

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**MESURES PHYSIQUES SUR LES REACTEURS
DE MARCOULE**

par

A. TESTE DU BAILLER

Rapport C.E.A. n° 2158

1962

**CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

CEA 2158 - TESTE DU BAILLER A.

MESURES PHYSIQUES SUR LES REACTEURS DE MARCOULE (1962)

Sommaire - On présente une rapide description des mesures physiques effectuées sur les réacteurs de Marcoule. Au cours du démarrage et pendant les premières années de fonctionnement de G2-G3, de nombreuses expériences ont été effectuées pour vérifier les données du projet, améliorer les conditions de fonctionnement et éprouver des modèles théoriques de calculs de cinétique.

CEA 2158 - TESTE DU BAILLER A.

PHYSICAL MEASUREMENTS IN MARCOULE REACTORS (1962)

Summary - A brief description of the physical measurements in Marcoule reactors is given here. During commissioning and subsequent years of operation, various experiments have been carried out to check design data, and improve the operating conditions and also test theoretical models for kinetic studies.

- Rapport C.E.A. n° 2158 -

Département des Etudes de Piles

MESURES PHYSIQUES SUR LES REACTEURS DE MARCOULE

par

A. TESTE du BAILLER

Communication présentée au Symposium
sur la physique des réacteurs modérés au graphite
Bournemouth, 4 - 7 avril 1962

MESURES PHYSIQUES SUR LES REACTEURS

DE MARCOULE.

Résumé - Au cours des mises en service des 2 réacteurs plutonigènes G2 - G3 de Marcoule, des expériences ont été effectuées pour déterminer certaines grandeurs physiques. On peut classer ces essais en trois catégories principales.

- Expériences à faible puissance sur charge non irradiée, destinées à définir les conditions optima de fonctionnement (tailles critiques, cartes de flux, étalonnage de barres, coefficient de température, mesures thermiques).

- Expériences à puissance élevée pour déterminer l'évolution de certains paramètres neutroniques avec l'irradiation.

- Expériences à puissance élevée pour modifier certains paramètres de fonctionnement (optimisation de la puissance, étude du contrôle et de la sûreté).

1 Expériences d'empoisonnement à l'air.

But - Ces expériences ont pour but:

- a) l'étalonnage des barres de contrôle suivant un programme déterminé.

- b) l'établissement de cartes de flux pour étude d'aplatissement radial et axial.

- e) accessoirement la mesure du coefficient de pression et du coefficient de température dans l'air.

Processus - La pression d'air du réacteur est réglée au moyen d'un compresseur et d'une vanne de vidange à faible débit.

Pour une pression donnée, on mesure l'état critique soit par stabilisation soit par divergences. La deuxième méthode est plus longue, mais plus précise et elle donne simultanément le coefficient de pression.

En partant de la pression atmosphérique et de la configuration critique des barres à cette pression, on monte simultanément la pression (par sauts de 100 à 200 millimètres de mercure) et les barres de contrôle suivant le programme établi. On parvient ainsi à l'état critique du réacteur toutes barres levées, à la pression dite pression critique. La connaissance du coefficient de pression à la température de l'expérience donne la réserve de réactivité nécessaire pour compenser à puissance élevée les effets de Température, Xénon et Samarium.

Simultanément à cette mesure de réactivité, on ajuste le réseau des absorbants dans la région centrale pour réaliser l'aplatissement du flux neutronique. En fait il s'agit plutôt d'ajuster la courbe de flux à la courbe du débit de gaz. Le flux est mesuré au moyen de détecteurs (voir chapitre 3) placés soit sur les éléments combustibles soit dans des puits de barres de contrôle.

En principe le problème est simple. On dispose quelques absorbants au centre du réacteur et on étudie la réactivité disponible et la forme des flux. En réalité le problème se complique

pour les raisons suivantes:

1) la connaissance de la pression est entachée d'erreur (mauvaise localisation de la prise de pression dans la pile, incertitude sur la température).

2) Les opérations sous pression de chargement - déchargement des canaux et de mise en place des détecteurs sont longues, au démarrage des réacteurs. On est alors limité en nombre d'essais. De plus les mesures par empoisonnement à l'air supposent connus les effets neutroniques en puissance (Xénon et température). On doit donc garder une certaine souplesse dans le chargement des absorbants pour prévenir ultérieurement une erreur sur ces effets.

3) Dans le cas particulier de G2 - G3, on a été gêné par la sensibilité du flux radial plat à des faibles dissymétries dans les répartitions d'absorbants et de barres de contrôle. Un tel effet est propre aux réacteurs à flux radial aplati, notamment par des absorbants. A G2 - G3 dont l'axe de l'empilement est horizontal et les barres de contrôle verticales, il y a lieu de tenir compte de dissymétrie particulières entre le haut et le bas du réacteur.* En outre, on a du pallier les inconvénients suivants:

a) la non-régularité du contour polygonal de chargement.

b) la déformation du flux (axial et radial) avec l'enfoncement des barres de contrôle. On a constaté qu'en moyenne une dissymétrie haut-bas de 100 pcm créée par une barre ou un groupe de barres entraînait une dissymétrie du flux radial de 10%. Ceci a conduit à monter les barres en commençant par les plus efficaces pour minimiser ces déformations haut-bas en puissance.

* voir rapport CEA 1820

c) la répartition du gaz primaire en trois zones bien définies (avec possibilité réduite de déverser d'une zone dans l'autre) a conduit à fixer de façon précise les courbes de flux.

On trouvera sur graphiques les résultats suivants:

- 1) Coefficient de pression de G_2 en fonction de la pression.
- 2) Variation de ce coefficient avec la température.
- 3) Pression critique en fonction de la température.

Etalonnage des barres de contrôle.

Une telle mesure est essentielle pour le fonctionnement ultérieur du réacteur, pour deux raisons principales:

- la connaissance de l'efficacité des barres sera utilisée ultérieurement pour évaluer les effets d'empoisonnement sur le réacteur en puissance, et en particulier l'évolution de la réactivité avec l'irradiation.

- on doit établir un programme de montée des barres faisant apparaître le minimum de singularités, en particulier des points chauds dans certaines régions du réacteur.

On a procédé à un nombre important d'étalonnages par la méthode d'empoisonnement à l'air. La grande sensibilité du flux radial à une dissymétrie de réactivité entre le haut et le bas du réacteur a conduit à définir un ordre de montée des barres satisfaisant aux règles suivantes:

- a) grouper les barres deux par deux, se déplaçant ensemble.

- b) monter d'abord les barres les plus efficaces, de façon à ce que des singularités possibles disparaissent avant d'atteindre le fonctionnement maximum.

- c) En régime normal de fonctionnement utiliser pour la compensation et le pilotage des barres peu efficaces, situées vers la sortie des gaz. Le chapitre traitant des problèmes thermiques donne la justification de ce choix.

- d) Monter, en outre, le plus tôt possible les barres créant des perturbations de flux au niveau des chambres de puissance. On notera ici que ces chambres sont placées au

voisinage du plan horizontal médian du réacteur et par conséquent sont pas sensibles à une dissymétrie radiale haut-bas du flux.

Finalemént, on arrive à un ordre de montée des barres indiqué sur la figure 4. (vue de dessus du réacteur G₃). Les figures 5 et 6 donnent l'allure des efficacités des groupes de barres.

2

Evolution de la réactivité avec l'irradiation.

=====

Evolution du coefficient de température.

=====

Sur le réacteur en fonctionnement, il est possible de suivre l'évolution des propriétés neutroniques avec l'apparition du plutonium. Le procédé le plus simple est de repérer la position des barres de pilotage dans la mesure où celles-ci ont été étalonnées pendant les empoisonnements à l'air. Des corrections sont apportées à la courbe d'étalonnage pour tenir compte de la non-homogénéité des poisons (température, xénon) du réacteur en puissance.

Les relevés des caractéristiques générales du réacteur sont normalisés à une valeur standard (pour G3 190 MW) au moyen de corrections pour le xénon et la température.

Dans le cas particulier de G₂ - G₃, pour éviter les dissymétries haut-bas du flux dont il a été question plus haut, on utilise qu'un nombre limité de barres de compensation. Lorsque celles-ci sont complètement enfoncées dans le coeur, on charge réacteur en marche, un nombre convenable de canaux d'absorbants, ce qui permet d'extraire les barres de compensation.

En principe, il suffit donc de connaître l'efficacité de ces barres et l'effet des absorbants que l'on introduit dans le réacteur pour en déduire la courbe d'évolution. En réalité, le chargement des absorbants entraîne de fortes perturbations de puissance et de distributions de flux, ce qui ne permet pas de calibrer avec précision les absorbants

en termes de réactivité. On utilise alors la continuité de la fonction d'évolution pour raccorder les petits éléments de courbe obtenus avec les barres de compensation pour chaque état du chargement des absorbants.

A titre d'exemple, la figure 7 illustre un tel procédé. Elle donne l'évolution de la réactivité de G_3 mesurée sur une charge irradiée en moyenne jusqu'à 350 mwj/t, comprenant 3 chargements successifs d'absorbants.

Par ailleurs, on a recherché à déterminer la variation du coefficient de température avec l'irradiation.

Deux techniques expérimentales sur le réacteur en fonctionnement ont été utilisées pour mesurer ce paramètre.

1) Perturbations.

A partir d'une puissance stable, on provoque une variation rapide d'une dizaine de MW environ par descente de 2 barres de contrôle à vitesse rapide, correspondant à un saut de réactivité d'environ 10 pcm. La variation rapide de puissance est suivie d'une dérive plus lente de cette puissance, dont la pente dépend de la valeur du coefficient de température du modérateur. En supposant connu le coefficient de l'uranium, on peut comparer la courbe expérimentale avec celle obtenue par un calcul cinétique.

Quelques perturbations effectuées sur G_3 à diverses irradiations ont été réunies sur le graphique 8.

2) Oscillations.

Elles peuvent être déclenchées au moyen de faibles perturbations du type précédent. La composition de deux phénomènes, l'un immédiat (effet de température), l'autre retardé (effet xénon), conduit à une réponse oscillante convergente ou

divergente suivant la valeur absolue du coefficient de température du modérateur. Contrairement aux perturbations, par suite notamment de la connaissance peu précise de l'écart moyen de température gaz-graphite, il s'avère difficile d'extraire de ces expériences un coefficient de température de modérateur. Elles permettent cependant de vérifier le modèle mathématique utilisé pour les études de cinétique (instabilités spatiales par exemple).

3

Mesures de flux.

Diverses techniques ont été mises au point pour mesurer la distribution spatiale du flux dans le réacteur.

A faible puissance.

On utilise les détecteurs à activation. A G₂ - G₃, on a choisi l'or en pastilles de 10 mm de diamètre, 2/10 mm d'épaisseur. Les détecteurs ont été placés:

- soit aux extrémités des cartouches (tous les 30 cms) pour la mesure du flux axial.

- soit dans un puits vertical des barres de contrôle pour la mesure du flux radial.

L'irradiation était effectuée par divergence, à des pressions d'air variables pour étudier l'aplatissement radial par absorbants et l'influence des barres de compensation.

A puissance élevée:

En l'absence de mesures de flux en exploitation au cours du démarrage du réacteur G₂ (ces mesures ont été installées plus tard), on a utilisé des techniques de fortune. Parmi celles-ci, on peut citer en particulier:

1) L'utilisation des thermocouples de gaines (pour dresser les cartes de flux axial) et de gaz à la sortie des canaux (pour dresser les cartes de flux radial).

2) La mesure d'étalonnage des détecteurs de rupture de gaine. Des fissures-étalons constituées par des plaques d'U₂₃₅ fixées sur des cartouches en acier ont été déplacées d'un bout à l'autre de certains canaux. L'observation du signal DRG en fonction de la position fournit une courbe approximative du flux axial.

3) Une mesure d'activité des cartouches. On a placé une chambre d'ionisation γ sur le trajet de déchargement des cartouches. Lors d'un déchargement à l'arrêt du réacteur, l'activité de chaque cartouche (après un certain temps de refroidissement) était enregistrée. On a obtenu de cette façon des courbes axiales précises. (Voir figure 11).

Cette technique est d'ailleurs reprise par les services d'exploitation de Marcoule au terme de la désactivation des cartouches, avant le traitement dans l'usine chimique.

Depuis une installation définitive par activation d'un fil de tungstène ou de nickel, analogue à celle de Windscale a été mise en place dans les puits de barres de contrôle de $G_2 - G_3$ (Rapport CEA n° 1820). voir fig. 12.

4

Mesures thermiques.

La détermination du régime de fonctionnement du réacteur est imposée par la température maximum de gaine.

Pour un débit de gaz donné, on peut calculer une température maximum de gaine correspondant à une puissance donnée dans le canal le plus chargé, c'est-à-dire à un échauffement donné du gaz. Ces calculs ont été faits moyennant certaines hypothèses sur les coefficients d'échange dans le canal.

On a vérifié expérimentalement ces résultats au moyen de thermocouples.

Des thermocouples sont répartis de façon régulière dans les caissons d'entrée du gaz. A la sortie de chaque canal, la température du gaz est mesurée par un thermocouple. On mesure ainsi l'échauffement de chaque canal.

Au cours des premières montées en puissance, quelques thermocouples de gaines ont été mis en place, dans les positions suivantes:

- a) au voisinage du point chaud dans le canal, de façon à tracer la courbe axiale de température de gaine autour du maximum.

- b) au-dessus et au-dessous d'une même cartouche, de façon à mesurer l'écart de température créé par l'excentrement de la cartouche reposant sur la génératrice inférieure du canal, créant de ce fait un sous-canal mal alimenté par le gaz. Des écarts de température allaient jusqu'à 20° ont été ainsi observés.

- c) près des extrémités des cartouches, de façon à évaluer un accroissement des températures par rapport au centre de celles-ci, dû à une remontée du flux et à une détérioration des échanges thermiques du côté aval par rapport au sens de l'écoulement.

Au moyen de ces couples (une cinquantaine au total), on a construit une courbe axiale de l'échauffement de la gaine défini par la relation:

$$r(z) = \frac{T(z) - \theta_e}{\theta_s - \theta_e}$$

où $\theta(z)$ et $T(z)$ sont les températures de gaz et de gaine au point considéré dans le canal, θ_e étant la température d'entrée du CO_2 .

Cette fonction $r(z)$ a été étudiée pour différentes formes du flux axial.

Ceci a permis de déterminer le meilleur choix des barres de compensation et de pilotage manuel. En particulier, on a été conduit à réserver les barres de contrôle situées vers la sortie des gaz pour assurer ces fonctions, l'expérience ayant montré que leur présence en pile affectait peu la valeur maximum de r .

Le graphite 13 montre quelques courbes $T(z)$ en fonction de la compensation.

Lorsque l'antiréactivité introduite pour cette compensation excède une valeur déterminée, (environ 200 pcm) on charge, réacteur en marche, quelques canaux d'absorbants, pour retrouver une valeur convenable de r_{max} .

5

Mesures thermiques transitoires.

Au cours des premières montées en puissance du réacteur G₂, on a cherché à définir un régime optimum d'arrêt rapide de la puissance. Un incident nécessitant l'arrêt du réacteur était suivi dans le même temps de la chute générale de toutes les barres de sécurité et du déclenchement des turbosoufflantes. Or la grande inertie de celles-ci retardant la chute du débit de gaz, il s'en suivait un cyclage des éléments combustibles.

Pour déterminer les meilleures conditions d'arrêt du réacteur on a cherché expérimentalement le moyen de faire décroître la puissance de la même façon que le débit, ce qui imposait deux règles initiales:

- ne chuter qu'un nombre limité de barres de sécurité.
- retarder cette chute par rapport au déclenchement des turbosoufflantes.

3 essais reproduits sur le graphique 14, montrent l'approche grossière de ces conditions d'arrêt. Ils ont conduit à arrêter le réacteur par introduction d'une antiréactivité limitée à environ 500 pcm et déclenchement des turbosoufflantes avancée de 7 secondes,

Les cas d'arrêt du réacteur selon un tel processus sont ceux qui ne nécessitent pas une intervention immédiate. C'est le cas par exemple pour les incidents suivants:

- Dépassement d'un niveau donné (puissance, température, détection de rupture de gaines sur un groupe,) etc...
- Temps de doublement minimum.
- Défauts électriques ou mécaniques sur certains organes de l'installation.

Par contre pour des incidents plus graves (contamination du circuit, manque d'eau dans l'installation de récupération d'énergie) la chute générale des barres est immédiate.

Expériences après l'arrêt du réacteur.

Après l'arrêt volontaire d'un réacteur, il est possible d'effectuer des mesures intéressantes si on peut disposer d'un temps assez long avant la remise en service. Par suite du déchargement en marche des réacteurs de Marcoule, cette situation est assez rare, elle peut se produire pour des incidents ou des inspections de l'installation.

Jusqu'à présent, ce genre d'expérience n'a pu être conduit qu'une fois lorsque l'irradiation moyenne de la charge était de l'ordre de 360 mwj/t.

Sur le réacteur arrêté, empoisonné par le xénon et encore chaud, on a effectué un grand nombre de divergences (150 au total) qui ont permis d'extraire les renseignements suivants:

- courbe de décroissance du xénon (y compris la remontée après arrêt)
- efficacité de quelques barres de contrôle.
- coefficient de température global.

L'intérêt primordial de l'essai est de permettre la comparaison de l'efficacité de certaines barres dans un milieu chaud irradié et contenant du xénon (c'est-à-dire approximativement les conditions de marche) avec l'efficacité mesurée à froid par empoisonnement homogène à l'air.

Des essais portant sur une douzaine de barres (1500 pcm au total) ont donné un accroissement d'efficacité de 6% pour une variation de température moyenne pondérée (d'après des courbes de flux mesurées) de 160°. Cet accroissement inclut évidemment l'effet de l'irradiation et de l'hétérogénéité de l'empoisonnement par le xénon.

En revenant ultérieurement à des températures plus basses (50°C contre 180° pendant l'essai précédent) on a mesuré un effet global de température. Cet effet tient compte du graphite, de l'uranium et des barres de contrôle présentes en pile pendant le refroidissement. On a trouvé pour cet effet une valeur nulle avec une précision assez médiocre ($0 \pm 1\text{pcm}$).

Sur le réacteur froid, après extinction totale du xénon, une mesure par divergence doit en principe donner la variation de réactivité à froid due à l'irradiation. Compte tenu de certaines corrections sur l'efficacité des barres de contrôle et de la modification du réseau des absorbants (en particulier variation du diamètre de ceux-ci), on a trouvé un gain à froid de 450 pcm, contre 1200 pcm à chaud pour une variation d'environ 300 mwj/t, le samarium étant éliminé.

La figure 15 donne un exemple d'expérience après arrêt, à la suite d'un fonctionnement stable du réacteur G₃ à puissance réduite (135 MW). Elle donne la variation de réactivité au cours du temps, pendant la décroissance du xénon et au cours du refroidissement final.

Caractéristiques physiques des réacteurs de Marcoule.

Il s'agit de deux réacteurs à empilement de graphite horizontal, contenant 120 tonnes d'uranium naturel sous forme de cartouches gainées d'alliage Mg - Zr. Ces cartouches, longues de 30 cm, ont un diamètre d'uranium de 3,1 cm. Les gaines sont munies d'ailettes longitudinales pour le refroidissement. - Il y a 28 cartouches dans chaque canal de diamètre 7 cm.

Ce refroidissement est assuré par du CO₂ à une pression de 15 kg/cm² circulant au moyen de 2 turbosoufflantes alimentées par de la vapeur Moyenne Pression produite dans les échangeurs principaux. Le CO₂ primaire entre à 130° - 150° et sort des canaux à 300° pour le fonctionnement à 200 MW. Un circuit secondaire assure le refroidissement du caisson de béton précontraint.

Le débit de chaque canal peut ^{être} modifié réacteur en marche par réglage des lumières de sortie du gaz. On peut ainsi passer du débit maximum (1,1 kg/s) à environ 20% de ce débit (régime de fuite).

Le contrôle et la sécurité sont assurés par 40 barres en carbure de bore (longueur 5 mètres, diamètre 40 mm) se déplaçant 2 par 2. Il n'y a pas de pilotage automatique en service.

On mesure en permanence les températures de sortie de chaque canal (lecture de 1200 mesures toutes les 2 minutes), d'une cinquantaine de points de graphite. Au démarrage, on dispose de quelques mesures de gaine.

Voir rapport P/1133 - Genève 1958

8

Améliorations des conditions de marche de G₂ - G₃ déduites des expériences effectuées sur les réacteurs.

Les réacteurs G₂ - G₃ ont fourni dès leur mise en service régulier la puissance nominale du projet, c'est-à-dire 200 MW. Aucune modification importante n'a dû être effectuée, mise à part les travaux sur les circuits de gaz effectués sur G₂ en 1959 (cf BIST n° 52). Cependant quelques améliorations de détail ont permis de faciliter certaines opérations de fonctionnement et également d'accroître la puissance moyenne. Nous énumérerons ici celles déduites des essais physiques réalisés.

1) Uniformisation du diamètre de l'élément combustible. Des essais thermodynamiques ont montré que la région centrale du réacteur était notablement suralimontée. Ceci, joint au fait que la température du cœur de l'uranium a été jugée assez basse, a permis de charger uniformément le réacteur en cartouches de diamètre 31 mm (au lieu de 28 primitivement dans la région centrale).

2) Adoption de barres de compensation en acier. Les cartes de flux et de températures effectuées pendant les premières montées en puissance ont montré que le meilleur contrôle était assuré par plusieurs barres peu absorbantes placées dans la région chaude du réacteur compte tenu de certaines considérations sur la sûreté du réacteur, on a remplacé certaines barres par des barres en acier placées dans les rangées 6 et 7 (voir figure 4). L'expérience a montré que le point chaud conservait une stabilité satisfaisante vis-à-vis des variations de réactivité de la compensation.

On peut noter également ici que pour suppléer au manque de mesures de températures de gaine (les thermocouples

correspondants n'ayant pu être placés en pile que pour le démarrage), un système automatique de lecture rapide et d'enregistrement (avec mémoire et système d'alarme) de toutes les températures de sorties de CO₂ a été installé.

3) Nouvelles procédure d'arrêt.

Comme les expériences décrites plus haut l'ont montré, il s'est avéré nécessaire, dans presque tous les cas d'arrêt du réacteur, d'utiliser un nombre réduit de barres de sécurité avec chute retardée de quelques secondes vis-à-vis de l'arrêt des turbosoufflantes, de façon à garder des températures aussi élevée que possibles dans le réacteur et les échangeurs (cf figure 14). Deux barres ont été réservées à cet usage, ces mêmes barres étant utilisées pour effectuer les divergences à faible puissance pour les mesures après arrêt.

4) Possibilité d'augmentation de la puissance.

Les mesures de flux et de température effectuées dans les 2 réacteurs ont permis de préciser de façon satisfaisante la température maximum de gaine pour une puissance et un débit donnés. Lorsque la valeur absolue de cette température et sa localisation dans le réacteur sont connues, et à la condition de satisfaire à certaines consignes de pilotage et de sûreté, on peut définir un régime de fonctionnement pour lequel soit la gaine, soit l'uranium atteint une température maximum agréée par les métallurgistes.

C'est ainsi qu'à titre expérimental, la puissance de G₂ - G₃ a pu être portée à 230 MW (température maximum de gaine = 450° - température maximum calculée d'uranium = 570°) contre 200 MW pour le projet (Genève 58 - P/1133).

9

Conclusions générales

Deux ans après le début de mise en exploitation industrielle du troisième réacteur plutonigène G₃ de Marcoule, il est utile de faire un bilan provisoire du travail expérimental fait sur les premiers réacteurs français de la filière graphito-gaz.

Ce bilan laisse apparaître certaines lacunes dont la cause principale est sans doute l'impératif de la production incompatible avec la réalisation d'un programme expérimental ordonné et répondant aux désirs des physiciens et responsables de projet.

Néanmoins les différents essais ont fourni un ensemble cohérent de résultats. On peut énumérer la liste chronologique des essais effectués sur les réacteurs de Marcoule.

Réacteur G₁ - Expériences à froid sur le réseau G₁ proprement dit (mesures critiques, études d'absorbants, mesure de flux).

- Expériences de substitution pour études de nouveaux réseaux (diamètre de combustible variable). On remarquera que la taille critique de G₂ a été calculée à partir de ces résultats et mesurée expérimentalement en excellent accord avec le calcul.

Réacteur G₂ - Expériences à froid sur de nouveaux réseaux (en particulier étude de différents tubes et de grappes)* - Etude des phénomènes liés à l'aplatissement radial du flux par absorbants. Mesures par empoisonnement à l'air.

* cf Rapport P/1191 - Genève 1958

- Mesures à chaud de distributions de flux et de températures - Etude du contrôle et de la sûreté.

Réacteur G₃ - Mesures analogues à froid.

A chaud, mesures d'évolution avec l'irradiation. Mise au point des techniques d'oscillations et de perturbations. Mesure des coefficients de température.

A l'heure actuelle, les paramètres essentiels du fonctionnement de G₂ - G₃ sont bien connus outre les expériences effectuées sur ces réacteurs d'autres mesures intéressantes ont été faites. On peut citer en particulier les analyses sur combustibles irradiés. Des mesures chimiques et par spectrométrie de masse ont donné pour des cartouches d'irradiation et de température d'irradiation données, les rapports $\frac{Pu}{U}$ et $\frac{Pu_{240}}{Pu_{235}}$ ainsi que le taux d'appauvrissement en U₂₃₅. Ces rapports permettent d'atteindre le facteur de conversion initial du combustible étudié et les valeurs des sections effectives aux températures considérées. Ce problème est étudié dans un autre rapport (Etude neutronique des réseaux à Graphite-Uranium, présenté par P. BACHER - F. COGNE).

Les techniques expérimentales mise au point à Marcoule vont être utilisées pour le démarrage des centrales de l'EDF à Chinon. En particulier, il est prévu de faire à EDF₁ les mesures suivantes, sur le réacteur en puissance.

- Variations de la température d'entrée et du débit.
- Perturbations à différents niveaux de puissance.
- Oscillations de barres de contrôle.

Manuscrit reçu le 10 mai 1962

$\Delta \text{ de } \frac{\Delta P}{\Delta P} \text{ par } \frac{\Delta P}{\Delta P}$

Coefficient de pression = $f(P)$
(Déc 1958)

Fig 1

0.002
0.001
0.000
0.019
0.018
0.017

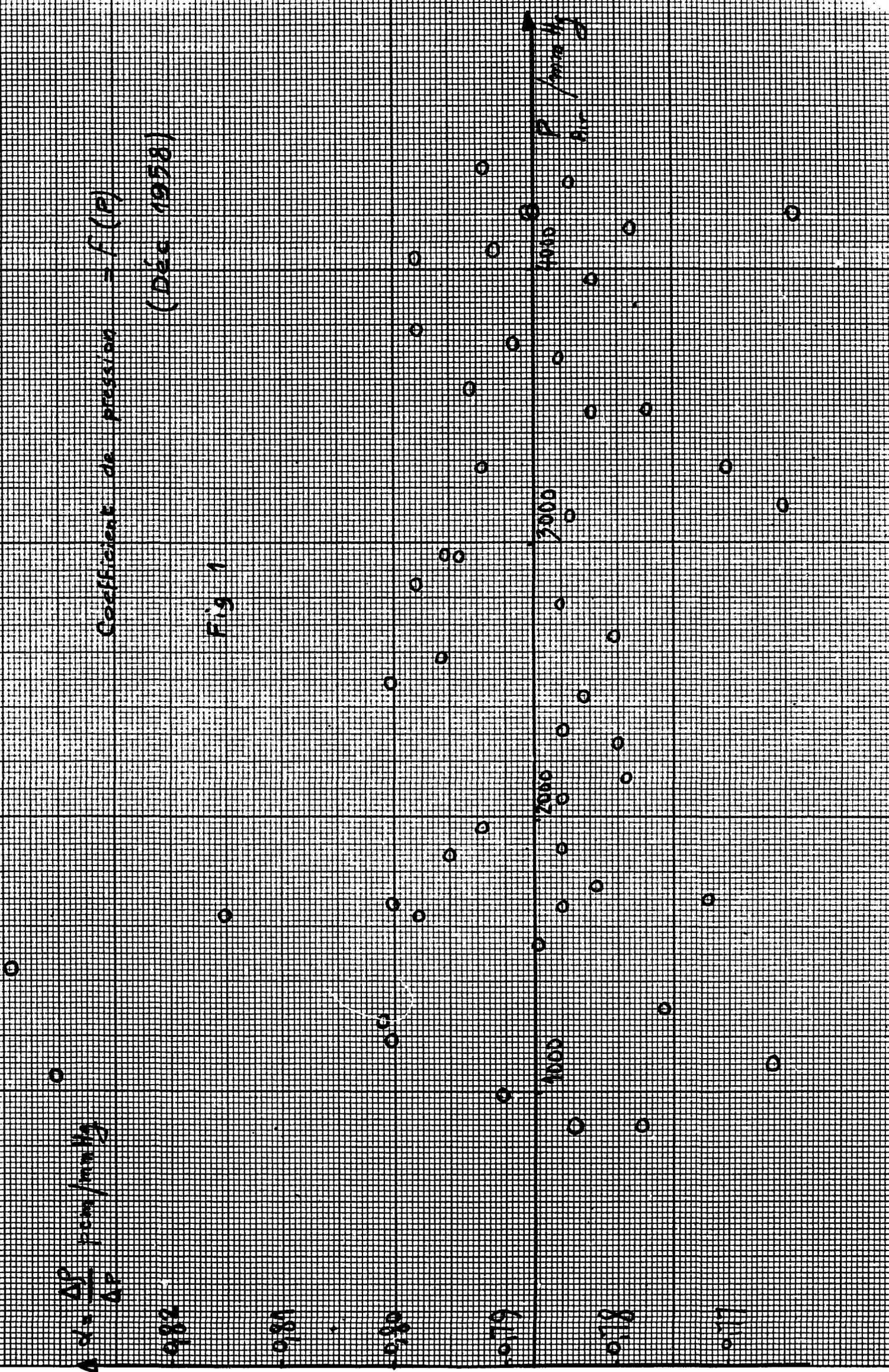
1000

2000

3000

4000

P / mmHg



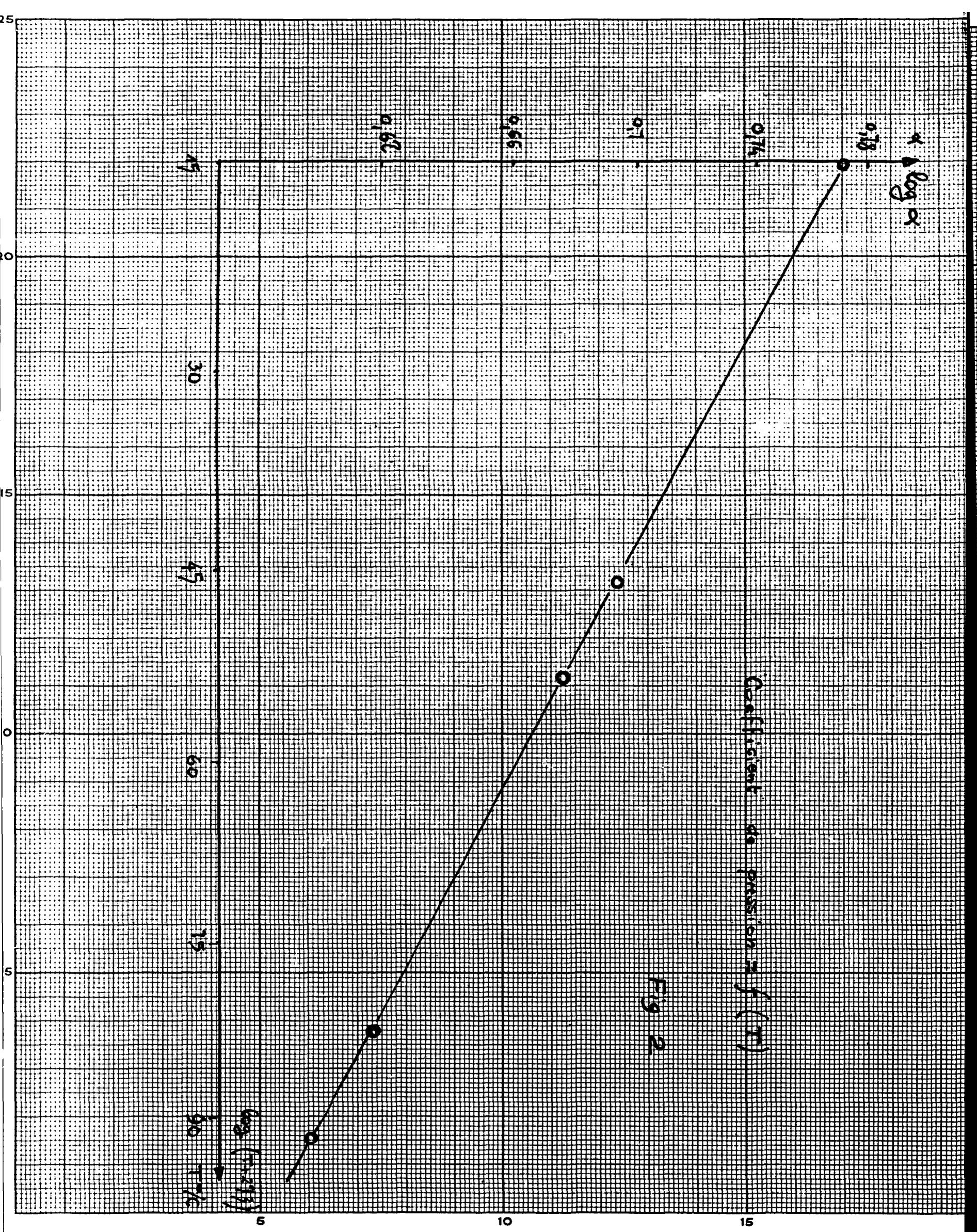


FIG 2

ESSAIS NEUTRONIQUES G3

Réseau de Fer n° 1

Pressions critiques $\rho_c(\theta_0)$

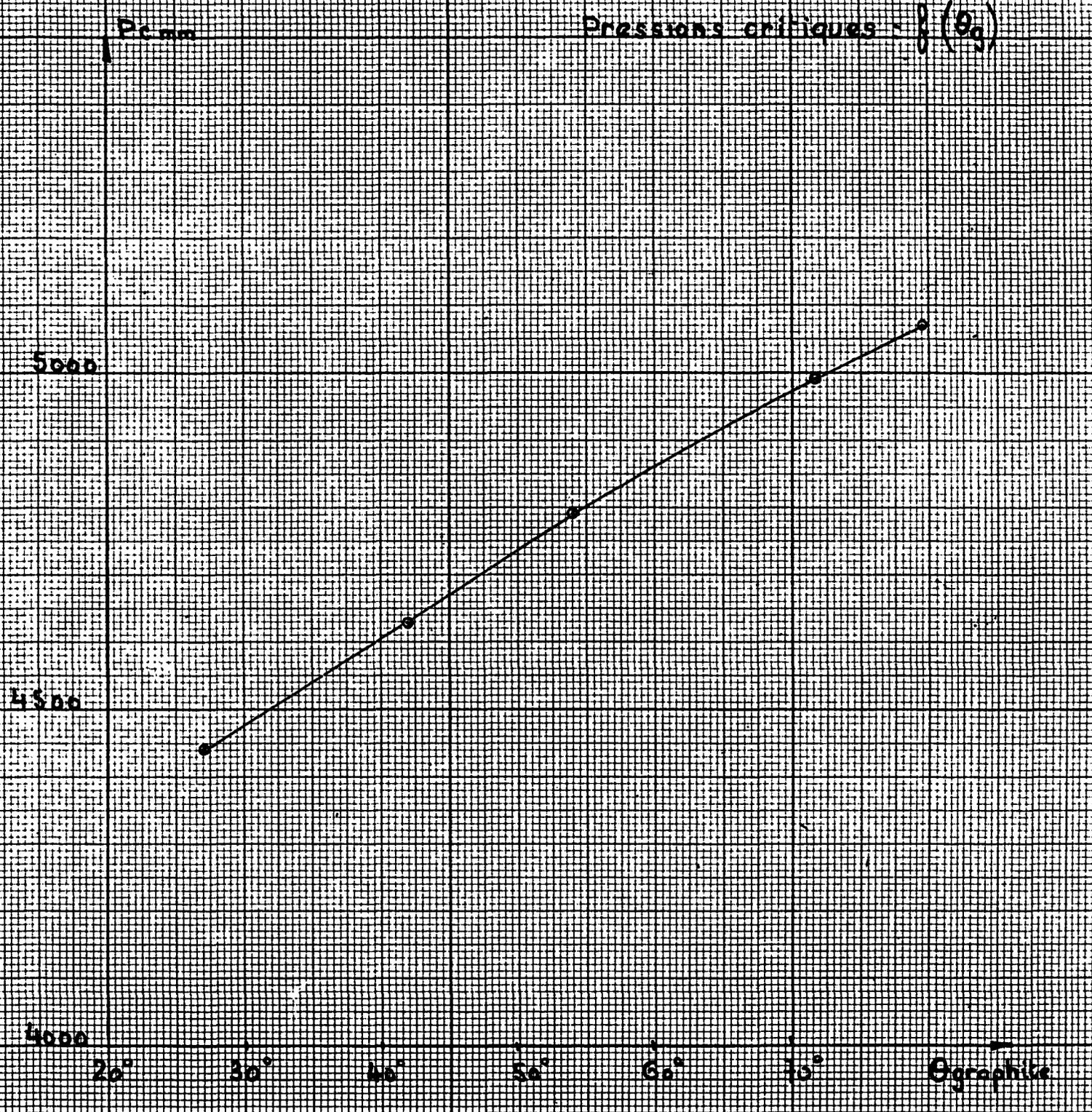


Fig. 3

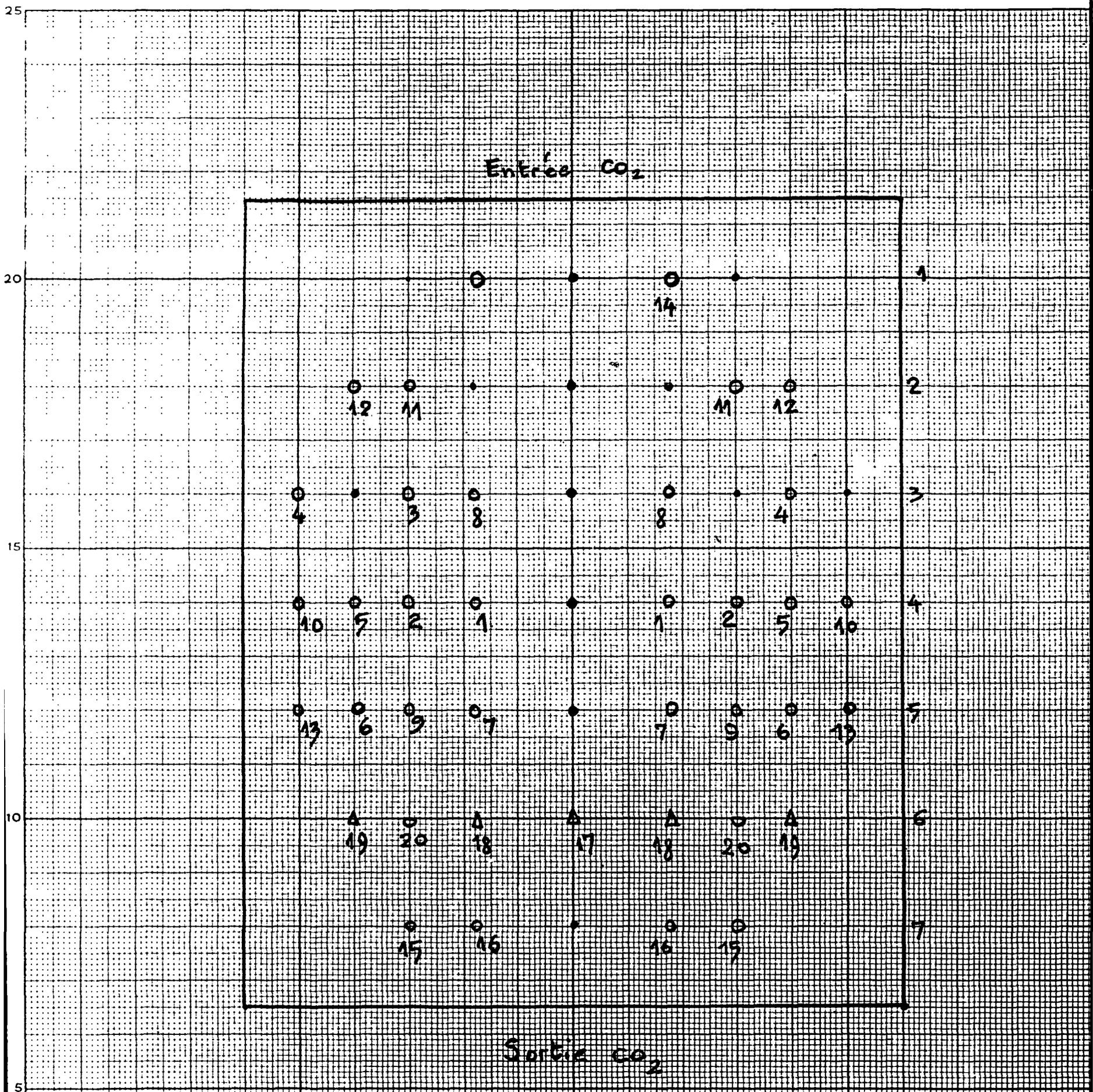
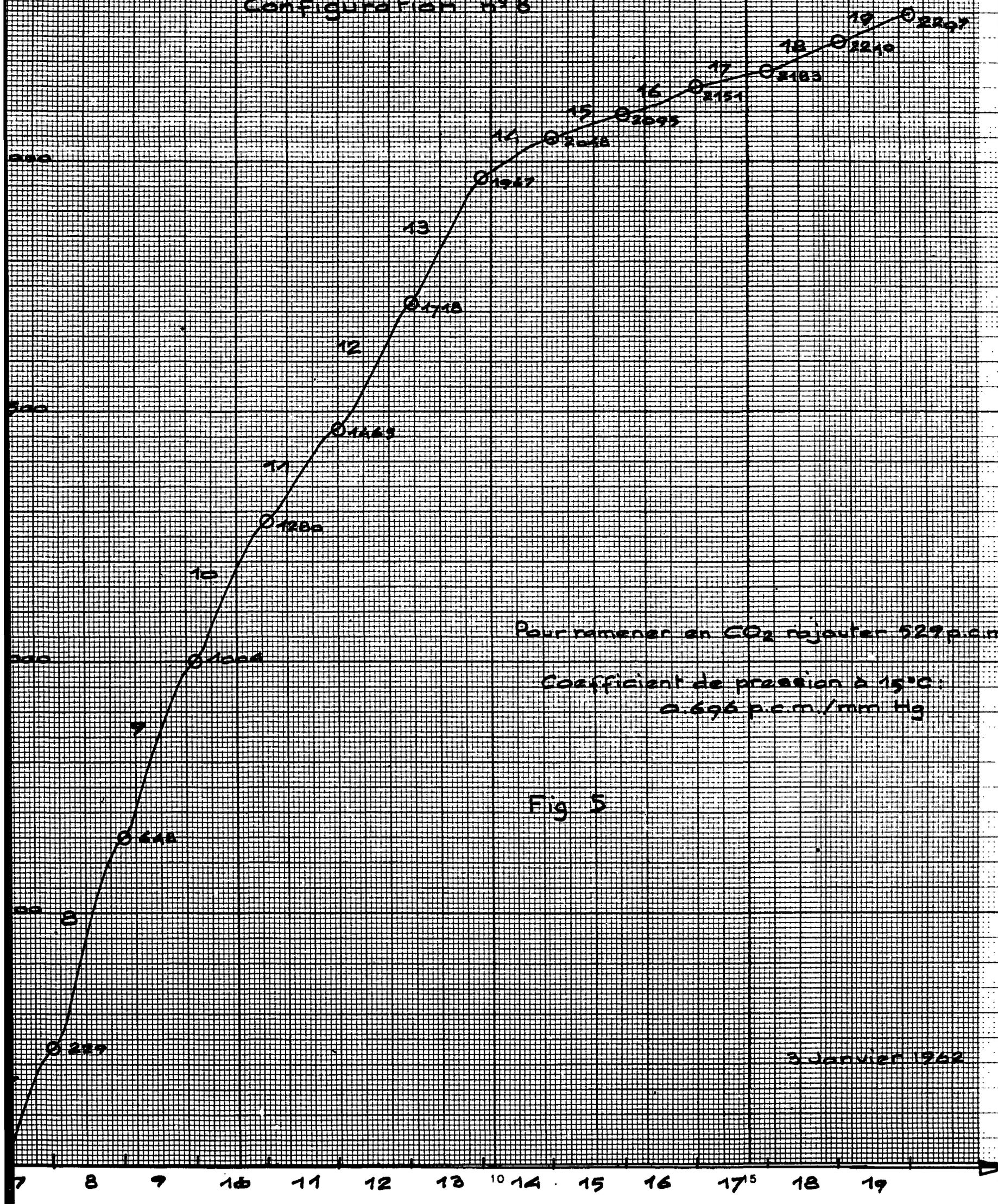


Figure 4 Programme des barres de contrôle

Vue de dessus du réacteur

- Puits d'alimentation
- △ Barre en acier
- ◻ Barre noire courte

Q3
Configuration n° 8



Pour ramener en CO₂ rajouter 529 p.c.m

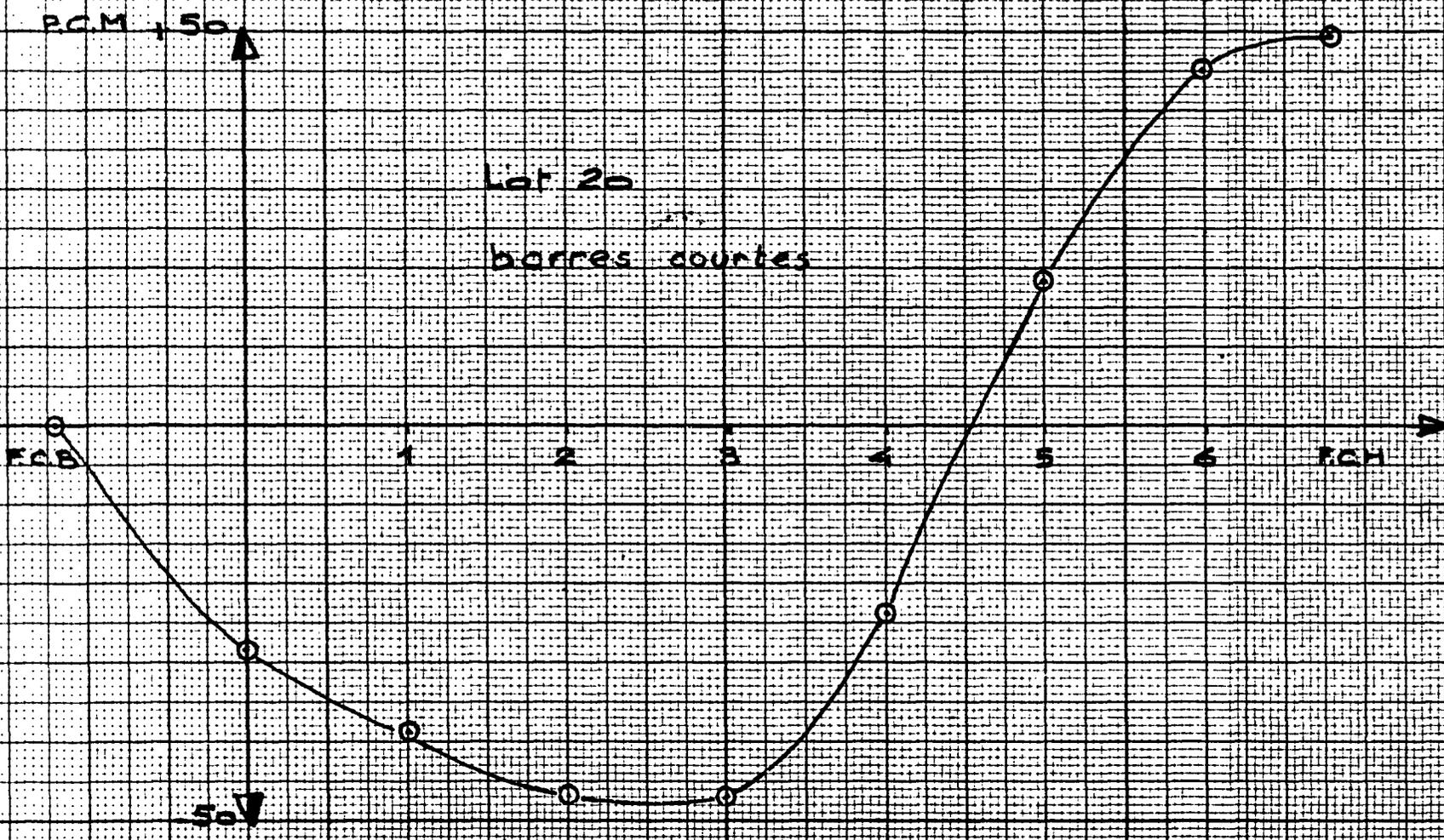
Coefficient de pression à 15°C:
0.696 p.c.m./mm Hg

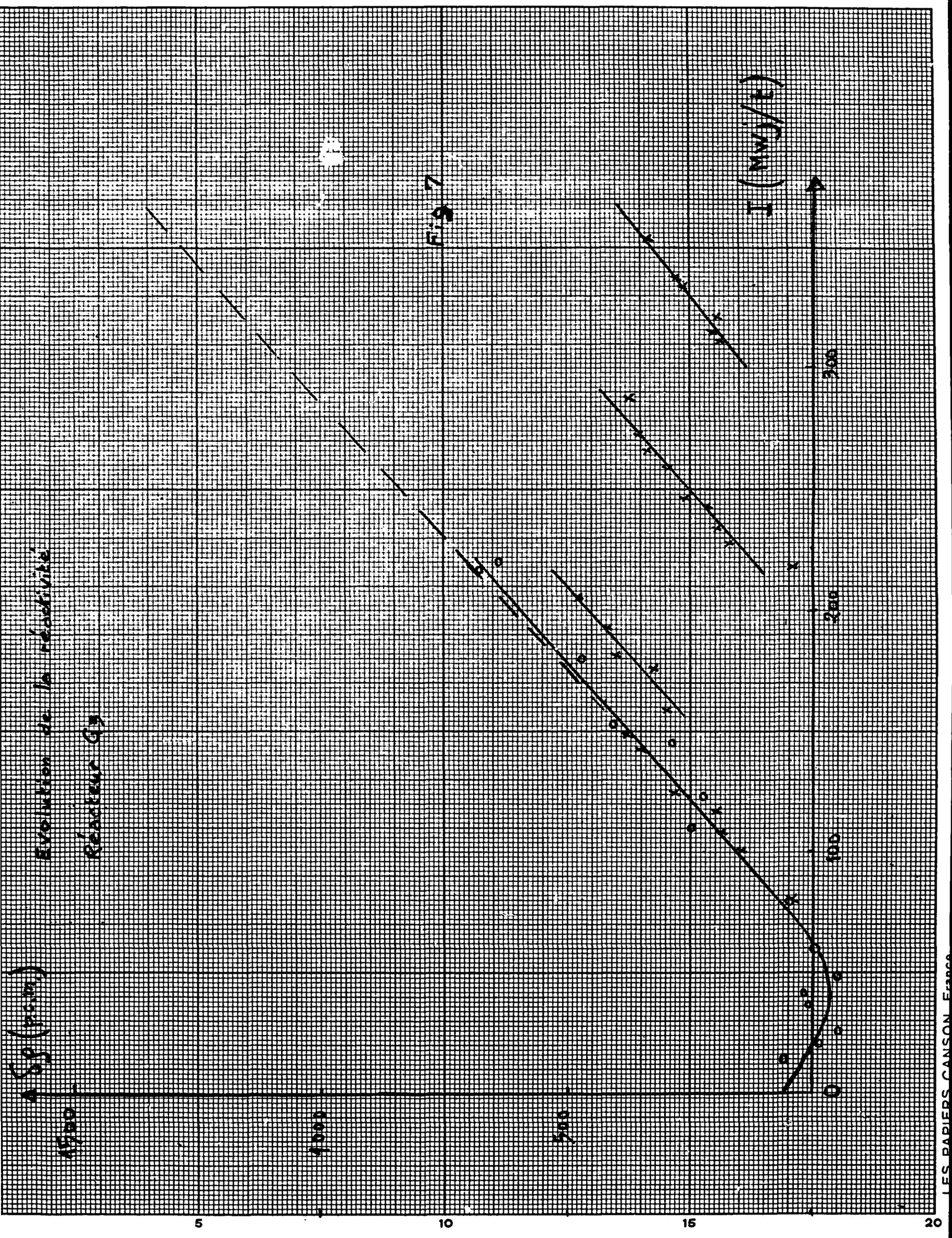
Fig 5

3 Janvier 1962

G₃
Configuration n° 7 bis

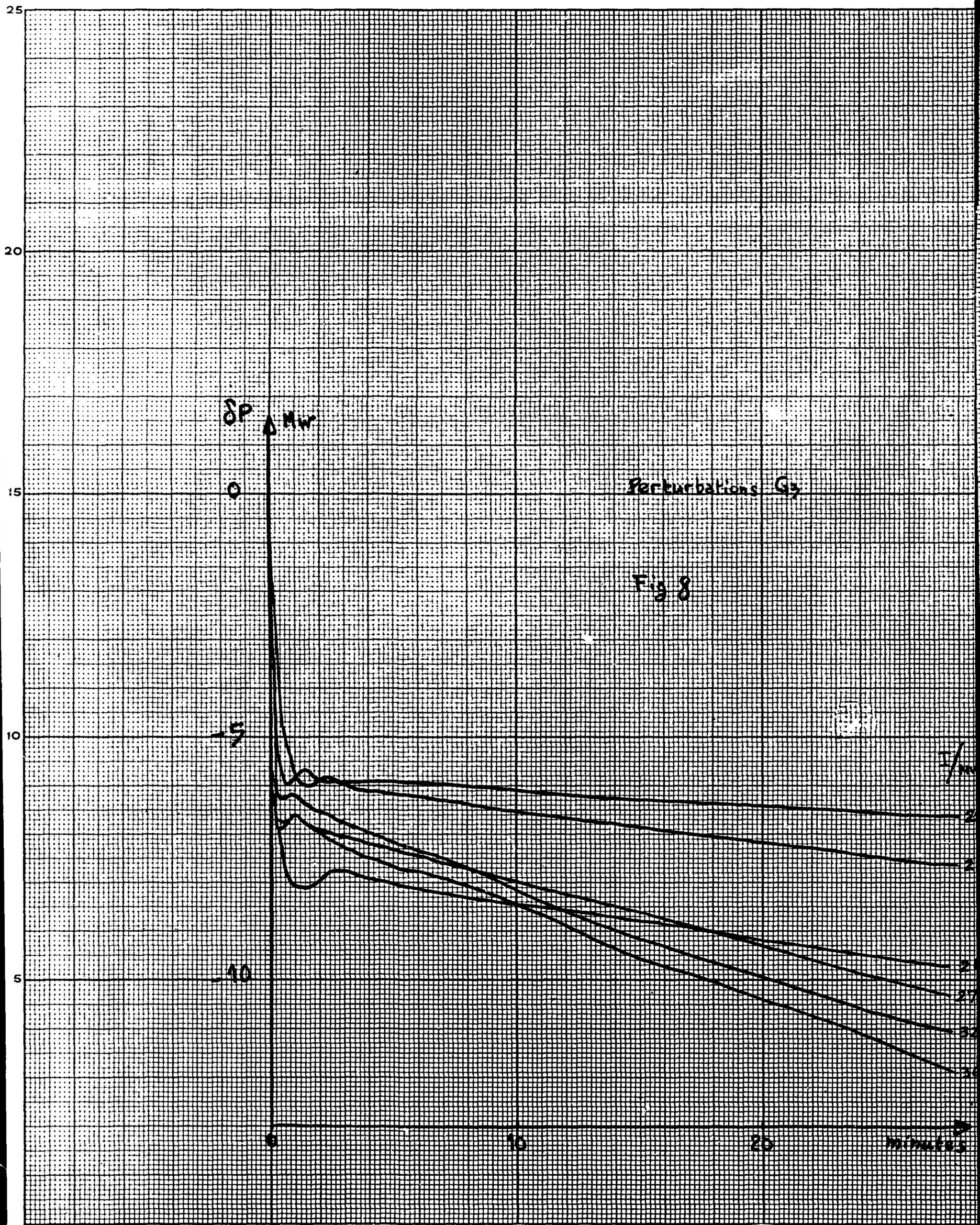
Fig 6





Evolution de la réactivité
Réacteur G3

Fig 7



Puissance
A spécifique

2 Mw/t

Oscillations de G3

1	I = 130 Mw/t
2	225
3	246

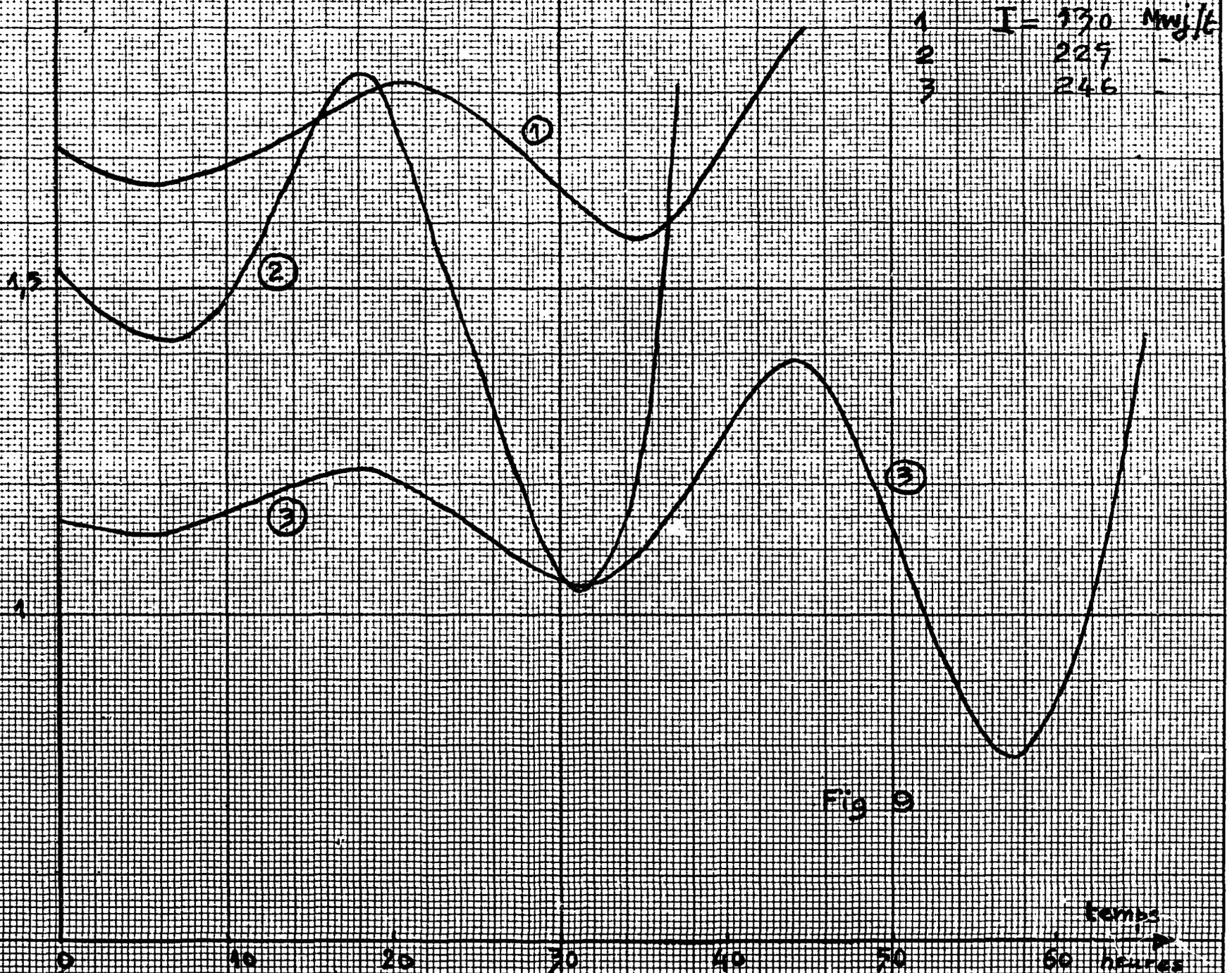


Fig 9

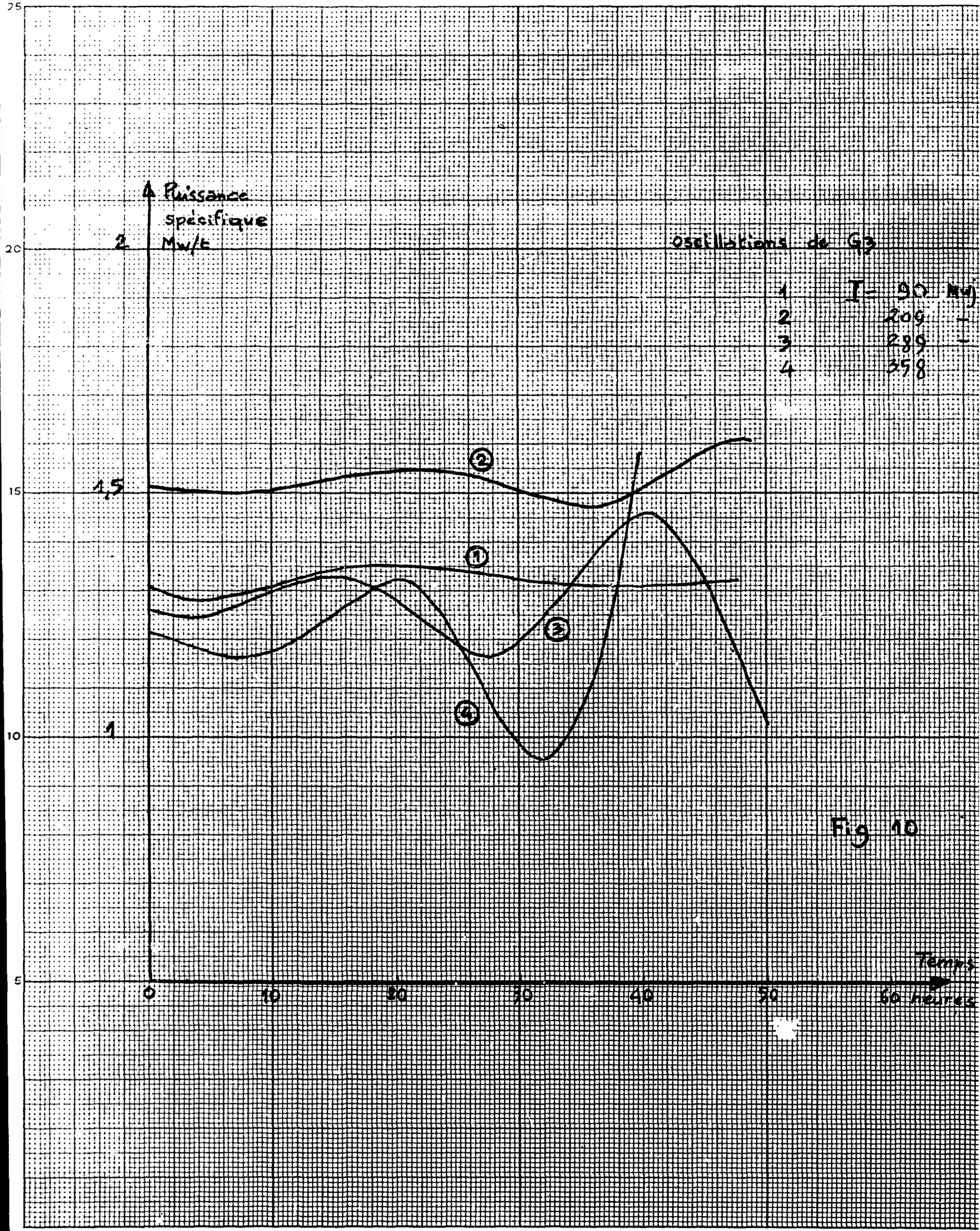


Fig 10

Températures

Mesure d'activité γ

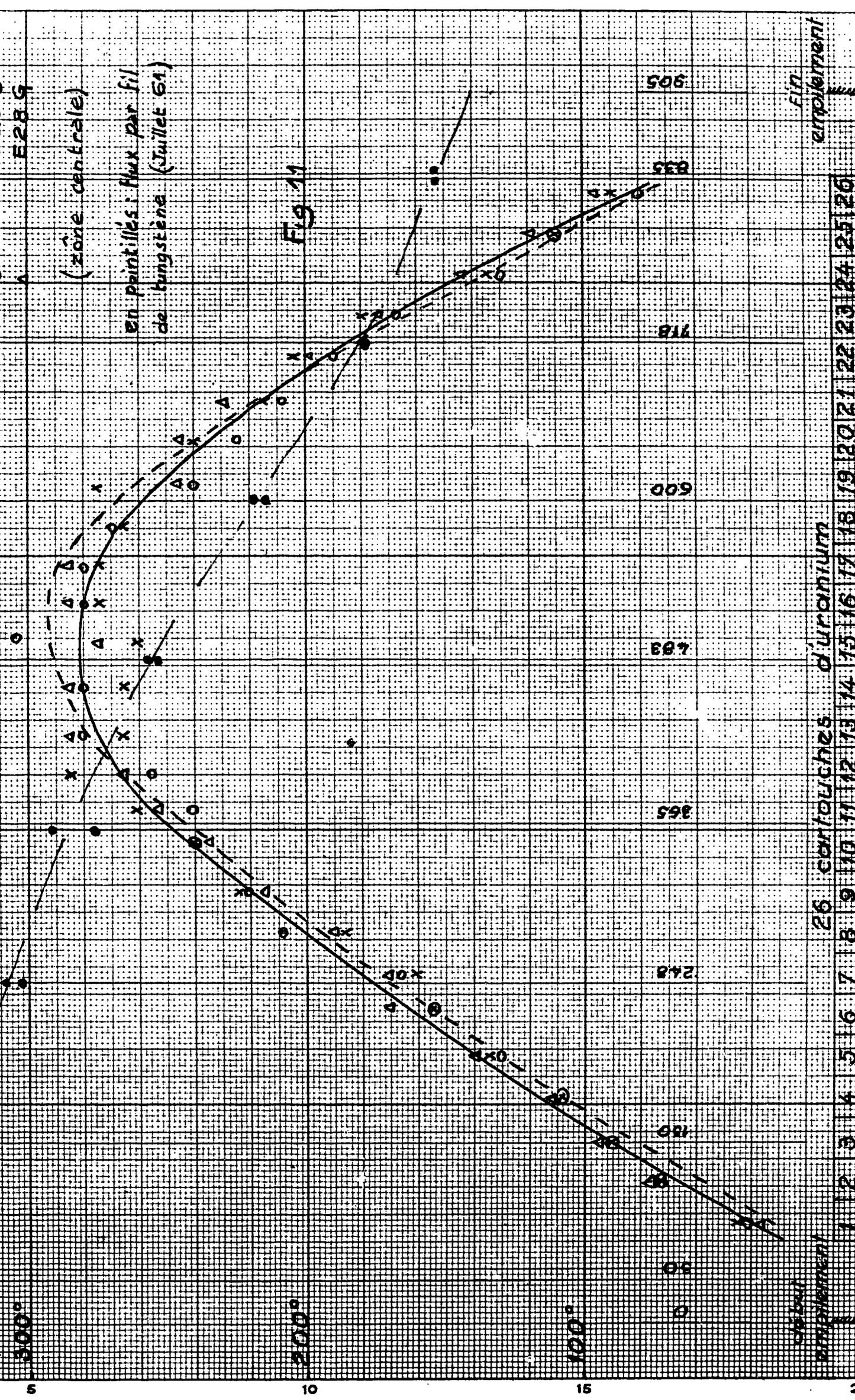
x canal E24 G
 o E20 B
 E28 G

(zone centrale)

en pointillés: flux par fil
 de tungstène (Juillet 61)

Fig 11

température graphite



FIN
 emplacement

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
				</																					

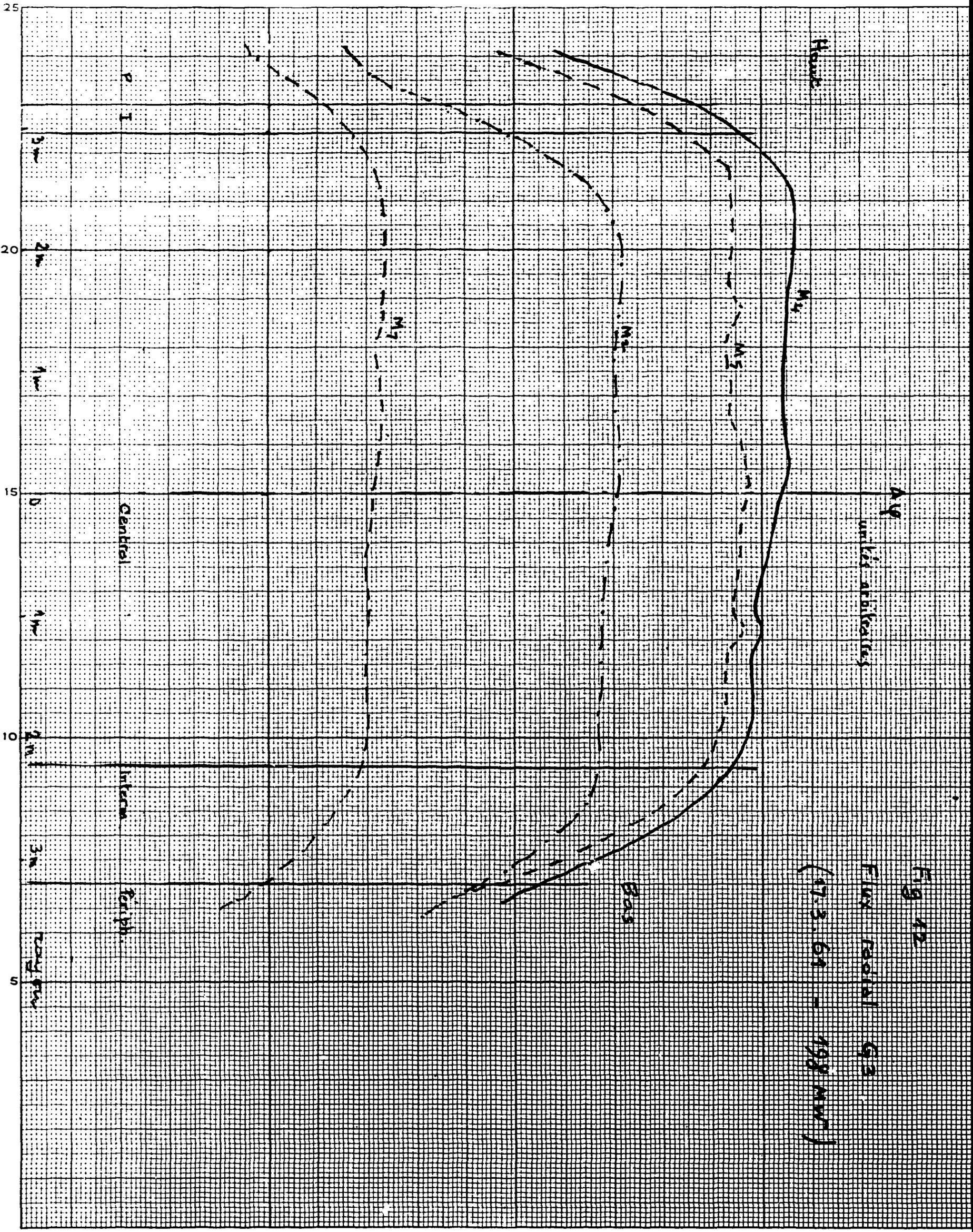
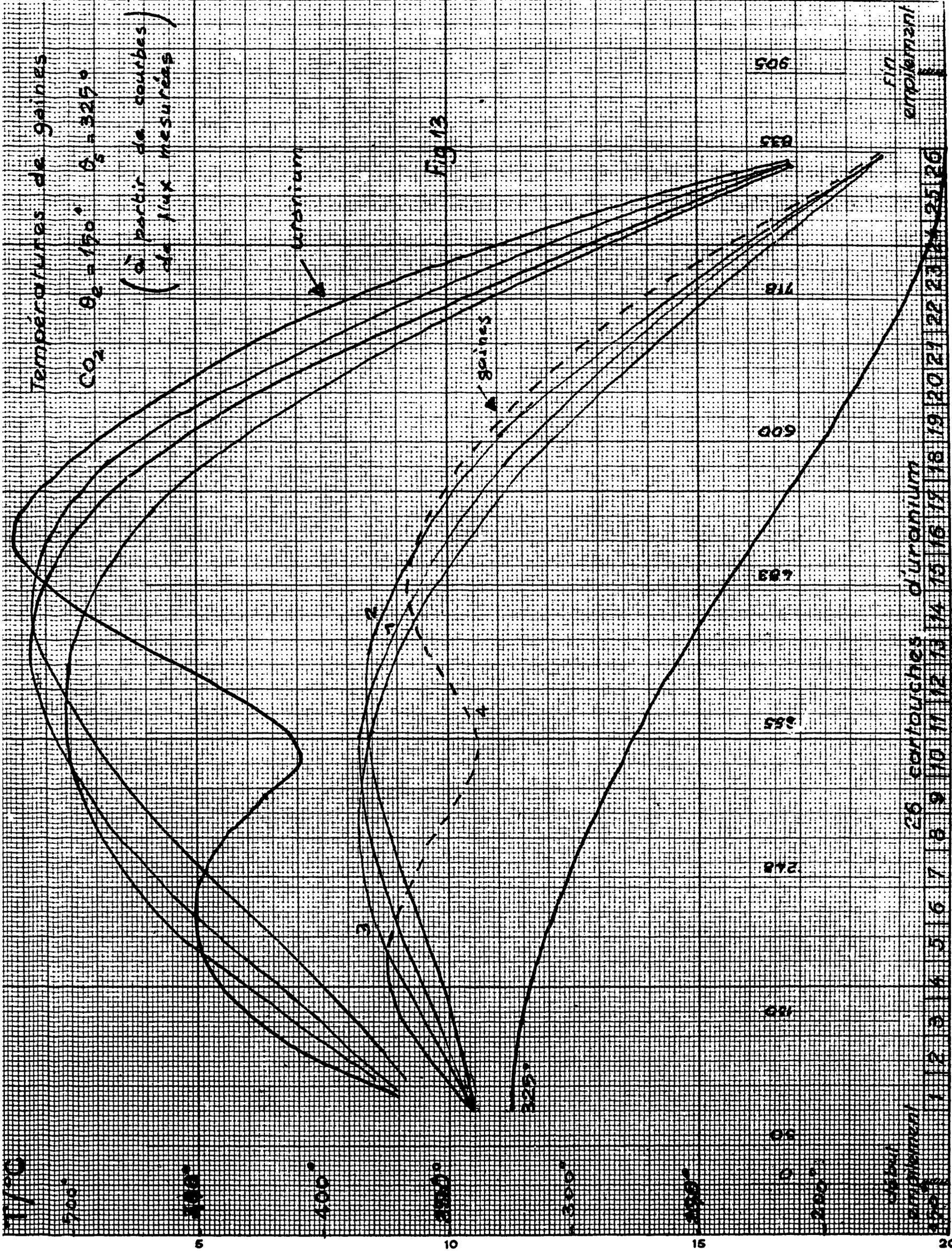
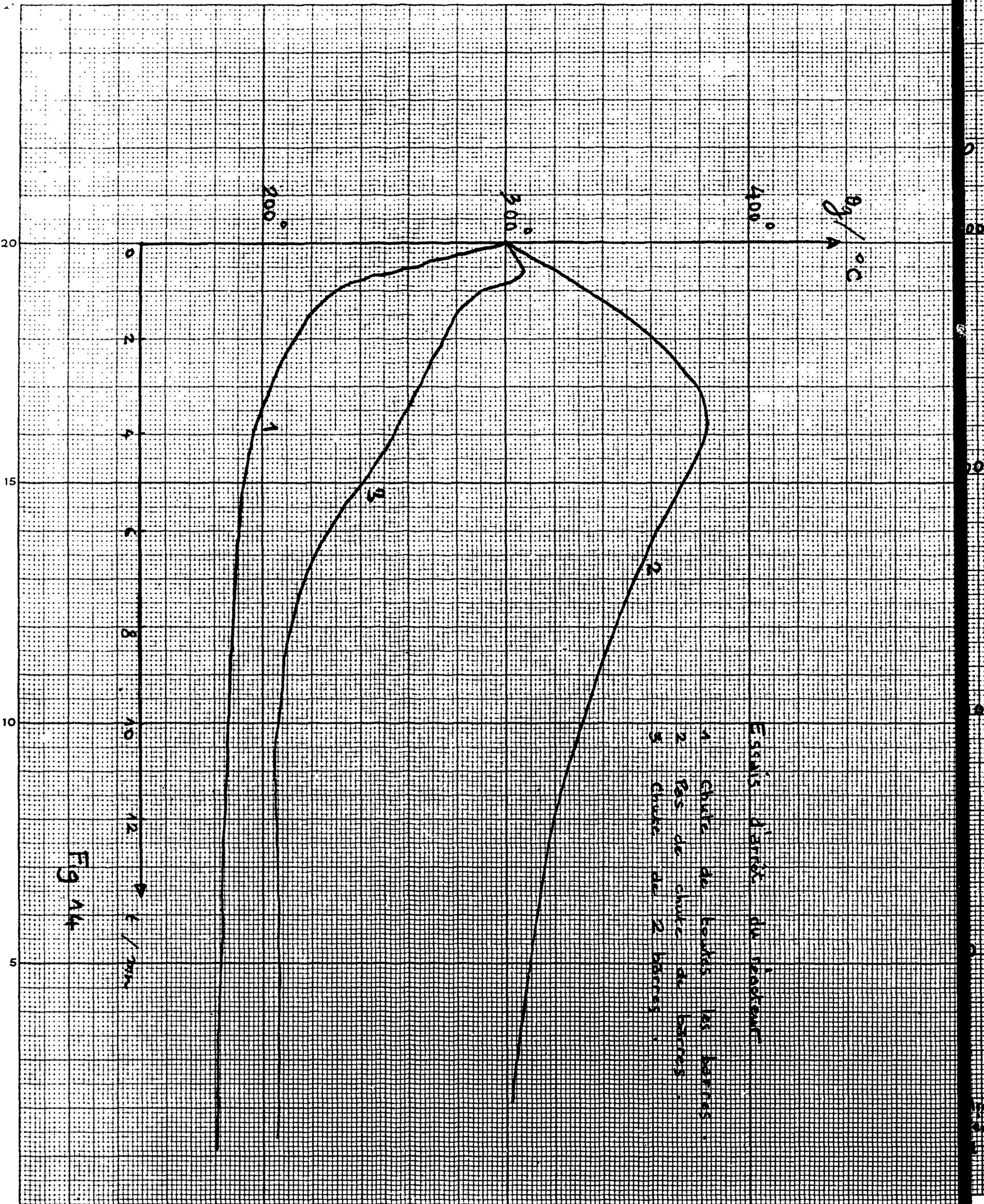


Fig 12

Flux Radial (93)

(17.3-61 - 198 MW)





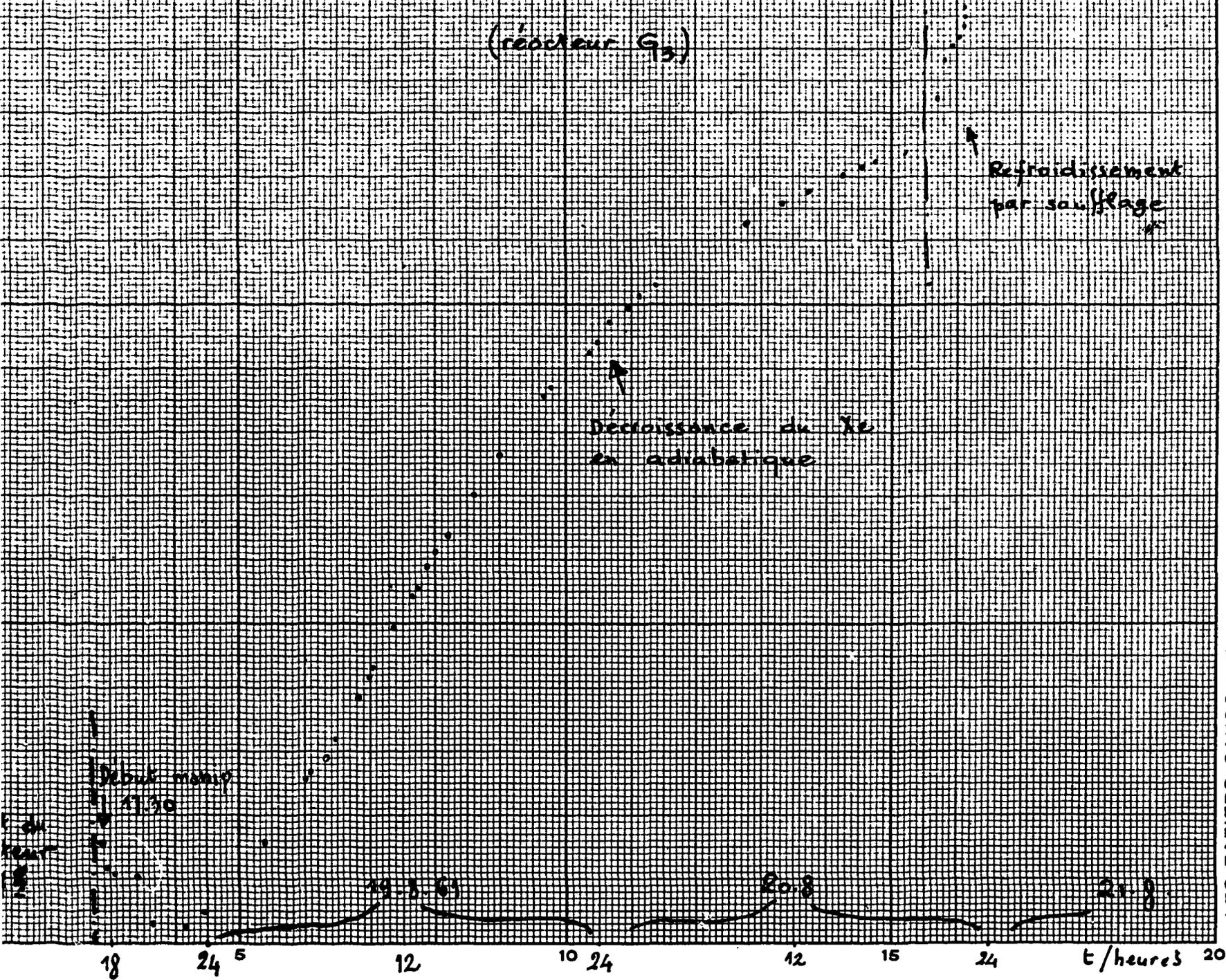
ESSAIS D'ARRÊT DU PROGRES

- 1 chute de poids les barres
- 2 pas de chute de barres
- 3 chute de 2 barres

Fig 14

page

Fig 15. Mesures après arrêt
Variation de réactivité en
fonction du temps
(réacteur G₃)



FIN