

FR 850 1803



3. International conference on liquid metal engineering
and technology in energy production
Oxford (UK) 9-13 Apr 1984
CEA-CONF--7651

DRNR / P / N° 290

CHAMBRES A FISSION HAUTE TEMPERATURE
PROGRAMME DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT POUR
LES REACTEURS A NEUTRONS RAPIDES

C. BERLIN - J.C. PERRIGUEUR - J. DUCHENE*
M. TIXIER**

RESUME :

Un programme de recherche et de développement de chambres à fission dites "haute température" a été lancé pour répondre aux besoins des réacteurs de la filière à neutrons rapides : contrôle neutronique en cuve, détection des ruptures de gaine à l'aide de compteurs de neutrons "intégrés".

Ce programme est mené dans le cadre d'une collaboration étroite entre le CEA (Département des Réacteurs à Neutrons Rapides et Département d'Electronique et d'Instrumentation) et la Radiotechnique (Usine HYPERELEC). L'effort porte sur les essais de mise au point des chambres à fission haute température mais également sur les essais technologiques des chaînes de mesures (détecteur + électronique) dans des conditions représentatives de celles des centrales de puissance.

Une première étape a été franchie avec la qualification des chaînes de mesures neutroniques :

- du système auxiliaire de contrôle neutronique en cuve de SUPER PHENIX,
- du système expérimental de détection des ruptures de gaine (DND Intégrée) dont on souhaite valider le principe sur SUPER PHENIX lors des essais de démarrage de la Centrale.

On présente les tests réalisés sur les différents types de chaîne de mesure (impulsion et courant). On insiste sur les résultats obtenus lors des essais effectués à PHENIX dans des conditions sévères :

- fonctionnement des chambres : à haute température (550°C), en présence d'un débit de dose gamma élevé : 3.10^4 Rad h⁻¹, avec de nombreux cyclages thermiques entre 250 et 550°C,
- fonctionnement des chaînes : en milieu industriel favorable aux parasites, etc ...

On donne pour terminer les orientations envisagées pour la poursuite du programme.

* CEA DEIn/Saclay
** Société RTC/Hyperelec

~~31-11-1968~~
~~11/11/68~~

SOMMAIRE

Résumé

1 - INTRODUCTION

2 - LE PROGRAMME DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT

2.1 - Objectifs

2.1.1 - Développement des chaînes de mesure (impulsions et courant) du système auxiliaire de mesures neutroniques de SUPER PHENIX

2.1.2 - Mise au point d'une chaîne de mesure en impulsions pour le système expérimental des ruptures de gaine à l'aide de détecteurs intégrés

2.1.3 - Mise au point d'une chambre à fission (réf. CFUC07) et de son électronique associée pour le contrôle neutronique du projet RNR 1500

2.2 - Etat d'avancement

3 - TESTS DES CHAINES DU SYSTEME AUXILIAIRE DE MESURES NEUTRONIQUES EN CUVE DE SUPER PHENIX

3.1 - Chaîne de mesure en impulsions

3.1.1 - But des essais

3.1.2 - Caractéristiques d'une chaîne de mesure en impulsions de SUPER PHENIX

3.1.3 - Conditions d'essais à PHENIX

3.1.4 - Résultats

3.1.5 - Conclusion des essais

3.2 - Chaîne de mesure en courant

3.2.1 - But des essais

3.2.2 - Conditions d'essai à KNK II

3.2.3 - Résultats

4 - TESTS D'UNE CHAINE DE MESURE DU SYSTEME EXPERIMENTAL DE DND INTEGREE

4.1 - But des essais

4.2 - Caractéristiques principales de la chaîne

4.3 - Conditions d'essais à PHENIX

4.4 - Résultats

5 - PROGRAMMES FUTURS

6 - CONCLUSIONS

Remerciements

Références

Liste des figures

1 - INTRODUCTION

Des chambres à fission fonctionnant à température élevée sont nécessaires pour les réacteurs à neutrons rapides de la filière française et pour les objectifs suivants :

1) contrôle neutronique à l'aide de chambre en cuve pour SUPER PHENIX et pour le projet RNR 1500,

2) surveillance des ruptures de gaine grâce à des détecteurs placés dans le collecteur chaud à proximité des fenêtres d'entrée des échangeurs intermédiaires.

Les chambres à fission, à structure coaxiale, disponibles sur le marché français, ne conviennent pas. En effet, elles doivent être refroidies pour éviter l'apparition d'impulsions parasites dues à des microclaquages lorsqu'elles sont mises en oeuvre à une température supérieure à 400°C sous une tension de polarisation supérieure à 200 volts et en présence d'un rayonnement gamma intense. Ainsi, à PHENIX, les chambres à fission de prédémarrage en cuve (d'abord du type CFUC02, aujourd'hui du type CFUD12) sont maintenues en permanence à une température comprise entre 200 et 250°C par une circulation d'azote alors que leur tension de polarisation est fixée à 200 volts.

Pour pallier cet inconvénient et pour satisfaire les besoins des réacteurs rapides un programme de recherche et de développement a été établi en prenant également en compte les problèmes inhérents aux conditions d'implantation des chambres à fission et de leurs électroniques associées sur les Centrales qui imposent des câbles de liaisons chambres-électroniques de grande longueur (quelques centaines de mètres) avec plusieurs passages en coupure.

L'effort de recherche et de développement qui a été entrepris vise, par conséquent, non seulement à la mise au point des chambres à fission liées aux différents objectifs mais également à la qualification des chaînes de mesures complètes (détecteur + liaison + électronique) grâce à des essais technologiques réalisés en réacteurs rapides dans des conditions d'implantation et de fonctionnement comparables à celles qui seront rencontrées sur les Centrale de puissance.

Le programme de recherche et de développement est mené conjointement par le Commissariat à l'Énergie Atomique (Département des Réacteurs à Neutrons Rapides à Cadarache et Département d'Électronique et d'Instrumentation à Saclay) d'une part, et la Société Radiotechnique (Usine Hyperelec à Brive la Gaillarde) d'autre part.

On présente, dans cette note, les grandes lignes du programme et son état d'avancement. On donne, ensuite, les principaux résultats des essais technologiques qui ont été réalisés. Enfin, on précise succinctement les étapes du programme futur.

2 - LE PROGRAMME DE RECHERCHE ET DE DEVELOPPEMENT

2.1 - Objectifs

2.1.1 - Développement des chaînes de mesure (impulsions et courant) du système auxiliaire de mesures neutroniques de SUPER PHENIX

Le système normal de contrôle neutronique de SUPER PHENIX, est basé sur l'ensemble : guides à neutrons, chambres sous cuve et chaînes de sécurité /réf. 1/.

Pendant la période des essais de démarrage de la Centrale, il est apparu nécessaire d'adjoindre un système auxiliaire de mesures neutroniques à l'aide de chambres en cuve pour :

- assurer le contrôle neutronique du réacteur notamment au cours du chargement du coeur minimal de divergence, de la première divergence et du chargement du coeur de montée en puissance,

- qualifier, par comparaison, le système de contrôle neutronique sous cuve,
- réaliser, avec la précision souhaitée, les mesures neutroniques indispensables au démarrage du réacteur.

Afin d'obtenir un contrôle neutronique satisfaisant et sûr du réacteur, on a proposé :

- d'utiliser trois chambres à fission haute température implantées, au moyen d'un bouchon de mesures physiques (BOUPHY), dans le canal central d'un assemblage spécial chargé au centre du coeur,
- de connecter les trois chambres à trois voies de traitement des impulsions identiques,
- de relier enfin les chaînes de mesures en impulsions (chambre + voie de traitement des impulsions) au système d'arrêt complémentaire du réacteur (AU-SAC) par l'intermédiaire de trois électroniques spéciales (avec seuils classiques de puissance et de période) et d'une logique de sécurité en 2/3.

Une inhibition du circuit d'arrêt d'urgence AU-SAC sera évidemment nécessaire à partir d'un certain taux de comptage. Corrélativement, une désinhibition automatique sera également nécessaire en cas de repli automatique de puissance ou d'arrêt d'urgence du réacteur.

Compte tenu de la position privilégiée des chambres dans le coeur, les chaînes de mesures en impulsions, associées à des échelles de comptages des impulsions, seront parfaitement adaptées aux mesures neutroniques prévues réacteur à l'arrêt ou à puissance nulle (ou quasi nulle).

Pour les mesures neutroniques réacteur en puissance, l'une des trois chambres (au choix) pourra être branchée sur une voie de mesure en courant. Le niveau de puissance du réacteur et/ou le positionnement en altitude des chambres seront dans ce cas ajustés pour disposer d'un niveau de courant compatible avec le type d'essais à réaliser.

Les conditions d'utilisation des chambres à fission (fonctionnement à haute température et en présence d'un rayonnement gamma intense) d'une part, et les contraintes liées à l'implantation des électroniques dans le bâtiment contrôle commande (liaisons chambres-voies de mesure de 350 m avec plusieurs passages en coupure) d'autre part, font que les chaînes de mesures prévues pour le système auxiliaire de mesures neutroniques de SUPER PHENIX sont tout à fait originales.

Elles ont donc nécessité le développement d'une chambre à fission spéciale (référence CFUX14), dont les caractéristiques générales sont données ci-après, et des tests de qualification des deux types de chaîne.

Caractéristiques générales de chambres à fission haute température CFUX14

- diamètre du corps de chambre : 18 mm (imposé par le doigt de gant BOUPHY),
- longueur du corps de chambre : 250 mm (spécifié pour pouvoir disposer trois chambres à fission l'une au-dessus de l'autre sur une hauteur égale à celle du coeur combustible de SUPER PHENIX c'est-à-dire 1 m),
- longueur des câbles minéraux : 18 m (compatible avec la longueur du doigt de gant BOUPHY)
- fonctionnement :
 - * à haute température c'est-à-dire dans la gamme 150-550°C,
 - * en présence d'un débit de dose gamma élevé 10^5 Rad h^{-1} ,
 - * en impulsions avec une sensibilité de $5 \cdot 10^{-2} \text{ c.s}^{-1} / \text{n.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,
 - * en courant jusqu'à 10^{-3} A avec une sensibilité de $10^{-14} \text{ A/n.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,
 - * jusqu'à une dose gamma 10^9 Rad h^{-1} ,
 - * jusqu'à une fluence $10^{18} \text{ n.cm}^{-2}$.

2.1.2 - Mise au point d'une chaîne de mesure en impulsions pour le système de surveillance des ruptures de gaine à l'aide de détecteurs intégrés

Dans le cadre des études du Projet RNR 1500, la recherche d'une réduction du coût et de la simplification du système de surveillance des ruptures de gaine de SUPER PHENIX, a conduit le Commissariat à l'Energie Atomique à proposer une nouvelle méthode de détection des ruptures de gaine. Celle-ci est basée sur le principe de l'analyse, dans le sodium primaire, des produits de fission émetteurs de neutrons retardés à l'aide de détecteurs implantés dans le collecteur chaud, à proximité des fenêtres d'entrée des échangeurs intermédiaires. Ce principe n'est applicable que sur les réacteurs intégrés de grande taille dans lesquels on bénéficie d'une distance suffisante entre le coeur et les détecteurs intégrés pour réduire le flux neutronique parasite en provenance directe du coeur à un niveau compatible avec un rapport signal/bruit acceptable.

Un essai de démonstration de la validité de ce principe est prévu à SUPER PHENIX durant la phase des essais de démarrage de la Centrale. Dans ce but un système expérimental y sera installé. Il comprendra :

- 11 chambres à fission haute température de grande sensibilité placées dans les doigts de gants prévus à cet effet dans les échangeurs intermédiaires,
- 11 voies de traitement des impulsions,
- 11 liaisons, chambres-électroniques de grande longueur ~ 200 m et comportant deux passages en coupure, les électroniques ne pouvant pas être installées sous le dôme,
- enfin un système d'acquisition relié aux 11 voies de traitement des impulsions.

Comme précédemment et pour les mêmes raisons un effort de recherche et de développement a été nécessaire pour mettre au point une chambre à fission spéciale (référence CFUC06) répondant aux spécifications données ci-après et pour tester une chaîne de mesure en impulsions (chambre + voie de traitement des impulsions) dans des conditions identiques à celles prévues sur SUPER PHENIX.

Caractéristiques de la chambre à fission haute température CFUC06

- Diamètre du corps de chambre : 48 mm,
- longueur du corps de chambre : 400 mm,
- longueur des câbles minéraux : ~ 8 m,
- fonctionnement :
 - * à haute température c'est-à-dire dans la gamme 150-550°C,
 - * en présence d'un débit de dose gamma élevé : 10^5Rad h^{-1} ,
 - * en impulsion avec une sensibilité de $1 \text{ c.s}^{-1}/\text{n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$,
 - * jusqu'à une dose gamma $\sim 10^9 \text{Rad}$,
 - * jusqu'à une fluence $\sim 10^{10} \text{n.cm}^{-2}$.

2.1.3 - Mise au point d'une chambre à fission (référence CFUC07) et de son électronique associée pour le contrôle neutronique du projet RNR 1500

L'option retenue aujourd'hui pour la conception du puits de cuve du RNR 1500 n'autorise pas la reconduction du système de contrôle neutronique de SUPER PHENIX.

En principe le contrôle neutronique du RNR 1500 sera assuré à l'aide de chambres en cuve. Les problèmes d'implantation de ces chambres ne sont pas encore résolus. Il n'est donc pas possible de définir exactement le type de chambre qui serait nécessaire. Cependant, la chambre qui conviendrait dans tous les cas de figure est une chambre capable de permettre le contrôle neutronique de l'arrêt à la pleine puissance, donc une chambre de grande sensibilité et rapide (temps de collection court, < 100 ns) pour fonctionner en impulsions (sensibilité $1 \text{ c.s}^{-1}/\text{n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), en fluctuation de courant et en courant (jusqu'à $\sim 10^{-3} \text{A}$ avec une sensibilité $\sim 10^{-13} \text{A/n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).

2.2 - Etat d'avancement

Les deux premiers objectifs du programme étant liés au planning de SUPER PHENIX, les études correspondantes au développement des chaînes de mesures du système auxiliaire de mesures neutroniques en cuve et du système expérimental de DND Intégrée ont été entreprises en priorité. Par contre, les actions relatives au troisième objectif sont en cours de définition.

Pour les chambres à fission haute température CFUX14 et CFUC06, on a abandonné la structure coaxiale et on a séparé physiquement le signal de la haute tension.

Les résultats obtenus en laboratoire ont montré la validité de cette solution pour s'affranchir des phénomènes de microclaquages.

Compte tenu de l'originalité de certains composants des chaînes de mesures du système auxiliaire de mesures neutroniques et du système de DND intégrée (câbles minéraux de grande longueur, câbles coaxiaux haute immunité aux parasites également de grande longueur et comportant plusieurs passages en coupure, une attention particulière a été apportée aux problèmes d'atténuation du signal, de désadaptation d'impédance et d'immunité aux parasites.

Les essais réalisés en laboratoire ont permis de montrer que ces problèmes étaient parfaitement maîtrisés et ont donc permis d'orienter les tests de bon fonctionnement des chaînes en réacteur. Ces derniers ont été effectués en utilisant les possibilités offertes par les deux réacteurs rapides PHENIX et KNK II :

- tests des chaînes de mesures en impulsions à PHENIX,
- tests de la chaîne de mesure en courant à KNK II.

3 - TESTS DES CHAINES DU SYSTEME AUXILIAIRE DE MESURES NEUTRONIQUES EN CUVE DE SUPER PHENIX

3.1 - Chaîne de mesure en impulsion

3.1.1 - But des essais

Globalement l'objectif visé a été de tester le bon fonctionnement de la chaîne de mesure en impulsions dans un environnement industriel favorables aux parasites.

Pour cela on a procédé :

a) au réglage des paramètres de la chaîne de mesure : tension de polarisation et seuil de discrimination,

b) au suivi, dans le temps, de la stabilité de la chaîne en contrôlant la reproductibilité des caractéristiques de la chambre : courbes de discrimination et de palier de haute tension,

c) à la vérification de la sensibilité de la chambre en impulsions au point de fonctionnement choisi.

3.1.2 - Caractéristiques d'une chaîne de mesure en impulsion de SUPER PHENIX

Une chaîne comprend (figure 1) :

- une chambre CFUX14 équipée de ces deux câbles intégrés haute température, d'impédance caractéristique 30 ohms et de 18 mètres de longueur chacun (figure 2),

- un boîtier de raccordement ou "boîtier séparateur" pour l'aiguillage du signal et de la haute tension sur les deux câbles intégrés de la chambre à partir d'un câble coaxial unique,

- un câble de liaison coaxial haute immunité d'impédance caractéristique 50 ohms, assurant le raccordement du boîtier séparateur à l'entrée du bloc amplificateur des impulsions de la voie de mesure ; cette liaison de 350 mètres de longueur comporte 4 passages en coupure, au niveau du râtelier (rotation des bouchons tournants), de la traversée du dôme, du raccordement de la baie de mesure et de l'inverseur coaxial (passage du fonctionnement en impulsion au fonctionnement en courant).

- une voie de mesure du standard multibloc de chez Merlin Gérin modifiée pour disposer d'une haute tension de polarité négative et d'un bloc allongeur pour le réglage du gain.

3.1.3 - Conditions d'essais à PHENIX

La chaîne de mesures en impulsion qui a été testée à PHENIX est identique à celle qui sera utilisée à SUPER PHENIX aux passages en coupures près, du râtelier et de la traversée du dôme, qu'il n'a pas été nécessaire de simuler. En effet, les essais réalisés préalablement en laboratoire ont montré que :

1/ la traversée spéciale du dôme n'a pas d'influence néfaste sur la transmission du signal,

2/ la connection au passage du râtelier peut être réalisée sans coupure d'impédance et sans création d'un point d'accès des parasites à condition de respecter les précautions classiques de montage et de serrage des connecteurs.

Pour les essais, la chambre CFUX14 a été introduite dans un doigt de gant implanté dans le collecteur chaud de PHENIX. Les conditions d'irradiation de la chambre positionnée en partie basse du doigt de gant et lorsque le réacteur fonctionne à pleine puissance ont été représentatives de celles de SPX 1 :

- température 550°C
- débit de dose gamma $3 \cdot 10^4 \text{ Rad h}^{-1}$ *
- flux neutronique (thermique équivalent) : quelques $10^5 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

3.1.4 - Résultats

Les essais de la chaîne de mesures en impulsions ont débuté à PHENIX en Mars 1982. Ils se sont déroulés alors que le réacteur a fonctionné soit à pleine puissance soit à 2/3 de puissance pendant 218 JEPP.

* N.B. : Lors des essais réalisés à KNK II, le débit de dose gamma était supérieur à 10^5 Rad h^{-1} . Le fonctionnement en impulsions de la chambre a été très satisfaisant et confirme les essais réalisés en laboratoire.

a) Réglage des paramètres du fonctionnement de la chambre

Les courbes de discrimination tracées avec une tension de polarisation nulle et de 400 volts ont permis de fixer le seuil de fonctionnement à une valeur telle que le bruit de fond soit inférieur à 1 c/s pour une haute tension de 400 volts (figure 3).

La courbe de palier haute tension relevée avec le seuil de discrimination préalablement fixé confirme le choix de la haute tension de polarisation de 400 volts.

b) Stabilité dans le temps

Le profil des courbes de discrimination relevées après une année de tests c'est-à-dire après 218 JEPP et 15 cyclages thermiques correspondant à des arrêts redémarrages du réacteur démontre qu'aucune évolution des caractéristiques de la chaîne durant cette période n'est à signaler.

Pour compléter les tests, les passages en coupure du câble coaxial haute immunité reliant la chambre CFUX14 à la voie de traitement des impulsions ont été simulés au cours des essais d'endurance :

- d'une part, au niveau de l'accès dans la baie de mesure,
- d'autre part, au niveau de l'inverseur coaxial.

Les courbes de discrimination relevées avant et après l'installation de la traversée du câble coaxial à l'entrée de la baie et de l'inverseur coaxial se superposent point par point (figure 4), ce qui prouve que l'immunité aux parasites de la liaison coaxiale a été parfaitement conservée, le taux d'impulsions parasites restant tout à fait négligeable.

Les essais d'endurance de la chaîne se poursuivent aujourd'hui de façon fort satisfaisante avec cette dernière configuration.

c) Sensibilité de la chambre

La sensibilité de la chambre a été déterminée en faisant le rapport du taux de comptage de la chambre au point de fonctionnement choisi (tension de polarisation et seuil de discrimination) du flux thermique équivalent mesuré à l'aide de détecteurs d'activation au manganèse au niveau de la chambre. La sensibilité mesurée, $0,03 \text{ c.s}^{-1}/\text{n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, est conforme aux prévisions du constructeur.

3.1.5 - Conclusion des essais

Les Principaux résultats obtenus se résument comme suit :

- 1 - pas de défaut d'isolement,
- 2 - absence de microclaquage à 550°C sous 400 volts de tension de polarisation,
- 3 - réponse satisfaisante de la chambre, malgré l'atténuation due à la liaison chambre-voie de mesure très importante (18 m de câble + 350 m de câble coaxial) et les passages en coupures,
- 4 - pas de désadaptation du fait de l'utilisation de câble minéraux d'impédance caractéristique 30 ohms,
- 5 - bonne tenue en endurance durant 218 JEPP malgré plus de 15 cyclages thermiques entre 250 et 550°C,
- 6 - sensibilité de la chambre conforme aux prévisions, soit $0,03 \text{ c.s}^{-1}/\text{n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Ils permettent de conclure à la qualification de la chaîne de mesure en impulsion de SUPER PHENIX.

3.2 - Chaîne de mesure en courant

3.2.1 - But des essais

On sait que les paliers des courbes de saturation $i_{(A)}=f$ (tension de polarisation) se décalent vers les valeurs élevées de la haute tension lorsque le flux neutronique sur les chambres augmente.

Il importe donc de s'assurer que la valeur de la haute tension retenue pour le fonctionnement en impulsion de la chambre CFUX14 est également convenable pour le fonctionnement en courant.

Les essais réalisés sur le réacteur expérimental ISIS à SACLAY ont montré qu'il en est bien ainsi à température ordinaire.

Un des buts des essais de la chaîne de mesure à courant à KNK II a été de vérifier que ce résultat est également valable à température élevée et en présence d'un rayonnement gamma intense.

De plus les essais à KNK II ont eu pour objet :

1) de démontrer que la chambre CFUX14 fonctionnait à nouveau parfaitement en impulsion après un fonctionnement plus ou moins long en courant,

2) de mesurer le courant induit par le rayonnement gamma (ce résultat est nécessaire dans le cadre du développement d'une chambre rapide CFUC07 et de son électronique grande dynamique associée).

3.2.2 - Conditions d'essai à KNK II

La transmission du signal délivré par la chambre CFUX14 ne pose pas de problème (affaiblissement ...) lorsqu'elle fonctionne en courant. Il n'a donc pas été nécessaire de mettre en oeuvre une chaîne strictement identique à celle de SUPER PHENIX pour les essais réalisés à KNK II. La chaîne utilisée se composait de :

- une chambre à fission CFUX14 équipée de ses deux câbles intégrés ($\Phi = 4$ mm, 30 ohms) de 18 m de longueur, et d'un boîtier séparateur,

- un câble de liaison coaxial haute immunité (50 ohms) de 40 m de longueur,

- une électronique comportant une voie de mesure en impulsion équipée d'un compteur logarithmique et une voie de mesure en courant à commutation de gamme manuelle.

La chambre est placée dans un canal expérimental disposé dans le réacteur au-dessus de l'assemblage central. Le dispositif expérimental permet le déplacement axial de la chambre. En partie basse et le réacteur KNK II étant en puissance, les conditions d'irradiation de la chambre sont représentatives de celles de SUPER PHENIX soit :

- température 560°C
- flux neutronique : 10^{10} n.cm⁻².s⁻¹ (thermique équivalent)
- débit de dose gamma : $> 10^5$ Rad h⁻¹

3.2.3 - Résultats

- Vérification du fonctionnement en impulsion.

Le fonctionnement de la chambre a été suivi entre 0 et 4,2 kw. A -28 \$, - 26 c et à 4,2 kw, on a tracé les courbes de discrimination de la chambre (figure 5) et on a déterminé la réponse de la chambre en fonction de sa cote dans le canal expérimental. Les courbes obtenues confirment le bon fonctionnement en impulsion de la chambre et permettent d'estimer la perte de comptage dû à un effet de saturation : 10 % au niveau de 300.000 c/s (figure 6).

Aucune anomalie du fonctionnement en impulsion de la chambre n'a été mise en évidence à la suite des tests de fonctionnement en courant.

- Vérification du fonctionnement en courant

La comparaison des courbes de saturation tracées à différents niveaux de puissance du réacteur et de la courbe de saturation obtenue préalablement sur le réacteur ISIS révèle une déformation des courbes lorsque la haute tension de polarisation est supérieure à 500 volts (figure 7). On a constaté que cette anomalie disparaissait après quelques heures d'irradiation de la chambre. Ce phénomène de "guérison" de la chambre et des câbles n'a pas été expliqué.

La figure 8 montre que le fonctionnement en courant de la chambre CFUX14 est correct quel que soit le niveau de puissance lorsque la haute tension est fixée à 400 volts (valeur retenue pour le fonctionnement en impulsion). Dans ces conditions, la sensibilité de la chambre est conforme aux prévisions soit $1,5 \cdot 10^{-14} \text{ A/n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

La sensibilité de la chambre aux rayonnements gamma s'est révélée plus importante que prévue soit $\sim 1,3 \cdot 10^{-11} \text{ A/Rad}$. Ceci est dû au principe même de la mesure du courant qui est relatif à $i_{\text{global}} = i_{\text{HT}} + i_{\text{signal}}$ (séparation du signal et de la haute tension).

En résumé, la chaîne de mesure à courant pourra être valablement mise en oeuvre pour les essais des mesures neutroniques au démarrage de SUPER PHENIX en réglant la haute tension à 400 volts.

4 - TEST D'UNE CHAÎNE DE MESURE DU SYSTÈME EXPERIMENTAL DE DND-INTEGREE

4.1 - But des essais

idem paragraphe 3.1.1

4.2 - Caractéristiques principales de la chaîne

On rappelle (§ 2.1.2) qu'une chaîne (figure 9) se composera de :

- une chambre à fission type CFUC06 (figure 10),
- une baie de traitement des impulsions classiques de chez Merlin Gérin,
- une liaison coaxiale haute immunité aux parasites de 200 m de longueur environ comportant deux passages en coupures (traversée du dôme, entrée dans la baie de mesure).

4.3 - Conditions d'essais à PHENIX

La chaîne de mesure a été testée à PHENIX. Seuls les passages en coupures n'ont pas été simulés, les conclusions des tests réalisés en laboratoire sur l'influence de ces passages vis à vis de l'affaiblissement des impulsions et de la sensibilité aux parasites restant valables (cf § 3.1.3).

Les essais d'endurance de la chaîne ont été effectués en mettant en oeuvre une liaison coaxiale de 140 m de longueur (au lieu d'une liaison de 200 m prévue à SPX 1). On a néanmoins vérifié le fonctionnement de la chaîne avec une liaison coaxiale de 350 mètres.

La chambre CFUC06 a été irradiée pendant toute la durée des essais dans un doigt de gant placé dans le collecteur chaud de PHENIX entre le bouchon de contrôle commande et un échangeur intermédiaire. A ce niveau, et réacteur à pleine puissance, les conditions d'irradiation ont été les suivantes :

- $T = 550^{\circ}\text{C}$
- Flux neutronique = $3 \cdot 10^5 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (flux thermique équivalent)
- Débit de dose gamma : $3 \cdot 10^4 \text{ Rad h}^{-1}$.

4.4 - Résultats

Les essais de la chaîne ont débuté en mai 1981. Les essais d'endurance se poursuivent à l'heure actuelle. Jusqu'à présent la chambre CFUC06 a été irradiée 460 JEPP et a subi 28 transitoires thermiques dues aux arrêts redémarrage du réacteur.

Les courbes de discrimination relevées, lors d'un arrêt du réacteur PHENIX, montrent que le seuil de discrimination peut être fixé à une valeur telle que le bruit de fond dû au rayonnement gamma (^{24}Na) soit inférieur ou égal à 1 c.s^{-1} (figure 11).

On en déduit, compte tenu des courbes de discrimination obtenues sur l'irradiateur CAPRI avec une source gamma et sans neutron (figure 12), qu'une aussi bonne discrimination neutron-gamma pourra être également obtenue sur SUPER PHENIX malgré un débit de dose gamma supérieur (10^5 au lieu de $3 \cdot 10^4 \text{ Rad h}^{-1}$).

Par ailleurs, l'examen des courbes de discrimination relevées au cours des essais d'endurance révèlent une grande stabilité dans le temps de la chaîne de mesure en impulsion.

De plus, l'allongement de la longueur de la liaison coaxiale haute immunité (passage de 140 m à 350 m) n'a entraîné qu'une faible perte de comptage (8 à 9 %). Cette perte peut être d'ailleurs aisément compensée par une augmentation du gain de la chaîne.

Enfin, la sensibilité de la chambre a été déterminée. Elle est égale à $1 \text{ n.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ et est conforme aux prévisions.

Compte tenu des résultats acquis à ce jour, la chaîne de mesure en impulsion du système de DND intégrée peut être considérée comme opérationnelle pour les essais de démonstration de la validité du principe de la DND intégrée à SUPER PHENIX.

5 - PROGRAMME FUTUR

Le programme se poursuivra avec les essais suivants :

- Poursuite des essais d'endurance de la chaîne impulsionnelle de SPX I (CFUX14),
- Poursuite des essais d'endurance de la chaîne DND Intégrée (CFUC06),
- Test du fonctionnement de la chambre CFUC06 à $T > 550^{\circ}\text{C}$ (objectif : détection de l'accident d'assemblage par la DND-I - Cadre : Projet 1500).
- Interprétation du phénomène de "guérison" observé lors des essais de la chaîne en courant de SPX I,
- Développement d'une chambre rapide type CFUC07 et d'une chaîne électronique rapide fonctionnant en impulsion et fluctuation et en courant.

6 - CONCLUSION

Les chaînes de mesures neutroniques, qui équiperont :

- . le système auxiliaire de contrôle neutronique en cuve de SUPER PHENIX,
 - . le système expérimental de détection des ruptures de gaine utilisant des chambres à fission "intégrées",
- ont été développées et testées en réacteur rapide dans des conditions représentatives de celles de Creys Malville.

Bien que la qualification de ces chaînes soit d'ores et déjà acquise, les essais d'endurance se poursuivront en principe jusqu'au démarrage de SUPER PHENIX de façon à conforter les résultats obtenus.

Dans le cadre du projet RNR 1500, les axes de recherche et de développement envisagés sont :

1/ essais des chambres à fission CFUC06 à température supérieure à 550°C , qualification en condition accidentelle.

2/ développement d'une nouvelle chambre à fission haute température (CFUC07) et d'une électronique rapide associée pour le contrôle neutronique en cuve.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toutes les personnes qui ont prêté leur concours à la réalisation des essais des chaînes de mesures neutroniques en réacteur, notamment les personnels d'exploitation des réacteurs KNK II et PHENIX ainsi que Messieurs VAUX et DAUPHIN du Département d'Electronique et d'Instrumentation de SACLAY.

Ils remercient tout particulièrement Monsieur JC. GAUTHIER pour le rôle déterminant qu'il a joué dans la préparation, l'exécution et de dépouillement des essais réalisés à KNK II.

REFERENCE

- 1/ J. GOURDON et al
Evolution du système de surveillance et protection du coeur des réacteurs rapides - Proceedings of Nuclear Power plant control and Instrumentation Symposium - Cannes 1978 : vol.2, IAEA-SM-226/69.

LISTE des FIGURES

- Figure 1** Chaîne de mesure en impulsion du système auxiliaire de mesures neutroniques en cuve de SUPER PHENIX
- Figure 2** Chambre CFUX14 - caractéristiques
- Figure 3** CFUX14 - Test à Phénix - Courbe de discrimination
- Figure 4** CFUX14 - Test à Phénix - Influence de l'inverseur coaxial
- Figure 5** CFUX14 - Test à KNK II - Courbes de discrimination
- Figure 6** CFUX14 - Test à KNK II - Fonctionnement en impulsion - Effet de saturation
- Figure 7** CFUX14 - Comparaison des courbes de saturation destinées à KNK II et à ISIS - Effet de température
- Figure 8** CFUX14 - Test à KNK II - Paliers de saturation en fonction de la puissance du réacteur
- Figure 9** Chaîne de mesure en impulsion du système expérimental de DND-Intégrée
- Figure 10** Chambre CFUC06 - Caractéristiques
- Figure 11** CFUC06 - Essai à PHENIX - Courbes de discrimination à différents paliers de puissance et à débit de dose gamma constant
- Figure 12** CFUC06 - Essai au CAPRI - Influence de rayonnement gamma
- Figure 13** CFUC06 - Influence de la longueur du câble coaxial haute immunité

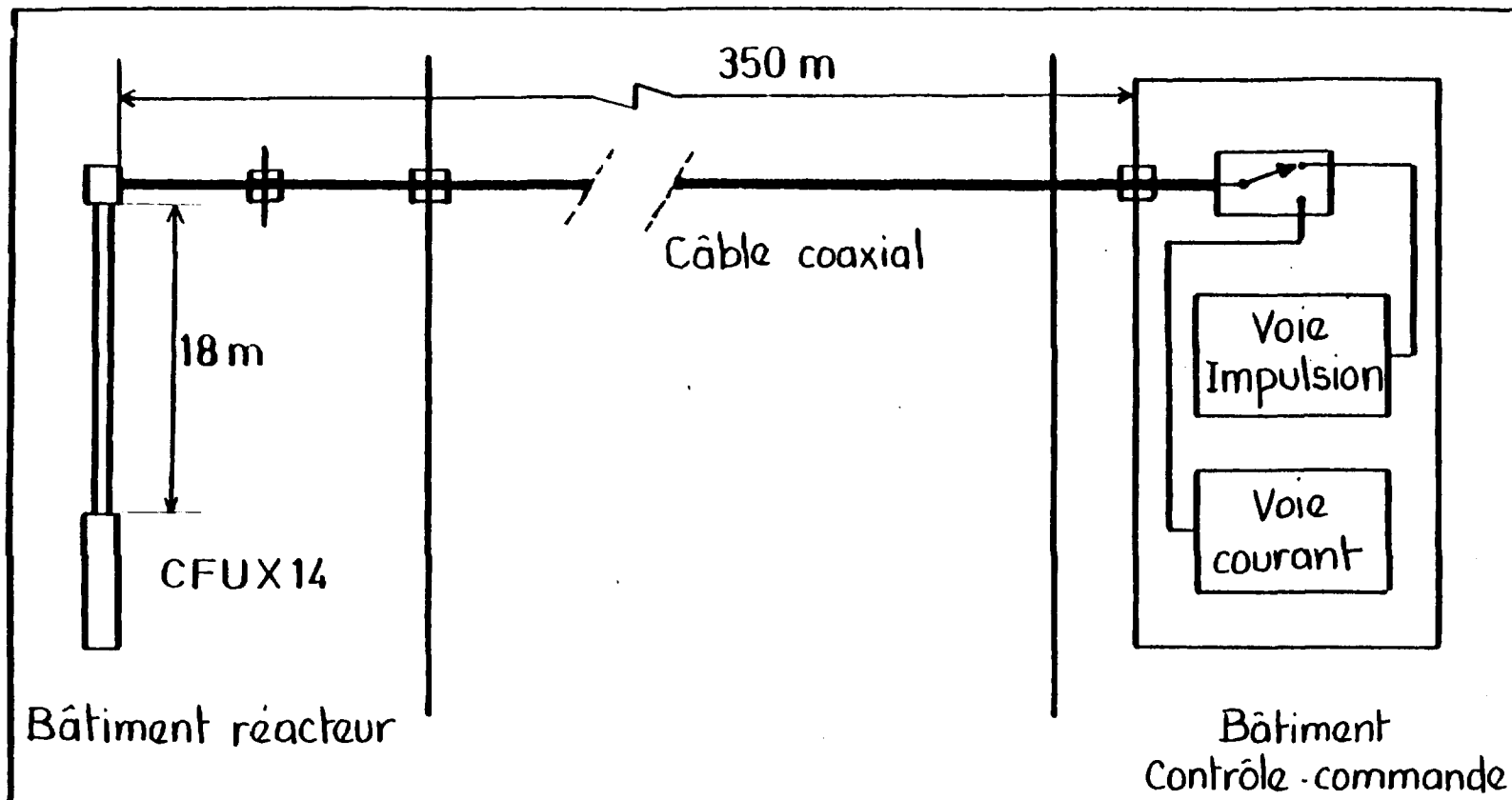
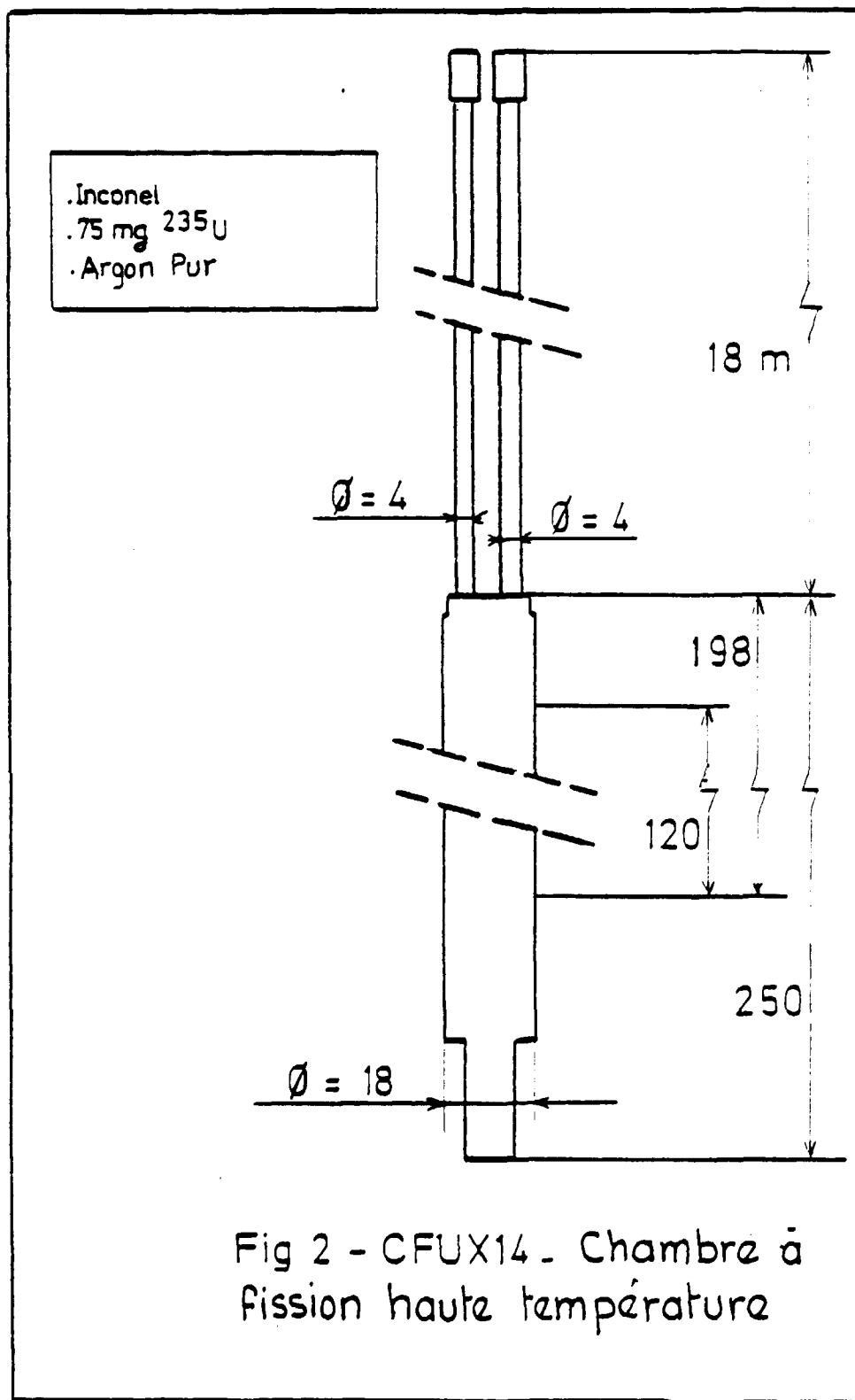
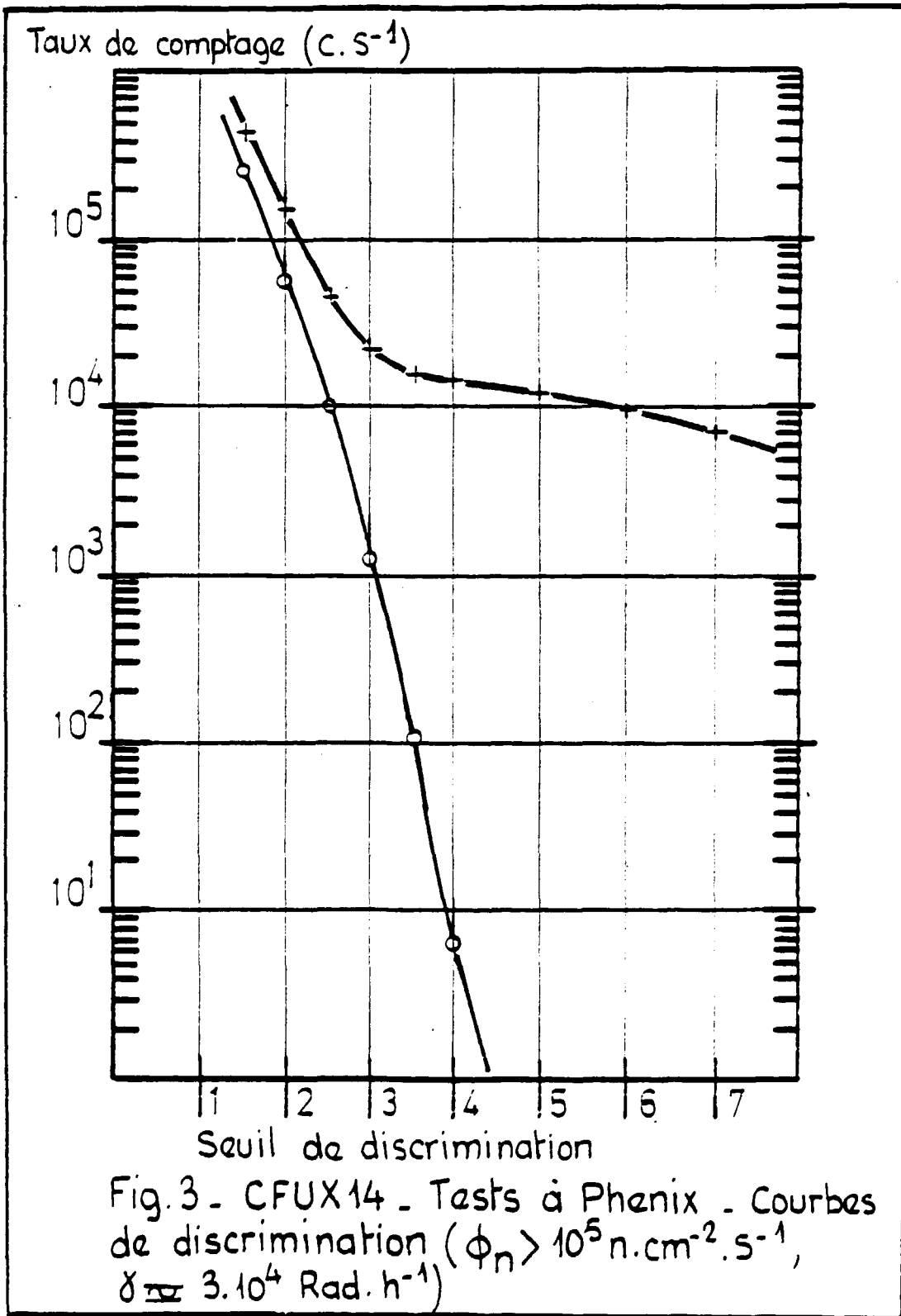
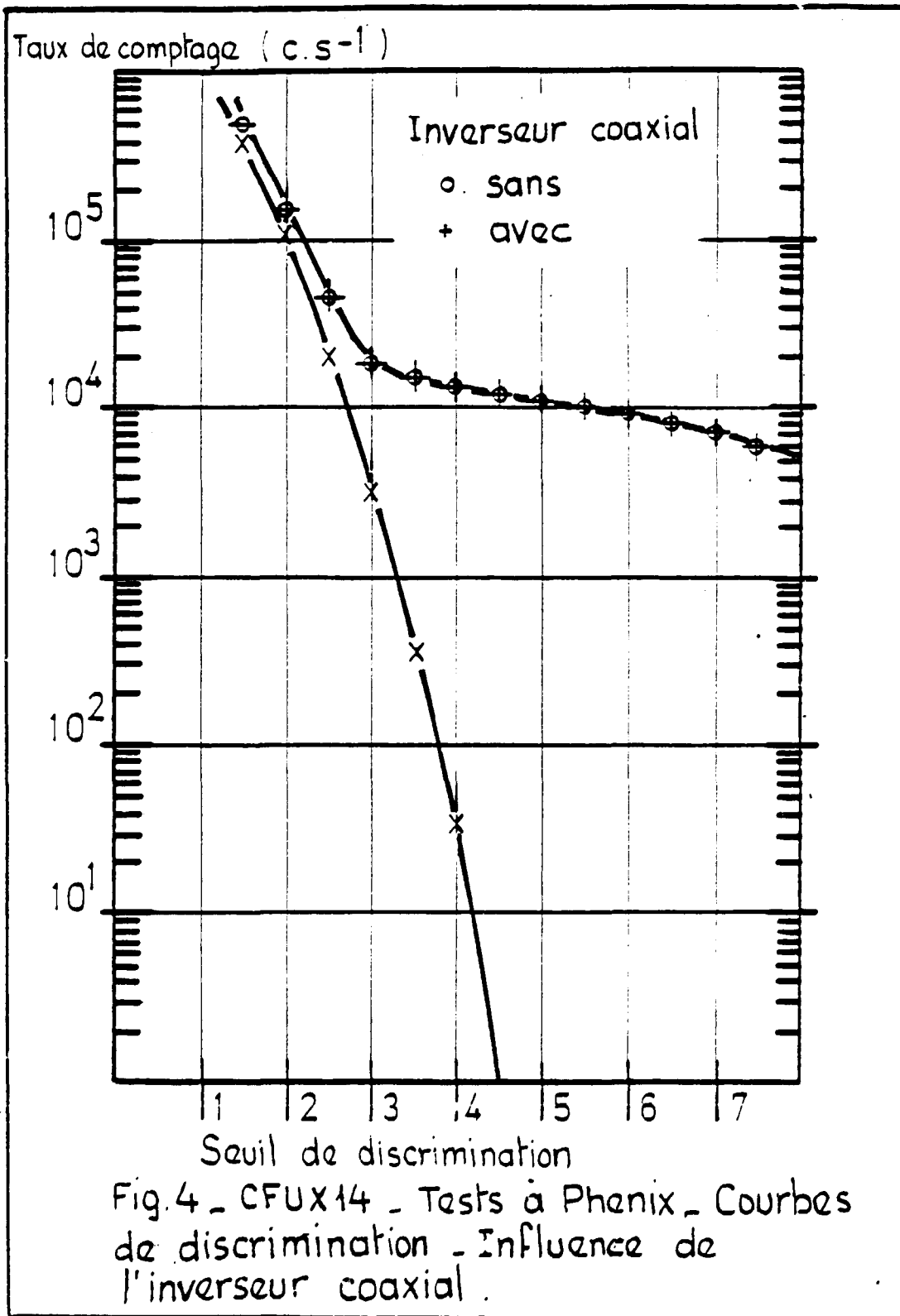


Fig 1 - Super Phenix - Système auxiliaire de mesure neutronique







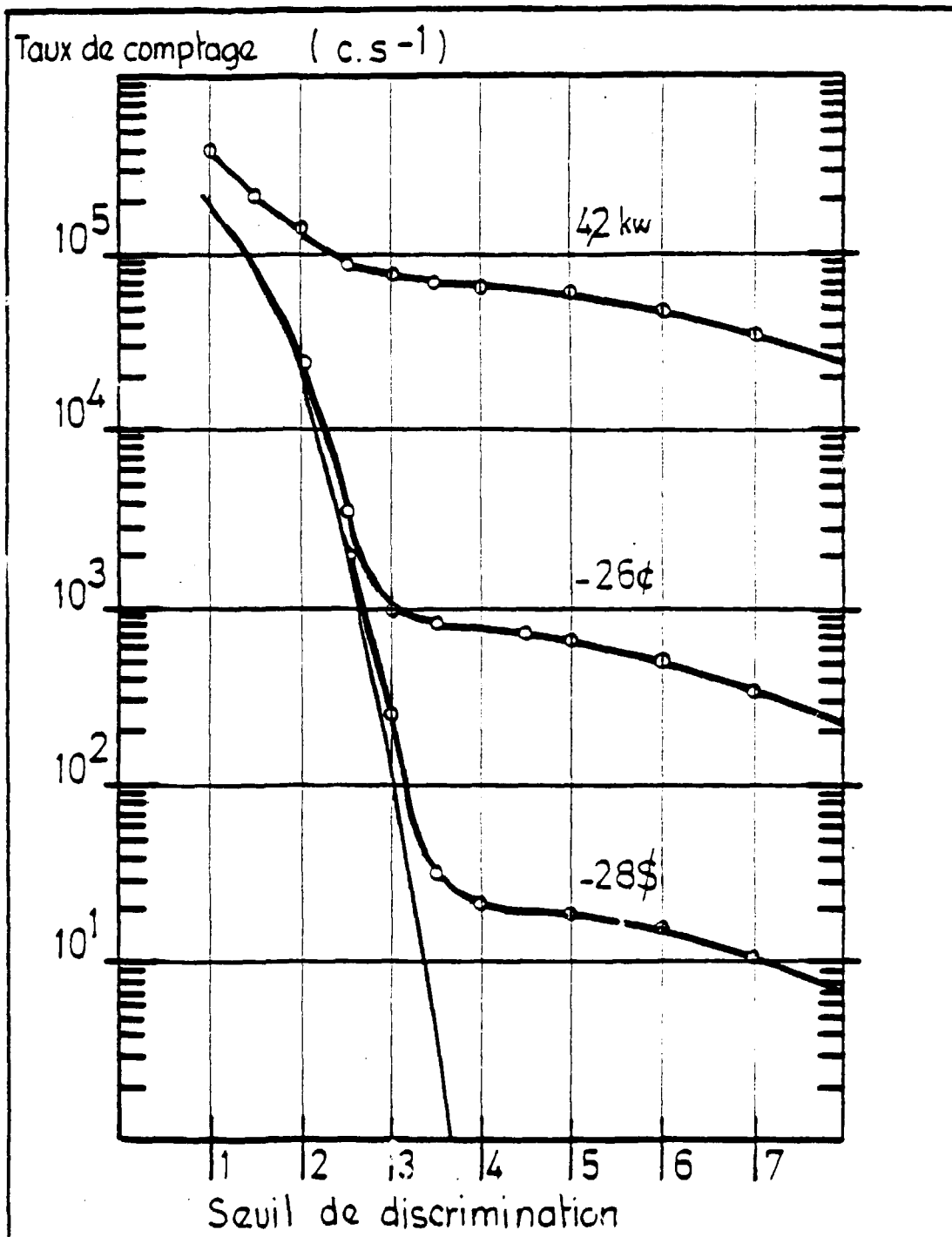
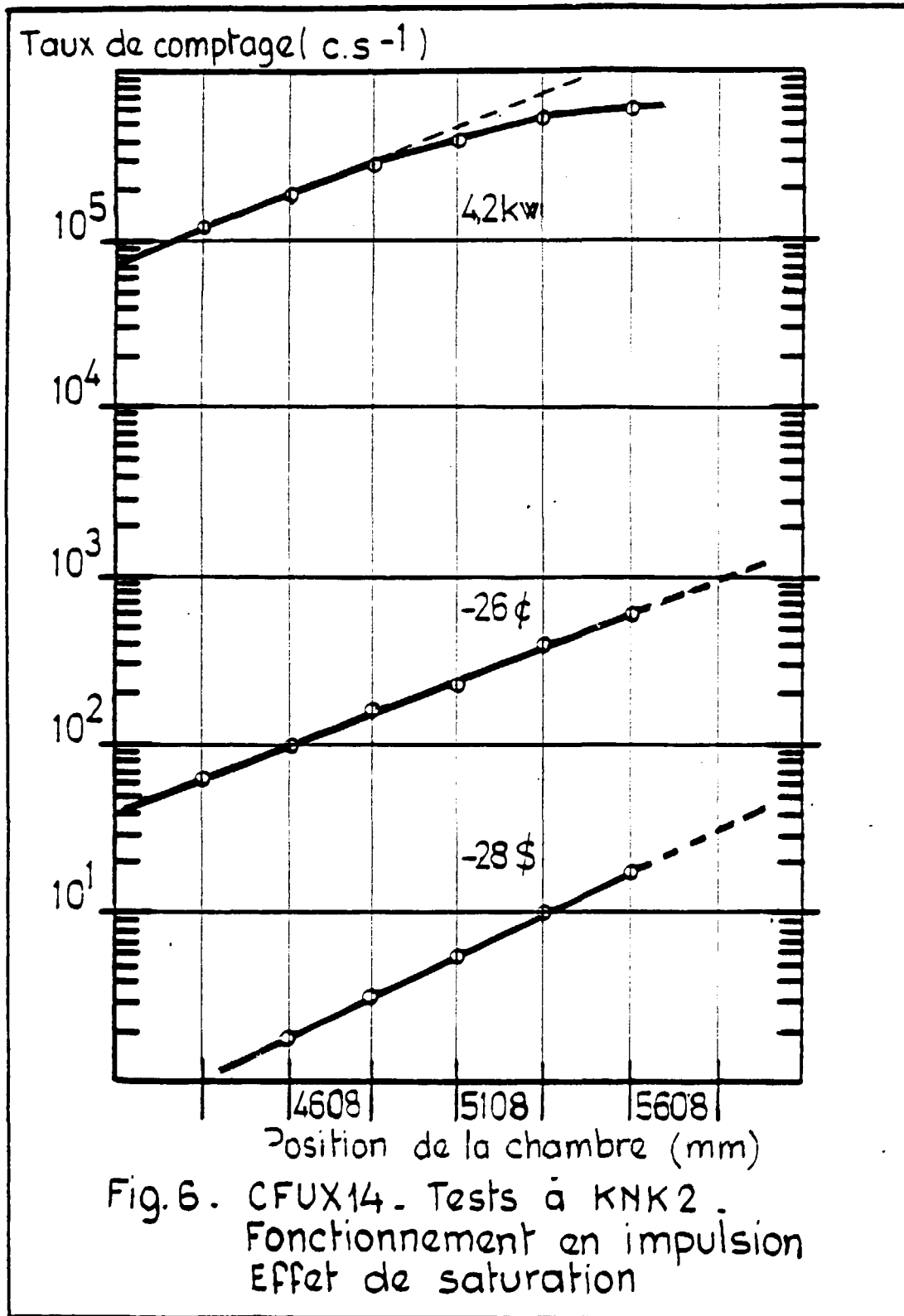


Fig.5. CFUX14. Tests à KNK 2 -
 Courbes de discrimination -
 Influence du flux neutronique.



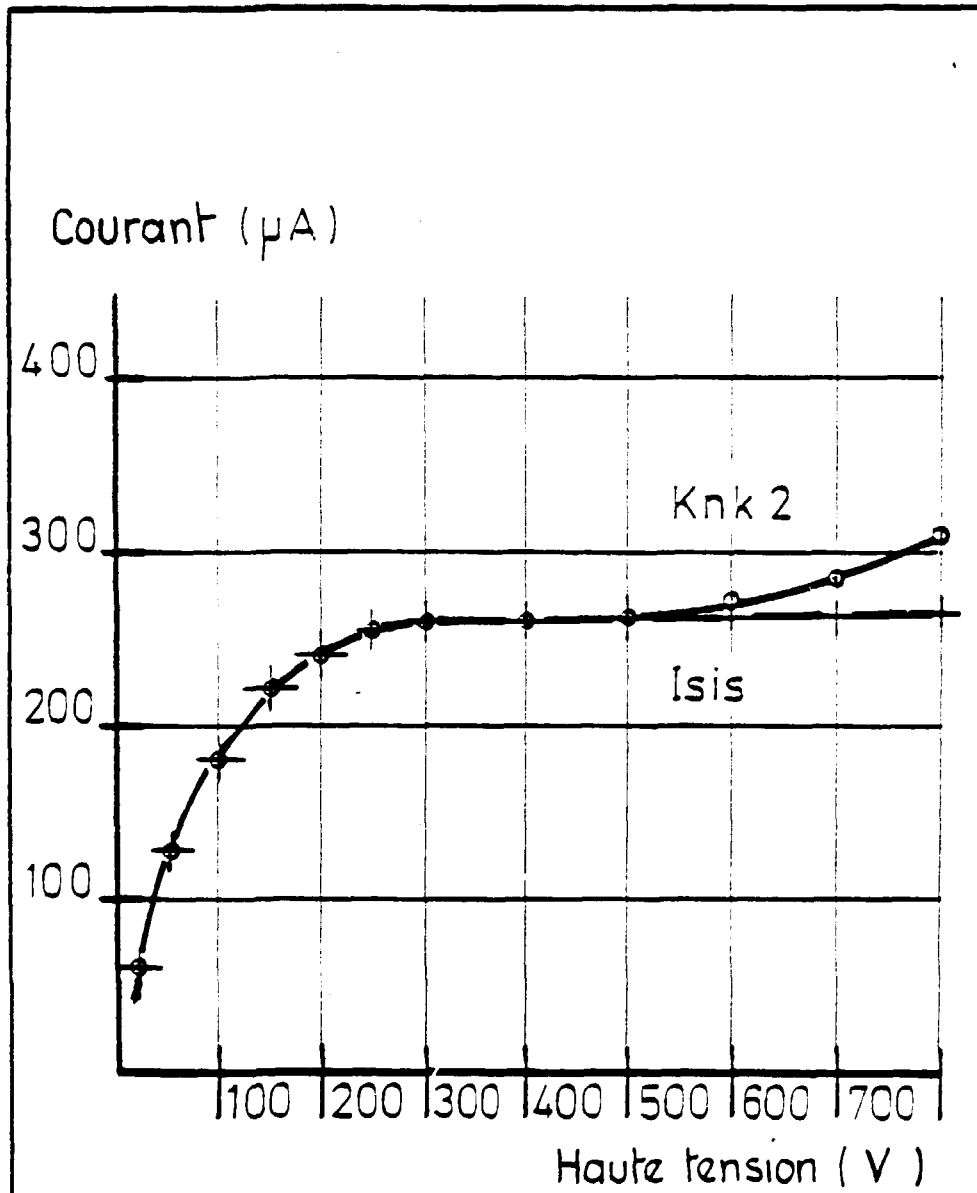
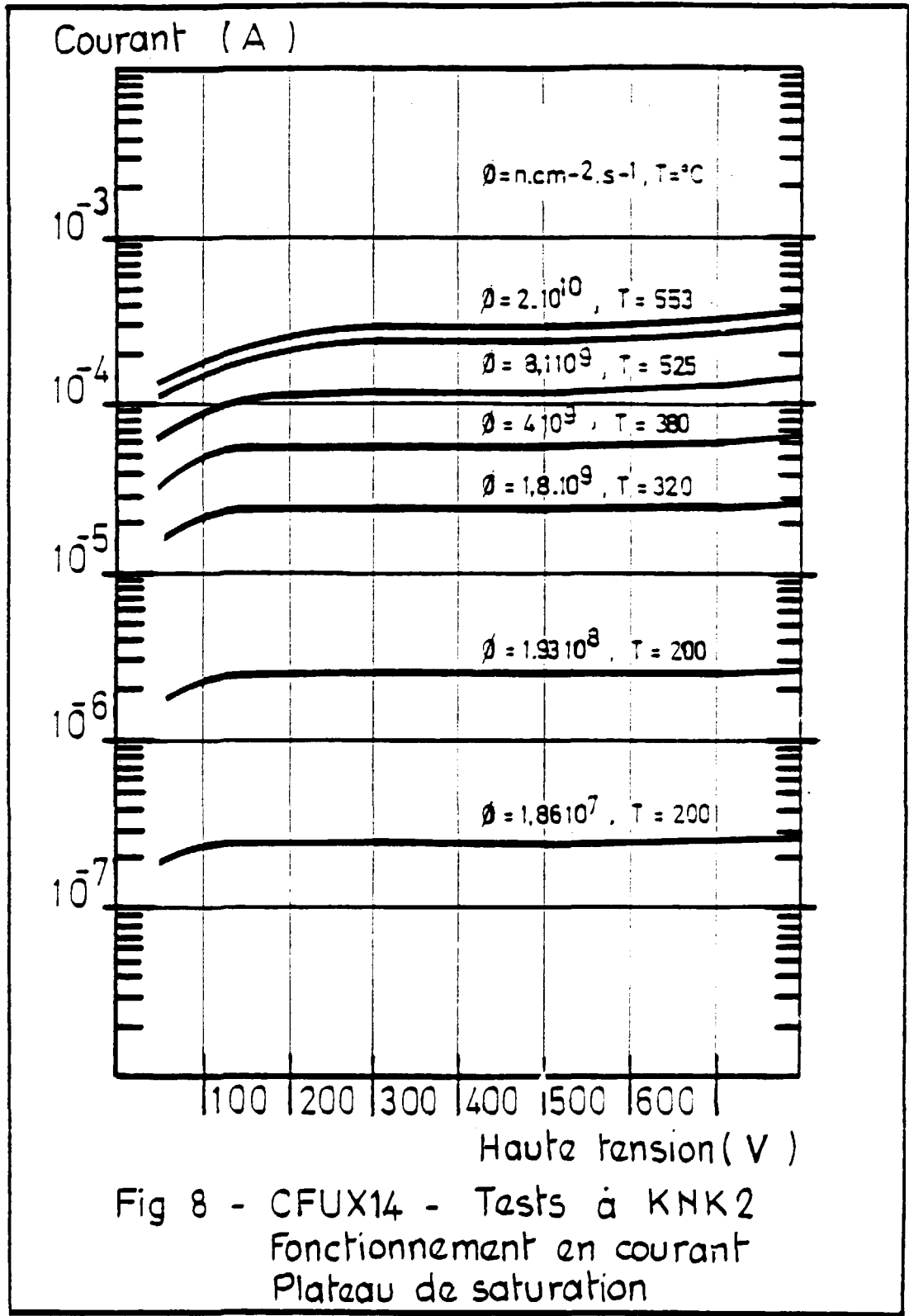
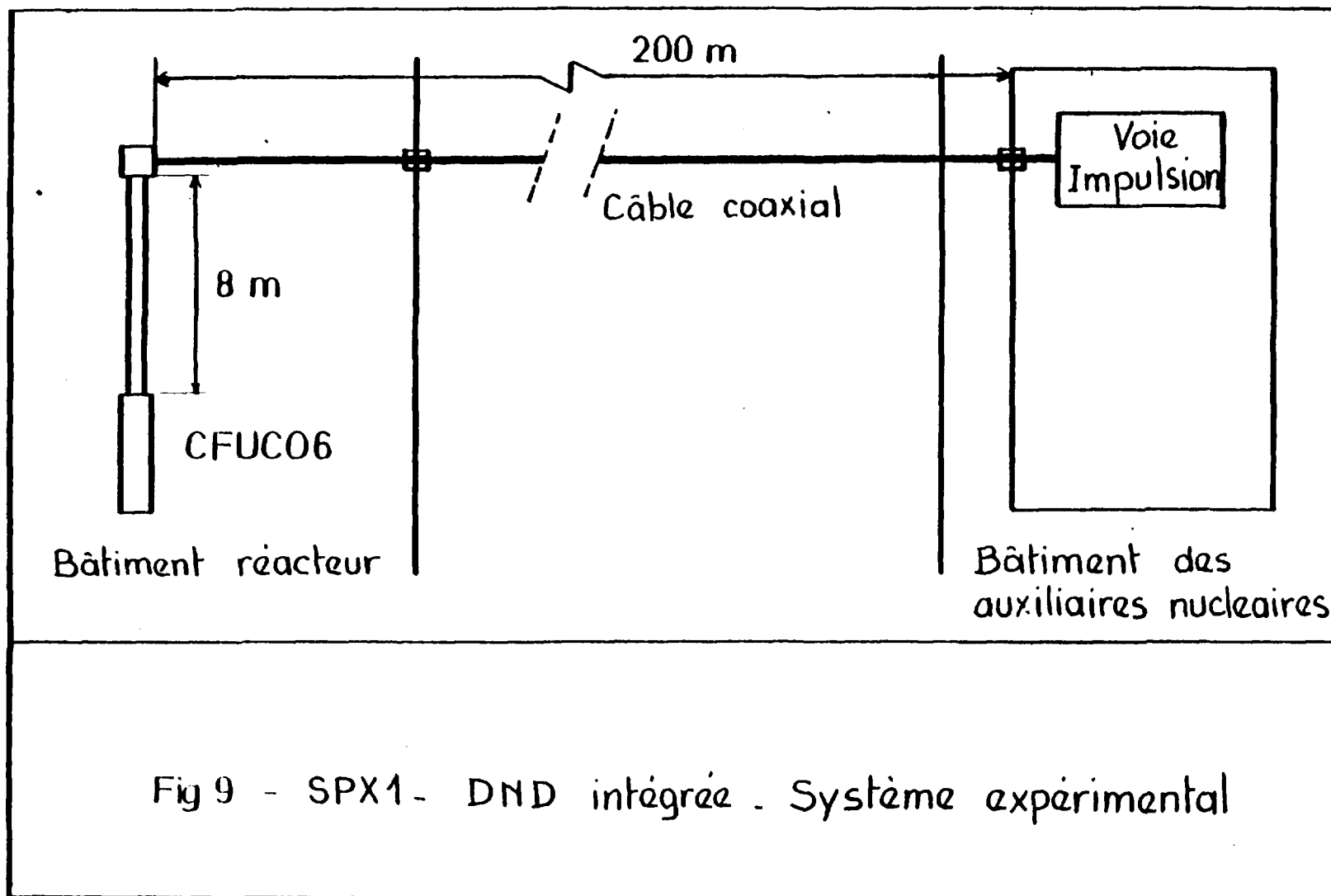
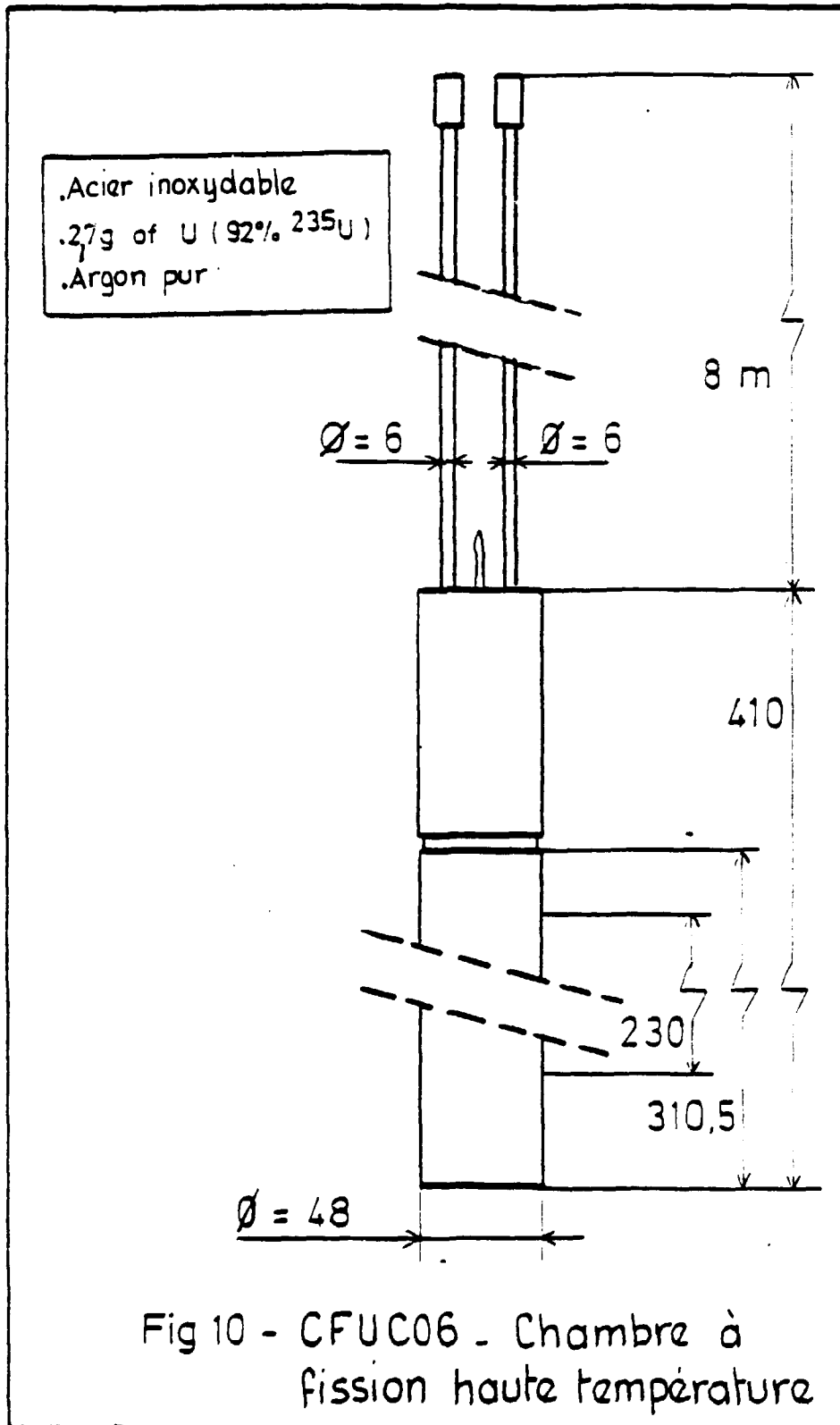
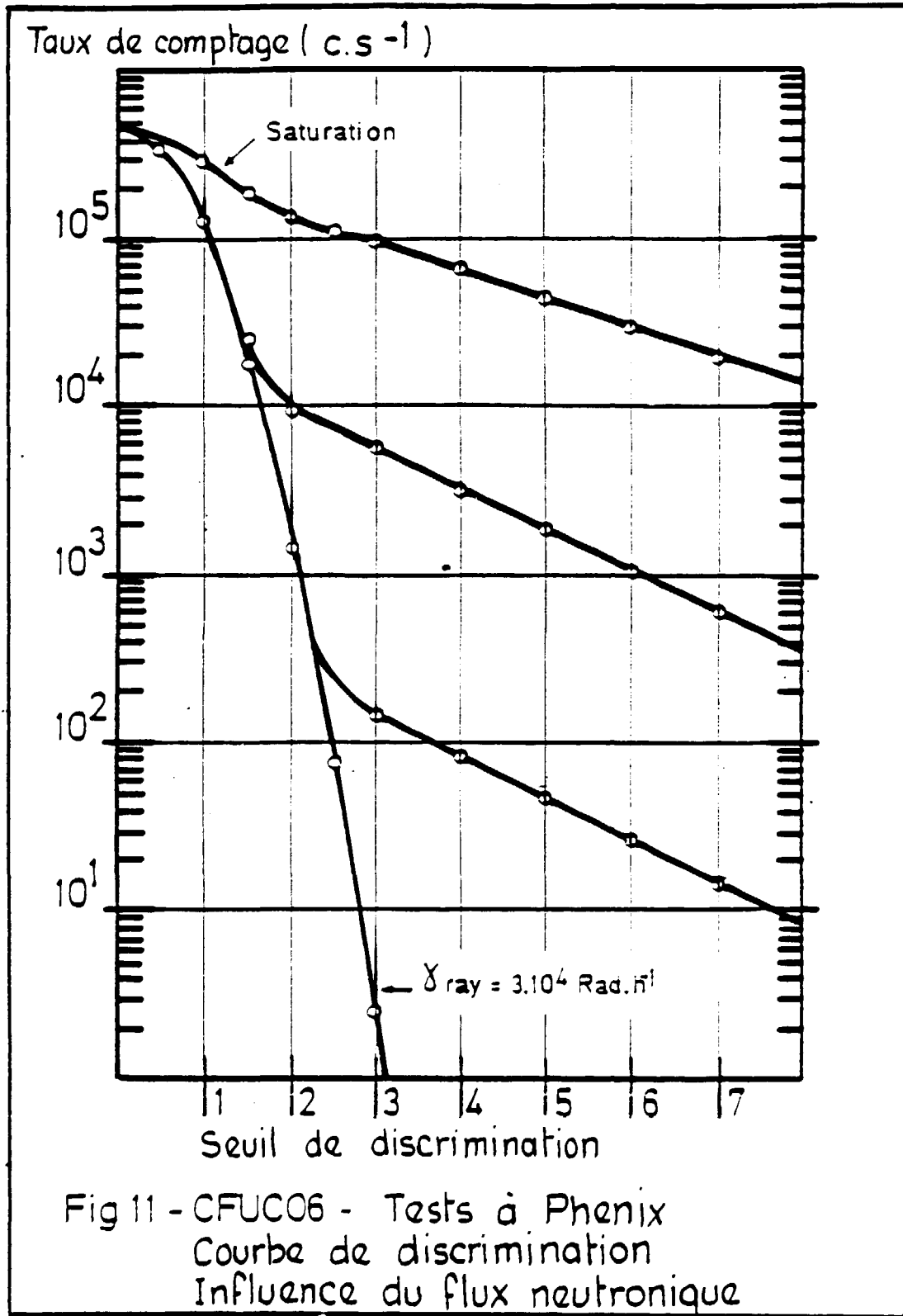


Fig. 7 - CFUX14 - Fonctionnement en courant - Plateau de saturation Résultats composés. Isis - KNK2









Taux de comptage (c.s⁻¹)

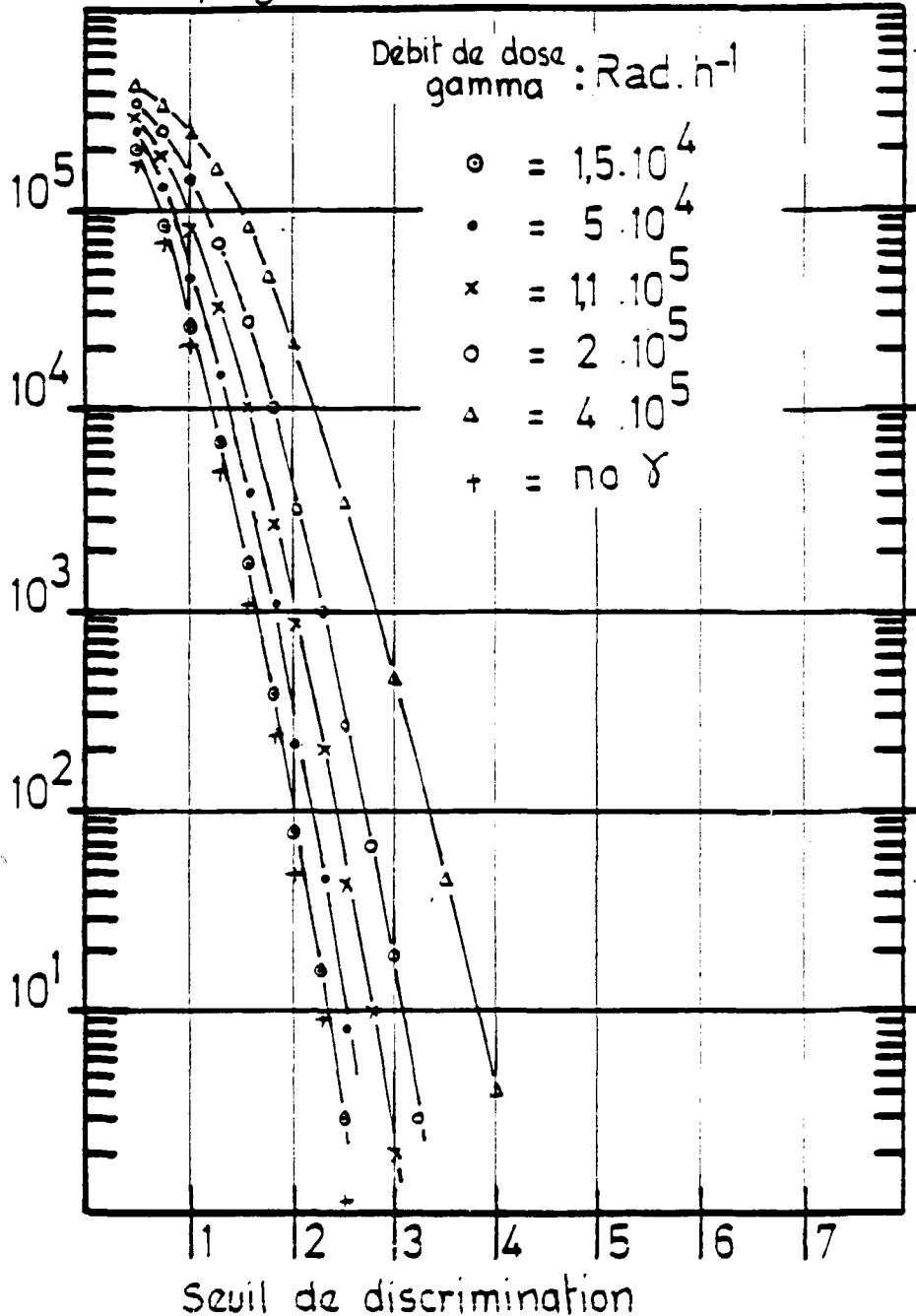


Fig 12 - CFUCO6 - Influence du débit de dose gamma .