

Cadarache le, 1er juin 1977

PROJET

NOTE TECHNIQUE DRE/SPNR/77/106/DC/MB

ETUDE DE L'ECHAUFFEMENT DU AUX GAMMAS

---

D. CALAMAND

87070001

## / P L A N /

### INTRODUCTION

- 1) Position du problème
- 2) Approche retenue - notion de formulaire
- 3) Résultats expérimentaux
  - a) Expérience sur réacteur HARMONIE
  - b) Expériences sur maquette critique (MASURCA)

### I - RESULTATS EXPERIMENTAUX

- I.1 - Etude du milieu fer pur
- I.2 - Mesures sur expériences critiques

### II - COMPARAISON CALCUL EXPERIENCE

- II.1 - Caractéristiques du formulaire gamma
- II.2 - Etude du milieu de fer pur
  - II.2.1 - Tests de méthode
  - II.2.2 - Comparaison calcul-expérience
- II.3 - Etude de l'échauffement  $\gamma$  sur expérience critique
  - II.3.1 - Tests de méthode
  - II.3.2 - Comparaison calcul-expérience

### III - CONCLUSION

### REFERENCES

INTRODUCTION

1) Position du problème

Dans un réacteur à neutrons rapides la puissance due aux  $\gamma$  représente globalement plus de 10% de la puissance totale, mais la contribution de l'échauffement  $\gamma$  à cette puissance totale varie notablement selon la zone du réacteur considérée: voisine de 10% dans le coeur (ref. 1) cette contribution est notablement plus élevée dans les barres ou les couvertures :

- Barre de commande

Le tableau suivant donne les ordres de grandeur pour situer les principales causes à l'origine de l'échauffement  $\gamma$  dans une barre de commande du type PHENIX (ref. 2) insérée à mi coeur et pour une puissance nominale de 563 MW thermiques. A cette puissance 421,4 Kw seraient dégagés dans la barre.

B10 (n, $\alpha$ )	215,7 Kw	51,2%	43,1% sous forme d'énergie cinétique de $\alpha$ et Li7 8,2% sous forme d'énergie de $\gamma$ de 0,478 Mev
absorption des $\gamma$ issus des captures et des fissions	109,2 Kw	25,9%	25,9% sous forme d'énergie de $\gamma$
ralentissement élastique et inélastique	96,5 Kw	22,9%	

La contribution au dégagement de puissance  $\gamma$  dans la barre est de 34,1% auxquels il convient d'ajouter la puissance due aux  $\gamma$  résultant du ralentissement inélastique.

- Couverture (PHENIX)

Pour la première rangée d'assemblages couvertures la puissance  $\gamma$  représente 23% de la puissance dégagée par fission et capture (on ne tient pas compte du ralentissement).

Dans la seconde rangée avec la même approximation la contribution des  $\gamma$  à la puissance totale est de 33%.

La puissance dégagée par les  $\gamma$  dans les barres et les couvertures doit être compatible avec les conditions de refroidissement du réacteur : en particulier l'élévation de température dans les barres doit rester en deçà du point de fusion du  $B_{10}$ . Il apparaît donc nécessaire pour les calculs de projets de connaître les facteurs correctifs à appliquer aux évaluations de puissance  $\gamma$  avec leurs incertitudes.

Actuellement on souhaite connaître la puissance  $\gamma$  avec une incertitude maximale de  $\pm 20\%$ .

## 2) Approche retenue - notion de formulaire

Pour prévoir l'échauffement  $\gamma$  en différents points d'un réacteur de puissance on définit une méthode de calcul à laquelle sont associés des facteurs correctifs et leurs incertitudes.

La méthode de calcul retenue appelée "formulaire" comprend :

- La définition des sources neutroniques
- Une méthode de calcul des sources de  $\gamma$
- Une bibliothèque de sections efficaces photoniques et de spectres de  $\gamma$
- Une méthode de calcul du transport et de l'échauffement  $\gamma$ .  
(Cette dernière méthode peut varier selon qu'on analyse des expériences réalisées ("méthode de référence") ou que l'on fait des calculs de projets ("méthode de projets")).

Il est évident que les facteurs correctifs et leurs incertitudes doivent être aussi faibles que possible, d'où la nécessité d'ajuster le formulaire.

La détermination des facteurs correctifs et de leurs incertitudes est faite à partir d'un programme expérimental réalisé principalement sur expériences critiques.

L'amélioration de ces facteurs correctifs et la réduction des marges d'incertitudes peuvent être obtenues :

- a) en modifiant les méthodes de calcul utilisées
- b) en ajustant éventuellement les données de base

### 3) Résultats expérimentaux

#### a) Expérience sur réacteur source HARMONIE

Les mesures portent sur l'échauffement  $\gamma$  dans un milieu de fer pur alimenté par une source neutronique à travers une couverture d'uranium naturel et un bloc d'acier.

#### b) Expériences sur maguette critique (MASURCA)

Ces expériences portent sur les milieux suivants :

milieux coeur : Zone  $R_3$  enrichi à 15% en U5 dont l'enrichissement est voisin de celui de la zone interne de Super-Phénix.

Zone  $R_2$  enrichi à 30% en U5 pour simuler la zone externe du coeur Phénix.

Zone  $Z_1$  Plutonium enrichissement à 18% voisin de la zone interne de Phénix.

couvertures : Couverture radiale d'oxyde d'Uranium appauvri.  
Couverture axiale d'Uranium appauvri.  
Couverture axiale d'oxyde d'Uranium avec un milieu  $Z_1$ .

barres insérées au centre du coeur :

Barre diluante d'acier ( $r = 3$  cm)

Barre absorbante de B4c ( $r = 3$  cm)

Barre absorbante de B4c ( $r = 6$  cm)

Les résultats présentés ici ne portent que sur :

- les milieux coeur d'Uranium  $R_2$ - $R_3$
- la couverture UO2
- les barres absorbante (B4c naturel) et diluante (Acier) de rayon 3 cm.
- le milieu de fer pur étudié sur le réacteur source HARMONIE.

## I - RESULTATS EXPERIMENTAUX

### I.1 - Etude du milieu de fer pur

L'étude complète de ce milieu est présentée dans /3/. On ne rappellera ici que les caractéristiques principales de cette expérience :

- La fig. 1 présente la configuration expérimentale du massif de fer alimenté par le réacteur source HARMONIE.

Les mesures d'échauffement  $\gamma$  ont été faites par chambre d'ionisation à paroi de fer et par détecteurs thermoluminescents (T.L.D) préalablement calibrés à l'aide d'une source de Co 60. Ces deux types de détecteurs sont disposés dans un canal traversant le bloc de fer. Le milieu de fer est ensuite reconstitué de part et d'autre des détecteurs pour supprimer les effets parasites liés à la présence du canal (variation du spectre (n,  $\gamma$ ), fuites).

- Le tableau I permet de comparer les résultats bruts des mesures faites aux résultats corrigés des perturbations liées à la méthode de mesure : effets de température et de pression du gaz de remplissage de la chambre (Co<sub>2</sub>), contribution parasite à l'ionisation par le flux neutronique pour les deux types de détecteurs.

Les incertitudes expérimentales affectant les valeurs mesurées sont dues :

- aux incertitudes de mesure liées aux détecteurs eux-mêmes (caractéristiques du gaz de remplissage, condition d'étalonnage, positionnement des détecteurs dans le canal) :  $\pm 8\%$
- à l'incertitude affectant la correction appliquée aux résultats pour prendre en compte l'ionisation parasite due aux neutrons. Cette correction est calculée avec une marge d'incertitude estimée de  $\pm 30\%$ .

On notera que les résultats expérimentaux obtenus à l'aide des détecteurs thermoluminescents sont cohérents avec ceux résultant des mesures par chambre d'ionisation à  $\pm 5\%$ .

Ceci permet d'envisager l'utilisation des deux techniques de façon complémentaire, les mesures par chambre permettant d'avoir une distribution spatiale fine le long de l'axe de mesure et les mesures par détecteurs

permettant de déterminer l'échauffement en des points inaccessibles aux chambres (à l'intérieur des barres de contrôle par exemple).

### I.2 - Mesures sur expérience critique

Les mesures d'échauffement  $\gamma$  ont été faites sur des configurations réalisées sur l'expérience critique MASURCA et comprenant des barres centrales absorbantes ( $B_4C$ ) ou diluantes (Acier) complètement insérées. Dans les coeurs concentriques d'Uranium dont la représentation en géométrie cylindrique est donnée sur la fig. 2, on a mesuré des distributions radiales d'échauffement  $\gamma$  dans le plan médian du coeur par déplacement d'une chambre d'ionisation ( $Co_2$ ) à paroi de fer dans un canal radial et par détecteurs thermoluminescents dans la barre centrale.

Les résultats expérimentaux présentés fig. 5, 6, 7, 8 sont affectés d'incertitudes élevées : celles-ci tiennent aux corrections calculées importantes qu'il a été nécessaire d'appliquer aux mesures brutes pour prendre en compte :

- l'ionisation parasite par les neutrons
- la variation de sensibilité spectrale des T.L.D placés dans les barres (voisine de 40% au centre de la barre  $B_4C$ ).

On a admis que les termes correctifs à appliquer étaient connus à  $\pm 30\%$  en relatif.

## II - COMPARAISON CALCUL-EXPERIENCE

### II.1 - Caractéristiques du formulaire gamma

- Le flux neutronique utilisé pour la détermination des sources  $\gamma$  est généralement issu de calculs neutroniques coeur en géométrie cylindrique 2D(R, Z) dans l'approximation de la diffusion à 25 groupes à l'aide des sections du formulaire CARNAVAL III ou CARNAVAL IV (disponible depuis février 1977).
- Les sources  $\gamma$  sont déterminées par le code SOUGAM /11/ qui pour chaque type de réaction (capture, fission, ralentissement inélastique) de chacun des éléments présents dans le milieu étudié fournit en tout point la répartition énergétique des sources  $\gamma$ . L'intensité des  $\gamma$  et les spectre associés à chaque réaction sont des données de base issues de (ref. 1).

- La propagation des sources  $\gamma$  ( $r, E$ ) ainsi déterminées est ensuite faite:

- . soit en théorie du transport en géométrie 1D (code ANISN (7) quand la simplicité de la configuration le permet. C'est le cas des expériences faites sur des barres centrales complètement insérées dans l'assemblage critique MASURCA.

- . soit en géométrie 3D par un code d'intégration du noyau ponctuel d'atténuation en ligne droite : code MERCURE IV /8/. Dans ce cas on tient compte de façon approximative de l'énergie  $\gamma$  diffusée par des coefficients de 'build-up' (9, 10)

Dans les deux cas la propagation des sources  $\gamma$  est calculée en utilisant la bibliothèque des sections photoniques à 21 groupes /9/ ( $\sigma_a$ ,  $\sigma_T$  et éventuellement  $\sigma_{g \rightarrow g}$  dans le cas du code ANISN).

## II.2 - Etude du milieu de fer pur

### II.2.1 - Tests de méthode

- Dans ce cas particulier, compte-tenu des dimensions du coeur ( $H = 11$  cm,  $R = 6$  cm) le calcul du flux neutronique a été fait en géométrie sphérique en transport (ANISN), les sections efficaces sont celles du formulaire CARNAVAL III /13/.

Des tests numériques ont été faits pour étudier :

- . l'influence de l'ordre de quadrature : l'ordre S16 est nécessaire pour traiter correctement l'anisotropie du flux à haute énergie

- . l'influence du maillage choisi : un pas de 2,5 cm apparaît suffisant pour décrire l'expérience réalisée.

- Le transport des sources  $\gamma$  a été calculé à l'aide du code ANISN avec les sections à 21 groupes de (ref. 9) pour lequel une étude paramétrique a montré que le développement à l'ordre  $P_0$  était suffisant : l'emploi de moments d'ordre plus élevé (jusqu'à  $P_5$ ) modifie légèrement le spectre du flux  $\gamma$  mais ne modifie pas significativement l'échauffement par suite de compensation.



- Le calcul montre que les sources créées dans le coeur, la couverture ne sont pas transportées dans le milieu de fer étudié du fait de la traversée des 14 cm d'acier du réflecteur.

- Les sources contribuant à l'échauffement dans le milieu étudié sont limitées aux sources de capture créées dans le fer et le Ni du réflecteur contribuant pour moins de 1% aux captures dans le bloc de fer, ainsi qu'aux sources suivant le ralentissement inélastique dans les deux milieux. Alors qu'à l'interface réflecteur-bloc de fer, chaque milieu contribue pour 50% à l'échauffement, au bout de 15 cm seules les sources créées dans le bloc de fer participent à l'échauffement (fig. 3).

#### II.2.2 - Comparaison calcul-expérience

Les distributions calculées et mesurées de l'échauffement  $\gamma$  sont présentées sur la fig. 4.

On observe que si les distributions relatives calculées et mesurées sont en bon accord sur l'ensemble de la zone étudiée, il y a par contre une sous-estimation importante des valeurs absolues de l'échauffement  $\gamma$  par le calcul :

$$\left(\frac{E}{C} \approx 2,4 \pm 0,3\right)$$

Les causes probables de ce désaccord en cours d'étude sont :

- l'inadaptation des sections  $(n, \gamma)$  du formulaire CARNAVAL III, ajustées sur des milieux coeur, pour traiter la propagation du flux neutronique dans le massif de Fer. On notera à cet égard que l'emploi des sections du formulaire PROPANE /14/ réduit l'écart calcul-expérience à  $\frac{E - C}{C} \approx + 20\% \pm 15\%$

- Le traitement par le calcul de la variation spatiale du spectre du flux neutronique mis en évidence par la comparaison entre des taux de réaction calculés et mesurés pour des détecteurs de S, Rh, Mn, Na, U5.

### II.3 - Etude de l'échauffement $\gamma$ sur expérience critique

Le flux neutronique utilisé pour le calcul des sources  $\gamma$  est issu de calculs 2D(R, Z) à 25 groupes. Le transport des sources  $\gamma$  a été calculé successivement avec ANISN /7/ et MERCURE /8/.

#### II.3.1 - Tests de méthode

- Une comparaison de résultats obtenus pour la réponse échauffement en utilisant des sources  $\gamma$  calculées à partir d'un flux neutronique 1 ou 2 dimensions fait apparaître des différences  $\leq 1,5\%$ .
- Le passage de l'approximation  $P_0$  à  $P_1$  produit des variations  $\leq 1\%$  dans le coeur et la barre B4c,  $\leq 2,5\%$  dans la couverture, et  $\leq 9\%$  dans la barre d'acier.
- Le passage de  $P_1$  à  $P_3$  ne se traduit que par des variations  $\leq 1\%$  dans tous les milieux.
- Une variation de maillage de 4,6 à 0,5 cm pour le calcul des sources  $\gamma$  et de leur propagation dans la couverture entraîne une variation de 1 à 4% de l'échauffement  $\gamma$  en début et en milieu de couverture, de 7% à l'interface R2/ couverture, de 9% en fin de couverture.
- L'incidence du choix de l'ordre de quadrature angulaire de S4 à S8 puis S16 entraîne des variations inférieures à 1% (sauf à l'interface R2 couverture où l'on atteint 2%). Nous pouvons donc retenir les approximations suivantes S4,  $P_1$  avec des intervalles spatiaux de 1,5 cm sauf aux interfaces où il sera prudent de découper en 0,5 cm particulièrement où les forts gradients risquent d'influencer les résultats.

#### II.3.2 - Comparaison calcul-expérience

Les distributions d'échauffement  $\gamma$  calculées par ANISN et MERCURE IV et les résultats expérimentaux sont présentés sur les fig. 5, 6 pour la configuration avec la barre d'acier et sur les fig. 7, 8 pour la barre B4c :

- Dans la barre diluante (Acier) les distributions calculées par ANISN et par MERCURE IV sont en accord avec les résultats expérimentaux à l'intérieur des incertitudes expérimentales

( $\pm 20\%$ ). On note que les valeurs issues des calculs MERCURE sont supérieures de 15% à celles obtenues par ANISN.

- Dans les barres absorbantes, l'échauffement calculé en transport est en accord avec les valeurs mesurées compte-tenu des incertitudes expérimentales. Le calcul MERCURE IV, qui donne des valeurs d'échauffement supérieures de 30% en moyenne à celles obtenues avec ANISN, surestime l'échauffement dans la barre d'environ  $30\% \pm 20\%$

- Pour les deux configurations étudiées, on observe que les échauffements  $\gamma$  calculés par ANISN et MERCURE dans la zone interne du coeur (R3) sont cohérentes avec les valeurs mesurées à l'intérieur des marges d'incertitudes. L'échauffement obtenu par MERCURE est supérieur de 25 à 30% à celui calculé par ANISN.

- Les mêmes observations s'appliquent à la zone fissile externe (R2) à l'exception des points situés au voisinage des interfaces R3/R2 et R2/couverture. Pour ces points on observe que les valeurs obtenues par MERCURE IV sont en dehors des marges d'incertitudes  $\frac{E - C}{C} \approx -29\% \pm 13\%$ . Ceci peut être attribué à la méthode utilisée pour la détermination et la composition des facteurs de 'build-up' au voisinage des interfaces.

- Dans la couverture  $UO_2$ , le calcul par MERCURE IV prévoit correctement l'échauffement  $\gamma$  alors que le calcul fait en transport tend à sous-estimer cet échauffement de  $40\% \pm 30\%$

- Dans l'écran d'acier, où seules les valeurs issues du calcul ANISN sont actuellement disponibles, on observe que le calcul prévoit correctement l'échauffement  $\gamma$  compte-tenu des incertitudes expérimentales.

### III - CONCLUSION

L'analyse faite à ce jour des résultats expérimentaux disponibles tant sur le massif de Fer pur étudié à HARMONIE que sur les différents milieux étudiés sur expérience critique (barre, coeur, couverture, écran d'acier) appelle les commentaires suivants :

- Les résultats expérimentaux obtenus sont affectés d'incertitudes expérimentales généralement élevées. Celles-ci tiennent à la méthode de mesures utilisée qui doit être améliorée pour les mesures futures (programme PRE-RACINE).

Une première série de tests montre qu'il y a avantage à remplacer le  $\text{CO}_2$  de la chambre d'ionisation par de l'argon pour réduire l'ionisation parasite par les neutrons rapides.

- La version actuelle de MERCURE IV fournit des résultats systématiquement supérieurs à ceux obtenus par les calculs en théorie du transport (d'environ 25%). Ceci semble dû aux approximations de méthode inhérentes à MERCURE.

a) prise en compte de l'énergie diffusée par des facteurs de 'build-up' calculés de façon approximative pour des milieux infinis.

b) composition de ces facteurs de 'build-up' au voisinage des interfaces.

- La méthode de référence (ANISN) utilisée pour l'analyse des expériences prévoit correctement l'échauffement  $\gamma$  dans les barres (Acier ou B4c naturel) et dans les milieux coeur mais tend à sous-estimer l'échauffement dans la couverture radiale d' $\text{UO}_2$ .

Dans l'écran de MASURCA l'échauffement est correctement prévu alors qu'il est nettement sous-estimé (d'un facteur 2) dans le massif de fer étudié à HARMONIE. Cette différence de tendance est en cours d'examen.

- La méthode utilisée pour les calculs de projet (MERCURE IV) prévoit correctement l'échauffement d'une barre diluante mais tend à surestimer celui de la barre absorbante

$$\left(\frac{E}{C} - C\right) \approx -28\% \pm 20\%$$

Les calculs MERCURE IV donnent des échauffements cohérents

avec les résultats de mesures pour les deux zones du coeur à l'exception des points situés au voisinage immédiat des interfaces. Ceci, qui peut être dû aux approximations faites par la méthode de calcul, fait l'objet d'un examen particulier, en cours actuellement.

Dans la couverture radiale, les valeurs de l'échauffement  $\gamma$  issues des calculs MERCURE IV sont cohérents avec les résultats expérimentaux, compte-tenu des incertitudes expérimentales.

- L'ensemble des conclusions présentées ici doit être confirmé par de nouvelles expériences dont le but est de fournir des résultats affectés d'incertitudes plus faibles ( $\pm 10\%$ ).

A cet effet une série de mesures d'échauffement  $\gamma$  ont été entreprises au cours du programme PRE-RACINE destiné à l'étude du concept hétérogène.

De plus on prévoit une campagne de mesures sur des barres de type SUPER-PHENIX de section  $\approx 250 \text{ cm}^2$  (barres diluantes et absorbantes) pour compléter et préciser les tendances obtenues sur les barres Acier et B4c naturel étudiés jusqu'à maintenant.

/REFERENCES/

- /1/ - E. SACRISTE -  
"Calcul des dégagements de puissance dus au rayonnement  $\gamma$  dans les zones voisines du coeur des réacteurs rapides".  
DRP/SETR.R.030
- /2/ - B. SICARD -  
"Etude neutronique de la barre de contrôle de référence"  
PNR/71/1966
- /3/ - D. CALAMAND -  
"Mesure et calcul de l'échauffement gamma dans la colonne intermédiaire du réacteur HARMONIE"  
DRE/SPNR/76/73
- /4/ - FURUTA-TANAKA -  
"Response of  $^6\text{LiF}$  thermoluminescence dosimeters to fast neutrons"  
NIM 104 (1972)
- /5/ - FURUTA-TANAKA -  
"Revised energy response of  $^6\text{LiF}$  thermoluminescence dosimeters to neutrons"  
NIM 140 (1977)
- /6/ - SIMONS and YULE -  
"Gamma ray heating measurements in zero power fast reactors with thermoluminescent dosimeters"  
Nucl. Sc. and Eng. 53, 162-196 (1974)
- /7/ - C. DEVILLERS -  
"Systeme ANISN"  
CEA N.1358
- /8/ - C. DEVILLERS, C. DUPONT -  
"Mercure IV"  
CEA N.1726

- /9/ - C. DEVILLERS, C. DUPONT -  
"Création de la bibliothèque multigroupe gamma BIP/G1"  
CEA N.1424
- /10/ - C. DEVILLERS, GUEZENEC, HOT -  
"Programme ZEBU"  
CEA N.1330
- /11/ - D. CALAMAND, G. REYNAUD -  
"Code SOUGAM"  
DRE/SPNR/76/070
- /12/ - C. DEVILLERS -  
"Cours de protection"  
DEA Physique des réacteurs (1975)
- /13/ "Improvements of predicted characteristics for fast reactors from  
integral experiments"  
CADARACHE Version III Multigroupe - Cross-sections set  
(PAPER A 34 Tokyo 73).
- /14/ - J.C. ESTIOT, J.P. TRAPP - "PROPANE 0"  
"Comparaison des résultats calculés avec ceux des expériences in-  
tégrales effectuées sur HARMONIE à l'aide du formulaire. Extrapolation  
des résultats à un réacteur de puissance".  
DRE/SPNR/76/003

-oOo-

87070015

TABLEAU I

Abscisse mm	Chambre d'ionisation		T.L.D.		Echauffement Wog <sup>-1</sup> fer pour 1 W HAR.	Calcul normé sur taux US expérimental à la cote 337 mm		
	Courant mesuré pour 70 w non corrigé(P,T)	Contribution neutron en Ampères	Dose Rads	Contribution neutron en Rads				
307	0,8910 <sup>-10</sup>	3,2610 <sup>-11</sup>	4513	700	1,0210 <sup>-8</sup> ± 0,112	0,402 10 <sup>-8</sup>		
350						0,7810 <sup>-8</sup> ± 0,066	0,309 10 <sup>-8</sup>	
399					2347	345	0,53810 <sup>-8</sup> ± 0,059	0,245 10 <sup>-8</sup>
491	0,29810 <sup>-10</sup>	5,7510 <sup>-12</sup>	1627	171	0,39010 <sup>-8</sup> ± 0,041	0,157 10 <sup>-8</sup>		
534						0,32210 <sup>-8</sup> ± 0,027	0,131 10 <sup>-8</sup>	
583					1185	78	0,29710 <sup>-8</sup> ± 0,03	0,107 10 <sup>-8</sup>
675					678	40	0,17110 <sup>-8</sup> ± 0,018	0,742 10 <sup>-9</sup>
718							0,13910 <sup>-8</sup> ± 0,012	0,626 10 <sup>-9</sup>
815	6,25010 <sup>-12</sup>	5,2810 <sup>-13</sup>	412	16	0,10610 <sup>-8</sup> ± 0,011	0,424 10 <sup>-9</sup>		
858						0,7610 <sup>-9</sup> ± 0,064	0,358 10 <sup>-9</sup>	
955	3,3810 <sup>-12</sup>	1,2 10 <sup>-13</sup>	216	5	0,5710 <sup>-9</sup> ± 0,062	0,241 10 <sup>-9</sup>		
998						0,4510 <sup>-9</sup> ± 0,034	0,202 10 <sup>-9</sup>	
1095					124	1	0,3310 <sup>-9</sup> ± 0,036	0,135 10 <sup>-9</sup>
1235	9,5310 <sup>-13</sup>		63		0,1710 <sup>-9</sup> ± 0,018	0,746 10 <sup>-10</sup>		
1278						0,1210 <sup>-9</sup> ± 0,010	0,619 10 <sup>-10</sup>	
1375					38		0,1010 <sup>-9</sup> ± 0,016	0,408 10 <sup>-10</sup>
1515					25	"	0,6710 <sup>-10</sup> ± 0,113	0,185 10 <sup>-10</sup>
1558							0,3510 <sup>-10</sup> ± 0,029	0,12 10 <sup>-10</sup>
1655	2,7 10 <sup>-13</sup>		13,7	"	0,3710 <sup>-10</sup> ± 0,15	0,12 10 <sup>-10</sup>		
1795						0,2610 <sup>-10</sup> ± 0,07	0,626 10 <sup>-11</sup>	
1935					4,5	"	0,1210 <sup>-10</sup> ± 0,06	0,27 10 <sup>-11</sup>
2075					2,1	"	0,5610 <sup>-11</sup> ± 0,2	0,31 10 <sup>-12</sup>

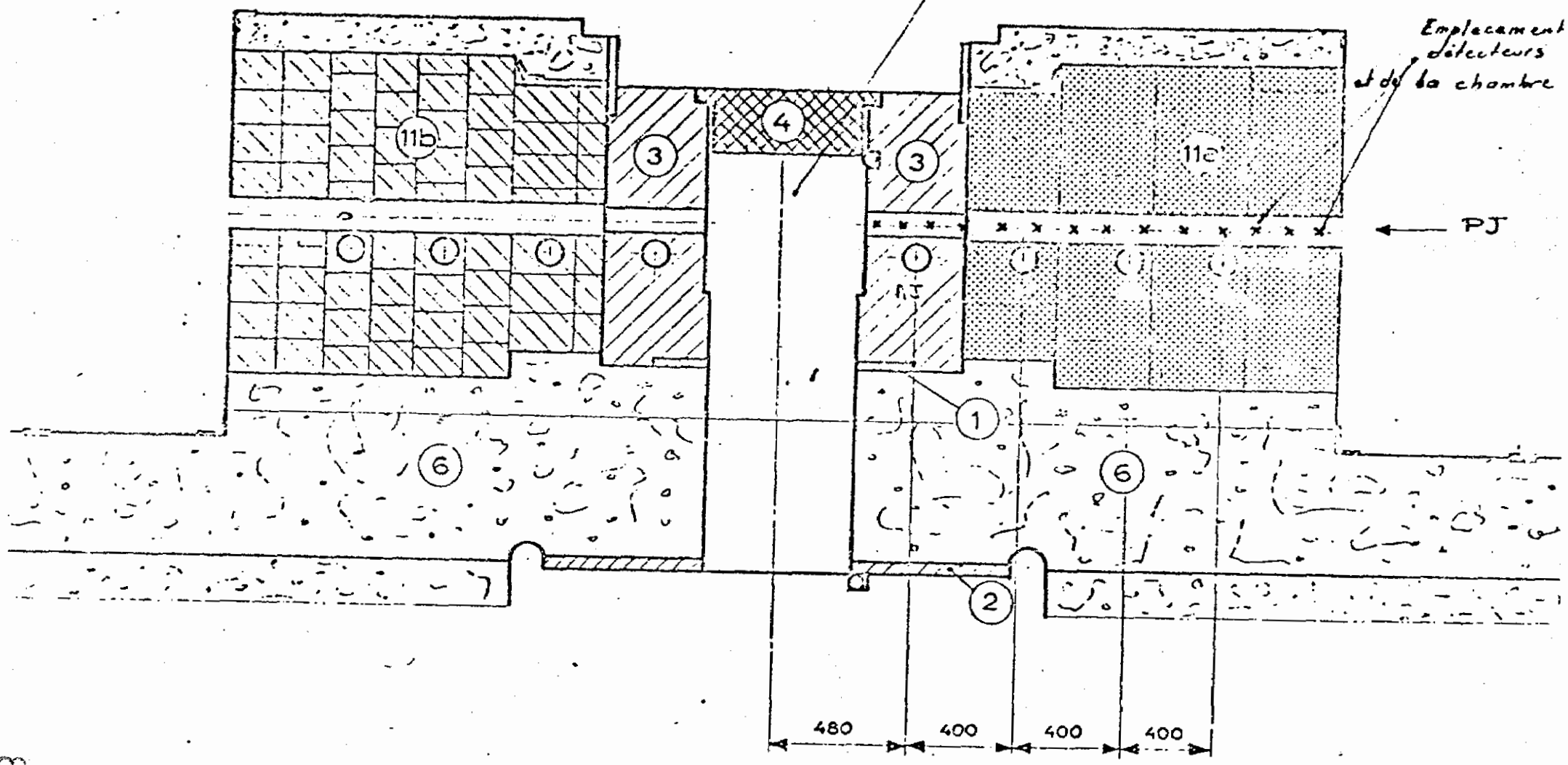
87070016



noyau renfermant coeur + couverture + reflecteur.

Emplacement  
détecteurs  
et de la chambre

PJ ←

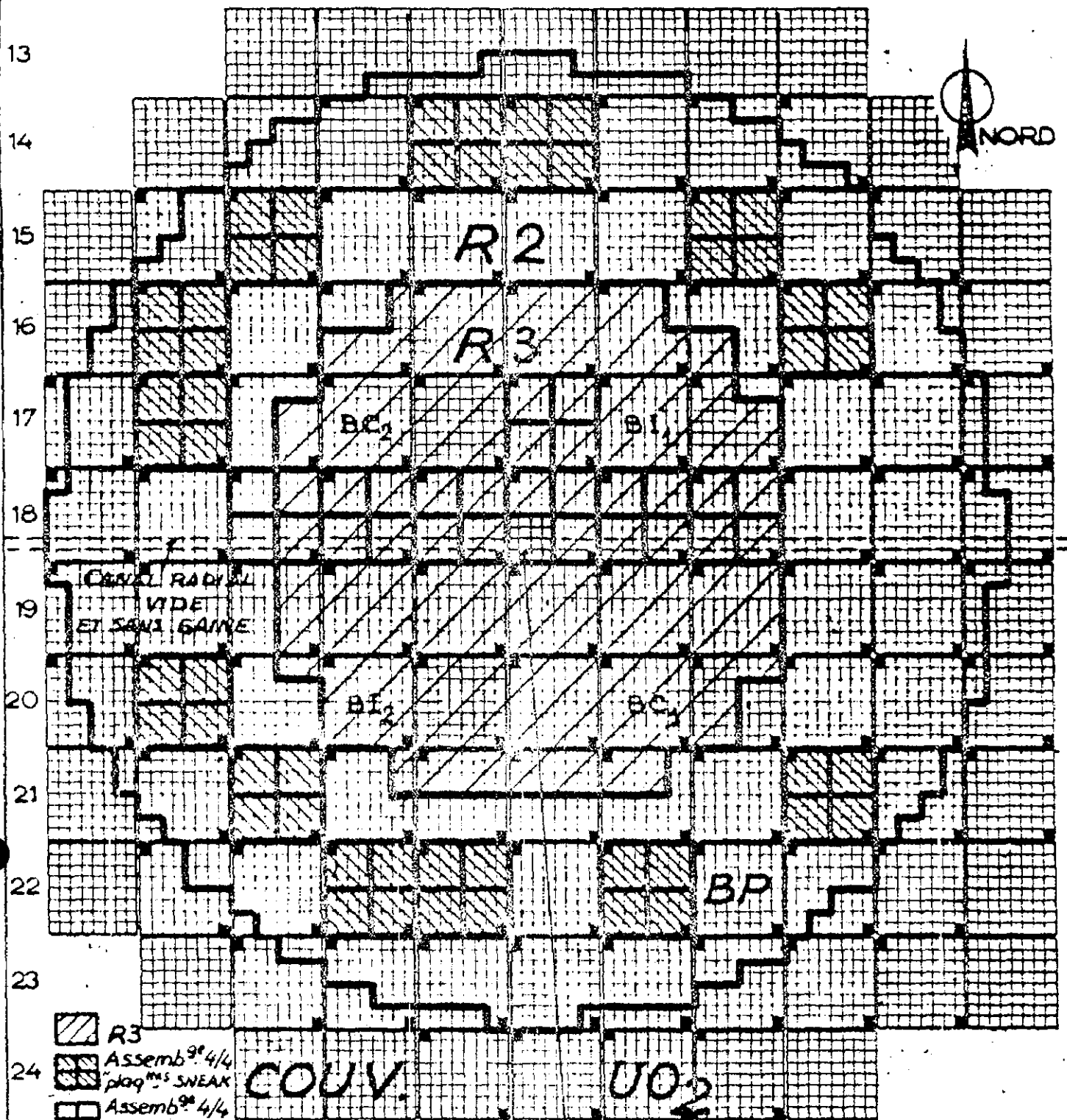






ARRANGEMENT EXPERIMENTAL

Fig. 1

87070017

14 15 16 17 18 18 17 16 15 14 13



-  R3
-  Assemb<sup>9e</sup> 4/4  
plaq<sup>mes</sup> SNEAK
-  Assemb<sup>9e</sup> 4/4  
"reglettes"
- 

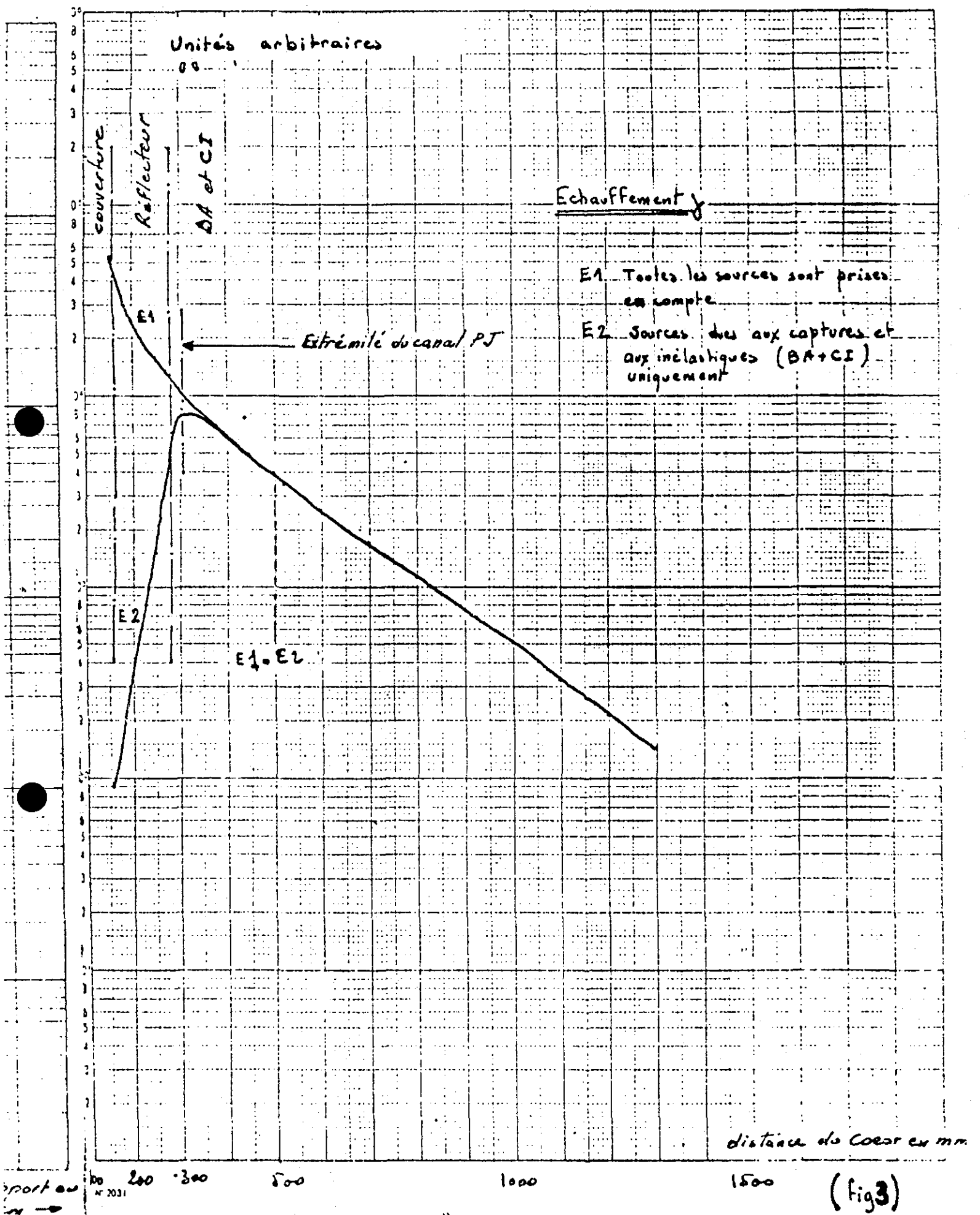
COUV.

UO<sub>2</sub>

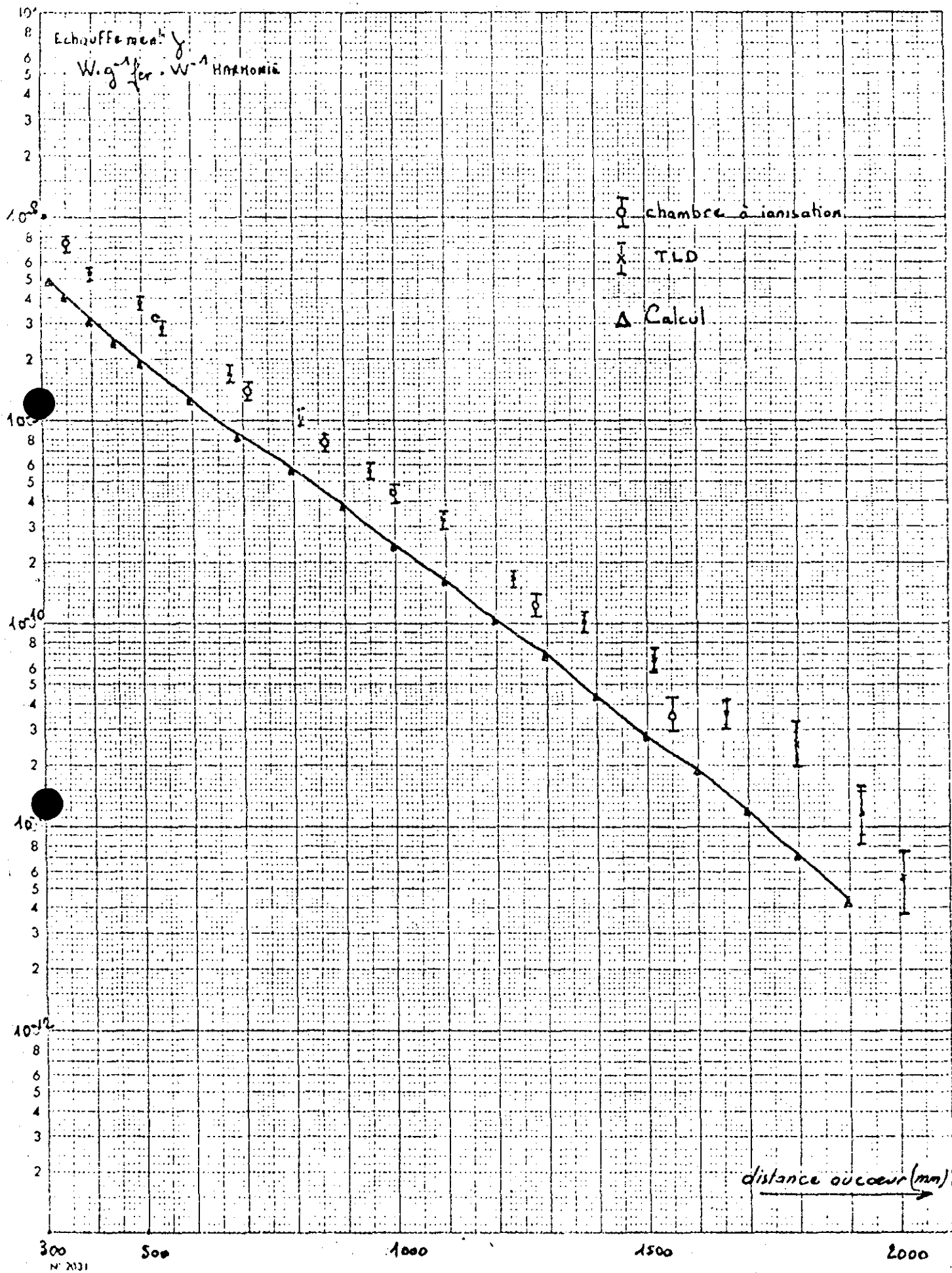
ASSEMBLAGE  
16 col. B<sub>4</sub>C nat CHARGEMENT = 1333  $\mu$ cell

CŒUR 4B'

ÉTAT INITIAL



(fig 3)



300  
N° 2131

500

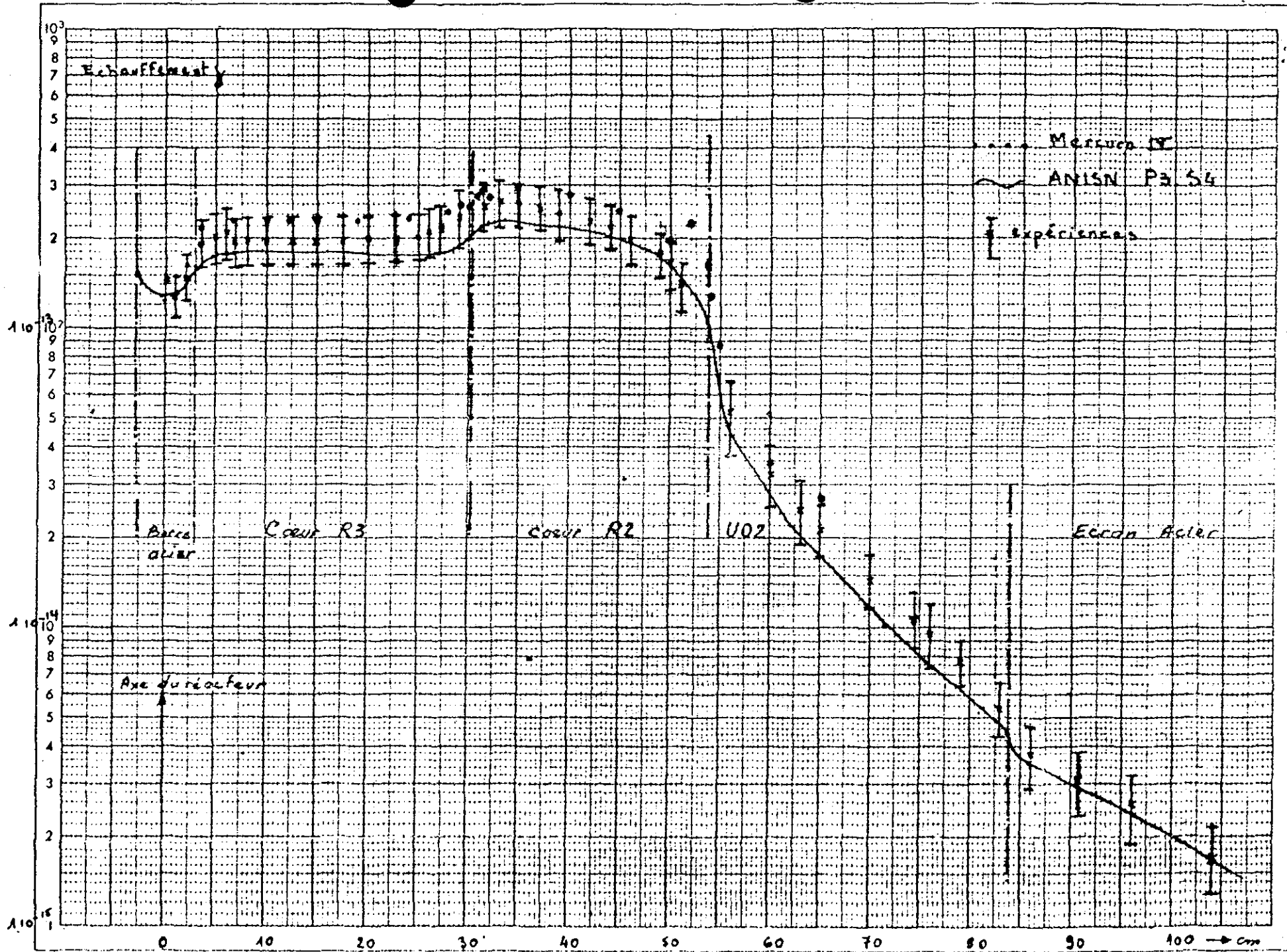
1000

1500

2000

(Fig 4)

87070020



87070021

N° 2071

Fig 5

Echauffement  $\gamma$

Calcul { Mercure IV  $\blacktriangle$   
 1655 { ANISN P3.54  $\times$   
 experiences : chambre d'ionisation  $\bullet$

TLD  $\circ$

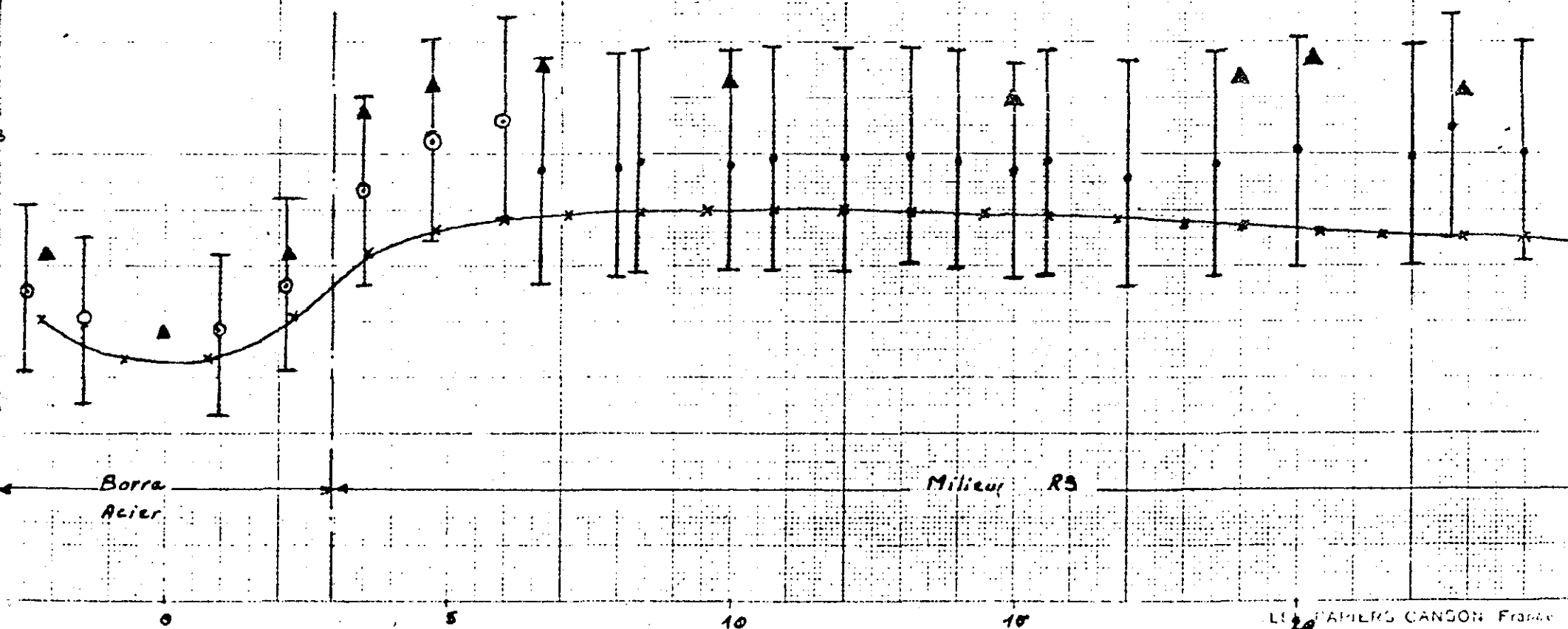
87070022

Borra  
Acier

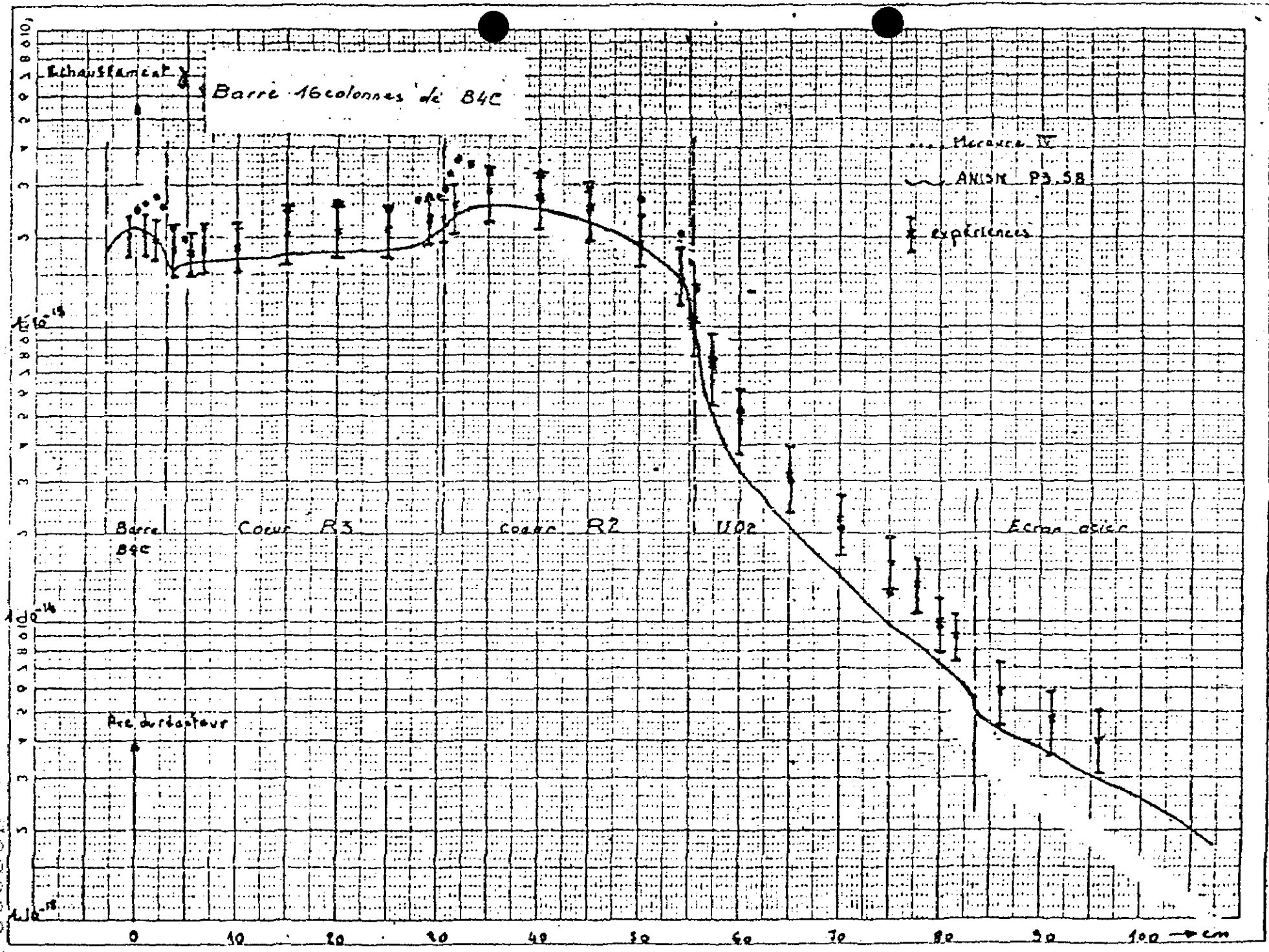
Milieu RS

LE 20 PAPIERS CANSON France

(fig 6) cm



61070025



(Fig 7)

