

PRÉSIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

**LE CONTROLE DES MATERIAUX
PAR LA METHODE D'OSCILLATION A LA PILE
DE CHATILLON**

D. BRETON

Rapport C.E.A. n° 400

1955

Centre d'Études nucléaires de Saclay

Service de Documentation

- Rapport C.E.A. n° 100 -

Département des Etudes de Piles

LE CONTROLE DES MATERIAUX PAR LA METHODE D'OSCILLATION

A LA PILE DE CHATILLON

par

D. BRETON

Communication du C.E.A. à la Conférence de Genève

- Août 1955 -

LE CONTROLE DES MATERIAUX PAR LA METHODE D'OSCILLATION

A LA PILE DE CHATILLON

par D. BRETON⁽¹⁾

1 - INTRODUCTION.

Le contrôle nucléaire a pour but de déterminer la valeur des matériaux destinés à être utilisés pour la construction des piles. Il s'agit de mesurer la section efficace de capture de ces matériaux en les comparant soit à un échantillon étalon du même matériau, soit à un élément de section efficace supposée connue. Plusieurs méthodes sont possibles; celles qui semblent le mieux adaptées utilisent la perturbation apportée au fonctionnement d'une pile par l'introduction périodique d'un échantillon du matériau à étudier. Ces méthodes, dites par oscillation, ont été mises en pratique aux U.S.A., au Canada, en Angleterre et en France.

La technique employée aux U.S.A., au Canada et en Angleterre consiste à mesurer l'amplitude de modulation du courant produit par une chambre d'ionisation placée dans la pile.

La technique mise au point à Châtillon (France) est basée sur la mesure de l'angle de phase du signal fourni par la chambre d'ionisation. Ce signal résulte de la composition d'un signal local et d'un signal global dus aux effets de diffusion et de capture. Les méthodes antérieures au contraire, n'emploient que l'un ou l'autre de ces signaux après élimination des effets de diffusion.

(1) Département des Etudes de Piles du C.E.A.

2 - DESCRIPTION GENERALE.

2.1. Un échantillon de graphite de forme parallélépipédique (99 x 95 x 190 mm) est animé d'un mouvement de va et vient dans un canal tangentiel de la pile; les dimensions de la section du canal sont de 100 x 100 mm. Cet échantillon de graphite constitue l'oscillateur. Un oscillateur de référence, appelé "oscillateur standard" a été défini, son poids est de 2852 grammes (densité = 1,64), sa section efficace de capture est voisine de celle du graphite nucléairement pur. On compare la capture d'échantillons de géométrie identique et de qualité nucléaire différente à celle du standard. On admet que la section efficace de diffusion des différents échantillons reste constante et que seule leur section efficace de capture varie (par suite de la présence d'impuretés). Il n'est pas nécessaire que la densité de ces échantillons soit la même. Les sections efficaces de capture sont déterminées par rapport à celle du bore (750 barns pour des neutrons de 2200 m/sec.).

2.2. Les 2 extrémités de l'échantillon de graphite sont attachées à un câble d'acier par un petit cylindre d'aluminium. La capture de ces attaches est équivalente à celle du câble d'acier supposé continu à l'intérieur du bloc de graphite. Un brin de ce câble est fixé au bras d'un système mécanique animé d'un mouvement sinusoïdal en fonction du temps, l'autre brin est maintenu tendu par un contre-poids (voir figure n° 1). Le canal dans lequel se déplace l'oscillateur est entièrement vide de graphite. Une extrémité du canal est fermée par une protection mobile en plomb et en carbure de bore, l'autre extrémité est obstruée normalement par les bouchons de béton constituant la protection. Un petit orifice destiné à laisser passer le câble de rappel est aménagé à travers ces bouchons. L'oscillateur se déplace sur une glissière en aluminium fixée au fond du canal.

2.3. L'appareil de détection utilisé est une chambre à trifluorure de bore placée ainsi qu'il est indiqué sur la figure 1. Lorsque le bloc de graphite oscille, la chambre d'ionisation délivre un courant alternatif de même période que celle du mouvement, et fonction de la section efficace de capture du graphite; il s'y superpose un courant continu proportionnel à la puissance de fonctionnement de la pile. Le courant continu est éliminé et le courant alternatif, après avoir été amplifié est injecté dans un analyseur harmonique analogique qui détermine les composantes en phase et en quadrature du fondamental du signal alternatif.

2.4. Le standard comporte en son centre un petit évidement dans lequel peuvent être introduits des morceaux de papier imbibé d'une solution titrée d'acide borique. L'addition de ces papiers contenant du bore en quantité connue augmente la section efficace de capture du standard, et constitue l'étalonnage de la méthode.

3 - PRINCIPE DE LA METHODE.

3.1. Lorsque l'échantillon de graphite est en mouvement, 2 phénomènes prennent naissance:

3.1.1. Le nombre de neutrons capturés ou diffusés par l'échantillon varie en fonction de la position qu'il occupe au cours de son déplacement dans le canal. Il en résulte une variation de réactivité Δk qui se traduit par une évolution de la puissance de la pile. Pour un échantillon de graphite donné, Δk est fonction de la section de capture Σ_c et de diffusion Σ_s .

du graphite, de l'amplitude λ de l'oscillation et de la position moyenne d'oscillation r_0 dans le canal. Les dimensions de la section de l'oscillateur étant très voisines de celles du canal, les effets dus à la diffusion du graphite sont très importants et nettement prédominants par rapport à ceux dus à la capture. On constate en effet que, lorsque le bloc de graphite s'enfonce dans la pile, la puissance de celle-ci croît. Si on ajoute quelques milligrammes de bore au bloc de graphite, elle croît moins que précédemment. Les neutrons, qui en l'absence du bloc de graphite se seraient échappés de la pile, sont diffusés et ont une chance supplémentaire d'être utilisés; l'augmentation de la section efficace de capture du bloc de graphite fait diminuer cette chance. Le rôle des fuites de neutrons étant très important, il est nécessaire que tous les échantillons à examiner soient taillés à la même section.

La variation de réactivité produite par l'oscillation fait varier la puissance de la pile en tous les points et la chambre détecte un signal appelé signal global, déphasé d'un angle ψ par rapport au mouvement d'oscillation ;

ψ est fonction de la période d'oscillation, des périodes des neutrons retardés et de leur abondance; ce signal est utilisé en particulier dans les expériences d'oscillation réalisées à Harwell par Colmer et al. Pour se débarrasser des effets dus à la diffusion, ces auteurs font osciller un "train" de graphite de telle façon que le canal dans lequel est réalisé l'oscillation ne soit jamais vide ; en déplaçant l'échantillon de graphite à étudier entre des régions où le gradient de densité est nul, la variation de réactivité est alors uniquement fonction de la section efficace de capture.

3.1.2. Le déplacement du bloc de graphite dans le canal perturbe la répartition de neutrons environnante. Cette perturbation existerait encore si la pile était un "générateur statique" de neutrons (source Ra-Be par exemple). Elle s'éteint très vite lorsqu'on s'éloigne de l'oscillateur. Par suite de sa proximité, la chambre d'ionisation utilisée dans la mesure, détecte cette perturbation, qui est fonction des sections efficaces de capture et de diffusion de l'oscillateur, ainsi que de l'amplitude λ de l'oscillation et de la position moyenne r_0 occupée par l'oscillateur dans le canal. Le signal créé par cette perturbation ne peut être qu'en phase ou en opposition de phase avec le mouvement de l'oscillateur.

Hoover et al, ont éliminé les effets dus à la diffusion, la perturbation n'est alors fonction que de la section efficace de capture de l'oscillateur. Ce signal a été également utilisé dans des expériences d'oscillation réalisées à Chatillon.

Le signal global et le signal local se composent en grandeur et en phase pour donner une résultante R déphasée d'un angle θ par rapport au mouvement d'oscillation. Le courant délivré par la chambre est alors proportionnel à cette résultante R. L'analyseur harmonique analogique permet de mesurer l'amplitude et la phase de cette résultante qui est fonction de $\Sigma_0, \Sigma_1, \lambda$ et r_0 .

3.2. Etude du signal global.

Si on produit sur une pile une variation de réactivité $\Delta k = \Delta k_0 e^{i\omega t}$ la réponse de la pile est telle que la puissance varie suivant la loi :

$$dn = n_0 A \Delta k_0 e^{i(\omega t - \psi)} \quad (1)$$

dn est la variation de la densité de neutrons mesurée au point r

n_0 la densité de neutrons mesurée au même point

A est le coefficient d'amplification de la pile définie par

$$A = \left[\omega^2 \left(\tau + \sum_i \frac{\beta_i \tau_i}{1 + \omega^2 \tau_i^2} \right)^2 + \omega^4 \left(\sum_i \frac{\beta_i \tau_i^2}{1 + \omega^2 \tau_i^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (2)$$

φ est le déphasage de la réponse de la pile par rapport à la variation de réactivité

$$\varphi = \arctg \frac{\tau + \sum_i \frac{\beta_i \tau_i}{1 + \omega^2 \tau_i^2}}{\omega \sum_i \frac{\beta_i \tau_i^2}{1 + \omega^2 \tau_i^2}} \quad (3)$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$; T = période d'oscillation

$\lambda_i = \frac{\tau_i}{\beta_i}$ période des neutrons retardés d'espèce i

β_i pourcentage de neutrons retardés d'espèce i

τ temps de vie des neutrons dans la pile.

ΔK_g est fonction des sections de capture et de diffusion du graphite et est proportionnel au nombre N de noyaux de graphite contenus dans l'échantillon

$$\Delta K_g = N \Delta K_c$$

La figure 2 représente les variations de l'amplitude du signal global (exprimé en millivolts) produit par le standard oscillant d'abord seul, puis additionné de 3 mgr de bore, en fonction de la position moyenne r_0 et pour 3 amplitudes d'oscillation. Ces courbes ont été tracées en utilisant une chambre d'ionisation placée suffisamment loin de l'oscillateur pour qu'elle ne détecte pas le signal local créé par celui-ci. On a tracé sur le même diagramme, la phase φ (φ est indépendant de la position d'oscillation). On a pris comme origine, l'instant où le graphite est au milieu de sa course, il s'ensuit que φ varie de 180° quand le point moyen d'oscillation dépasse le centre de la pile.

3.3. Etude du signal local.

Il est de la forme $l = n_0 l_g e^{j(\omega t + \alpha)}$

$$l_g = N l_0$$

l_0 étant fonction de Σ_a , λ et r_0 . La proportionnalité de ΔK_g et l_g à N est limitée au cas où l'échantillon a une longueur très inférieure à celle du canal.

α est égal à zéro quand le signal local est en phase avec le mouvement de l'oscillateur et à π quand il est en opposition de phase. L'étude des variations de l_g en fonction de r_0 et λ , nécessiterait une oscillation très rapide de façon à ce que le signal global soit très faible devant le signal local. L'appareillage mécanique n'a pas permis cette étude directement.

3.4. Etude du signal résultant.

Les deux signaux $dN = n_0 A \Delta K_g e^{j(\omega t + \varphi)}$

$$\text{et } n_0 l_g e^{j(\omega t + \alpha)}$$

se composent pour donner une résultante R

$$R = n_0 N e^{j(\omega t)} \left(A \Delta K_c e^{j\varphi} + l_0 e^{j\alpha} \right) \quad (4)$$

Ces signaux ne sont pas purement sinusoïdaux, ils contiennent un pourcentage d'harmonique important. L'analyseur harmonique analogique ne détectant que le fondamental, les autres harmoniques n'interviennent pas dans la mesure.

La résultante est un vecteur tournant à la fréquence ω . Son amplitude R est égale à $n_0 N \left[A^2 \Delta K_c^2 + l_0^2 + 2 A \Delta K_c l_0 \cos(\alpha - \varphi) \right]^{1/2}$

$$(5)$$

et sa phase est définie par

$$\text{tg } \theta = \frac{A \Delta K_c \sin \varphi + l_0 \sin \alpha}{A \Delta K_c \cos \varphi + l_0 \cos \alpha} \quad (6)$$

θ ne dépend ni de la puissance de fonctionnement de la pile, ni du nombre N de noyaux constituant l'oscillateur.

Les blocs de graphite à comparer étant taillés aux mêmes cotes, et θ étant

indépendant de N, cet angle sera le même si on compare 2 blocs de capture identique mais de densité différente. L'expérience confirme ce résultat. La figure 3 représente la valeur de l'angle θ en fonction de la densité d'un bloc de graphite donné. La variation de densité a été réalisée en perçant des petits trous ($\phi = 0,2$ cm) dans le bloc de graphite en oscillation et en les remplissant avec la poudre produite lors du perçage; en opérant ainsi on a pu faire varier sa densité apparente de 1,424 à 1,654. Si on se limite à de faibles variations de capture, comme c'est le cas lors de la comparaison de 2 échantillons de graphite, il n'est pas nécessaire d'effectuer une correction de densité.

La longueur de l'oscillateur (9 cm) étant petite par rapport à la longueur totale du canal (510 cm), la position de l'absorbeur placé à l'intérieur de l'oscillateur en vue d'augmenter sa capture est pratiquement sans importance. Ce résultat a été vérifié expérimentalement en utilisant une boîte en aluminium aux dimensions de l'oscillateur; cette boîte remplie de poudre de graphite oscille dans le canal, on ajoute ensuite quelques milligrammes de bore localisés en un point, puis ceux-ci sont ensuite répartis dans toute la poudre. On constate alors que la phase et l'amplitude du signal produit par la chambre restent les mêmes aux erreurs expérimentales près, si on se limite à de faibles additions de bore (10 mgr). La relation (6) montre que l'angle θ ne dépend pas de la puissance de fonctionnement de la pile, par contre l'amplitude de la résultante R lui est directement proportionnelle. La figure 4 montre les variations de θ et de R en fonction de la puissance de la pile, pour une position moyenne d'oscillation $r_0 = 289$ cm, une amplitude $\lambda = \pm 30,5$ cm et une période $T = 4,5$ sec.

R et θ sont fonctions de r_0 , λ et T, la figure 5 montre ces variations en fonction de r_0 pour $T = 4,5$ sec. et $\lambda = \pm 10; \pm 30,5; \pm 70,5$ cm.

3.5. Représentation vectorielle.

Il est commode de représenter les signaux locaux et globaux par des vecteurs tournant à la fréquence ω (figure 6).

Soient $OA = n_0 N A \lambda$ le vecteur représentant le signal global déphasé d'un angle φ par rapport au mouvement de l'oscillateur.

$OB = n_0 N l_0$ le vecteur représentant le signal local. B est à droite ou à gauche du point O suivant que la phase du signal local est 0 ou π .

OR est la résultante des 2 vecteurs.

Chaque vecteur étant proportionnel à la puissance de la pile, et à la densité apparente du graphite, les variations de puissance et de densité déforment homothétiquement le diagramme.

Connaissant le signal global OA et le signal résultant OR, la résolution du triangle OAR permet de connaître l'amplitude et la phase du signal local OB. La figure 7 représente l'amplitude et la phase du signal local en fonction de r_0 pour $T = 4,5$ sec. et $\lambda = \pm 10$ cm $\pm 30,5$, $\pm 70,5$.

Une théorie rendant compte de l'allure de ces courbes n'a pas été faite.

On conçoit cependant que lorsque l'oscillateur est éloigné de la chambre, des neutrons qui normalement auraient fuit, sont diffusés par l'oscillateur, un certain nombre d'entre eux atteignant la chambre, le courant délivré par celle-ci croît. Lorsque l'oscillateur se trouve placé au voisinage d'un plan vertical passant par l'axe de la chambre, des neutrons qui normalement auraient été capturés par la chambre sont, soit capturés, soit diffusés par l'oscillateur, ils n'atteignent plus la chambre, le courant délivré par celle-ci décroît.

Une augmentation de la section efficace de capture de l'oscillateur accroît le nombre des neutrons capturés par celui-ci au détriment de ceux qui le seraient par la chambre et fait encore décroître le courant délivré. On constate que le signal local s'annule pratiquement quand l'oscillateur se

déplace de part et d'autre d'un point voisin de l'axe de la chambre (2).
Les courbes ne sont pas parfaitement symétriques car la chambre d'ionisation ne se trouve pas dans un plan de symétrie du bloc de la pile.

3.6. Etude de la variation de l'angle θ en fonction de la section efficace de capture de l'oscillateur.

Lorsque la section efficace de capture de l'oscillateur varie faiblement, on peut écrire : ΔK et ℓ sous la forme,

$$\Delta K = \frac{\Delta K}{\varepsilon=0} + \varepsilon p \quad (7) \quad \varepsilon = \Sigma' - \Sigma_a \quad p = \frac{\partial \Delta K}{\partial \Sigma_a} \quad t = \frac{\partial \ell}{\partial \Sigma_a}$$

$$\ell = \frac{\ell}{\varepsilon=0} + \varepsilon t \quad (8) \quad \frac{\Delta K}{\varepsilon=0} = \Delta K_g \quad \frac{\ell}{\varepsilon=0} = \ell_g$$

Si on remplace ΔK et ℓ par ces expressions dans la relation (5), la résultante R devient :

$$R^2 = n_0^2 \times [A^2(\Delta K_g + \varepsilon p)^2 + (\ell_g + \varepsilon t)^2 + 2A(\Delta K_g + \varepsilon p)(\ell_g + \varepsilon t) \cos(\alpha - \varphi)] \quad (9)$$

La courbe $R = f(\varepsilon)$ est une hyperbole. Ceci apparait clairement sur le diagramme vectoriel (figure 6); quand la capture croît A vient en A', B en B' et R en R'. Lorsque la capture de l'oscillateur varie, le point R décrit la droite RR'. L'amplitude du vecteur OR' varie alors hyperboliquement en fonction de l'abscisse du point R'. La figure 8 représente la variation de l'amplitude de la résultante R en fonction du nombre de milligrammes de bore ajouté à l'oscillateur. Cette fonction a une allure différente suivant les paramètres r_0 , λ et T. Il peut arriver que l'hyperbole dégénère en 2 droites comme c'est le cas de la figure 9. Pour une variation de capture ε donnée, la variation de l'angle θ sera maximum quand OR sera perpendiculaire à RR' (voir figure 6). Dans ce cas

$$R^2 = n_0^2 \times \left\{ [A^2 \Delta K_g^2 + \ell_g^2 + 2A \Delta K_g \ell_g \cos(\alpha - \varphi)] + \varepsilon^2 [A^2 p^2 + t^2 + 2A p t \cos(\alpha - \varphi)] \right\} \quad (10)$$

et :

$$t_g \Delta \theta = \varepsilon \left[\frac{A^2 p^2 + t^2 + 2A p t \cos(\alpha - \varphi)}{A^2 \Delta K_g^2 + \ell_g^2 + 2A \Delta K_g \ell_g \cos(\alpha - \varphi)} \right]^{1/2} \quad (11)$$

L'ignorance des expressions mathématiques de ΔK et ℓ en fonction de r_0 et λ rend difficile la recherche des conditions optima de mesure, toutefois on peut remarquer que la courbe $\varphi = f(\lambda)$ (courbe n° 10) possède un minimum pour $T = 4,5$ sec., et $\varphi \approx 22^\circ$; $\cos(\pi - \varphi)$ est alors égal à $-0,924$.

On peut alors voir que l'expression (11) est voisine de son maximum quand $\Delta K_g = \ell_g$ et $A p = -t$. L'angle θ est alors égal à $-(\pi + \varphi) = -101^\circ$.

Pratiquement on recherche les conditions optima en se fixant une fréquence d'oscillation $T = 4,5$ sec., une amplitude $\lambda = \pm 30,5$ cm et en déplaçant la position moyenne d'oscillation r_0 jusqu'à ce que l'angle θ soit voisin de -101° . Les courbes de la figure 5 montrent qu'il existe dans le canal deux positions pour lesquelles les signaux locaux et globaux sont égaux, l'une correspond à $\theta = -101^\circ$, l'autre à $\theta = +79^\circ$; $(\pi - \varphi)$. Pour des raisons de construction, on a choisi la position la plus voisine de l'appareil mécanique entraînant l'oscillateur, c'est-à-dire $r_0 = 289$ cm et $\theta = -101^\circ$. Dans ces conditions, la relation (11) s'écrit :

(2) Ce n'est en fait que le fondamental du signal qui s'annule, l'harmonique 2 est par contre important.

(3) Cette courbe a été d'une part, tracée expérimentalement et d'autre part, calculée en prenant pour τ , β , λ les valeurs choisies par H.J. Lipkin.

$$t_g \Delta \theta = \frac{\epsilon_p (1 + \cos \varphi)^{1/2}}{\Delta K_g (1 - \cos \varphi)^{1/2}} \quad (12) \quad \text{ou puisque } \Delta \theta \text{ est petit}$$

$$\Delta \theta = \frac{\epsilon_p (1 + \cos \varphi)^{1/2}}{\Delta K_g (1 - \cos \varphi)^{1/2}} \quad (13)$$

La figure 8 montre que cette relation reste effectivement linéaire si la quantité de bore ajoutée n'excède pas 10 mg.

La figure 2 indique la valeur du signal global $n_o A \Delta K_g$ pour 0 et 3 mg, pour $\lambda = \pm 30,5 \mu\text{m}$, $r_o = 289$, $T = 4,5$ sec.; la différence entre ces 2 valeurs est égale à $n_o A \epsilon_p$. On trouve :

$$n_o A \Delta K_g \quad (\text{pour le standard}) = 30,80 \text{ millivolts}$$

$$n_o A \Delta K_g \quad \text{pour le standard} + 3 \text{ mg de bore} = 29,15 \text{ millivolts}$$

$$\text{d'où } n_o A \epsilon_p = 1,65 \text{ millivolt pour 3 mg de bore}$$

Dans ces conditions

$$\Delta \theta = \frac{1,65 (1 + 0,924)^{1/2}}{30,8 (1 - 0,924)^{1/2}} = 15^\circ 3 \text{ pour 3 mg de bore.}$$

On trouve expérimentalement qu'une addition de 3 mg de bore faite sur le standard produit une variation de l'angle θ de 15° et que l'amplitude de la résultante R ne varie presque pas (figure 7).

On peut interpréter le diagramme vectoriel de la façon suivante :

Les signaux locaux et globaux comportent chacun 2 parties, l'une due à la diffusion, l'autre due à la capture de l'oscillateur. Soient OE et OF, les parties des signaux globaux et locaux dues à la capture et OC leur résultante; OD est alors la résultante des parties dues à la diffusion, puisque l'amplitude du vecteur OR varie très peu lors d'une augmentation de capture, il en résulte que OR est normal à OC.

4 - APPAREILLAGE ELECTRONIQUE.

4.1. L'appareillage utilisé est du même type que celui employé par Colmer, Wiblin et Woollen à Harwell. Il a été réalisé par M. Pottier, ingénieur (Constructions Electriques, Saclay). La figure 11 donne le schéma de principe de l'ensemble. Il se compose principalement d'une batterie annulant par opposition la tension continue existant aux bornes de la résistance de fuite de la chambre, d'un amplificateur à courant continu fortement contre-réactionné et d'un analyseur harmonique analogique. Cet ensemble constitue un appareil de grande précision qui a pour but de mesurer l'amplitude et la phase du fondamental du signal délivré par la chambre d'ionisation. Ce signal comporte un grand nombre d'harmoniques et s'écrit :

$$\sum_n R_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

La chambre délivre un courant proportionnel à $\sum_n R_n \sin(n\omega t + \theta_n)$ celui-ci est amplifié par un amplificateur à courant continu de gain 50 et l'analyseur harmonique analogique réalise les 2 opérations mathématiques suivantes :

$$\int_0^{2\pi} \sum_n R_n \sin(n\omega t + \theta_n) \sin \omega t dt = \frac{R}{2} \cos \theta \quad (14)$$

$$\int_0^{2\pi} \sum_n R_n \sin(n\omega t + \theta_n) \cos \omega t dt = \frac{R}{2} \sin \theta \quad (15)$$

Le rapport de ces 2 expressions permet de connaître l'angle θ , la racine carrée de la somme des carrés, est proportionnelle à l'amplitude du signal fondamental délivré par la chambre .

Si la pile n'est pas très bien stabilisée la composante continue du courant délivré par la chambre n'est pas parfaitement annulée; il subsiste une légère tension qui évolue en fonction du temps de sorte que ce courant est alors égal à $\sum R_n \sin(n\omega t + \theta_n) + f(t)$

Le résultat de l'intégration effectuée par l'appareil dépend alors de la fonction $f(t)$. Le seul remède valable pour s'affranchir de cette difficulté consiste à stabiliser la pile le mieux possible de façon à ce que $f(t)$ soit très faible. Une étude systématique de cette question a été faite par Colmer et al. Lors de l'utilisation de cette méthode pour le contrôle d'échantillons de graphite la tension continue mesurée aux bornes de la résistance de fuite de la chambre ($10^7 \Omega$) est de 20 volts et l'amplitude du signal est de $\pm 1.10^{-2}$ volts.

4.2. Un appareillage permet de mettre en marche et d'arrêter automatiquement les intégrateurs. Le signal produit par la chambre comporte beaucoup de fluctuations et il y a lieu d'intégrer un temps suffisamment long pour les annuler le mieux possible. En pratique une mesure est le résultat de 16 intégrations successives ($N = 16$) et dure par conséquent environ 80 sec. Ce temps est considérablement augmenté par suite de la nécessité de stabiliser la pile après l'introduction d'un oscillateur.

5 - APPLICATIONS DE CETTE METHODE A LA COMPARAISON DE LA CAPTURE DE 2 ECHANTILLONS DE GRAPHITE.

5.1. On se fixe une position moyenne r_0 , une amplitude λ et une période T d'oscillation ainsi qu'il a été dit précédemment. L'échantillon standard oscille d'abord seul, puis avec des teneurs de bore croissantes. On trace alors une courbe exprimant la valeur de l'angle θ en fonction du nombre de milligrammes de bore ajouté au standard, cette courbe est linéaire, elle constitue la courbe d'étalonnage (figure 8). Le standard est ensuite remplacé par l'échantillon de graphite à étudier et on mesure la valeur de θ ; en reportant cette valeur sur la courbe d'étalonnage on en déduit la différence de capture exprimée en mg de bore entre les deux échantillons. La puissance de la pile pendant le cours des mesures est de 400 watts, elle a été choisie de façon à ne pas soumettre les expérimentateurs à des doses de rayonnement importantes lors de l'extraction de l'échantillon, de plus, elle correspond à l'équilibre thermique de la pile lorsque ses systèmes de refroidissement (pompes à D_2O , ventilateurs) sont arrêtés.

5.2. Précautions à prendre.

5.2.1. Tous les échantillons doivent être taillés aux mêmes cotes. La largeur et la hauteur doivent être déterminées à 0,2 mm près, toutefois la longueur est moins importante, une variation inférieure à 1 cm est pratiquement sans effet sur la valeur de θ .

5.2.2. La puissance de la pile doit être maintenue constante avec une précision de l'ordre de 10^{-3} au cours des mesures. Après une marche de la pile à 100 kW pendant 36 heures, il est nécessaire d'attendre 6 heures avant de pouvoir commencer les mesures. Il est indispensable que la température de l'eau lourde et de l'uranium reste constante afin d'éviter une dérive lente de la puissance. Bien que l'angle θ soit indépendant de la puissance de fonctionnement de la pile, il est malgré tout nécessaire de bien la stabiliser pour que le résultat de la mesure soit correct. Cependant l'indépendance de θ en fonction de la puissance est très utile en pratique car il n'est pas

nécessaire, d'une mesure à l'autre, de stabiliser la pile à la même puissance, ce qui est bien souvent très avantageux. Un voltmètre permet de suivre constamment l'évolution de la puissance de la pile, les mesures ne sont commencées que lorsque la puissance de la pile est très faible.

5.2.3. Les signaux locaux et globaux dépendent de la répartition des neutrons dans le canal d'oscillation. Il y a lieu d'utiliser pour le réglage, les plaques les plus éloignées du canal. Leur position ne doit pas être modifiée au cours d'une mesure. La stabilisation de la pile est réalisée entre 2 mesures.

5.3. Précision.

En opérant dans de bonnes conditions de stabilité de la puissance de la pile on peut déterminer la capture d'un échantillon de graphite par rapport au standard avec une précision de 0,03 mb. La précision est limitée par la dérive lente de puissance de la pile, et par les fluctuations. Cependant l'angle θ fluctue beaucoup moins que l'amplitude du signal résultant; en effet les fluctuations de la puissance de la pile déforment homothétiquement le diagramme de la figure 6 et la valeur de l'angle θ n'est pas modifiée. Les valeurs de θ et de R ont été mesurées 12 fois consécutives, chaque mesure étant le résultat de 16 intégrations successives. L'écart standard de R est égal à 0,0245 millivolt (R = 1,28 millivolt), tandis que celui de θ est de 0°04 ($\theta = 269°16$).

L'étalon de référence utilisé étant le bore, il y a lieu d'effectuer une correction quand les impuretés contenues dans le graphite ne suivent pas une loi en "1/v".

6 - APPLICATION DE LA METHODE AU CONTROLE NUCLEAIRE DES MATERIAUX AUTRES QUE LE C.

6.1. Cette méthode a été utilisée pour comparer entre elles les captures de 2 lots de Be ainsi que celles de 2 lots d'oxyde de Be. Un bloc de graphite de mêmes dimensions que le standard et comportant une cavité dans laquelle est placé le corps à examiner est utilisé. On peut également comparer la capture de 2 lots de 180 grammes de Be avec une précision de $\pm 0,3 \text{ mm}^2$ et 2 lots de BeO pesant 1100 grammes, avec une précision de $\pm 0,4 \text{ mm}^2$

6.2. Mesure de la section efficace de capture du Magnésium et de l'aluminium. Les signaux locaux et globaux comportent chacun 2 parties, l'une due à la capture, l'autre due à la diffusion. Par suite du dispositif utilisé, les parties dues à la diffusion sont beaucoup plus importantes que celles dues à la capture. Si une faible quantité d'un corps ayant une section efficace de diffusion qui ne soit pas trop grande par rapport à sa section de capture est ajoutée à l'échantillon de graphite en oscillation, les signaux de diffusion, locaux et globaux varient relativement peu tandis que ceux dues à la capture sont fortement modifiées (sur le diagramme le vecteur OD varie peu tandis que OC varie beaucoup plus). La variation de l'angle θ peut être alors attribuée sans grande erreur à la variation de section efficace de capture. En opérant sur un échantillon de magnésium pesant 75 g, on a trouvé que sa section efficace de capture était égale à $60 \pm 3 \text{ mb}$.

7 - CONCLUSION.

Cette méthode a l'avantage de permettre la comparaison de la capture de 2 échantillons de corps très diffusants et peu capturants comme le graphite, le béryllium, l'oxyde de béryllium, avec une bonne précision et sans qu'il soit nécessaire de faire osciller une quantité importante de ces corps. Elle est assez rapide puisque la fréquence d'oscillation est de 4,5 sec., et elle est commode parce qu'il n'est pas nécessaire que la puissance de la pile soit identique d'une mesure à l'autre, enfin elle permet également de déterminer la section efficace de capture de corps tels que le magnésium ou l'aluminium.

8 - REMERCIEMENTS.

Nous tenons à remercier Monsieur le Professeur J. YVON, Chef du Département des Études de Physique pour les précieux conseils qu'il nous a donnés au cours de son cours.

9 - BIBLIOGRAPHIE.

Howar J. et al - Measurement of neutron absorption cross section with a pile oscillator, Physical Review, 74, 8, 864-870 (1948)

Pomerance H., Thermal neutron capture cross sections, Physical Review, 83, 3, 641-645 (1951)

Pomerance H., Thermal neutron capture cross sections, Physical Review, 88, 2, 412-413 (1952)

Langsdorf A., Oscillatory method for measuring neutron cross sections by the effect on the reactivity of a chain reacting pile, Physical Review, 74, 1216-1217 (1948)

Weinberg A.M., Schweinler H.C., Theory of oscillating absorber in a chain reactor, Physical Review, 74, 8, 851-863 (1948) et A.E.C.D. 2044.

Littler D.J., The measurement of slow neutron absorption cross sections, Atomic, 1, 7, 189-195 (1950)

Colmer F.C.W., Wiblin E.R., Woollen W.B., Fission balance tests in Gleep A.E.R.E. N/R 1163.

Colmer F.C.W., Littler D.J., Pile neutron absorption cross sections of some of the elements (Letter), Proceedings of the Physical Society (G.B.) 63, part 10, 370 A, 1175-1176 (1950)

Raievski V; Yvon J., La modulation du flux de neutrons dans le réflecteur d'une pile sous l'effet de l'absorption et de la diffusion, Comptes rendus de l'Académie des Sciences (Fr) 2^e, 345-347 (1950)

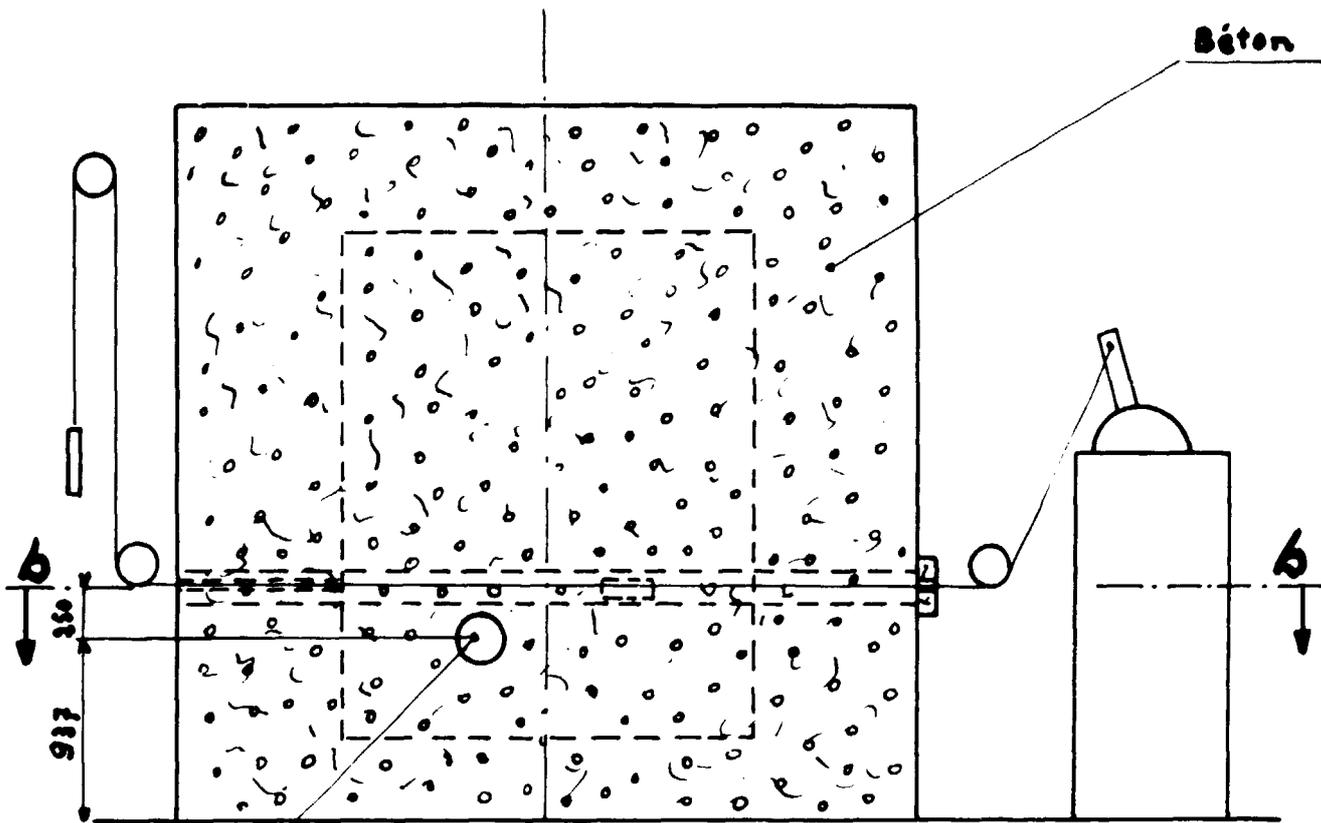
Ertaud A., Raievski V., Breton D., Méthode d'oscillation dans la pile appliquée à la comparaison d'échantillons de graphite, Journal de Physique et le Radium, 12, 784-788 (1951)

Lipkin H.J., Liaison de la réactivité de la pile Zoé modifiée avec la constante de temps d'une montée en puissance, Note C.E.A. n° 49

Pottier J., Un analyseur harmonique analogique, Onde électrique (à paraître, automne 1955).

Brownrigg W.G.L., Littler D.J., Pile modulation and statistical fluctuations in Piles, A.E.R.E. N/R. 476 (1950).

Coupe aa



Chambre
d'ionisation

Demi coupe bb

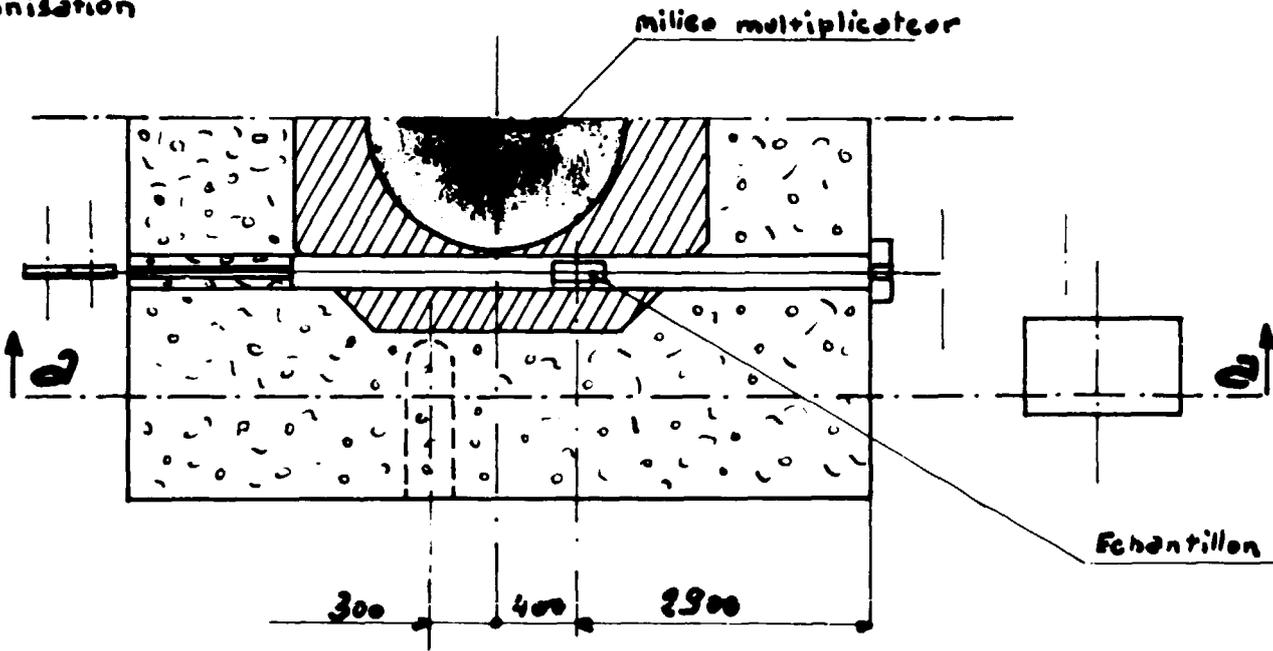


FIGURE 1

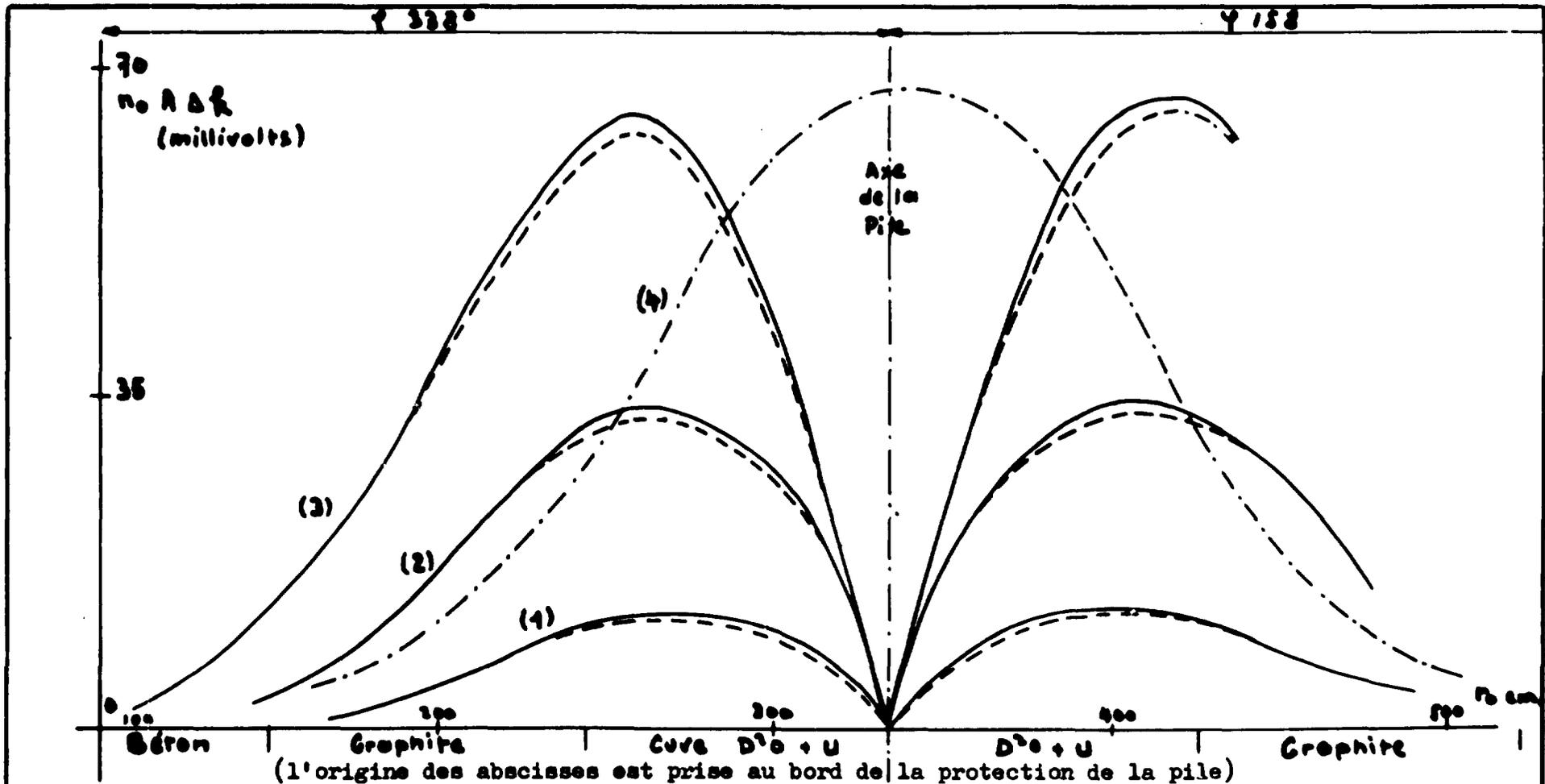


FIGURE 2

Variation de l'amplitude du signal global en fonction de r . (pour $T = 4,5$ sec., puissance 400 watts)

Courbe n° 1 : $\lambda = \pm 10$ cm

Courbe n° 2 : $\lambda = \pm 30,5$ cm

Courbe n° 3 : $\lambda = \pm 70$ cm

Courbe n° 4 : Densité de neutrons dans le canal (ordonnées arbitraires)

Les courbes en pointillés sont obtenues après addition de 3 mg de bore au standard

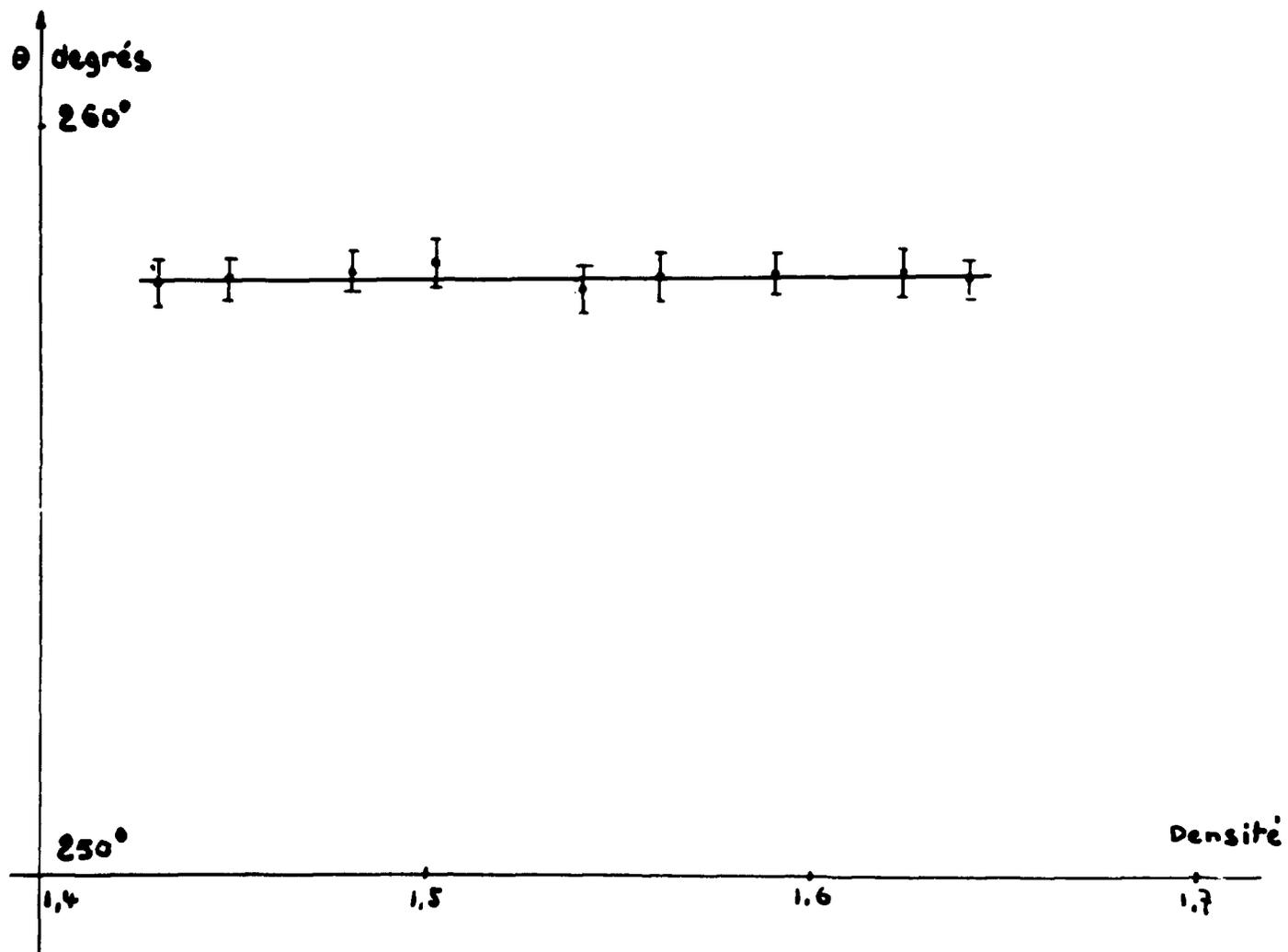


FIGURE 3 Variation de l'angle θ en fonction de la densité apparente de l'oscillateur en graphite
 (pour $\lambda = \pm 30,5$ cm
 $r_0 = 289$ cm
 $T = 4,5$ sec., puissance pile 400 watts)

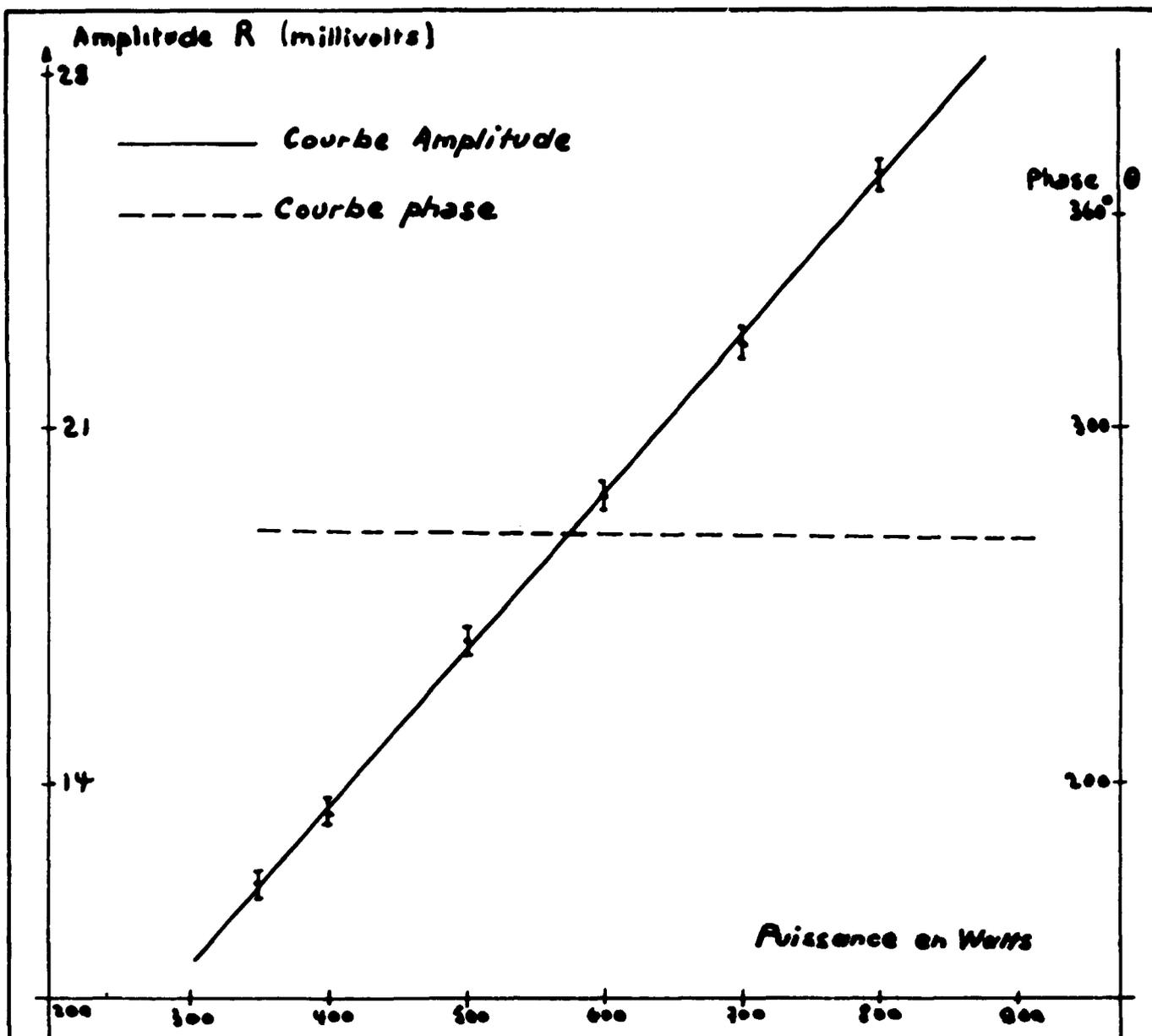


FIGURE 4 Variation de l'amplitude R et de la phase θ du signal résultant en fonction de la puissance de la pile (pour $T = 4,5$ sec.
 $\lambda = \pm 30,5$ cm
 $r_0 = 289$ cm)

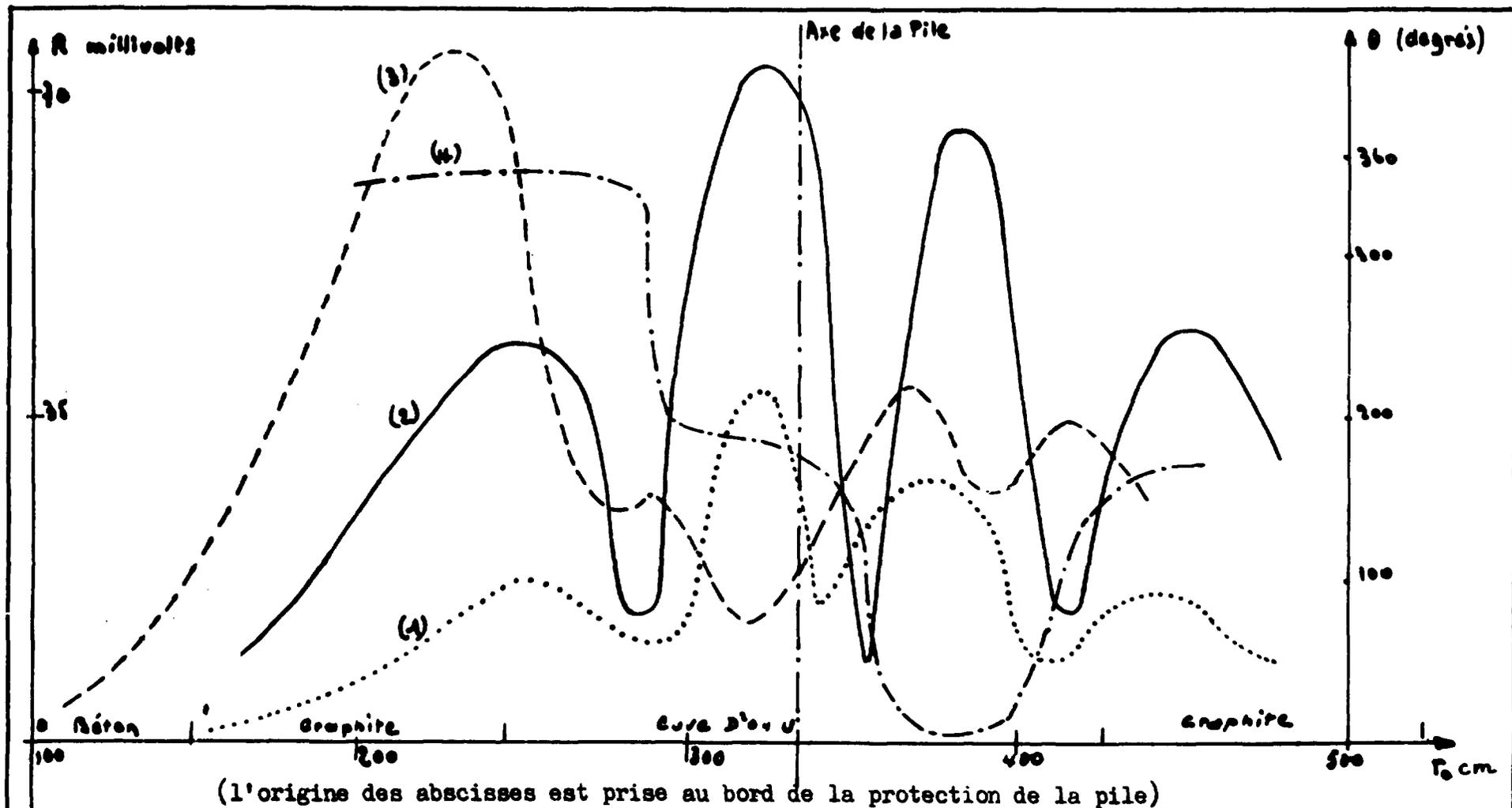


FIGURE 5

Variation de l'amplitude de la résultante R en fonction de la position moyenne d'oscillation
 (pour $T = 4,5$ sec., puissance 400 watts)

- Courbe n° 1 : $\lambda = \pm 10$ cm
- Courbe n° 2 : $\lambda = \pm 30,5$ cm
- Courbe n° 3 : $\lambda = \pm 70$ cm
- Courbe n° 4 : $\theta = f(r_0)$ pour $\lambda = \pm 30,5$ cm

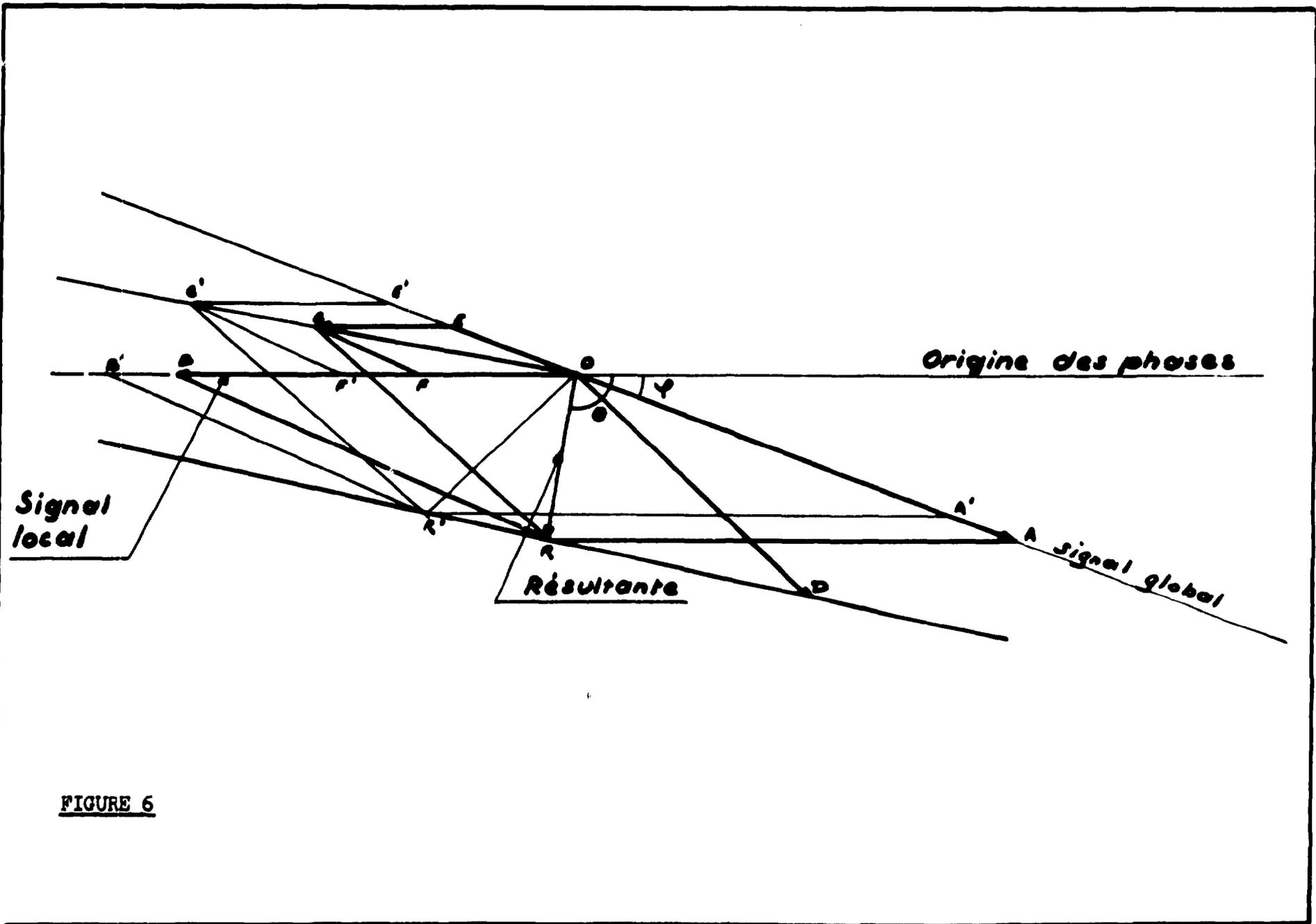


FIGURE 6

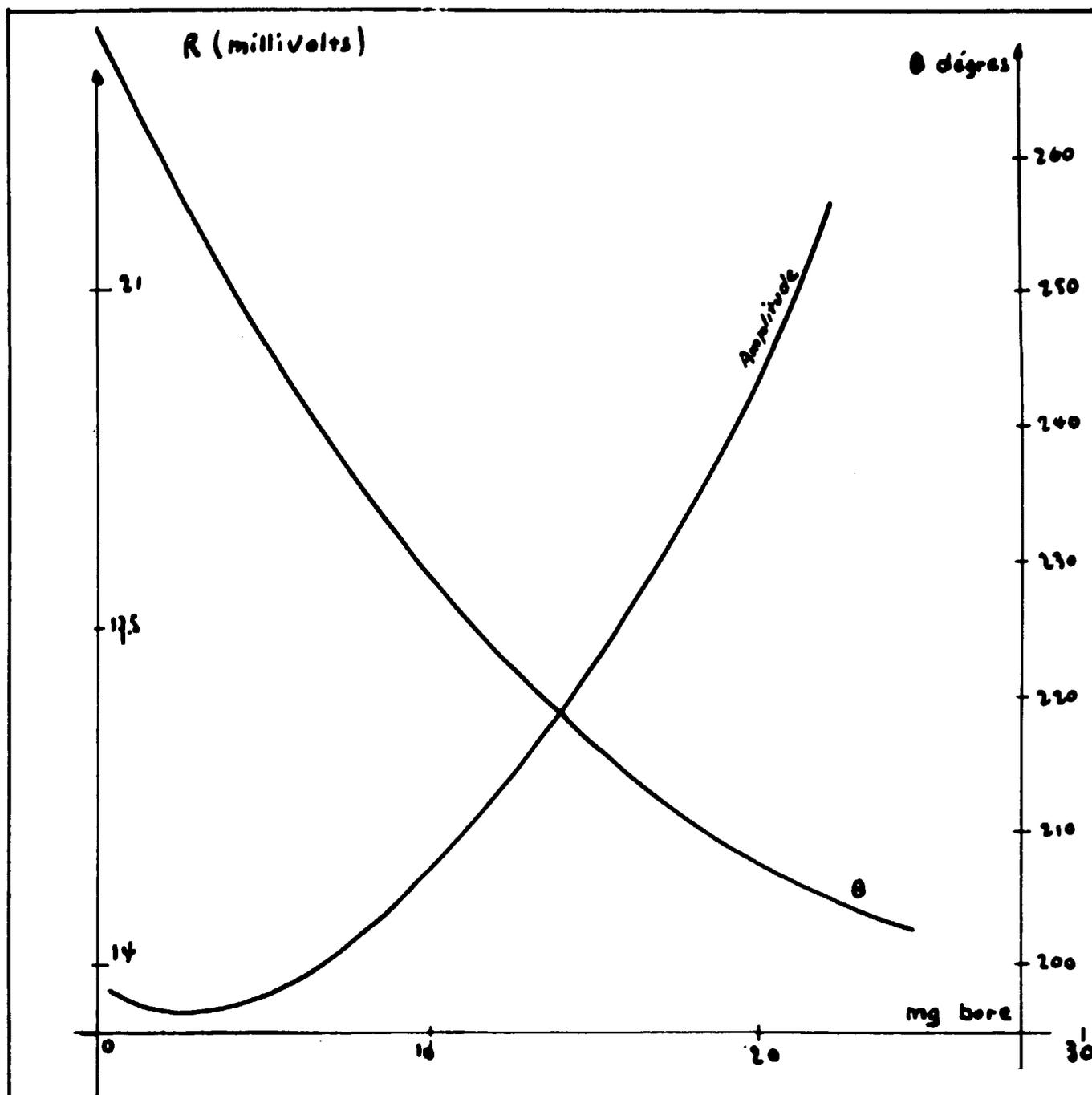
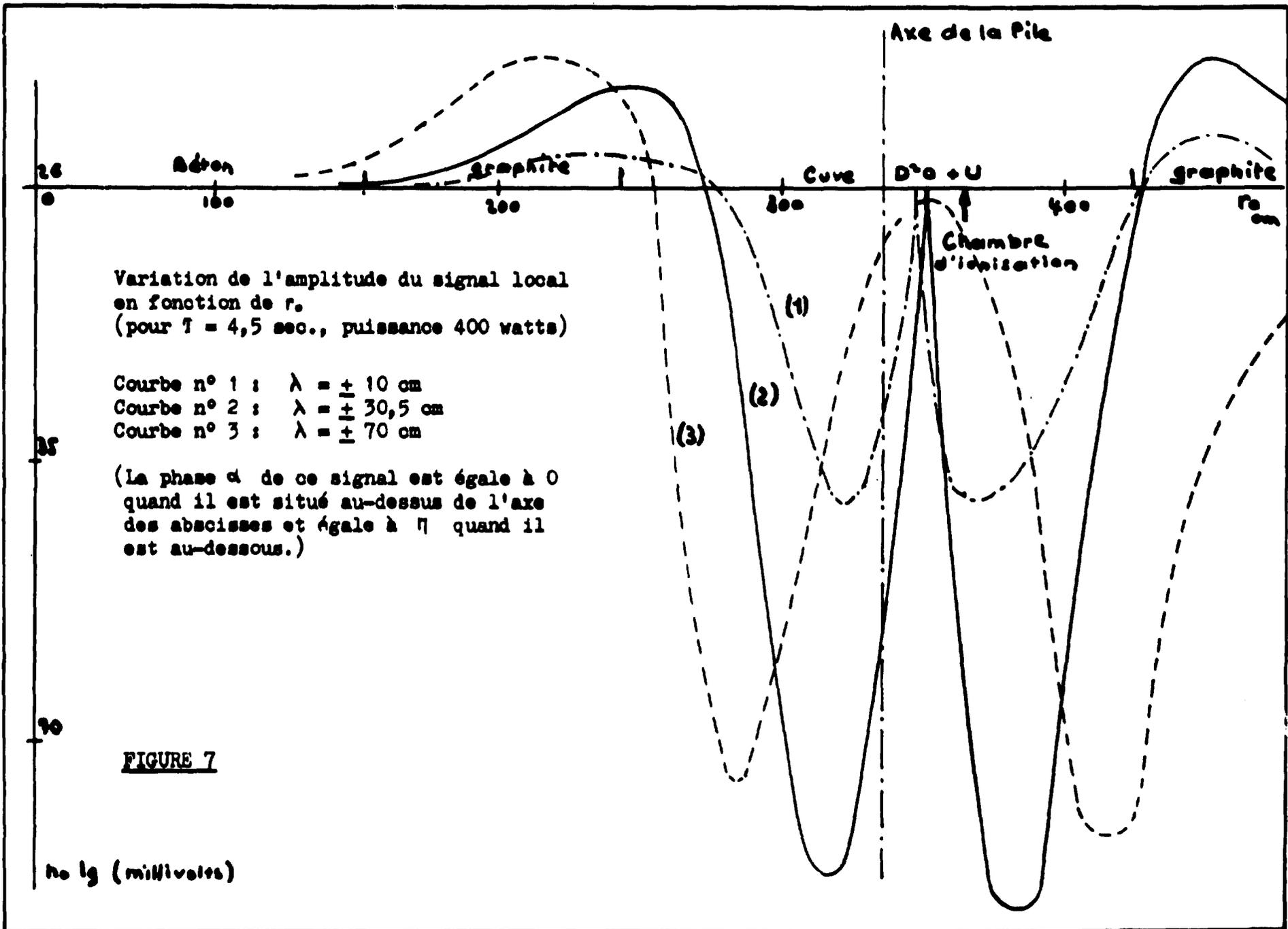


FIGURE 8 Variation de l'amplitude R et de la phase θ du signal résultant en fonction de la capture de l'oscillateur
 (pour $\lambda = \pm 30,5$ cm
 $r_0 = 289$ cm
 $T = 4,5$ sec., puissance pile 400 watts)



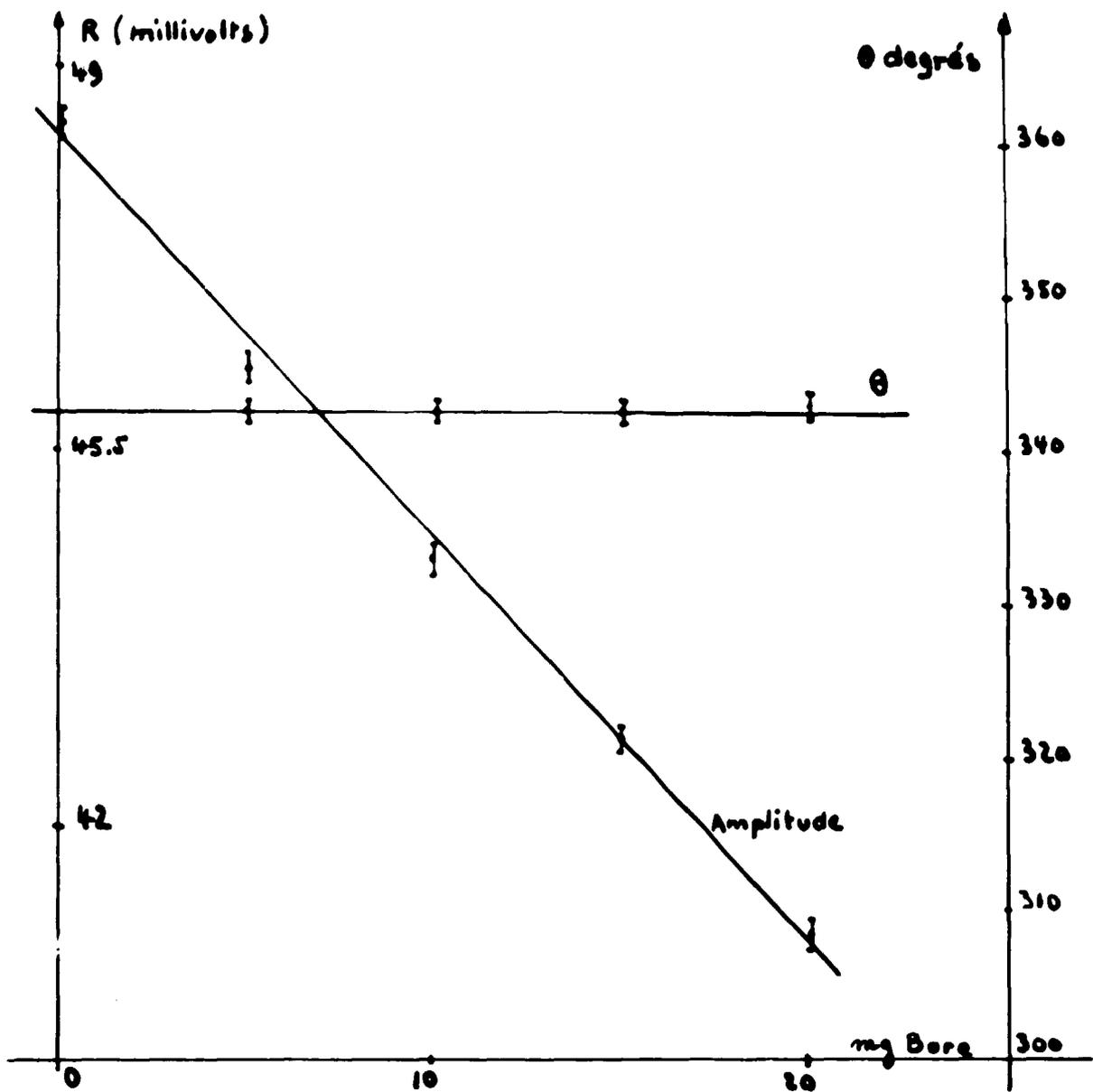
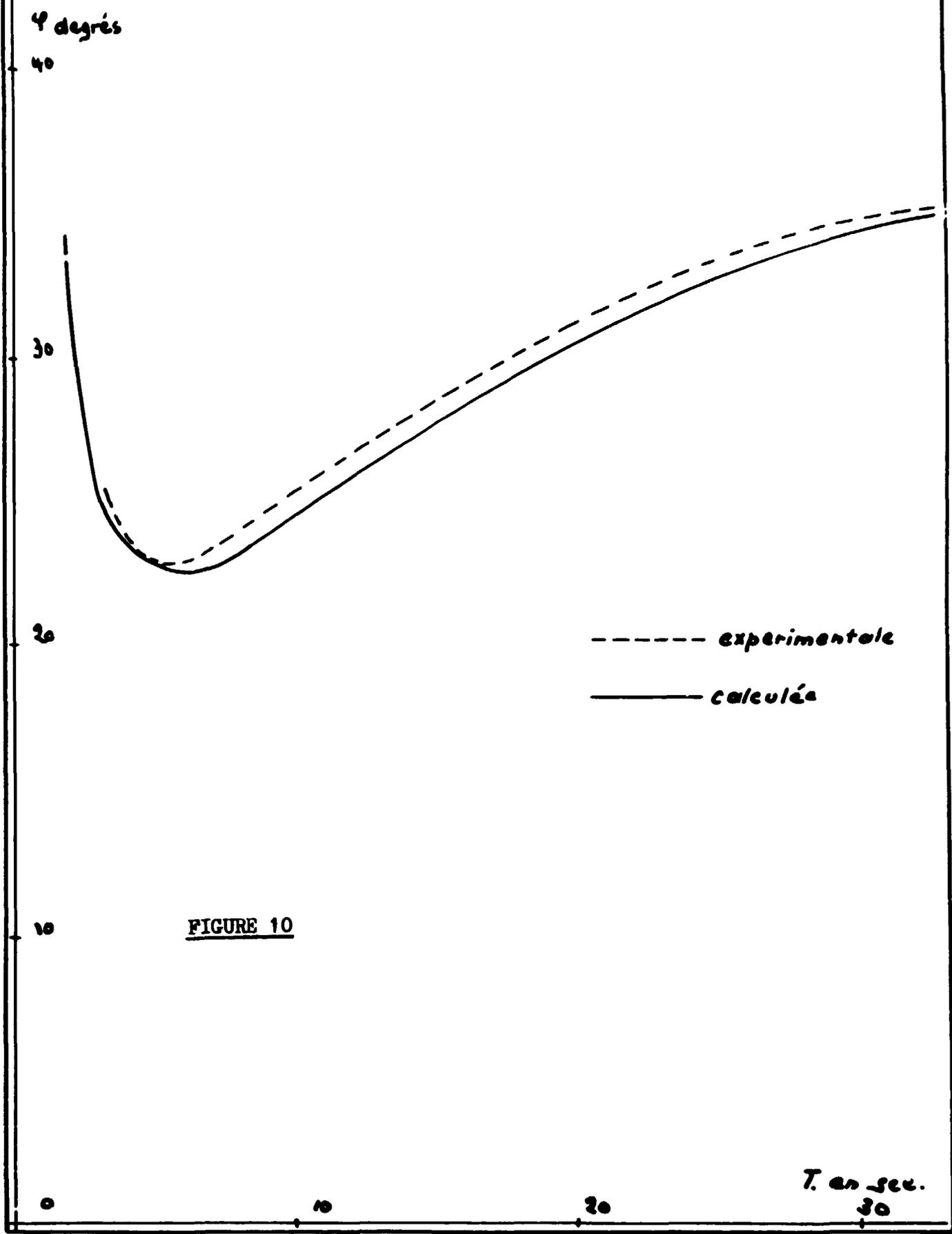


FIGURE 9 Variation de l'amplitude R et de la phase θ du signal résultant en fonction de la capture de l'oscillateur
 (pour $\lambda = \pm 30,5$ cm
 $r_0 = 240$ cm
 $T = 4,5$ sec. puissance 400 watts)

Déphasage du signal global en fonction de la fréquence



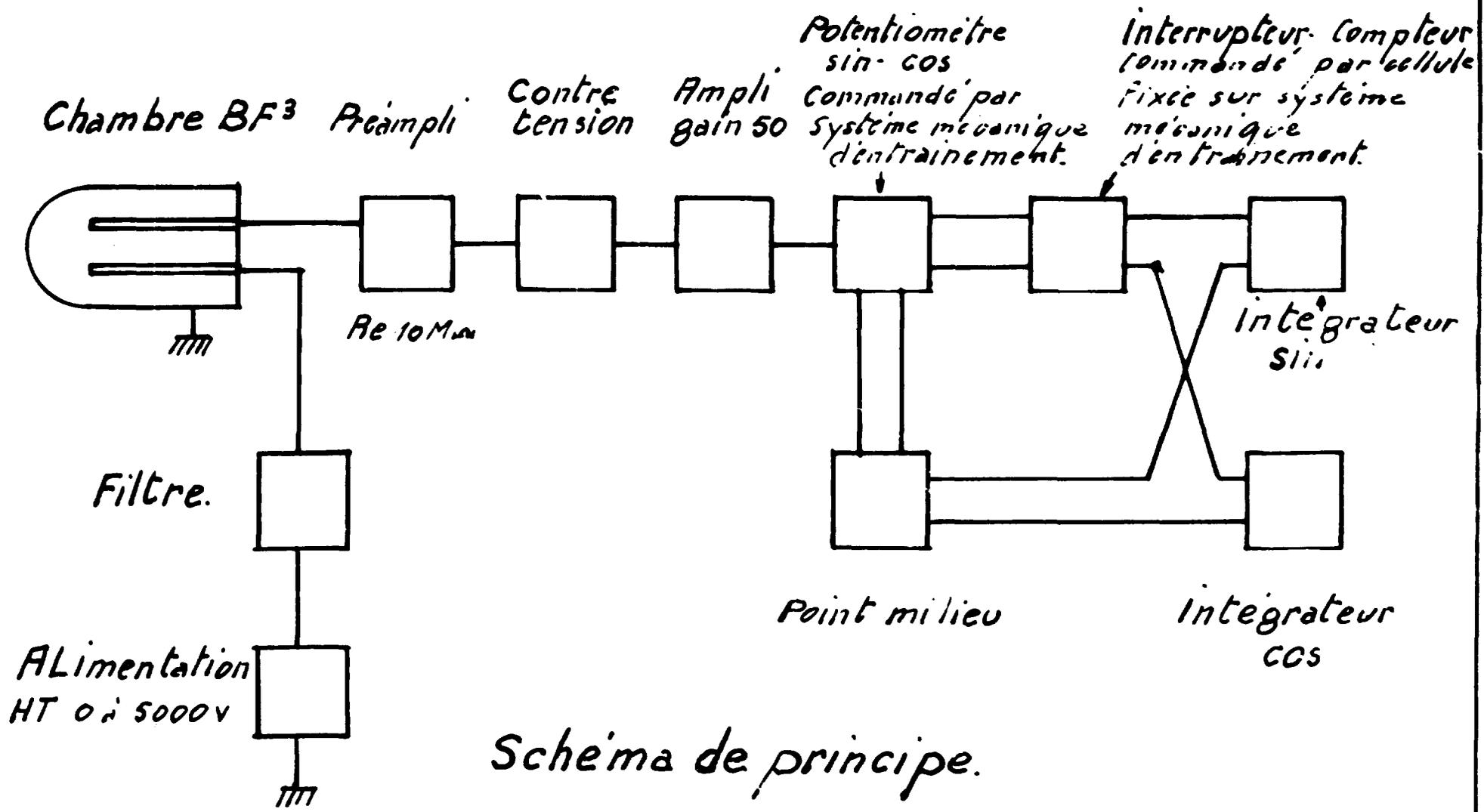


FIGURE 11

FIN