuve de 256 mm de diamètre C($^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}$) = 110,2 g/l. $\delta_1 = \frac{H_0 - H_i}{H_0}$
 $\delta_2 = \frac{H_0 - H_r}{H_0}$; $\delta = \frac{\delta_2}{\delta_1}$
- 15 - Hauteur critique d'un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant une solution de plutonium à 110,2 g/l d'élément fissile en fonction du niveau de solution dans une cuve cylindrique de 256 mm de diamètre placée à 30, 15 et 5 cm de la première cuve.
- 15 bis - Masse critique de l'ensemble formé par un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant une solution de plutonium à 110,2 g/l d'élément fissile en fonction du niveau de solution dans le récipient de 256 mm de diamètre placé à 30, 15 et 5 cm du récipient de 300 mm de diamètre.

LISTE DES FIGURES (suite)

- 16 - Hauteur critique d'un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant, soit une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile, soit une solution d'uranium à la concentration de 89,0 g/l en élément fissile en fonction du niveau de solution dans une cuve cylindrique de 300 mm de diamètre placée à 15 et 30 cm de la première.
- 17 - Masse critique de deux récipients cylindriques de 300 mm de diamètre contenant, soit une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile, soit une solution d'uranium à la concentration de 89,0 g/l en élément fissile en fonction du niveau de solution dans l'un des récipients placé à 15 et 30 cm du premier.
- 18 - UO_2F_2 (93% d' U^{235}) - $C(\text{U}_{\text{T}}) = 500$ g/l. Réseaux plans de tubes dans l'air, maille carrée, pas P, $K_{\text{eff}} \simeq 0,96$ calculé.
- 19 - PuO_2F_2 (100% de Pu^{239}) - $C(\text{Pu}_{\text{T}}) = 500$ g/l. Réseaux plans de tubes dans l'air, maille carrée, pas P, $K_{\text{eff}} \simeq 0,96$, calculé.

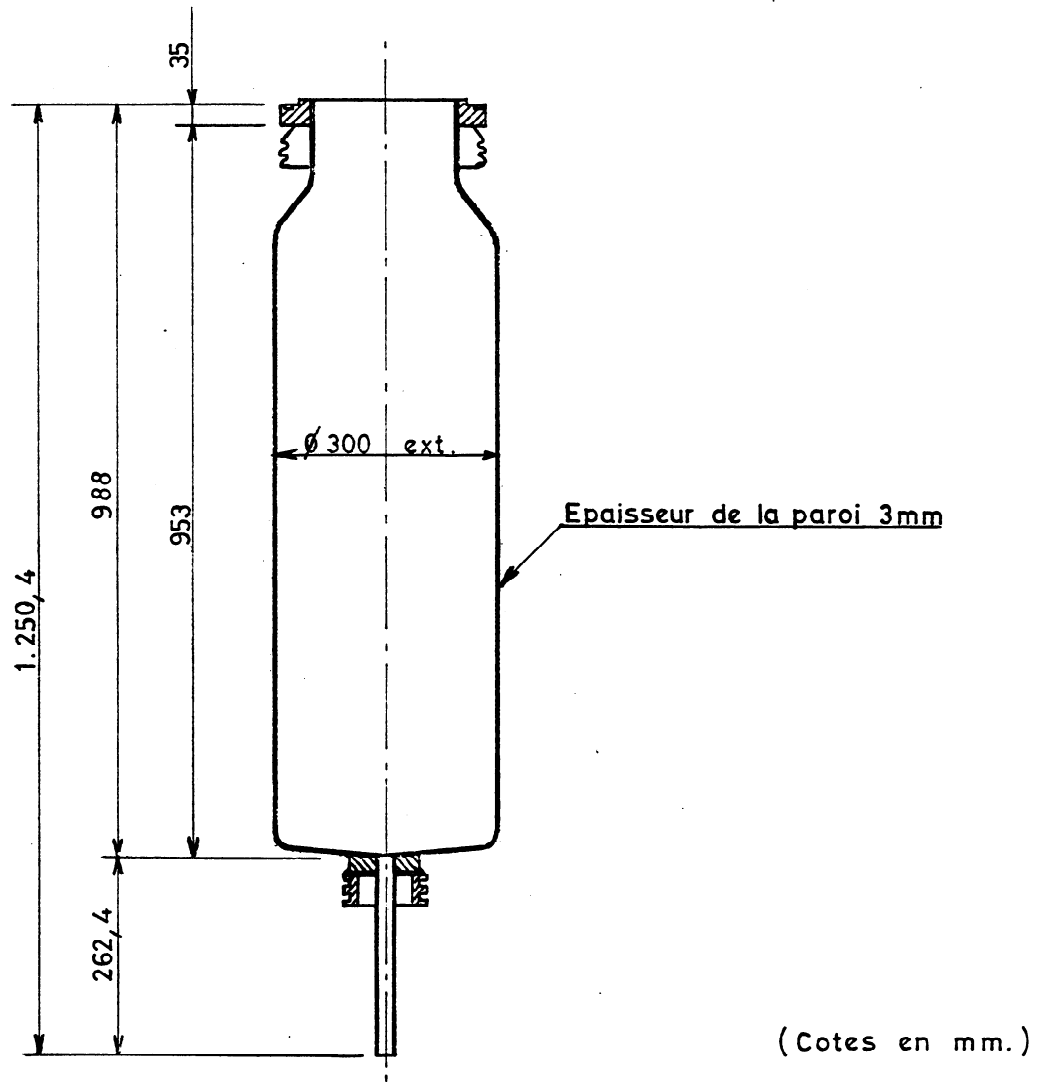


Fig. 1 - Appareillage "CASTOR et POLLUX"
 Cuve d'expérience (coupe)

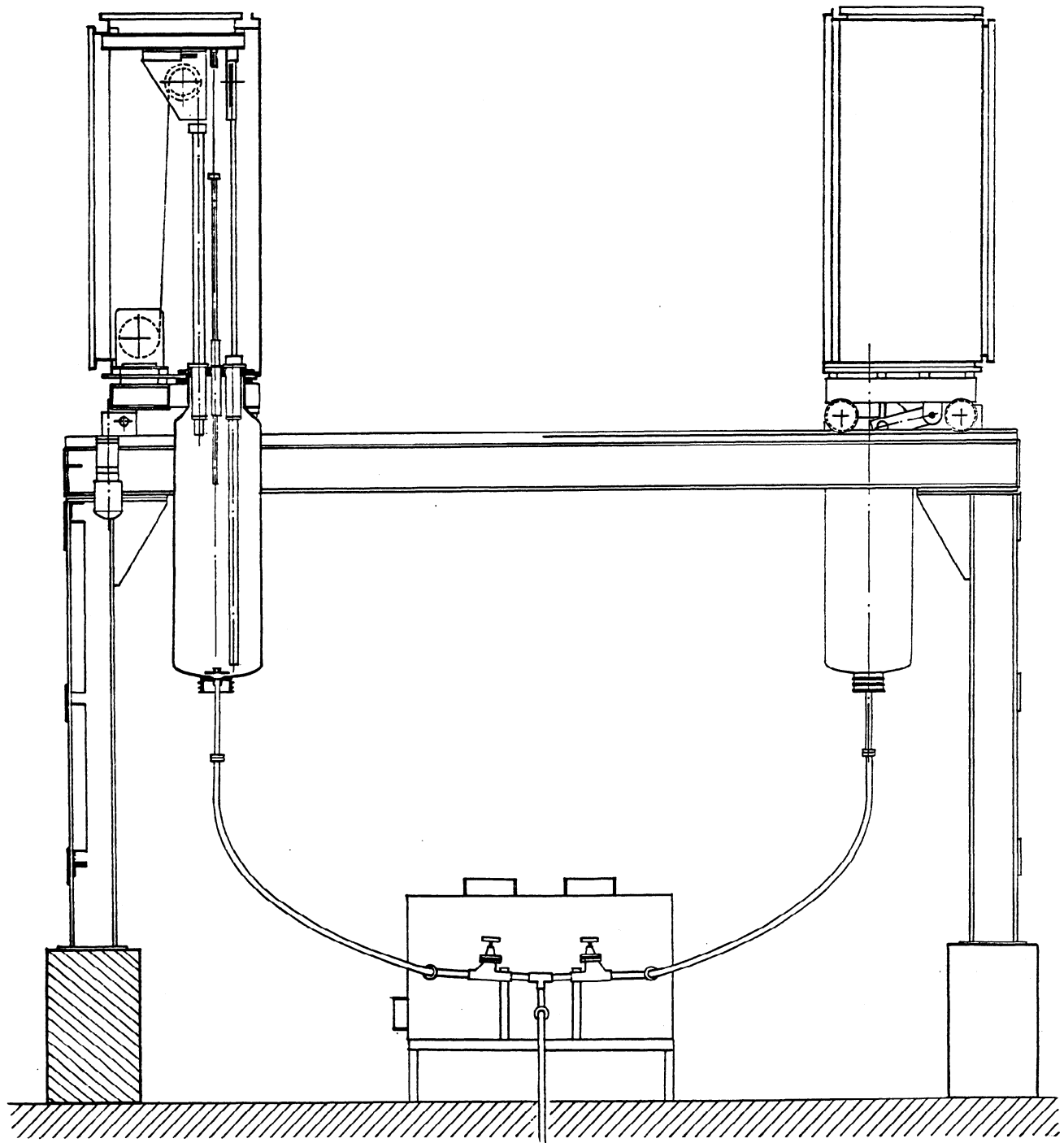


Fig 2_ APPAREILLAGE CASTOR ET POLLUX . VUE D'ENSEMBLE

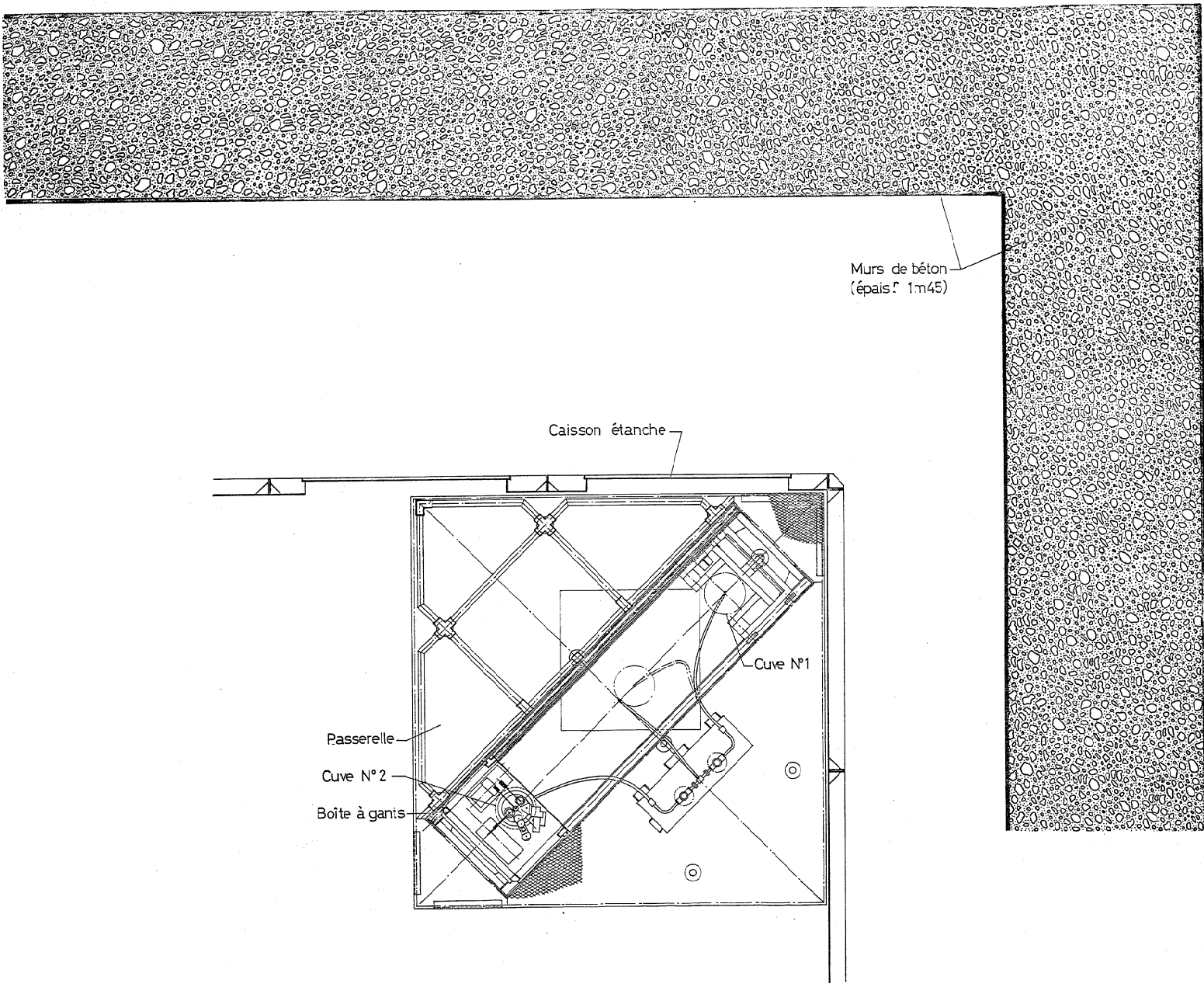
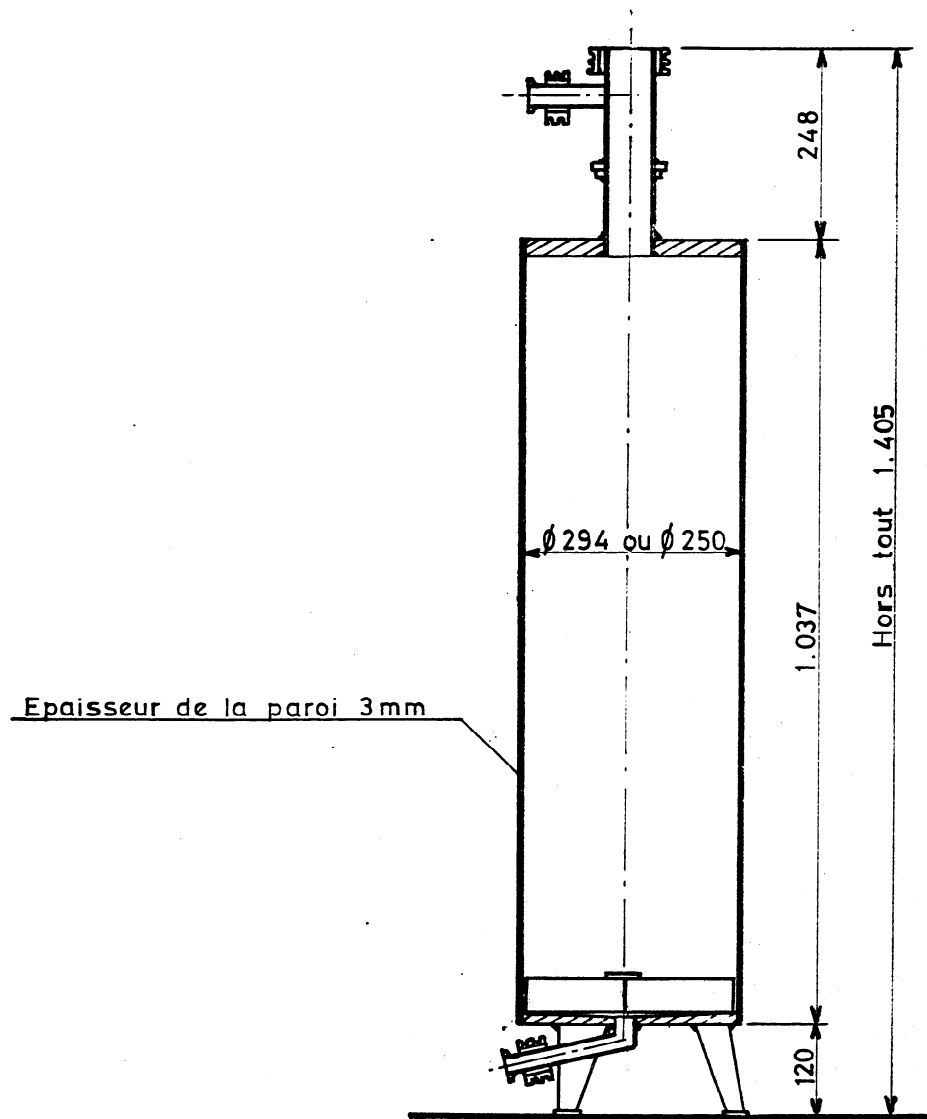


Fig 3 _APPAREILLAGE CASTOR ET POLLUX _VUE EN PLAN

ECHELLE: 2,5cm/p/m



(Cotes en mm.)

Fig. 4 - Appareillage "B" Cuve d'expérience (coupe)

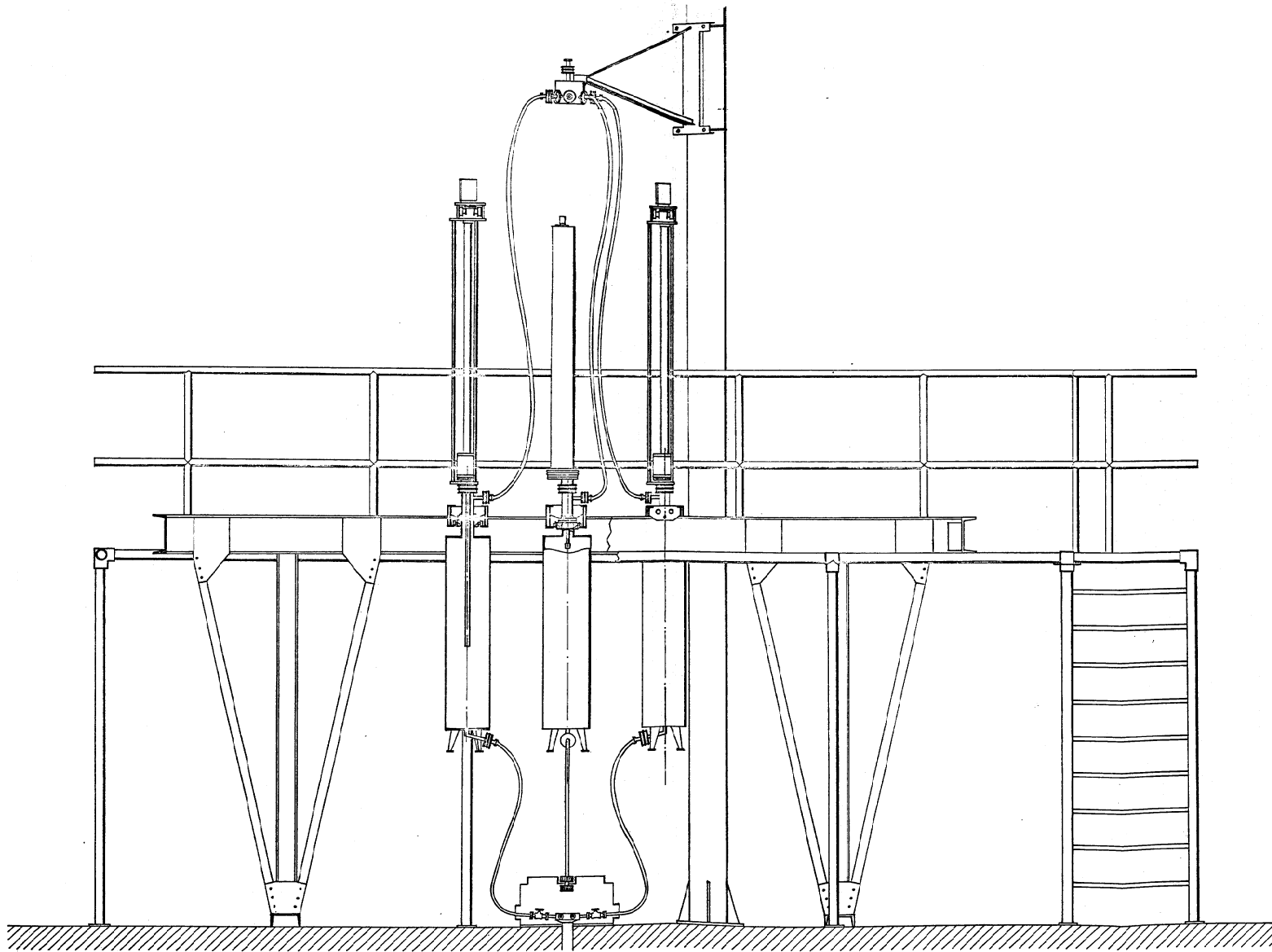


Fig 5 - APPAREILLAGE B - VUE D'ENSEMBLE

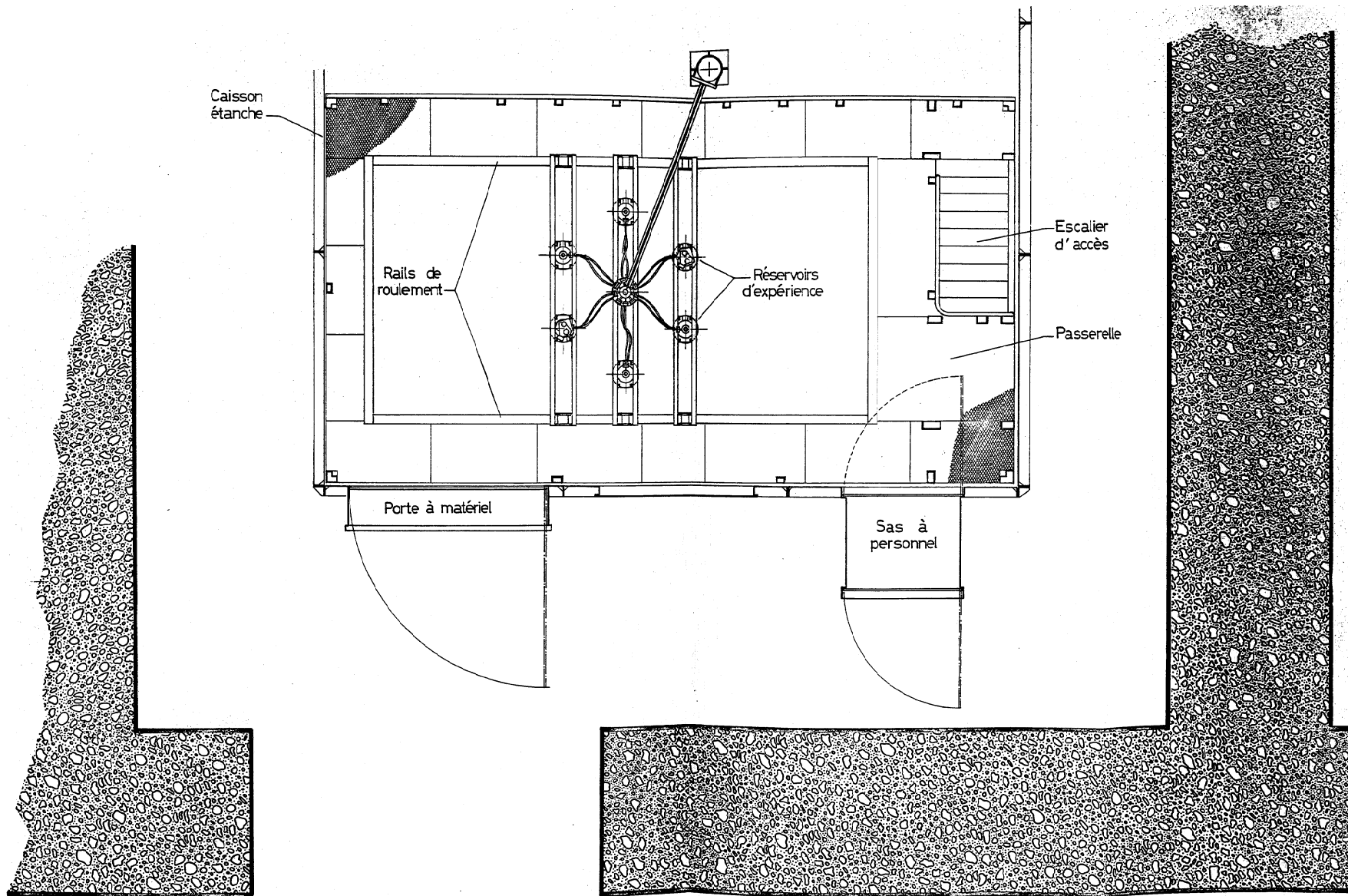


Fig 6 - APPAREILLAGE B - VUE EN PLAN

ECHELLE: 2 cm/p/m

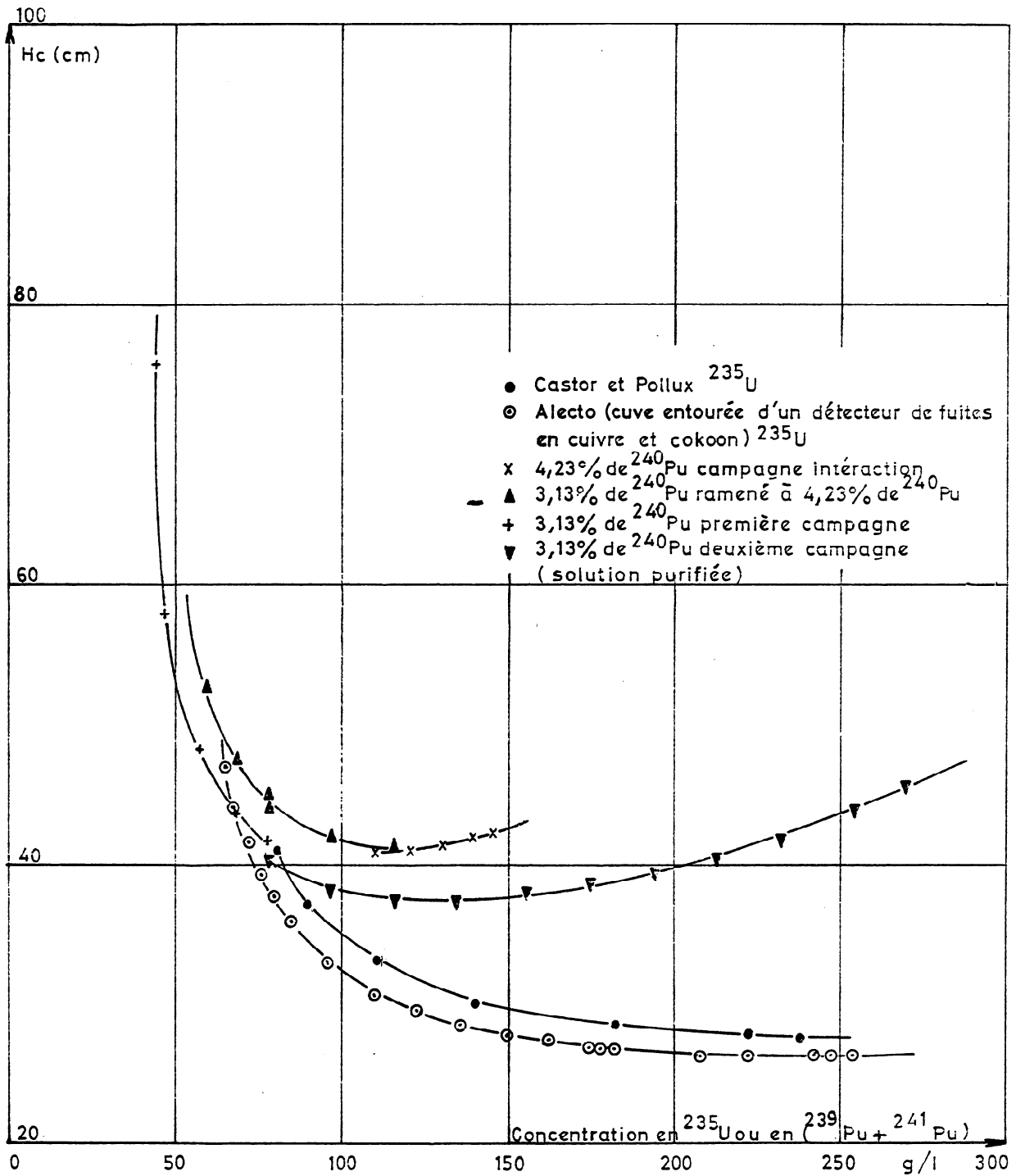


Fig. 7 - Hauteur critique en fonction de la concentration en élément fissile d'un récipient cylindrique de 300mm de diamètre contenant soit une solution d'uranium soit une solution de plutonium et placé dans l'air.

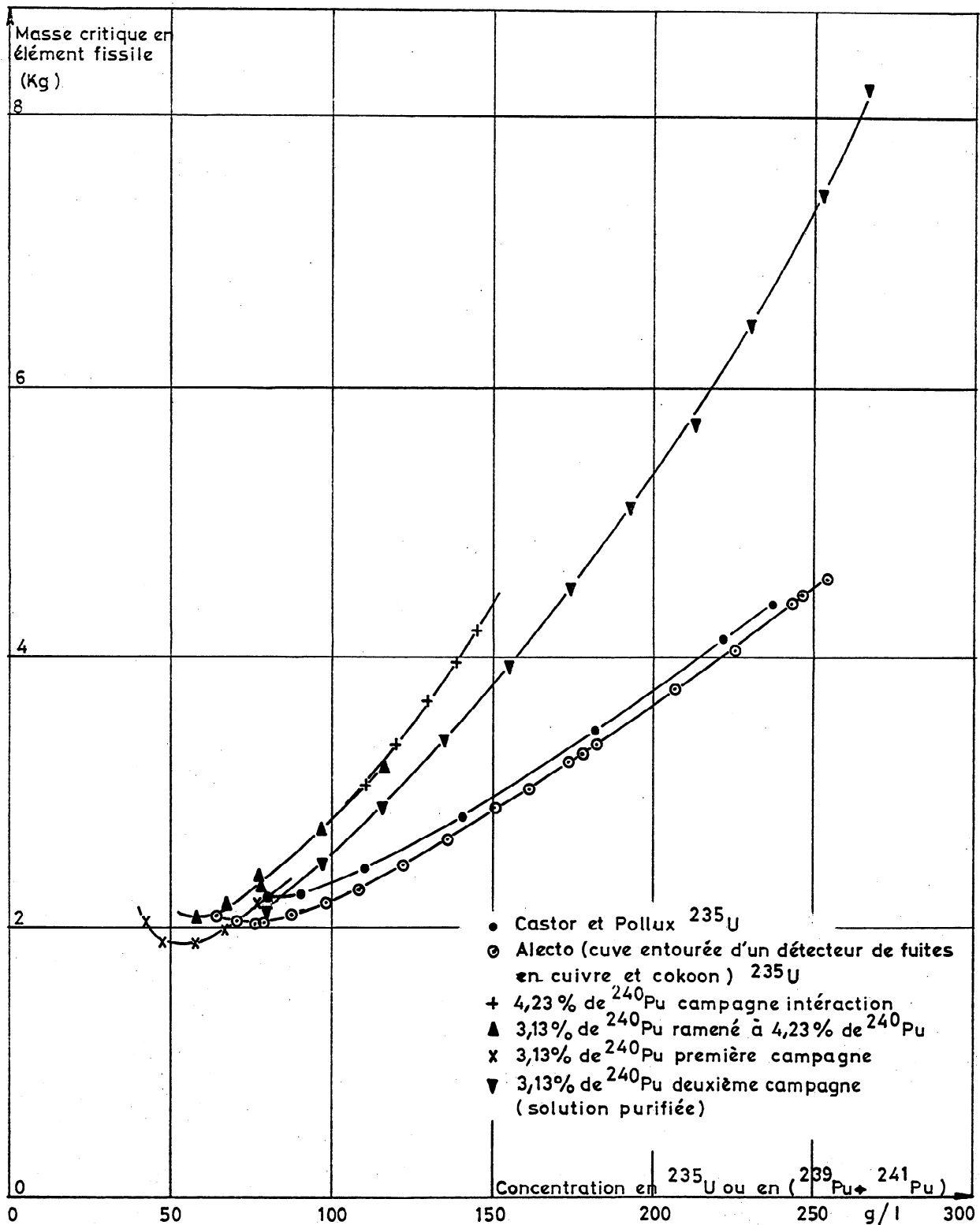


Fig. 8 - Masse critique en fonction de la concentration en élément fissile d'un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant soit une solution d'uranium soit une solution de plutonium et placé dans l'air.

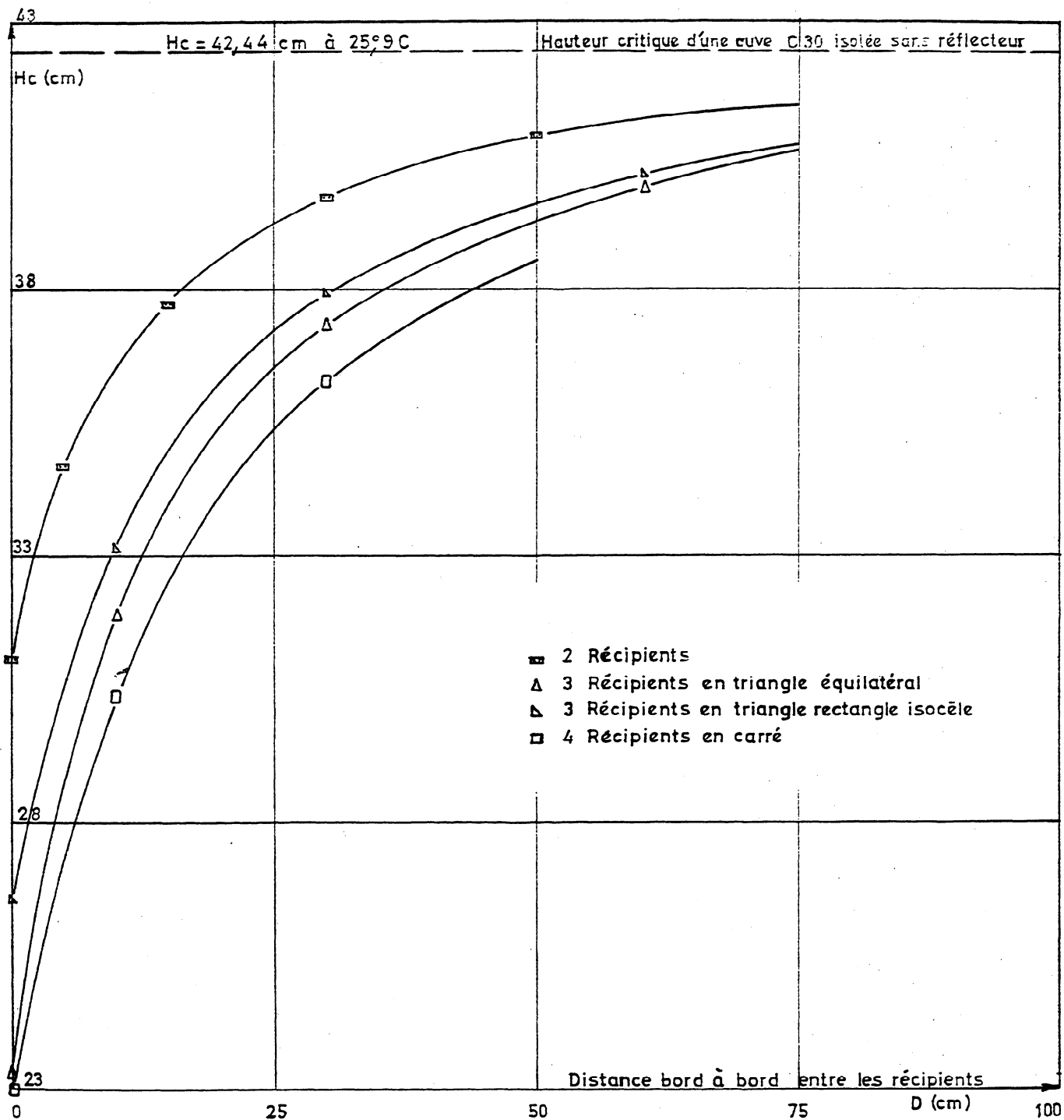


Fig. 9 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant des cuves cylindriques de 300 mm. de diamètre, en interaction dans l'air dans différentes configurations et contenant une solution de plutonium à une concentration de 146 g/l en élément fissile.

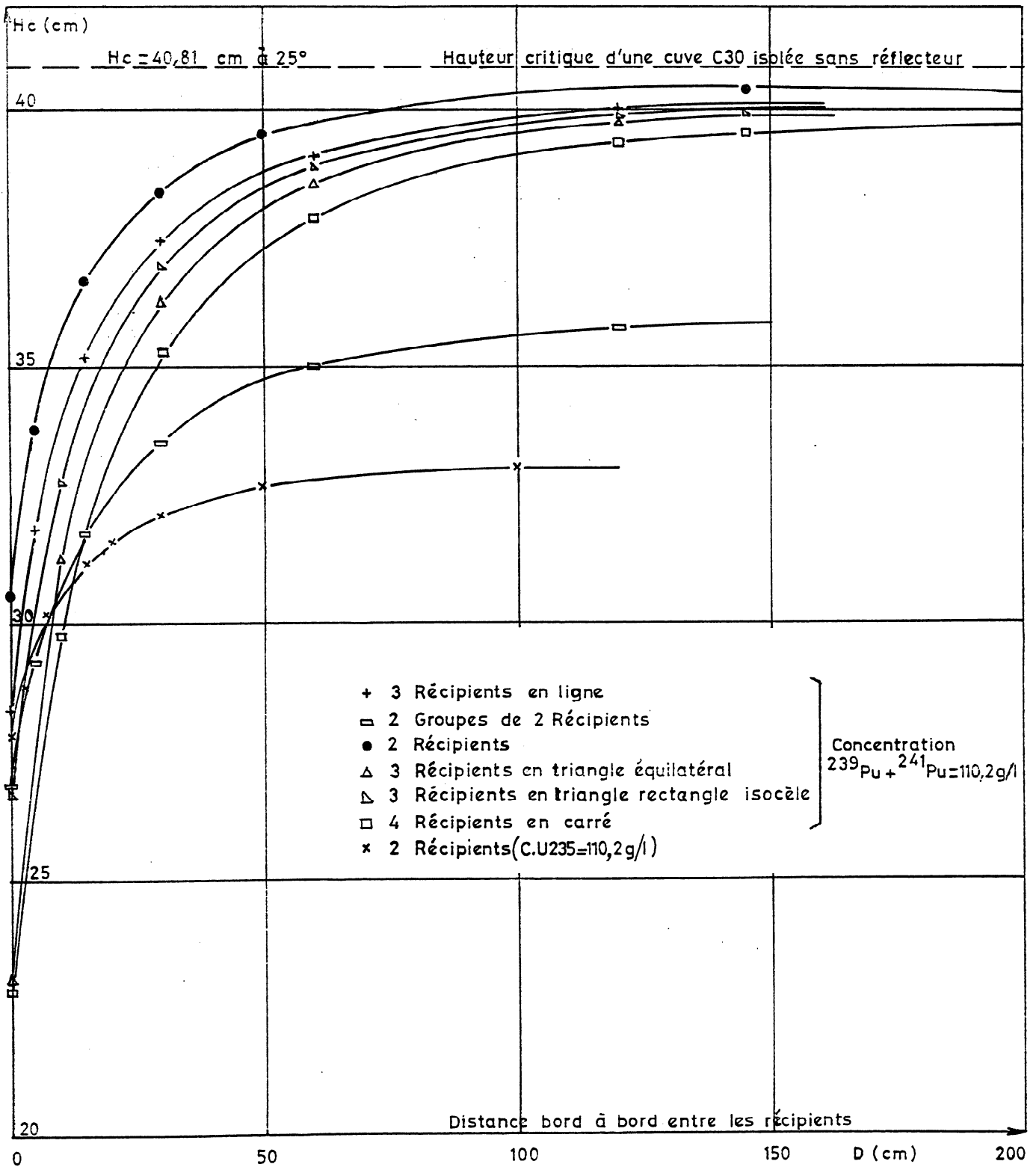


Fig.10. - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant, des cuves cylindriques de 300mm de diamètre en interaction dans l'air dans différentes configurations et contenant soit une solution d'uranium, soit une solution de plutonium à une concentration de 110,2 g/l en élément fissile.

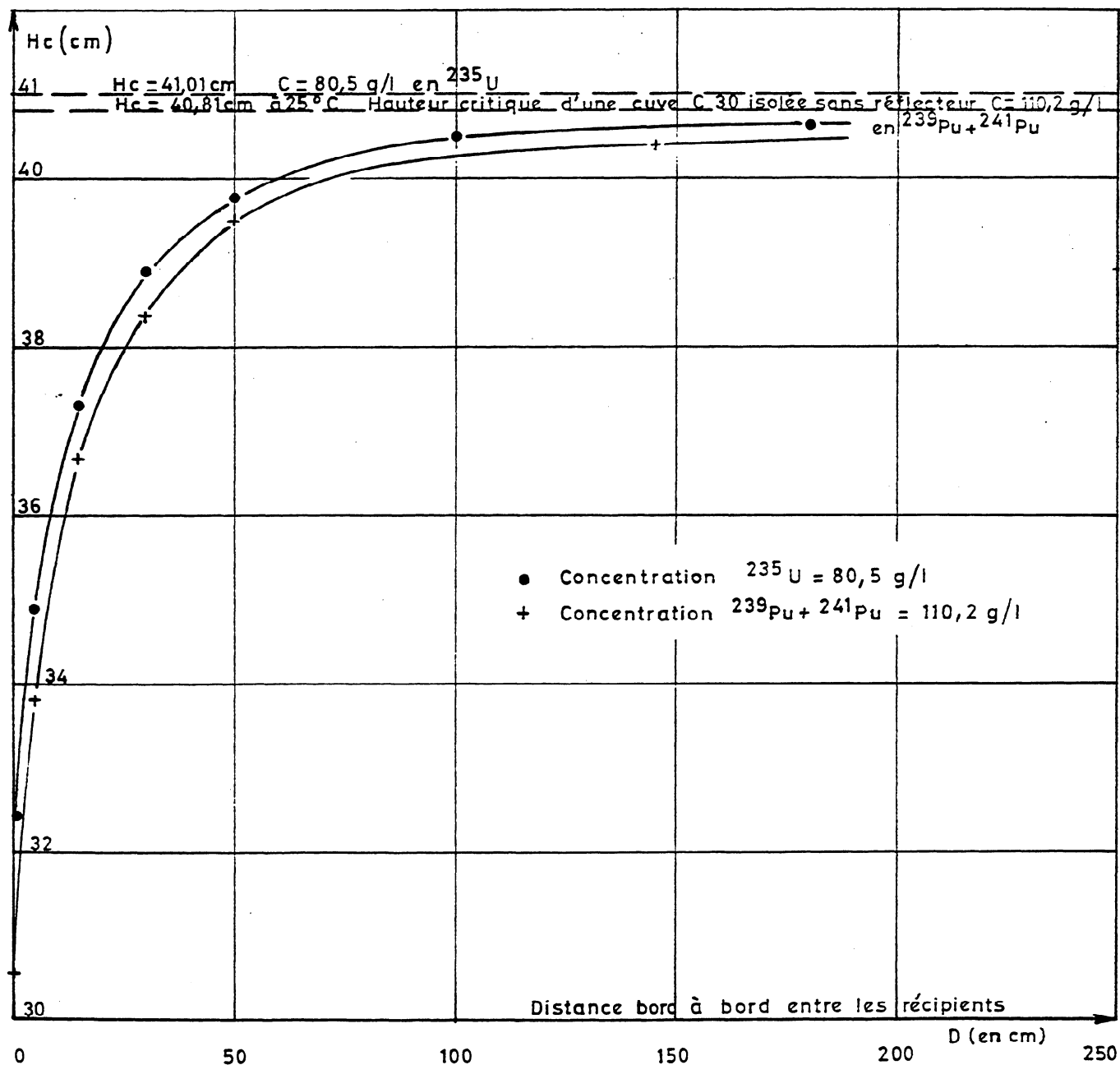


Fig. 11 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant de deux récipients cylindriques de 300mm de diamètre contenant soit une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile soit une solution d'uranium à la concentration de 80,5 g/l en élément fissile (concentrations critiques équivalentes).

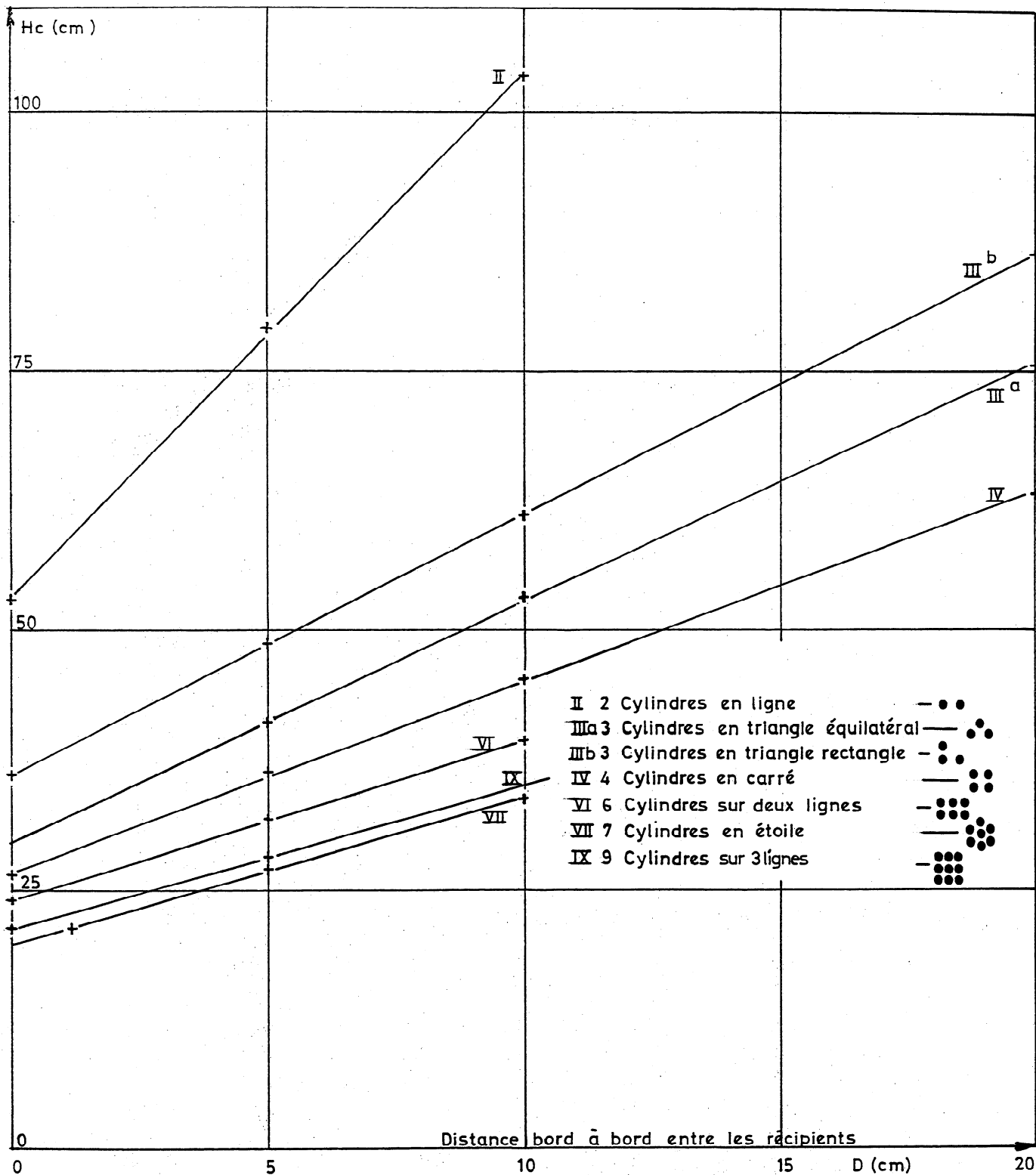


Fig. 12 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant, des cuves cylindriques de 256mm de diamètre en interaction dans l'air dans différentes configurations et contenant une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile

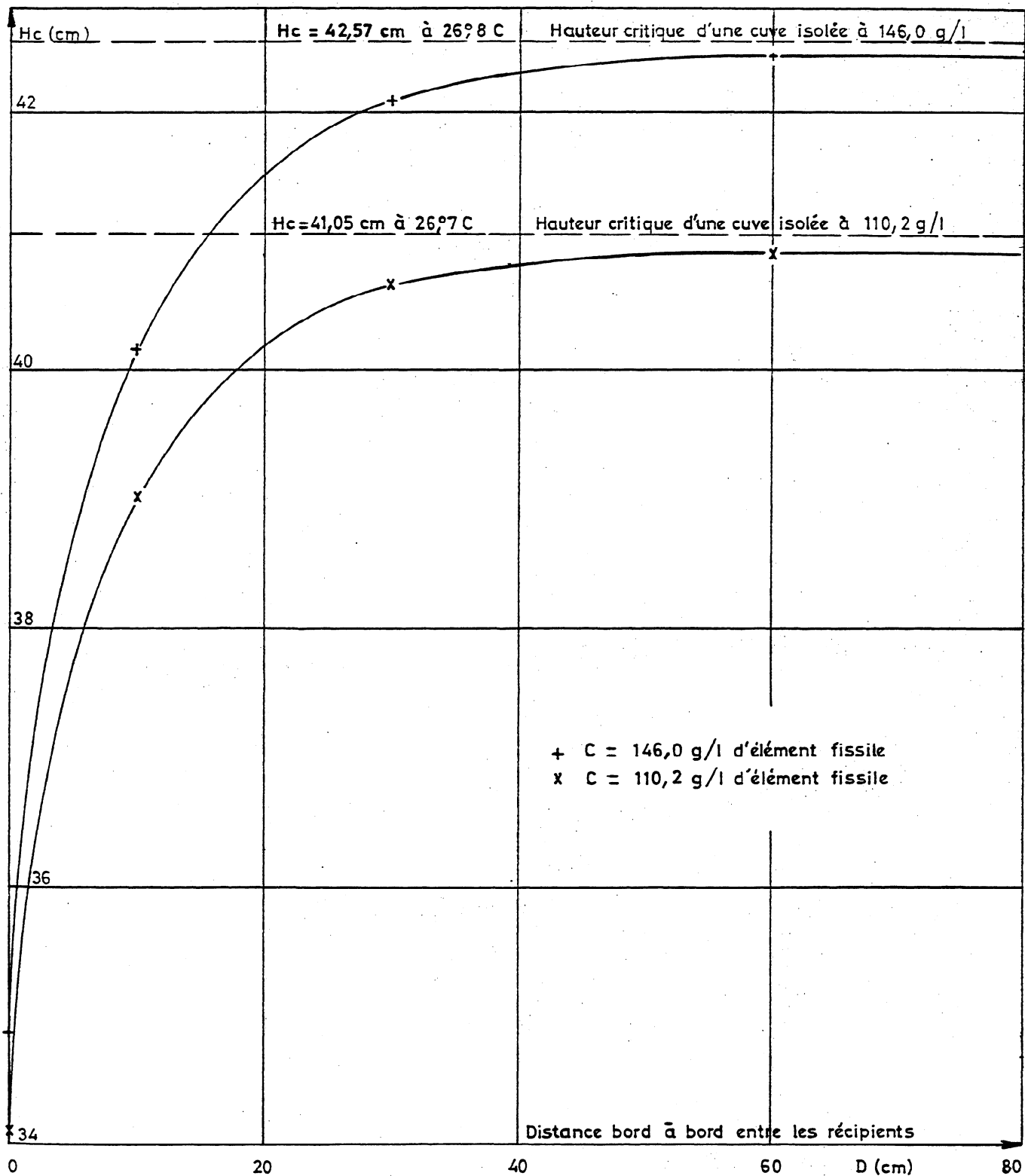


Fig.13 - Hauteur critique en fonction de la distance les séparant, de deux cuves cylindriques en interaction dans l'air, l'une de 300 mm de diamètre, l'autre de 256 mm de diamètre et contenant une solution de plutonium soit à 146 g/l soit à 110,2 g/l d'élément fissile.

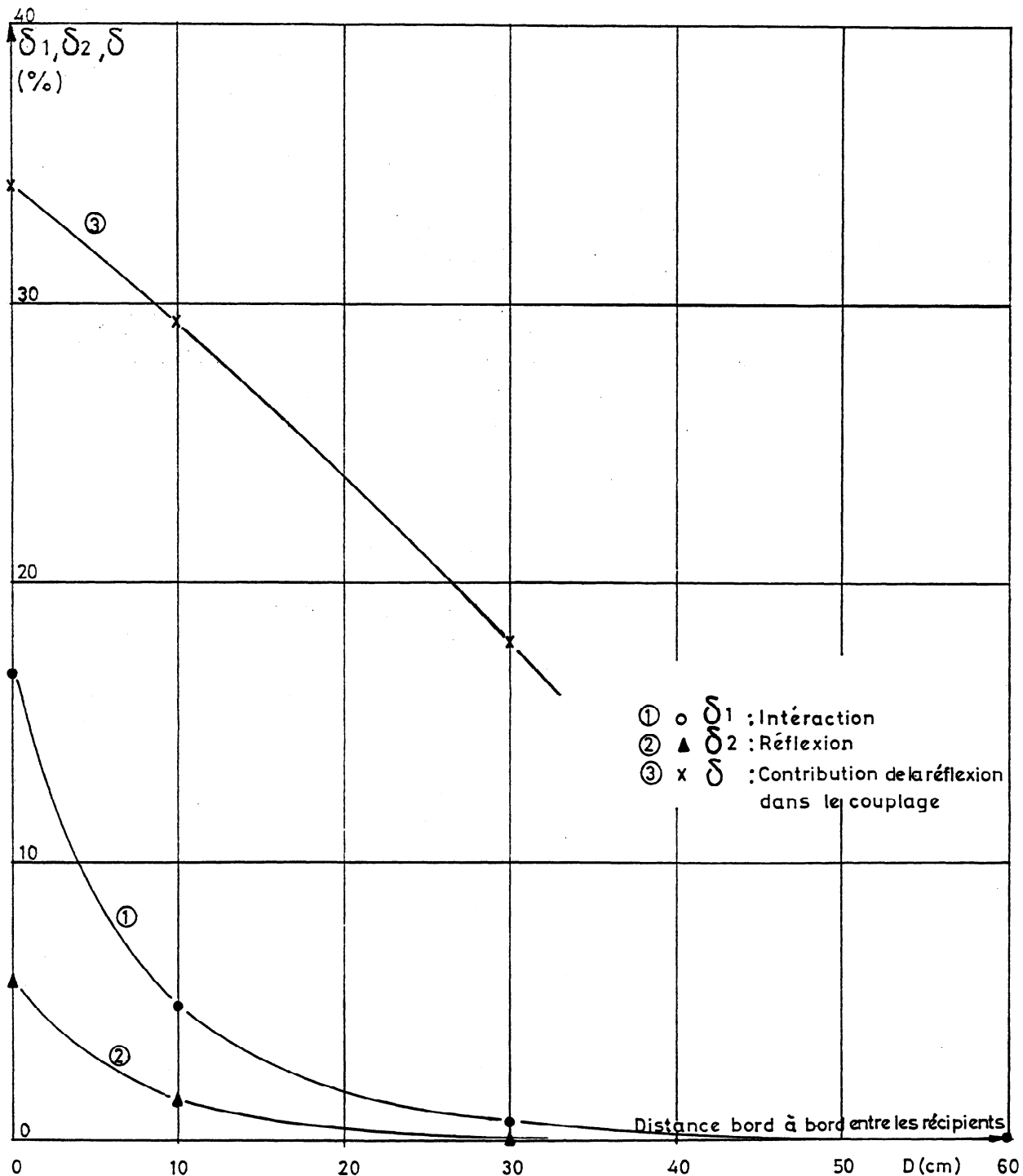


Fig.14 - Contribution de la réflexion dans l'interaction neutronique entre une cuve de 300 mm de diamètre et une cuve de 256 mm de diamètre.

$$C(^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}) = 110,2 \text{ g/l. } \delta_1 = \frac{H_0 - H_i}{H_0}, \delta_2 = \frac{H_0 - H_r}{H_0}, \delta = \frac{\delta_2}{\delta_1}$$

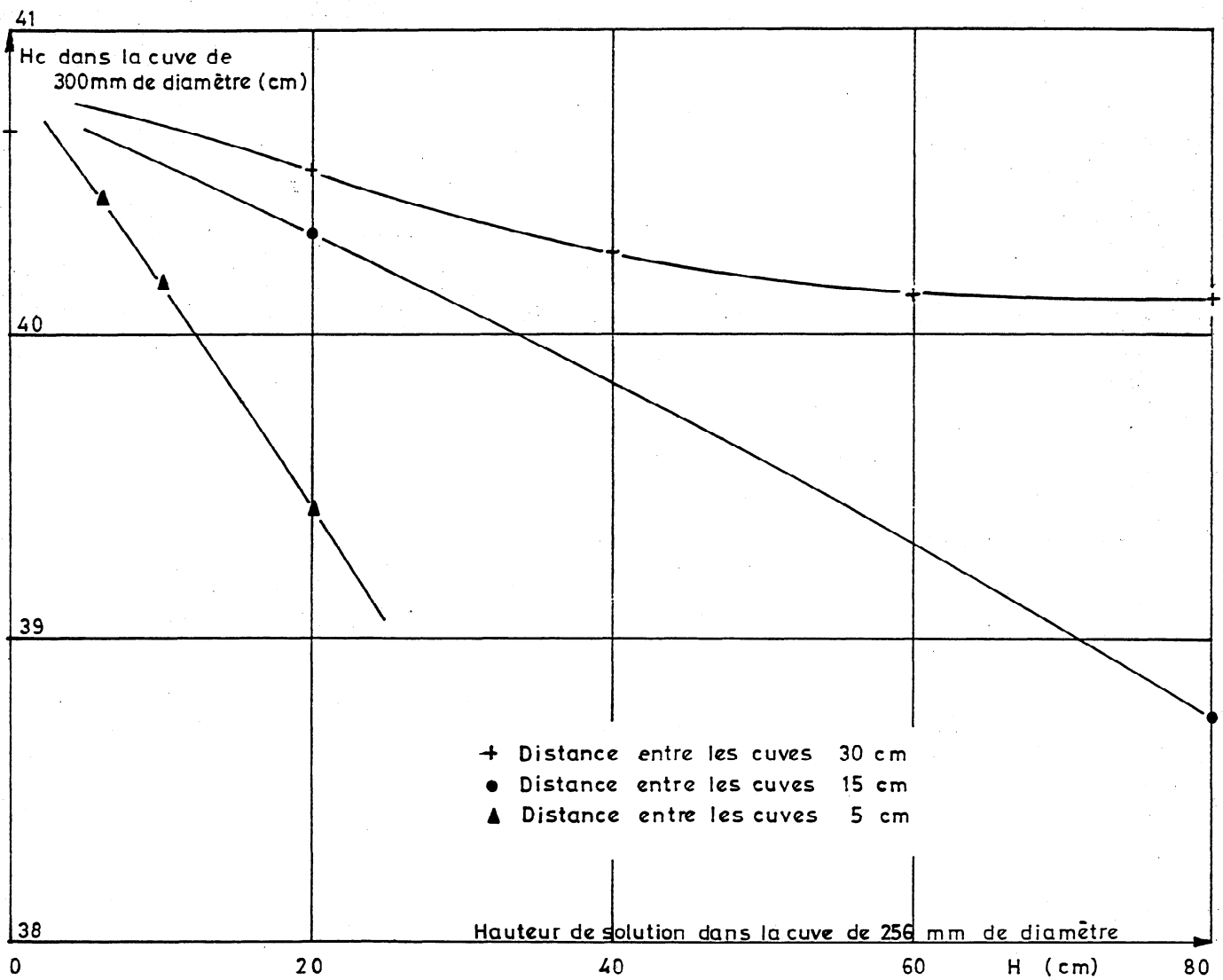


Fig. 15 - Hauteur critique d'un récipient cylindrique de 300mm de diamètre contenant une solution de plutonium à 110,2g/l d'élément fissile en fonction du niveau de solution dans une cuve cylindrique de 256mm de diamètre placée à 30, 15 et 5 cm de la première cuve.

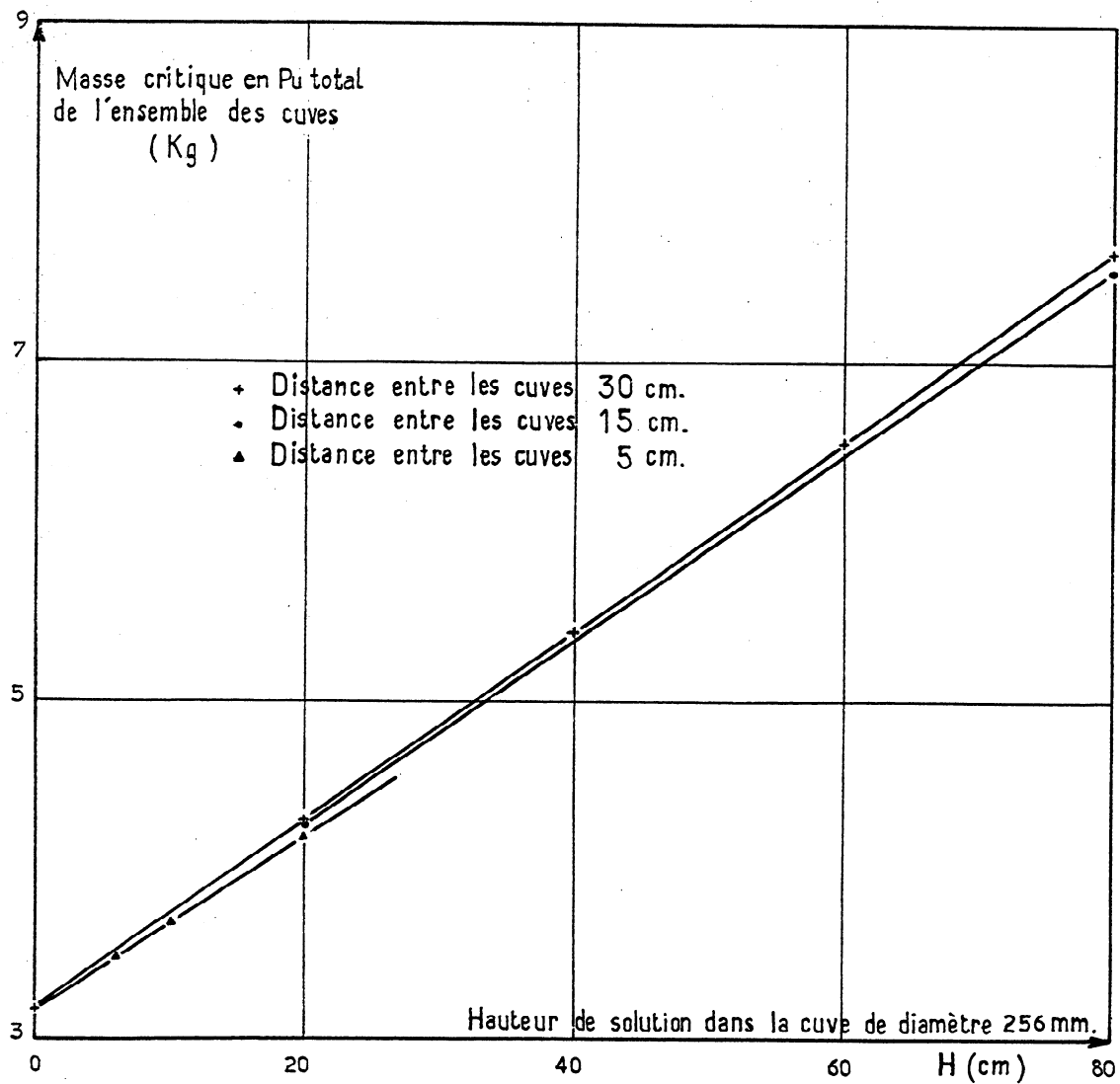


Fig.15 bis. Masse critique de l'ensemble formé par un récipient cylindrique de 300mm de diamètre et un récipient de 256 mm de diamètre contenant une solution de plutonium à 110,2 g/l d'élément fissile, en fonction du niveau de solution dans le récipient de 256 mm de diamètre placé à 30,15 et 5 cm du récipient de 300 mm de diamètre.

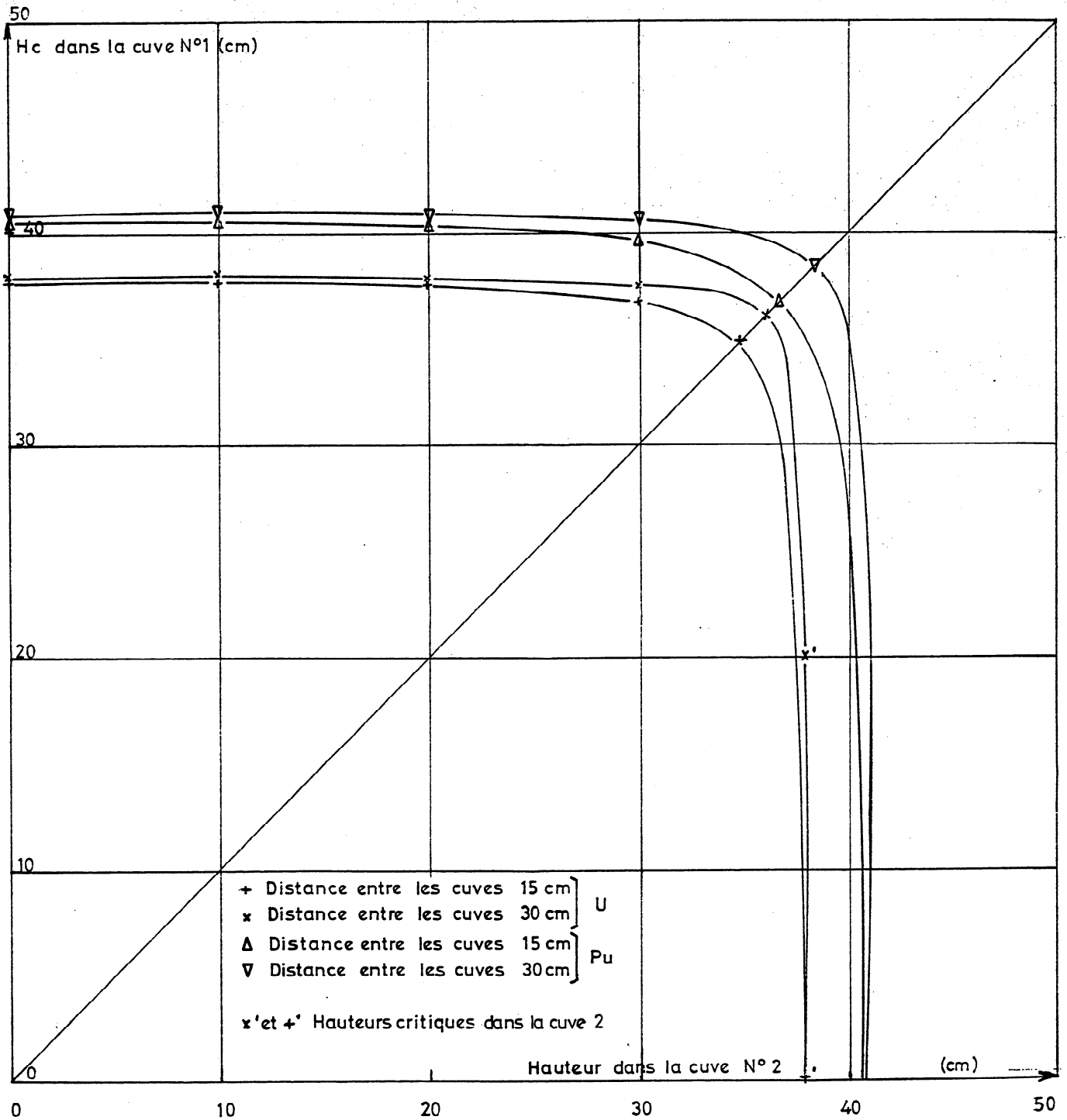


Fig. 16 - Hauteur critique d'un récipient cylindrique de 300 mm de diamètre contenant soit une solution de plutonium à la concentration de 110,2g/l en élément fissile soit une solution d'uranium à la concentration de 89,0 g/l en élément fissile en fonction du niveau de solution dans une cuve cylindrique de 300mm de diamètre placée à 15 et 30cm de la première.

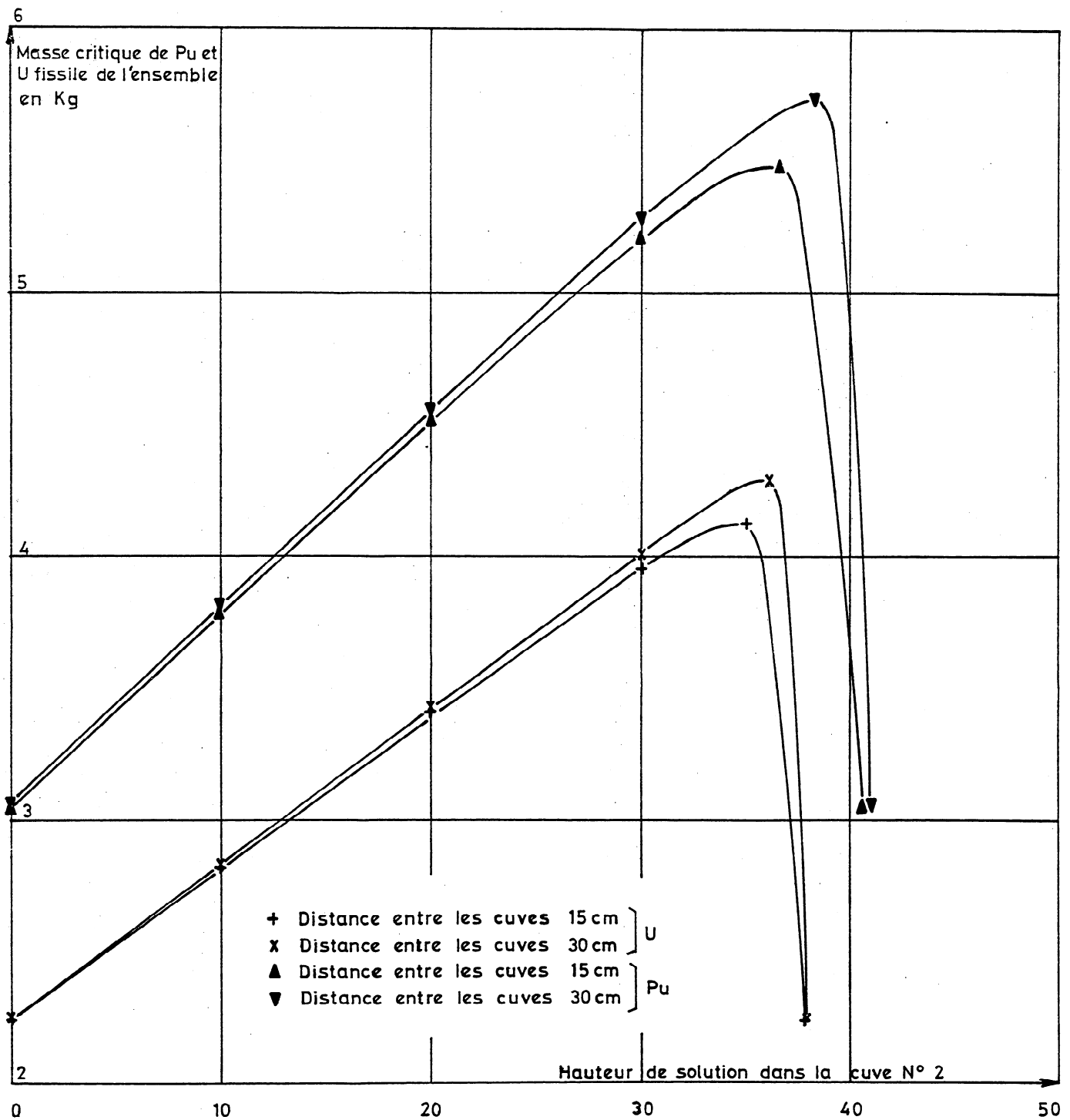


Fig. 17 - Masse critique de deux récipients cylindriques de 300 mm de diamètre contenant soit une solution de plutonium à la concentration de 110,2 g/l en élément fissile, soit une solution d'uranium à la concentration de 89,0 g/l en élément fissile en fonction du niveau de solution dans l'un des récipients placé à 15 et 30 cm du premier.

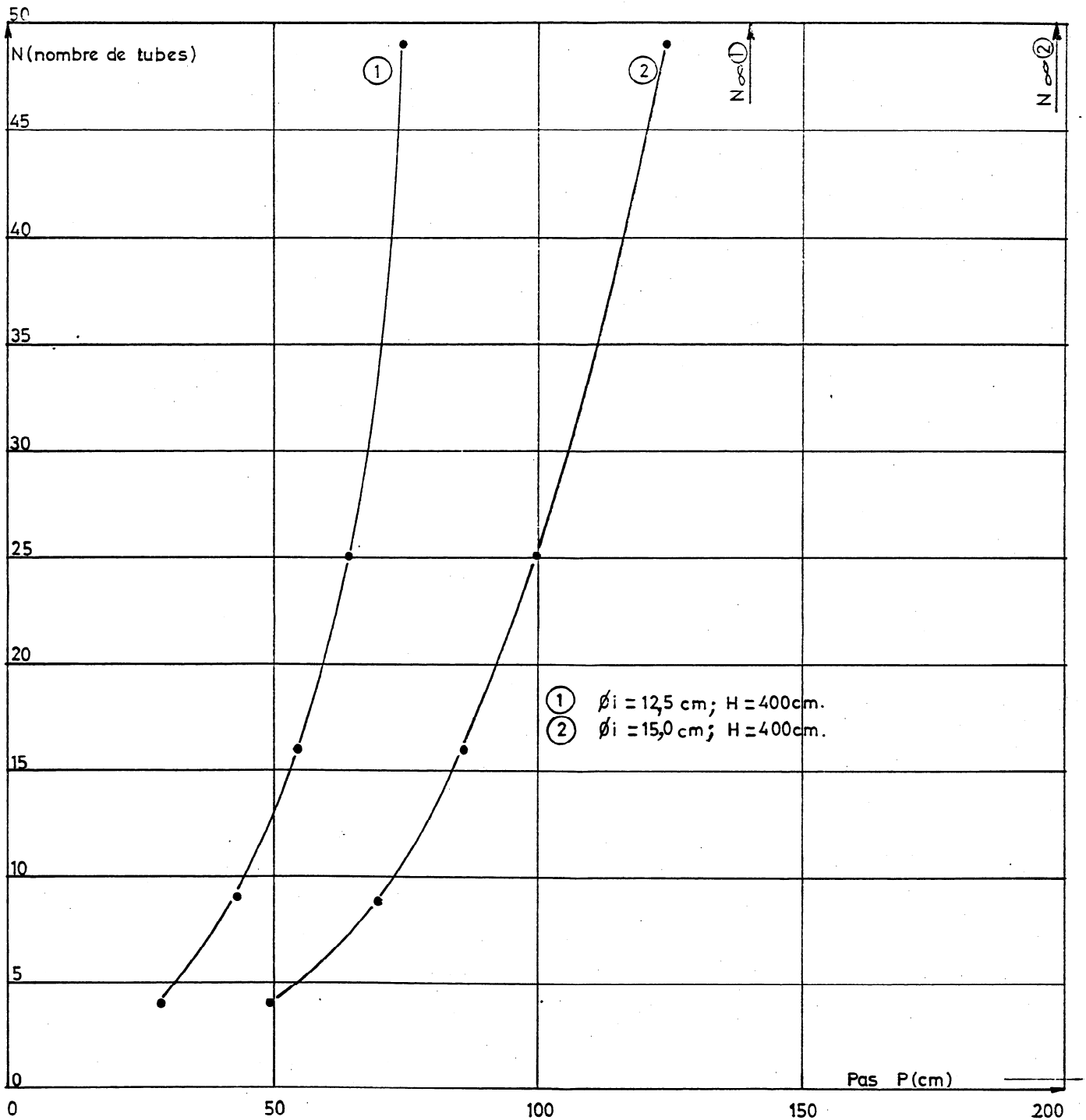


Fig.18 - $UO_2 F_2$ (93% ^{235}U) $C(U_2) = 500 \text{ g/l}$
 Réseaux plans de tubes dans l'air
 maille carrée, pas P. K_{eff} calculé ≈ 0.96

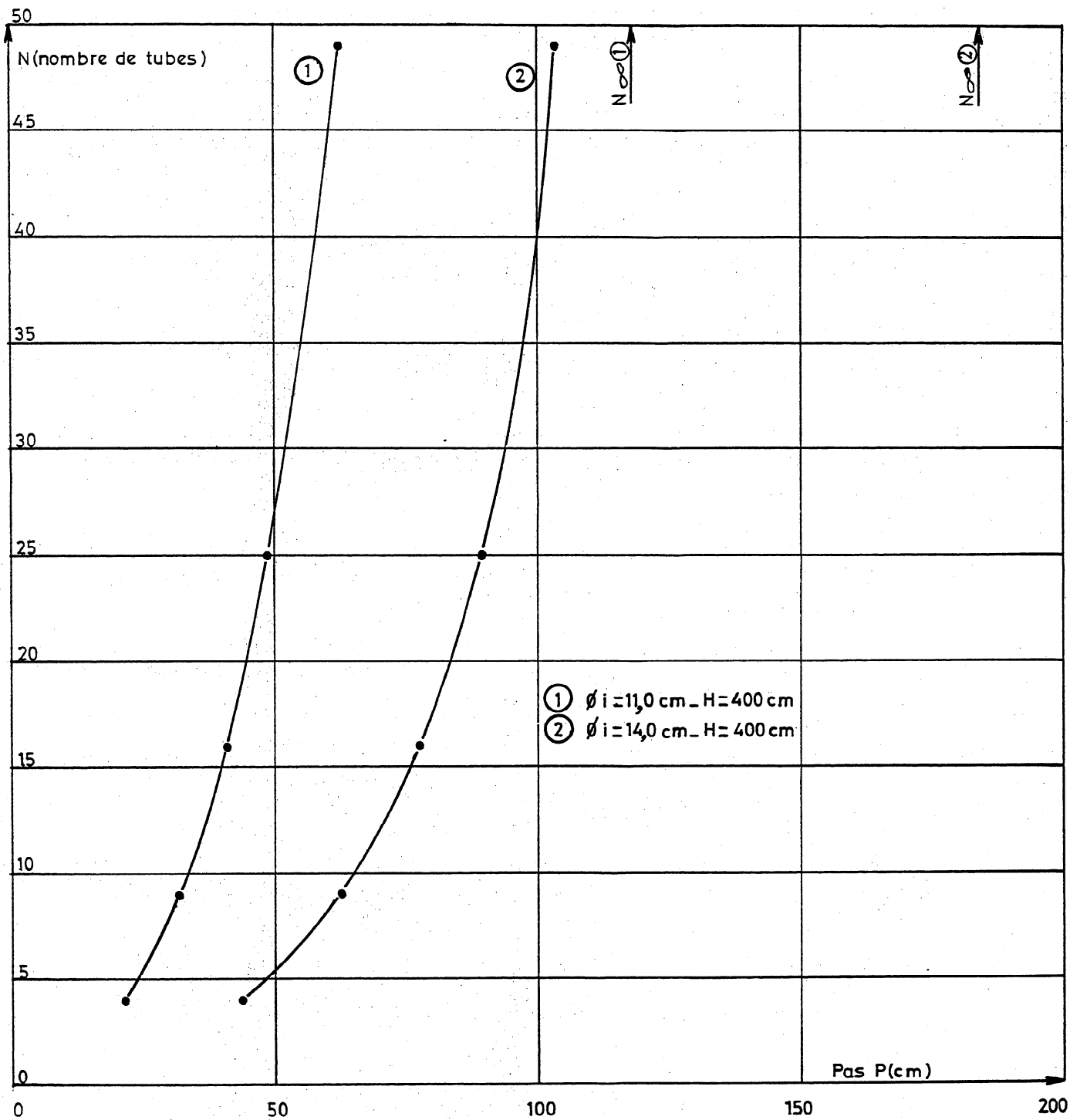


Fig.19 - $\text{PuO}_2 \text{F}_2$ (100% ^{239}Pu) - $\text{C}(\text{Pu}_t) = 500 \text{ g/l}$
 Réseaux plans de tubes dans l'air,
 maille carrée, pas P. $K_{\text{eff}} \approx 0,96$

LISTE DES TABLEAUX

- 1 - Composition isotopique de l'uranium.
- 2 - Résultats des analyses chimiques des solutions d'uranium.
- 3 - Analyse spectrographique des impuretés dans l'uranium
(en millionième)
- 4 - Composition isotopique du plutonium.
- 5 - Résultats des analyses chimiques des solutions de plutonium.
- 6 - Analyse spectrographique des impuretés dans le plutonium
(en millionième)
- 7 - Résultats des expériences d'interaction neutronique dans
l'air entre des cuves cylindriques de 300 mm de diamètre
dans différentes configurations et contenant une solution
de plutonium à une concentration de 146,0 g/l en élément
fissile (152,5 g/l en plutonium total).
- 8 - Résultats des expériences d'interaction neutronique dans
l'air entre des cuves cylindriques de 300 mm de diamètre
dans différentes configurations et contenant une solution
de plutonium à une concentration de 110,2 g/l en élément
fissile (115,1 g/l en plutonium total).
- 9 - Résultats des expériences d'interaction neutronique dans
l'air entre des cuves cylindriques de 300 mm de diamètre
contenant une solution d'uranium à 110,2 g/l, 80,5 g/l et
90,0 g/l d'uranium 235.

LISTE DES TABLEAUX (suite)

- 10 - Résultats des expériences d'interaction neutronique dans l'air entre des cuves cylindriques de 256 mm de diamètre contenant une solution de plutonium à 110,2 g/l d'élément fissile et dans différentes configurations.
- 11 - Résultats des expériences d'interaction ou de réflexion neutronique dans l'air entre deux cuves en configurations dissymétriques.
- 11.1. - Diamètres différents 300 et 256 mm - hauteurs égales - solution de plutonium.
 - 11.2. - Diamètres différents 300 et 256 mm - hauteurs différentes - solution de plutonium.
 - 11.3. - Diamètres différents 300 et 256 mm - hauteurs différentes - solution de plutonium dans la cuve de 300 mm de diamètre, 20,1 l. d'acide nitrique 2 N dans la cuve de 256 mm de diamètre (niveau 41 cm).
 - 11.4. - Diamètres identiques : 300 mm - hauteurs différentes (solution de plutonium).
 - 11.5. - Diamètres identiques : 300 mm - hauteurs différentes - solution d'uranium.

Tableau N° 1COMPOSITION ISOTOPIQUE DE L'URANIUM

ISOTOPES	^{234}U	^{235}U	^{236}U	^{238}U
Teneur en masse (en %)	$0,81 \pm 0,01$	$89,92 \pm 0,10$	$0,28 \pm 0,01$	$8,99 \pm 0,09$

Tableau N° 2RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES DES SOLUTIONS D'URANIUM

Concentration en U total (g/l) + 0,5% - 0,5%	^{235}U (g/l) + 0,5% - 0,5%	NO_3^- (N) + 1,5% - 1,5%	H^+ (N) + 2,5% - 2,5%	Fe^{+++} (g/l) + 10% - 10%	Densité par rapport à l'eau + 0,1% - 0,1%
265	238	3,91	1,66	0,098	1,412
122,6	110,2	3,09	2,05	0,066	1,232
100,1	90,0	2,91	2,05	0,049	1,204
99,0	89,0	2,93	2,08	0,069	1,203
89,5	80,6	2,82	2,06	0,069	1,191

ANALYSE SPECTROGRAPHIQUE DES IMPURETES DANS L'URANIUM

(EN MILLIONIEME)


Ag	Al	B	Ca	Cr	Cu	K	Mg	Mn	Na	Pb	Si	Sn	Ti	Zn	Fe	Ni	Cd	Co	In	Hg
< 5	<10	1	>1000	<10	150	<50	40	<5	40	10	20	< 5	<50	80	150	40	 Raies invisibles			

Tableau No 3

Tableau N° 4COMPOSITION ISOTOPIQUE DU PLUTONIUM

ISOTOPES	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu
Teneur en masse (en %)	95,47	$4,23 \pm 0,04$	$0,29 \pm 0,01$	$0,016 \pm 0,005$

Tableau N° 5RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUESDES SOLUTIONS DE PLUTONIUM

Concentration de Pu total (g/l) ± 0,5%	Concentration en Pu 239+241 (g/l) ± 0,5%	NO_3^- (N) ± 1,5%	H^+ (N) ± 2,5%	Fe^{+++} (g/l) ± 3%	Densité par rapport à l'eau ± 0,1%
152,5	146,0	4,81	2,24	0,298	1,330
145,4	139,2	4,66	2,22	0,280	1,316
135,7	129,9	4,43	2,15	0,265	1,298
125,5	120,2	4,18	2,07	0,241	1,279
115,1	110,2	3,94	2,01	0,233	1,260

ANALYSE SPECTROGRAPHIQUE DES IMPURETES DANS LE PLUTONIUM

(EN MILLIONIEME)

Ag	Al	B	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	Si	Sn	Ti	Zn	Cd	Co	Hg	In	Ni
1	25	1	800	70	80	300	60	60	80	100	120	< 10	70	< 50	300	10	50	invi- sible	100	208

Tableau No 6

Tableaux N° 7

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE
DANS L'AIR ENTRE DES CUVES CYLINDRIQUES DE
300 mm DE DIAMETRE DANS DIFFERENTES CONFIGURATIONS
ET CONTENANT UNE SOLUTION DE PLUTONIUM A UNE CONCENTRATION
DE 146,0 g/l EN ELEMENT FISSILE (152,5 g/l
en plutonium total).

Tableau N° 7 - 1INTERACTION ENTRE DEUX RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 300 mm DE DIAMETRE.

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (Pu η) (10 ³ g)	ΔMc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	ΔSM (cm ²)
0	31,07	0,02	42,19	0,07	6,43	0,05	25°6	679	2
5	34,70	0,02	47,12	0,08	7,19	0,05	26°	679	2
15	37,73	0,02	51,24	0,08	7,81	0,06		679	2
(2) 30	39,72	0,02	53,94	0,08	8,23	0,06		679	2
50	40,86	0,02	55,49	0,09	8,46	0,06	26°4	679	2
(1) ∞ (cuve isolée)	42,53	0,02	28,88	0,05	4,40	0,03	26°6	679	2

Tableau N° 7 - 2INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 300 mm DE DIAMETRE EN TRIANGLE EQUILATERAL

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc Pu _T (10 ³ g)	ΔMc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	ΔSM (cm ²)
0	23,33	0,02	47,52	0,09	7,25	0,06	25°4	680	2
10	31,90	0,02	64,98	0,10	9,91	0,07	25°9	679	2
30	37,30	0,02	76,0	0,2	11,59	0,09	25°8	679	2
60	39,90	0,02	81,3	0,2	12,40	0,10	26°1	679	2

Tableau N° 7 - 3INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 300 mm DE DIAMETRE EN TRIANGLE RECTANGLE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc Pu _T (10 ³ g)	ΔMc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	ΔSM (cm ²)
0	26,58	0,02	54,14	0,10	8,26	0,06	25°7	678	2
10	33,17	0,02	67,6	0,2	10,31	0,09	25°6	678	3
30	37,92	0,02	77,2	0,2	11,77	0,10	25°6	679	3
60	40,16	0,02	81,8	0,2	12,47	0,10	25°7	679	3

Tableau N° 7 - 4

INTERACTION ENTRE QUATRE RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 300 mm DE DIAMETRE EN CARRE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	ΔMc (10 ³ g)	ϵ (°C)	SM (cm ²)	SM (cm ²)
0	22,96	0,02	62,4	0,2	9,52	0,08	26°0	679	3
10	30,36	0,02	82,5	0,2	12,6	0,1	25°6	679	3
30	36,25	0,03	98,5	0,2	15,0	0,1	25°8	679	2

Tableaux N° 8

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION
NEUTRONIQUE DANS L'AIR ENTRE DES CUVES CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE DANS DIFFERENTES CONFIGURATIONS
ET CONTENANT UNE SOLUTION DE PLUTONIUM A UNE CONCENTRATION
DE 110,2 g/l EN ELEMENT FISSILE
(115,1 g/l EN PLUTONIUM TOTAL).

Tableau N° 8 - 1

INTERACTION ENTRE DEUX RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE.

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	30,54	0,02	41,47	0,07	4,77	0,04	25°5	680	2
5	33,80	0,02	45,90	0,08	5,28	0,04	25°0	679	2
15	36,67	0,02	49,80	0,08	5,73	0,04	25°7	678	2
30	38,39	0,02	52,13	0,08	6,00	0,04	25°5	679	2
50	39,50	0,02	53,64	0,08	6,17	0,05	26°2	679	2
145	40,37	0,02	54,82	0,09	6,31	0,05	25°5	678	2

Tableau N° 8 - 2

INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE EN LIGNE.

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	28,30	0,02	57,65	0,10	6,64	0,05	25°0	679	2
5	31,84	0,02	64,85	0,10	7,46	0,05	24°2	680	2
15	35,19	0,02	71,7	0,2	8,25	0,07	24°4	679	2
30	37,47	0,02	76,3	0,2	8,78	0,07	24°9	679	2
60	39,09	0,02	79,6	0,2	9,16	0,07	24°5	679	2
120	40,03	0,02	81,5	0,2	9,38	0,08	24°8	679	2

Tableau N° 8 - 3

INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE EN TRIANGLE EQUILATERAL

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	23,12	0,03	47,1	0,1	5,42	0,04	24°5	680	2
10	31,26	0,02	63,7	0,1	7,33	0,05	24°7	678	2
30	36,28	0,02	73,9	0,2	8,51	0,07	25°6	679	2
60	38,53	0,02	78,5	0,2	2,04	0,07	25°1	680	2
120	39,77	0,02	81,0	0,2	9,32	0,08	24°6	678	2

Tableau N° 8 - 4

INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE EN TRIANGLE RECTANGLE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	26,70	0,02	54,39	0,10	6,26	0,05	24°4	679	2
10	32,71	0,02	66,6	0,1	7,67	0,06	25°2	679	2
30	36,90	0,02	75,2	0,2	8,66	0,07	25°2	679	2
60	38,88	0,02	79,2	0,2	9,12	0,07	25°1	679	2
120	39,83	0,02	81,1	0,2	9,33	0,08	24°1	679	2
145	39,86	0,02	81,2	0,2	9,35	0,08	23°6	678	2

Tableau N° 8 - 5

INTERACTION ENTRE QUATRE RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE EN CARRE

Distance bord à bord entre les réipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	22,79	0,02	61,9	0,2	7,12	0,06	24°4	679	3
10	29,75	0,02	80,8	0,2	9,30	0,08	24°6	678	3
30	35,31	0,02	95,9	0,2	11,04	0,08	24°8	679	2
60	37,90	0,02	102,9	0,2	11,84	0,09	24°0	679	2
120	39,36	0,02	106,9	0,2	12,30	0,09	24°1	678	2
145	39,57	0,02	107,5	0,2	12,37	0,09	24°1	678	2

Tableau N° 8 - 6

INTERACTION ENTRE QUATRE RECIPIENTS CYLINDRIQUES DE 300 mm
DE DIAMETRE EN RECTANGLE - 2 COTES CONSTANTS DE 15 cm.

Distance bord à bord entre les réipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	26,83	0,02	72,9	0,2	8,39	0,07	24°2	680	3
5	29,26	0,02	79,5	0,2	9,15	0,07	23°9	678	3
15	31,76	0,02	86,3	0,2	9,93	0,08	23°9	678	2
30	33,54	0,02	91,1	0,2	10,49	0,08	23°8	680	2
60	35,02	0,02	95,1	0,2	10,95	0,08	24°6	679	2
120	35,78	0,02	97,2	0,2	11,19	0,09	23°5	679	2

Tableaux N° 9

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE DANS L'AIR

ENTRE DES CUVES CYLINDRIQUES DE 300 mm DE DIAMETRE

CONTENANT UNE SOLUTION D'URANIUM à 110,2 g/l. 80,6 g/l

ET 90,0 g/l D'URANIUM 235.

Tableau N° 9 - 1

INTERACTION ENTRE DEUX RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE A UNE CONCENTRATION EN ^{235}U
DE 110,2 g/l D'ELEMENT FISSILE (122,6 g/l en U total)

Distance entre les cuves (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc ^{235}U (10^3g)	ΔMc ^{235}U (10^3g)	SM ₁ (cm ²)	ΔSM_1 (cm ²)	SM ₂ (cm ²)	ΔSM_2 (cm ²)
0,5	27,81	0,03	36,91	0,06	4,07	0,03	664	2	663	2
2,5	28,76	0,02	38,33	0,05	4,22	0,03	664	2	668	2
7,2	30,13	0,03	40,05	0,06	4,41	0,03	665	2	664	2
15	31,14	0,03	41,43	0,07	4,57	0,04	665	2	665	2
20,02	31,59	0,04	42,02	0,08	4,63	0,04	666	2	665	2
30	32,10	0,02	42,71	0,05	4,71	0,04	666	2	665	2
50,05	32,63	0,02	43,41	0,05	4,78	0,04	666	2	664	2
100,08	33,04	0,06	43,86	0,10	4,83	0,04	666	3	661	3
cuve isolée	33,21	0,02	22,12	0,03	2,44	0,02	666	2	-	-

Tableau N° 9 - 2

INTERACTION ENTRE DEUX RECIPIENTS CYLINDRIQUES DE 300 mm

DE DIAMETRE A UNE CONCENTRATION EN 235U DE 80,6 g/l

D'ELEMENT FISSILE (89.5 g/l en UT).

Distance entre les cuves (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc 235U (10 ³ g)	Δ Mc 235U (10 ³ g)	SM ₁ (cm ²)	Δ SM ₁ (cm ²)	SM ₂ (cm ²)	Δ SM ₂ (cm ²)
0,6	32,42	0,03	43,11	0,07	3,47	0,03	666	2	664	2
5	34,89	0,02	46,45	0,05	3,74	0,03	667	2	665	2
15	37,31	0,02	49,72	0,06	4,01	0,03	667	2	665	2
30	38,88	0,02	51,84	0,06	4,18	0,03	668	2	666	2
50	39,78	0,02	53,07	0,06	4,28	0,04	668	2	666	2
100	40,48	0,02	54,02	0,06	4,35	0,04	668	2	666	2
178,4	40,62	0,02	54,21	0,06	4,37	0,04	668	2	666	2
cuve isolée	41,01	0,02	27,41	0,03	2,21	0,02	668	1	-	-

Tableau N° 9 - 3

INTERACTION ENTRE DEUX RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 300 mm DE DIAMETRE A UNE CONCENTRATION EN ^{235}U
DE 90 g/l D'ELEMENT FISSILE (100,1 g/l d'uranium total)

Distance entre les cuves (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc ^{235}U (10^3 g)	Δ Mc ^{235}U (10^3 g)	SM ₁ (cm ²)	Δ SM ₁ (cm ²)	SM ₂ (cm ²)	Δ SM ₂ (cm ²)
0,7	30,30	0,02	40,28	0,05	3,63	0,03	665	2	664	2
2,5	31,34	0,02	41,71	0,05	3,75	0,03	666	2	665	2
7,5	33,15	0,02	44,16	0,05	3,97	0,03	666	2	666	2
15	34,46	0,02	45,91	0,05	4,13	0,03	666	2	666	2
(2) 20	35,01	0,02	46,72	0,05	4,20	0,03	669	2	666	2
30,1	35,72	0,02	47,62	0,05	4,29	0,03	667	2	666	2
50	36,42	0,02	48,57	0,06	4,37	0,03	667	2	667	2
100	36,94	0,02	49,31	0,06	4,44	0,03	668	2	667	2
190,2	37,06	0,02	49,43	0,06	4,45	0,03	667	2	666	2
(1) cuve isolée	37,31	0,02	24,90	0,03	2,24	0,02	667	2		

Tableaux N° 10

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE
DANS L'AIR ENTRE DES CUVES CYLINDRIQUES DE 256 mm
DE DIAMETRE CONTENANT UNE SOLUTION DE PLUTONIUM
à 110,2 g/l D'ELEMENT FISSILE ET DANS DIFFERENTES
CONFIGURATIONS (115,1 g/l en plutonium total)

Tableau N° 10 - 1

INTERACTION ENTRE DEUX RECIPIENTS
CYLINDRIQUES DE 256 mm DE DIAMETRE.

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	52,96	0,02	51,93	0,08	5,98	0,04	25°4	490	1
5	78,72	0,02	77,19	0,10	8,88	0,06	26°4	490	1
10	103,2	0,1	101,2	0,2	11,65	0,09	26°4	490	1

Tableau N° 10 - 2

INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUES
DE 256 mm DE DIAMETRE EN TRIANGLE EQUILATERAL

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
5	41,09	0,02	60,43	0,09	6,96	0,05	24°4	490	1
10	53,14	0,02	78,2	0,1	9,00	0,06	25°7	491	1
20	75,58	0,02	111,2	0,2	12,80	0,09	25°0	490	1

Tableau N° 10 - 3INTERACTION ENTRE TROIS RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 256 mm DE DIAMETRE EN TRIANGLE RECTANGLE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	36,05	0,02	53,02	0,09	6,10	0,05	23°3	490	1
5	48,75	0,02	71,7	0,1	8,25	0,06	25°0	490	1
10	60,99	0,02	89,7	0,2	10,32	0,08	24°5	490	2
20	86,26	0,02	126,9	0,2	14,6	0,1	25°7	490	1

Tableau N° 10 - 4INTERACTION ENTRE QUATRE RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 256 mm DE DIAMETRE EN CARRE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	26,71	0,02	52,37	0,09	6,03	0,05	24°3	490	2
5	36,32	0,02	71,2	0,1	8,20	0,06	24°9	490	2
10	45,04	0,02	88,3	0,2	10,16	0,08	24°9	490	2
20	63,22	0,02	124,0	0,2	14,3	0,1	24°7	490	1

Tableau N° 10 - 5

INTERACTION ENTRE SIX RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 256 mm DE DIAMETRE SUR 2 LIGNES.

Distance bord à bord entre les réipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (PuT) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	24,01	0,02	76,6	0,2	8,13	0,07	24°1	490	2
5	31,89	0,02	93,8	0,2	10,80	0,08	24°3	490	2
10	39,25	0,02	115,5	0,2	13,30	0,10	24°8	490	2

Tableau N° 10 - 6

INTERACTION ENTRE SEPT RECIPIENTS CYLINDRIQUESDE 256 mm DE DIAMETRE EN ETOILE.

Distance bord à bord entre les réipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (PuT) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
1,2	21,43	0,02	73,5	0,2	8,46	0,07	24°8	490	2
5	27,10	0,02	93,0	0,2	10,70	0,08	25°2	490	2
10	33,69	0,02	115,6	0,2	13,31	0,10	25°6	490	2

Tableaux N° 11 - 1

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE

DANS L'AIR ENTRE DEUX CUVES DISSYMETRIQUES.

Tableau N° 11 - 1 - 1

INTERACTION ENTRE UN CYLINDRE DE 300 mm DE DIAMETRE ET UN
CYLINDRE DE 256 mm DE DIAMETRE DANS L'AIR
A UNE CONCENTRATION DE 146,0 g/l EN ELEMENT FISSILE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	ΔMc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	ΔSM (cm ²)
0	34,86	0,02	40,61	0,07	6,19	0,05	26°3	679 486	2 1
10	40,15	0,02	46,79	0,07	7,14	0,05	26°1	679 486	2 1
30	42,09	0,02	49,06	0,06	7,48	0,06	27°2	679 487	2 1
60	42,43	0,02	49,46	0,08	7,54	0,06	26°8	679 487	2 1

Tableau N° 11 - 1 - 2

INTERACTION ENTRE UN CYLINDRE DE 300 mm DE DIAMETRE ET UN
CYLINDRE DE 256 mm DE DIAMETRE DANS L'AIR
A UNE CONCENTRATION DE 110,2 g/l EN ELEMENT FISSILE

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	ΔMc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	ΔSM (cm ²)
0	34,09	0,02	39,71	0,07	4,57	0,04	26°4	679 486	2 2
10	39,00	0,02	45,45	0,07	5,23	0,04	26°8	679 486	2 2
30	40,66	0,02	47,39	0,07	5,45	0,04	27°2	679 487	2 2
60	40,90	0,02	47,67	0,08	5,49	0,04	26°7	679 487	2 2

Tableaux N° 11 - 2

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE
DANS L'AIR ENTRE UNE CUVE DE 300 mm DE DIAMETRE
ET UNE CUVE DE 256 mm DE DIAMETRE,
CETTE DERNIERE CONTENANT LA SOLUTION A UNE HAUTEUR
FIXE A UNE CONCENTRATION DE Pu DE 110,2 g/l
EN ELEMENT FISSILE.

Tableau N° 11-2-1

DISTANCE ENTRE LES CUVES : 30 cm

Hauteur de Pu dans la cuve de 256 mm de ϕ (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	40,66	0,02	27,61	0,05	3,18	0,03	24°1	679	2
20	40,54	0,02	37,34	0,06	4,30	0,03	24°2	679	2
40	40,27	0,02	46,96	0,07	5,41	0,04	24°0	679	2
60	40,13	0,02	56,70	0,08	6,53	0,05	24°8	679	2
80	40,12	0,02	66,46	0,09	7,65	0,05	26°1	679	2

Tableau N° 11-2-2

DISTANCE ENTRE LES CUVES : 15 cm

Hauteur de Pu dans la cuve de 256 mm de ϕ (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
(1) 20	40,34	0,02	37,20	0,06	4,28	0,03	25°0	679	2
80	38,74	0,02	65,52	0,09	7,54	0,05	25°4	679	2

Tableau N° 11-2-3

DISTANCE ENTRE LES CUVES : 5 cm

Hauteur de Pu dans la cuve de 256 mm de ϕ (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
6	40,45	0,02	30,39	0,05	3,50	0,03	25°5	679	2
10	40,17	0,02	32,18	0,05	3,70	0,03	24°4	679	2
20	39,43	0,02	36,58	0,06	4,21	0,03	24°5	679	2

Tableau N° 11 - 3

RESULTATS DES EXPERIENCES DE REFLEXION NEUTRONIQUE DANS L'AIR
ENTRE UN CYLINDRE DE DIAMETRE 300 mm ET CONTENANT UNE SOLUTION
DE PLUTONIUM A UNE CONCENTRATION DE 110,2 g/l EN ELEMENT FISSILE
ET UN CYLINDRE DE DIAMETRE 256 mm REMPLI D'ACIDE 2 N JUSQU'A 41 cm

Distance bord à bord entre les récipients (cm)	Hc (cm)	Δ Hc (cm)	Vc (l.)	Δ Vc (l.)	Mc (Pu _T) (10 ³ g)	Δ Mc (10 ³ g)	θ (°C)	SM (cm ²)	Δ SM (cm ²)
0	38,60	0,03	26,21	0,05	3,02	0,03	26°4	679	2
10	40,37	0,02	27,41	0,04	3,15	0,03	26°2	679	2
30	40,89	0,02	27,76	0,05	3,20	0,03	26°2	679	2

Tableaux N° 11 - 4

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE DANS L'AIR
ENTRE DEUX CUVES DE 300 mm DE DIAMETRE. L'UNE D'ELLES CONTENANT
DE LA SOLUTION A UNE HAUTEUR FIXE - SOLUTION DE PLUTONIUM
A UNE CONCENTRATION DE 110,2 g/1 EN ELEMENT FISSILE.

Tableau N° 11 - 4 - 1DISTANCE BORD A BORD ENTRE LES CUVES : 15 cm

Hauteur de solution dans la cuve N° 2 (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (PuT) ($10^3 g$)	ΔMc ($10^3 g$)	θ ($^{\circ}C$)	SM (cm^2)	ΔSM (cm^2)
0	40,64	0,02	27,59	0,05	3,18	0,03	24°5	679	2
10	40,70	0,02	34,42	0,06	3,96	0,03	26°0	679	2
20	40,43	0,02	41,02	0,07	4,72	0,04	26°3	679	2
30	39,57	0,02	47,24	0,07	5,44	0,04	26°2	679	2

Tableau N° 11 - 4 - 2DISTANCE BORD A BORD ENTRE LES CUVES : 30 cm

Hauteur de solution dans la cuve N° 2 (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (PuT) ($10^3 g$)	ΔMc ($10^3 g$)	θ ($^{\circ}C$)	SM (cm^2)	ΔSM (cm^2)
0	40,87	0,02	27,75	0,05	3,19	0,03	25°7	679	2
10	41,00	0,02	34,64	0,06	3,99	0,03	26°8	679	2
20	40,81	0,02	41,29	0,07	4,75	0,04	26°2	679	2
30	40,59	0,02	47,94	0,07	5,52	0,04	26°7	679	2

Tableaux N° 11 - 5

RESULTATS DES EXPERIENCES D'INTERACTION NEUTRONIQUE
DANS L'AIR ENTRE DEUX CUVES DE 300 mm DE DIAMETRE
CONTENANT UNE SOLUTION D'URANIUM A DES HAUTEURS
DIFFERENTES ET A UNE CONCENTRATION DE 89,0 g/l
D'URANIUM EN ELEMENT FISSILE.

Tableau N° 11 - 5 - 1DISTANCE ENTRE LES CUVES : 15 cm

Hauteur de solution dans la cuve N° 2 (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (U_T) ($10^3 g$)	ΔMc ($10^3 g$)	Mc (^{235}U) ($10^3 g$)	ΔMc ($10^3 g$)	SM (cm^2)	ΔSM (cm^2)
0	37,71	0,02	25,17	0,03	2,49	0,02	2,24	0,02	667	2
10	37,67	0,02	31,62	0,04	3,13	0,02	2,81	0,02	667	2
20	37,42	0,02	38,19	0,04	3,78	0,03	3,40	0,03	667	2
30	36,68	0,02	44,47	0,05	4,40	0,03	3,96	0,03	667	2

Tableau N° 11 - 5 - 2DISTANCE ENTRE LES CUVES : 30 cm

Hauteur de solution dans une cuve de 300 mm de ϕ (cm)	Hc (cm)	ΔHc (cm)	Vc (l.)	ΔVc (l.)	Mc (U_T) ($10^3 g$)	ΔMc ($10^3 g$)	Mc (^{235}U) ($10^3 g$)	ΔMc ($10^3 g$)	SM (cm^2)	ΔSM (cm^2)
0	37,89	0,02	25,29	0,03	2,50	0,02	2,25	0,02	667	2
10	37,84	0,02	31,73	0,04	3,14	0,02	2,82	0,02	667	2
20	37,76	0,02	38,42	0,04	3,80	0,03	3,42	0,03	667	2
30	37,46	0,02	44,97	0,05	4,45	0,03	4,00	0,03	667	2

Edité par
le Service Central de Documentation du C.E.A.
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Boîte Postale n° 2
91 - GIF-sur-YVETTE (France)

Vente et diffusion à :
La Documentation Française
Secrétariat Général du Gouvernement
Direction de la Documentation
31, quai Voltaire, PARIS VIIème - Tél. 222.70.00