

**QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS DU CONTROLE  
DANS LES PILES ATOMIQUES DE PUISSANCE**

par

Jacques FURET

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

Jean PUPPONI

ELECTRICITE DE FRANCE

**Rapport CEA - R 2656**

Genève 1964, A Conf. 28/P/80

**1964**  
Ba

CEA-R 2656 - FURET Jacques, PUPPONI Jean-

QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS DU CONTROLE DANS LES PILES  
ATOMIQUES DE PUISSANCE.

Sommaire. -

La mesure et le contrôle du flux neutronique dans les piles de puissance posent encore de nombreux problèmes. Les études actuellement entreprises dans le domaine des piles à haut flux, doivent apporter une contribution importante à la solution de ces problèmes qui intéressent les spécialistes du contrôle des piles de puissance.

On analyse l'état actuel de ces études et on donne les résultats des différents travaux effectués en France, dans les différents laboratoires du Commissariat à l'Energie Atomique et de l'Electricité de France.

A - Dans le domaine de l'instrumentation, ces études portent actuellement sur les technologies utilisées pour le développement des dé-

./.

---

CEA-R 2656 - FURET Jacques, PUPPONI Jean

SOME PARTICULAR ASPECTS OF CONTROL IN NUCLEAR POWER REACTORS.

Summary. -

There are still many problems in the field of measurement and control of neutron flux. The present studies in connexion with high flux reactors contribute to the solution of these problems which concern specialists in reactor control.

The present state of this investigation and the results of different studies carried out in France by the C. E. A. and the E. D. F. are pointed out :

A - In the nuclear instrumentation field, work is at present devoted to the technologies used to develop detectors and cables, which have to work at high temperature and in a high  $\gamma$  background ; fast electronic techniques are applied to fission counters to measure low neutron fluxes in a high  $\gamma$  background ( $10^6$  Rh).

B - In the control and safety field, there is a real need for studies on the beha-  
./.

tecteurs et câbles susceptibles de fonctionner à haute température ; sous rayonnement  $\gamma$  élevé - et sur les techniques d'électronique rapide appliquées aux chambres à fissions qui permettent de faire des mesures de flux neutronique sous rayonnement  $\gamma$  élevé ( $10^6$  R/h).

B - Dans le domaine général du contrôle et de la sécurité, les difficultés de redémarrage liées aux empoisonnements par les produits de fission conduisent à des études approfondies sur le comportement du réacteur en régime sous-critique.

Les perturbations apportées aux mesures neutroniques par le mouvement des barres de contrôle nécessitent une nouvelle organisation des chaînes de mesure et de sécurité neutronique faisant intervenir au niveau de puissance des paramètres correcteurs tels que : puissance thermique, température, activation Azote 16.

---

En ce qui concerne les démarrages rapides, deux méthodes nou- ./.

viour of reactors in the subcritical state. This increases the margin of security during restarts when poison effects must be overcome

The perturbations due to control rod movements necessitate a new organisation of power level safety and control assemblies, in connexion with thermal or activation measurements.

Two methods of fast start-up are described. They are related to the fission rate measurement as a function of time. This is done either continuously by a constant and high reactivity change, or step by step.

The application of automatic techniques to detector motion seems to give the answer to control and safety in normal start-up.

C - The scope of these studies covers the methods used for the control of E. D. F. 3, which are described.

CEA-R 2656 - Suite 3

velles sont décrites liées essentiellement à la mesure du taux de fissions en fonction du temps, soit dans le cas d'une libération continue à vitesse constante et élevée de réactivité, soit dans le cas d'une libération de réactivité par paliers. Par ailleurs, l'application des techniques de déplacement automatique des détecteurs dans le cas des démarrages normaux semblent apporter une solution rationnelle au contrôle et à la sécurité.

C - Dans le cadre des techniques ci-dessus, on décrit les dispositifs retenus pour la mesure et le contrôle de la puissance de la pile EDF III.

1964

Commissariat à l'Energie Atomique - France

16 p.

*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, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

# QUELQUES ASPECTS PARTICULIERS DU CONTROLE DANS LES PILES ATOMIQUES DE PUISSANCE

par

Jacques FURET

Commissariat à l'Energie Atomique

Jean PUPPONI

Electricité de France

## 1 - INTRODUCTION

La mesure et le contrôle du flux neutronique dans les piles de puissance posent encore de nombreux problèmes. Ces problèmes semblent plus difficiles à résoudre dans le cas des piles à haut flux.

Les études actuellement entreprises dans le domaine des piles atomiques à haut flux doivent apporter une contribution importante à la solution de ces problèmes, qui intéressent bien entendu les spécialistes du contrôle des piles de puissance.

L'état de ces études entreprises en France est analysé et les résultats relatifs aux différents travaux effectués dans les laboratoires du Commissariat à l'Energie Atomique sont donnés.

## 2 - LES DETECTEURS de NEUTRONS et l'INSTRUMENTATION NUCLEAIRE.

Les exigences nouvelles imposées par le développement des piles atomiques de puissance sont essentiellement : une température de fonctionnement élevée et des flux neutroniques et gamma importants, une plus grande précision dans la mesure des flux de neutrons dans les champs de rayonnement mixte (neutron et gamma).

a) Développement de détecteurs et câbles susceptibles de fonctionner à haute température et sous rayonnement  $\gamma$  élevé (1) (2) (3).

Il est exigé dans certains cas que les détecteurs de neutrons fonctionnent à des températures de l'ordre de 400 à 500°C. Cela présente des difficultés qui sont

essentiellement d'ordre technologique et qui concernent surtout les matériaux isolants. Il faut en effet disposer d'isolant qui conserve à des températures d'environ 600°C : une bonne résistivité électrique, une parfaite étanchéité, une bonne résistance mécanique, la possibilité de scellement étanche au vide avec les métaux. L'alumine frittée répond actuellement le mieux à ces exigences. Il faut utiliser une alumine de grande pureté à texture fine.

Si l'on ne peut pas recourir à une discrimination extérieure du type électronique, il est nécessaire d'utiliser dans la construction des détecteurs des matériaux ayant une faible section efficace d'activation. Mais le bruit le plus important est dû aux gammas de pile. La tendance actuelle est de développer des chambres à fissions à réponse rapide pour pouvoir atteindre une discrimination gamma possible même avec des rayonnements de  $10^6$  R/h.

Plusieurs types de chambres à fission en acier inoxydable, à isolement d'alumine frittée, permettent un fonctionnement à 400°C; les caractéristiques de ces appareils sont regroupées dans le tableau I.

b) Applications des techniques d'électronique rapide à la mesure des flux neutroniques sous rayonnement  $\gamma$  élevé (4) (5).

La mesure des flux de neutrons faibles en présence de rayonnement  $\gamma$  intense est possible si on élimine les impulsions " $\gamma$ " en séparant dans l'électronique associée à la chambre les impulsions d'amplitude faible et les impulsions "neutrons" d'amplitude importante et cela grâce au discriminateur d'amplitude. Cette discrimination ne peut se faire bien entendu que si les deux types d'impulsions apparaissent individuellement et séparément avant l'étage discriminateur : or, du fait du temps de résolution de l'électronique, la probabilité d'empilement d'impulsions élémentaires est d'autant plus grande que l'intensité du rayonnement est plus forte. La mesure des flux neutroniques sous rayonnement  $\gamma$  intense avec une chambre à fissions est donc d'autant plus aisée que le temps de résolution de l'électronique associée est plus faible. Cette diminution du temps de résolution de l'électronique permet aussi d'augmenter le taux de comptage maximal, donc la dynamique de mesure et d'autre part de permettre l'utilisation de longueurs de câbles importantes entre détecteur et préamplificateur, en adaptant l'impédance d'entrée de ce dernier à l'impédance caractéristique du câble.

Pour les électroniques de temps de résolution de l'ordre de la microseconde

la hauteur des impulsions est proportionnelle aux charges, collectées et leur durée ne dépend que des circuits utilisés et non pas du temps de collection du détecteur. Pour les ensembles à électronique rapide de temps de résolution de l'ordre de  $50 \cdot 10^{-9}$  s la hauteur des impulsions n'est plus proportionnelle à la charge collectée, mais en première approximation au courant délivré par la chambre à fissions. La durée des impulsions ne dépend pas des caractéristiques de l'électronique, elle est définie par le temps de collection du détecteur.

Les performances d'un tel ensemble du type électronique rapide adapté aux chambres à fissions sont indiquées sur les figures 1 et 2. La dynamique de mesure au point de vue taux de comptage est indiquée fig. 1, les possibilités d'utilisation de grande longueur de câble entre chambre à fissions et amplificateur sont indiquées figure 2.

Pour les électroniques dont le temps de résolution est de l'ordre de la microseconde, l'effet du rayonnement  $\gamma$  n'est négligeable que jusqu'à  $10^5$  R/h; alors qu'il est difficile de mettre en évidence un rayonnement  $\gamma$  de  $10^6$  R/h avec des électroniques dont le temps de résolution est de l'ordre de  $50 \cdot 10^{-9}$  s.

### 3 - L'ORGANISATION DES CHAINES DE MESURES NEUTRONIQUES DANS L'ENSEMBLE DU CONTROLE DES PILES ATOMIQUES.

#### a) Les perturbations apportées aux mesures neutroniques et les moyens de les corriger. (6) (7)

Dans les piles à haut flux fonctionnant en régime de puissance, les mesures de flux neutronique en certains points du réacteur ne sont pas proportionnelles à la puissance neutronique ou thermique. En effet, des variations lentes apparaissent en cours de fonctionnement dans la valeur du rapport entre le flux neutronique sur le détecteur et le flux moyen dans le coeur (effet de position des barres de contrôle par exemple). Ces variations lentes peuvent être corrigées au moyen de paramètre variable lié à des grandeurs susceptibles d'être facilement mesurables à savoir par exemple : la dose de rayonnement  $\gamma$  en un point judicieusement choisi, la puissance thermique dégagée dans le coeur du réacteur, l'activité en N 16 du fluide de réfrigération.

#### b) Méthode du déplacement automatique des détecteurs pendant les opérations de démarrage - (8) (9) (10) (11) (12) (13).

L'utilisation d'un détecteur en mouvement pour commander l'évolution de

la pile depuis le niveau sous-critique jusqu'au niveau de puissance nominale a déjà été l'objet de travaux et de publications, en particulier celles de MM. KOVANITS et KULKA, ANDERSON et WINTERBERG. L'avantage essentiel de cette utilisation est de pouvoir contrôler l'évolution de puissance des piles atomiques sur un grand nombre de décades avec le nombre minimal de détecteurs.

Les différents systèmes proposés sont tous fondés sur la remarque suivante : l'indication (N) donnée par un détecteur est une fonction de la puissance (P) de la pile et de sa position (x) par rapport au coeur de la forme :

$$N = P \cdot f(x)$$

Si l'on connaît à chaque instant l'indication (N), la position (x) et la loi d'atténuation  $f(x)$  du flux neutronique en fonction de l'éloignement, on en déduit le niveau de puissance de la pile.

Les principes de base de fonctionnement des différents systèmes peuvent se classer en deux groupes :

#### Premier groupe :

Le détecteur est asservi de façon à rester dans un flux neutronique constant. Le démarrage de la pile est fait en commandant l'extraction des barres de contrôle, le détecteur s'éloignant dès que le flux neutronique augmente.

#### Deuxième groupe :

Le détecteur est éloigné suivant un certain programme, choisi de telle sorte que si l'on maintient un flux neutronique constant sur le détecteur par une action automatique sur les barres de contrôle, la pile évolue alors suivant une loi déterminée (par exemple : période constante). Ce système permet de faire un démarrage automatique.

Il est toujours nécessaire, bien entendu, de trouver au voisinage du coeur de la pile, une zone dans laquelle on puisse déplacer facilement le détecteur, de façon à l'approcher au moment du démarrage et à l'éloigner pendant la montée en puissance. Les piles dont le coeur est entouré d'eau : piles-piscines par exemple, présentent ces caractéristiques : de plus le programme de retrait nécessaire pour une automatisation du démarrage est extrêmement simple, puisque l'atténuation du flux neutronique en fonction de la distance est exponentielle, soit  $f(x) = e^{-kx}$ , dans ces conditions il suffit d'éloigner le détecteur à vitesse constante  $V = \frac{1}{KT}$  et de maintenir le flux neutronique constant sur le détecteur pour obtenir une divergence à période

constante égale à T.

Un système de démarrage de ce type (2e groupe) est installé sur la pile TRITON/CEN.FAR, depuis 1962, un système analogue est en projet sur la pile MELUSINE (CEN/GRENOBLE).

Pour la pile OSIRIS : pile à eau légère du type piscine dont la construction est commencée au CEN. SACLAY, le contrôle de l'évolution du flux neutronique depuis l'état sous-critique jusqu'à un niveau légèrement inférieur au niveau d'opération normale, est fait par trois ensembles électroniques associés chacun à une chambre à fission mobile.

Les différents automatismes de commande de déplacement de la chambre à fission et de commande des barres de contrôle sont mis en service, lorsque le taux de comptage N prend un certain nombre de valeurs particulières indiquées dans le tableau ci-après :

Taux de comptage	Action sur les barres de contrôle	Action sur la chambre à fission
$< N_1 \approx 10 \text{ c/s}$	Chute des barres (2/3)	
$< N_2 \approx 10^3 \text{ c/s}$		Rapprochement
$> N_0 \approx 5 \cdot 10^3 \text{ c/s}$	1) (voir note ci-dessous)	Eloignement
$> N_3$ arrêt des barres	Arrêt des barres (1/3)	
$> N_4 \approx 2 \cdot 10^4 \text{ c/s}$	Chute des barres (2/3)	

Les équipements à détecteurs mobiles coexistent encore avec des ensembles de mesure et de sécurité associés à des détecteurs en position fixe. Il est possible néanmoins d'envisager dans un avenir proche, lorsqu'on aura acquis une plus grande expérience dans le fonctionnement de ces systèmes et une plus grande confiance dans la sûreté des ensembles électroniques à impulsions, une utilisation plus systématique de ces équipements.

1) Lorsque le taux de comptage est supérieur à  $N_0$ , puisque la chambre à fission s'écarte à vitesse constante, le démarrage peut alors être commandé automatiquement en asservissant la barre de contrôle au maintien du niveau constant sur le détecteur.

L'intérêt du démarrage rapide des piles atomiques est presque essentiellement économique. Il permet sur les piles expérimentales à haut flux un gain de temps très appréciable.

a) Les difficultés de redémarrage liées à la dynamique des empoisonnements Xénon et Samarium (14) (15)

Les évolutions des empoisonnements Xénon et Samarium ont une influence très importante sur le bilan de réactivité après arrêt dans le cas des piles à neutrons thermiques à haut flux. Les résultats de calculs faits en supposant dans le coeur une répartition uniforme du flux neutronique sont indiqués sur la figure 3.

Etant donné les réactivités disponibles, il semble que les redémarrages après arrêt rapide ne soient possibles qu'avec des vitesses de libération de réactivité élevées. On peut même constater que pour des flux supérieurs à  $6.10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, le redémarrage après arrêt semble impossible.

b) Les difficultés de corrélation entre vitesse de démarrage et bilan de réactivité (16) (17) (18)

La logique du point de vue sécurité impose dans le cas du démarrage rapide les deux critères suivants :

- vitesse de libération de réactivité grande si réactivité  $< 0$ .
- vitesse de libération de réactivité faible si réactivité  $> 0$ .

Plusieurs méthodes ont été étudiées pour la mesure de la réactivité; la pile se trouvant généralement à l'état sous-critique. Mais il apparaît que pour l'instant aucune de ces méthodes ne semble conduire à un appareillage susceptible d'assurer une sécurité automatique pendant la période de démarrage rapide. Aussi, des méthodes nouvelles de démarrage sont envisagées.

c) Les méthodes de démarrage rapide liées à la mesure du taux de fissions en fonction du temps.

Lorsque l'efficacité différentielle et l'efficacité totale en réactivité des barres de contrôle sont mal connues, on peut envisager le démarrage en libérant à grande vitesse la réactivité par paliers. Du point de vue sécurité, la libération de réactivité entre chaque palier doit être inférieure à  $\beta$  (fraction des neutrons retardés). Cette programmation de libération de réactivité est interrompue lorsque le rapport de deux taux de comptage pendant le palier dépasse une certaine valeur. Cette méthode de

démarrage analysée au moyen d'un simulateur de pile a donné les résultats suivants: pour des réactivités  $\leq - 2500$  pcm, la relation puissance, réactivité peut se mettre sous la forme  $N_1 \rho_1 = N_2 \rho_2$ ,  $N_1, \rho_1$  : puissance et réactivité initiales,  $N_2, \rho_2$  puissance et réactivité après la libération de  $\rho_2 - \rho_1$  à grande vitesse. La durée des paliers pour effectuer la mesure du rapport des puissances neutroniques n'est fonction que de la durée nécessaire aux comptages pour obtenir une certaine précision. Pour des réactivités  $> - 2500$  pcm, le rapport puissance finale du palier/puissance initiale du palier varie assez peu pour des durées de palier comprises entre 10 s et 100 s et des variations de réactivité inférieures à  $\beta$  (voir figure 4). La procédure de démarrage rapide automatique peut être alors la suivante : variation de réactivité pour chaque saut de l'ordre de  $\beta/2$ , palier à réactivité constante d'une durée de 10 s; arrêt de la procédure lorsque le rapport puissance finale du palier/puissance initiale du palier est  $\geq 1$ . La fréquence des arrêts de barre conduit à des vitesses moyennes de libération de réactivité comprises entre 20 et 40 pcm/s. Une procédure un peu différente semble permettre d'aller encore plus vite dans la phase libération de réactivité, la pile étant sous-critique. Cette procédure est la suivante : à partir de l'état initial sous-critique réactivité  $\rho_0$ , puissance  $N_0$ , on retire du coeur de la pile les barres de contrôle à vitesse "a" élevée et ceci jusqu'à ce que le niveau de puissance passe de  $N_0$  à  $2N_0 = N_{10}$ . La réactivité n'évoluant plus alors, on attend un temps  $\Delta$  au bout duquel le niveau  $N_{10}$  est devenu  $N_{1\Delta}$ . Si  $N_{1\Delta}$  est plus petit<sup>que</sup>  $pN_0$  (p facteur de proportionnalité à fixer), on recommence alors à libérer de la réactivité à vitesse "a" et on arrête cette libération de réactivité lorsque la puissance N est devenue  $N_{10} = 2N_1$ ; il y a attente pendant  $\Delta$  et comparaison de  $N_{2\Delta}$  par rapport à  $N_{1\Delta}$ . D'une manière générale, on continue à libérer de la réactivité tant que  $\frac{N_{i\Delta}}{N_{(i-1)\Delta}}$  est  $\leq p$ . La libération de réactivité est stoppée lorsque  $\frac{N_{i\Delta}}{N_{(i-1)\Delta}} > p$ , c'est-à-dire qu'à ce moment, la pile atomique se trouve dans un état voisin de la criticalité. L'analyse de cette procédure automatique de démarrage sur simulateur de pile pour des vitesses de libération de réactivité comprises entre 50 pcm/s et 200 pcm/s et pour des temps de vie moyens des neutrons de  $10^{-5}$  s et  $10^{-3}$  s a montré que la valeur optimum à donner à p est 2, 3.

Dans le cas d'une vitesse  $a = 100$  pcm/s les résultats de cette analyse sont indiqués dans le tableau II.

Ces procédures de démarrage rapide nécessitent des mesures proportionnelles au niveau de puissance précises. Il est indispensable de disposer de niveaux source importants. L'automatisation de ces dispositifs ne pose pas de problèmes particuliers.

Dans cette centrale il est nécessaire de suivre l'évolution de la puissance sur plus de 8 décades. Cet impératif a été réalisé à l'aide de quatre types de chaînes de mesures distinctes composées chacune de trois voies.

5. a) Description et caractéristiques des chaînes de mesure de la puissance neutronique.

Nous décrivons plus particulièrement, dans ce qui suit, les chaînes bas flux qui sont placées dans le coeur du réacteur et pour lesquelles des solutions originales et délicates ont été adoptées.

5. a. 1 - Chaînes bas flux.

Ces chaînes sont réparties dans trois puits de barres de contrôle sur la périphérie du réacteur de manière à fournir un signal de pilotage à partir de 10 W et jusqu'à  $10^5$  W.

Les caractéristiques de fonctionnement, à la puissance nominale et à l'emplacement des chambres, sont les suivantes :

- atmosphère  $\text{CO}_2$ , pression 27 bars, température  $400^\circ\text{C}$
- flux en neutrons thermiques  $10^{12}$  n/cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, flux gamma  $10^6$  R/h

Ces caractéristiques ont entraîné l'étude et la réalisation :

- d'une chambre de faible sensibilité nécessitée par le flux important
- d'un câble de liaison entre la chambre et le préamplificateur d'une âme en nickel, d'un isolant en perles d'alumine et d'une tresse d'inconel;
- diamètre de courbure : 19 cm
- résistance d'isolement à la température ambiante :  $10^{13} \Omega$  /m
- résistance d'isolement à  $400^\circ\text{C}$  :  $10^{10} \Omega$  /m
- capacité au mètre : 40 pF
- gaine isolante externe en laine de verre d'un préamplificateur spécial capable de résister à une pression de 27 bars de  $\text{CO}_2$ .

Un logement pour le recevoir a été prévu à l'intérieur du treuil automatique, dont le rôle est de remonter la chambre à partir d'un certain niveau de puissance.

La liaison au préamplificateur est réalisée par prise tournante.

Le moteur de commande du treuil doit être lubrifié à sec.

L'ensemble bouchon, treuil, préamplificateur, câble et chambre peut être absorbé par l'appareil de chargement-déchargement situé sur la dalle supérieure du réacteur.

### 5. b. - Démarrage automatique

Le démarrage est entièrement automatique et réalisé grâce aux dispositifs suivants :

- Les chaînes de puissance neutronique : outre leur rôle de contrôle et de sécurité, elles élaborent les signaux de puissance et réactivité.

- Un programmeur numérique de montée en puissance : il permet de suivre une loi tenant compte des conditions initiales qui suivent un arrêt plus ou moins long.

- Un calculateur numérique servant par ailleurs au traitement des informations : il assure la mise en marche des différents auxiliaire de la centrale depuis l'arrêt jusqu'à la marche nominale.

TABLEAU I : CARACTERISTIQUES DES CHAMBRES à FISSION HAUTE  
TEMPERATURE.

CHAMBRES A FISSION	TYPE CFU 3	TYPE CFU 6	TYPE CFU 7
Caractéristiques technologiques. Matériaux de structure	acier inox-alumine frittée	acier inox-alumine frittée	acier inox-alumine frittée
Température maximum d'utilisation ° C	400	400	400
Charge développée $10^{-13}$ cb	1	1	0,5
Temps de collection $10^{-9}$ s	200	200	40
Sensibilité aux neutrons c/s par $n/cm^2 s^{-1}$	0,15	0,15	0,02
Tenue aux rayonnements neutrons $n/cm^2$	$10^{19}$	$10^{19}$	$10^{19}$
Rayonnement $\gamma$ R oentgen	$10^{10}$	$10^{10}$	$10^{10}$

TABLEAU II. : RESULTATS de l'ANALYSE de la PROCEDURE de DEMARRAGE RAPIDE dans le CAS d'une LIBERATION de REACTIVITE de 100 pcm/s.

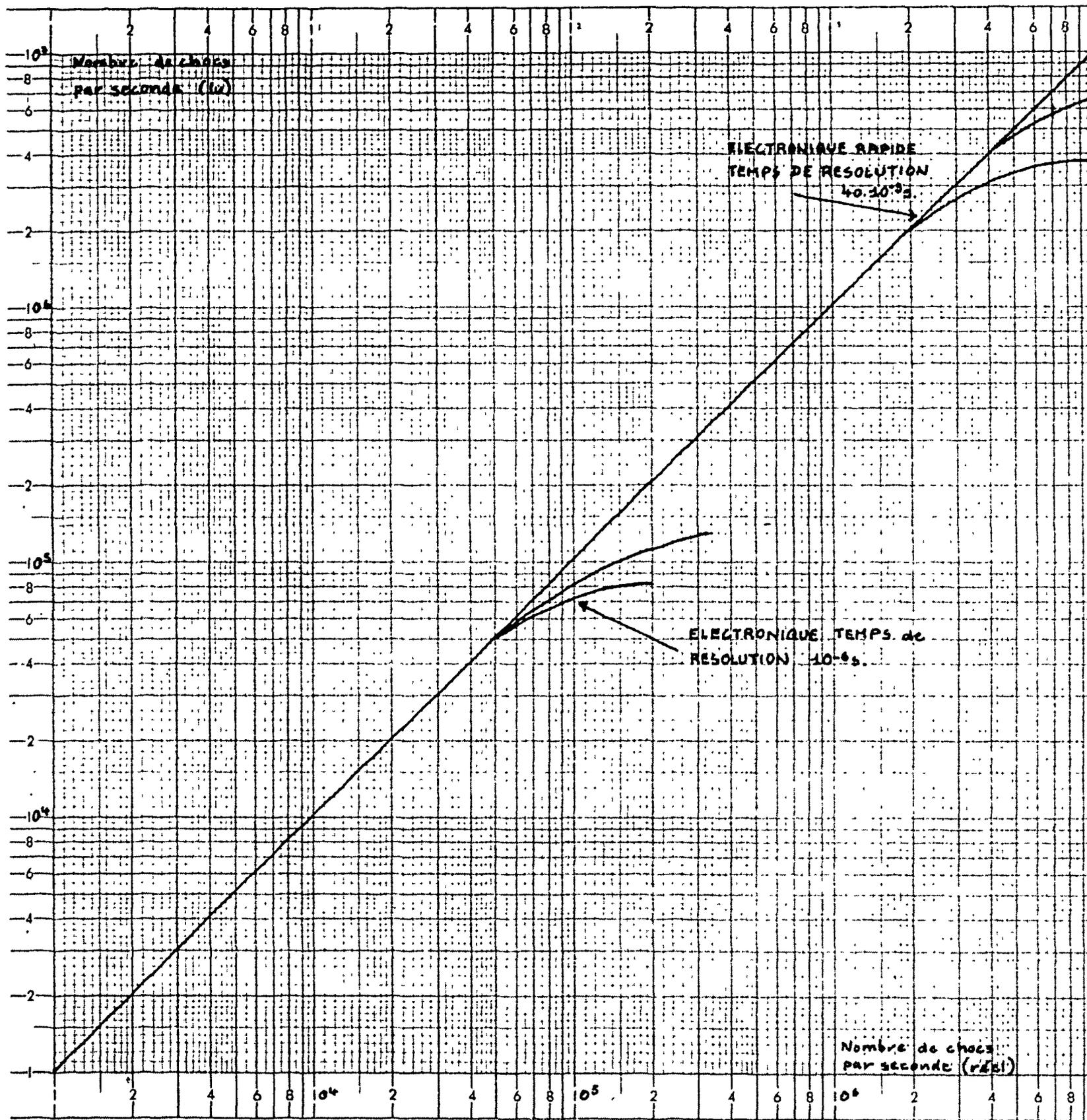
Réactivité initiale (pcm)	Finale (pcm)	Durée secondes
- 500	- 21	4,79
- 800	-185	6,19
- 1 000	- 295	7,05
- 2 000	- 216	27,8
- 3 000	- 495	35
- 4 000	- 180	58
- 5 000	- 330	67
- 6 000	- 470	80
- 7 000	- 100	99
- 8 000	- 177	108
- 10 000	- 320	125
- 12 000	- 466	145
- 13 000	- 530	154
- 14 000	- 91	180
- 16 000	- 116	198

#### BIBLIOGRAPHIE

- (1) DUCHENE J. - Détecteurs de neutrons - Bulletin d'informations scientifiques et techniques - 1962, 61, 6-15
- (2) DUCHENE J. - HIGH TEMPERATURE fission chambers-International symposium on aerospace nuclear propulsion LAS-VEGAS (NEVADA U.S.A.) 1961, 9, 23, 27
- (3) DUCHENE J. - Developpements récents des détecteurs pour le contrôle des réacteurs - conférence I.N.S.T.N. 4, 1964
- (4) BOURDEL J. - et BUISSON J. - Nouvel ensemble d'impulsions pour chambres à fission - Etude CEN. SACLAY - D.E. 1714/SAER/1058.

- (5) FURET J. - Evolution de l'instrumentation de contrôle des piles atomiques - conférence I.N.S.T.N. 4, 1964
- (6) CABELLOS E. FELIX M. JOVER P. - Etude analogique d'un problème de régulation de réacteur par la puissance thermique  
Etude CEN. SACLAY - D.E. 1963 - 1731/SAER/1069
- (7) BORY M. PANSART F. WEIL P. - Démarrages et changements de régime du réacteur RAPSODIE - Etude CEN. SACLAY D.E. 1961,  
1678/SAER/1029
- (8) KOVANITS P. , KULKA. M - Automatic reactor control systems, Journal of Nuclear Energy part B, reactor technology 1959, vol. 1
- (9) ANDERSON J. L. , WINTERBERG. R. E. - Servo fission chamber ORNL 2787  
(Instruments)
- (10) JOVER. P. , ROSELLI. G. - Contrôle automatique d'un réacteur nucléaire au moyen d'un détecteur mobile, Etude CEN. SACLAY - D.E.  
1962, 1598/SAER/992.
- (11) AILLOUD J. , CHANDANSON P, BERTHOIN. J. , LETOUR. C. - Appareillage de démarrage sous programme de TRITON à partir de l'état sous-critique - note 227/62 - 1962 - DEP/SEPP
- (12) KOVANITS et AL - Nouveau système automatique de contrôle et de sécurité du réacteur VVR-S, Atomnaia energya 1962, tome 13, n°4
- (13) JOVER P. - Avant projet contrôle OSIRIS - Etude CEN. SACLAY - D.E. 1963  
1711/SAER/1055
- (14) FURET J. - Influence de l'empoisonnement Xénon dans les piles à haut flux sur la vitesse des barres de contrôle, Rapport CEA n° 2080,  
1962
- (15) FURET J. - Cinétique de l'empoisonnement Samarium dans les piles à très haut flux, rapport CEA n° 2389, 1963
- (16) VALAT J. , STERN. T - Analyse de la précision de certaines méthodes de mesures des très basses réactivités, Etude CEN. SACLAY D.E.  
1961, 1540/SAER/983

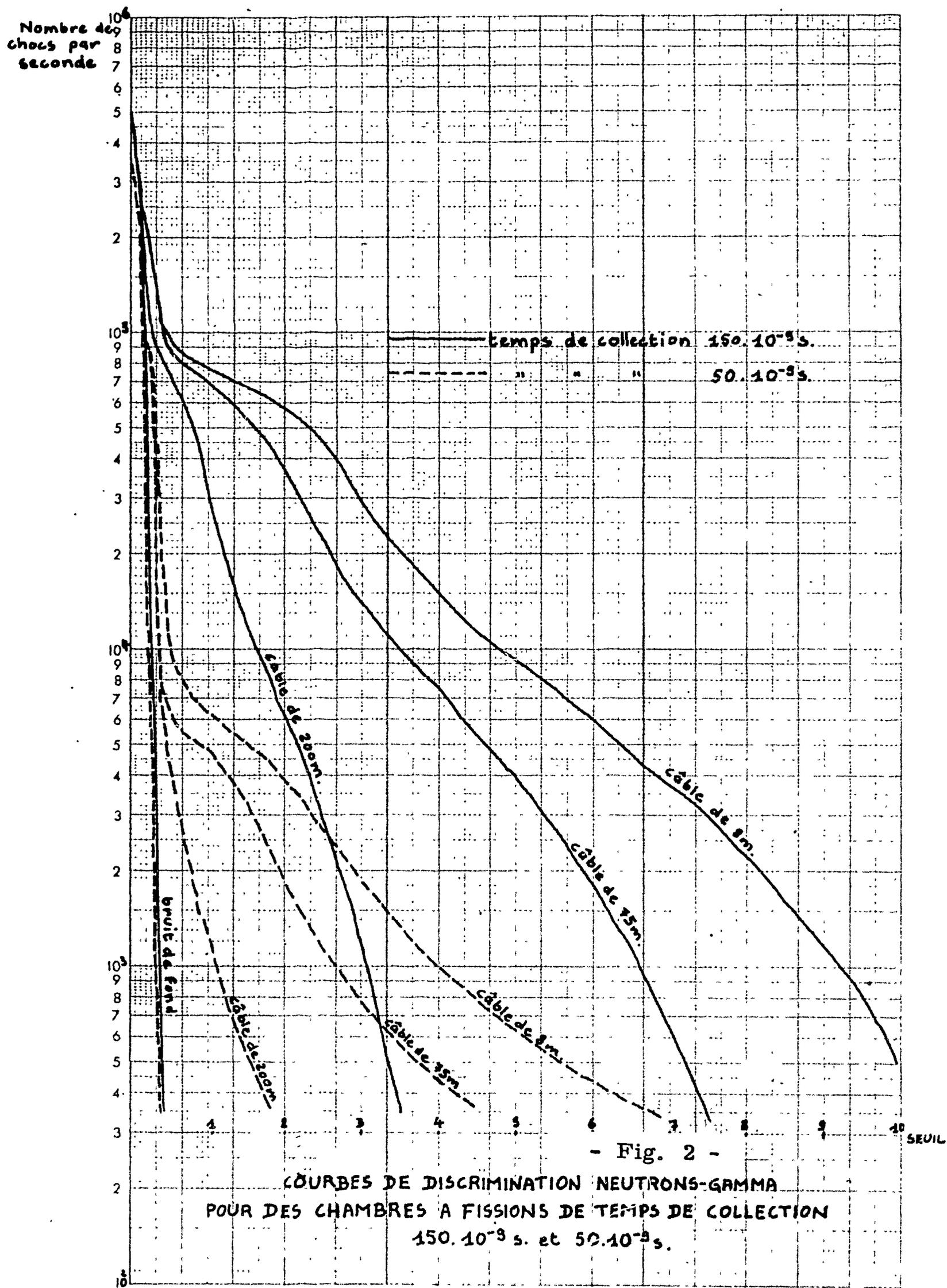
- (17) STERN. T. , VALAT. J. , BLAQUIERE. A. , CAZEMAJOU. J. - Mesure de très basses réactivités à partir de la réponse impulsionnelle d'un réacteur déterminée par intercorrélacion, rapport CEA à paraître.
- (18) BELIARD. L. , CAZEMAJOU. J. , FROELICHER. B. - Compte-rendu de manipulations par la méthode d'intercorrélacion ULYSSE, Etude CEN. SACLAY DE - 1963 1757/SAER/1089
- (19) WEILL. J. , FURET. J. - Procédé nouveau de démarrage rapide des réacteurs nucléaires - C.R. Acad. des SC. de Paris 1964, t. 258, p. 887-889
- (20) FURET J. - La sécurité période pendant le démarrage des piles atomiques, rapport CEA n°2411.
-

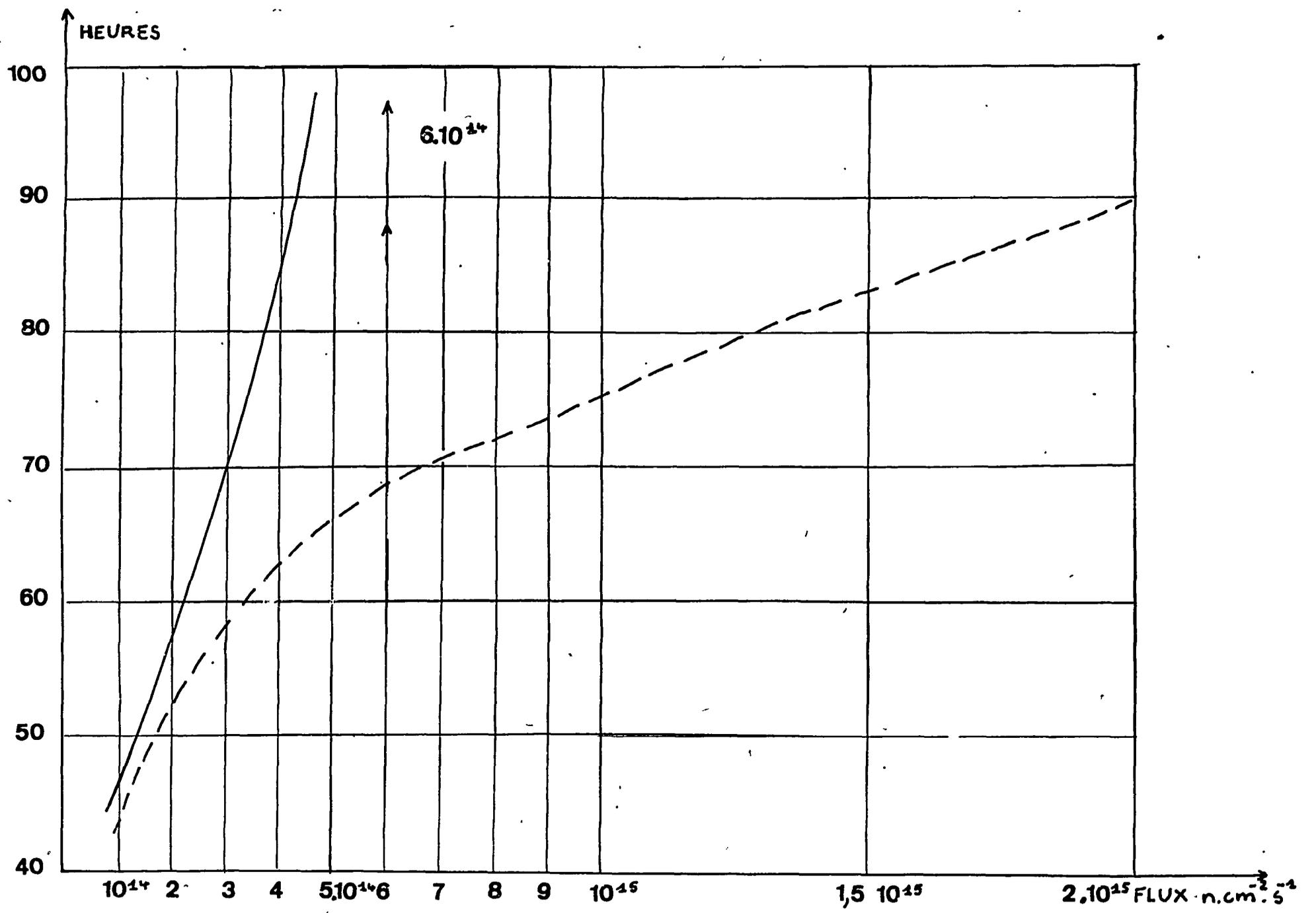


N° 140

DYNAMIQUE DE MESURE DES ENSEMBLES A IMPULSIONS

- Fig. 1 -

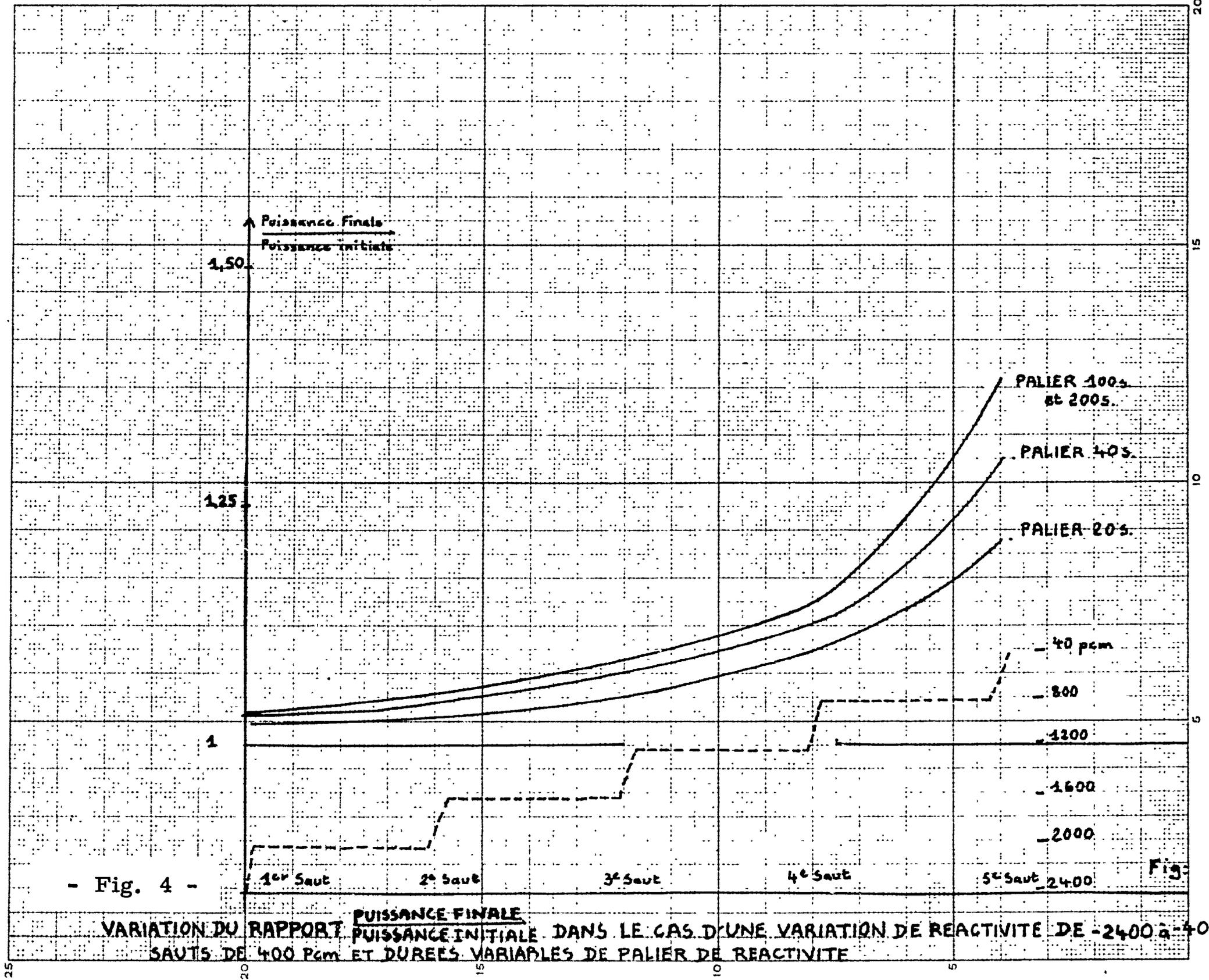




— EVOLUTIONS EMPOISONNEMENTS XENON SAMARIUM,  
XENON APRES ARRET. TEMPS OU L'ON RETROUVE LES  
EMPOISONNEMENTS INITIAUX.

-----EVOLUTION XENON APRES ARRET BRUSQUE, TEMPS OU  
L'ON RETROUVE L'EMPOISONNEMENT INITIAL

- Fig. 3 -



- Fig. 4 -

$\frac{\text{PUISSANCE FINALE}}{\text{PUISSANCE INITIALE}}$   
 VARIATION DU RAPPORT PUISSANCE FINALE DANS LE CAS D'UNE VARIATION DE REACTIVITE DE -2400 à +400 pcm  
 SAUTS DE 400 pcm ET DUREES VARIABLES DE PALIER DE REACTIVITE

Fig.

**FIN**