50376
1960
63

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE
SECTION DE SCIENCES
LILLE

50376
1960
63

F A C U L T E D E S S C I E N C E S

D E L I L L E

C O N S T R U C T I O N D' U N E M I C R O S O N D E P I E Z O E - L E C T R I Q U E - S E S C A R A C T E R I S T I Q U E S - C O N - T R I B U T I O N A L' E T U D E D E L A R E P R O D U C T I B I - L I T E D E S M E S U R E S.

Diplome d'Etudes Supérieures

de

Sciences Physiques

par

Michel VIRICEL

soutenu le 28 NOVEMBRE 1960 devant la

commission d'examen :

MM Président

Examinateurs

Le sujet de ce travail m'a été proposé par Monsieur Norbert SEGARD . Il a été effectué sous sa direction et celle de Monsieur POULIQUEN dans les laboratoires de la Faculté Libre des Sciences de Lille et de L'Institut Supérieur D'Electronique du Nord.

Qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie Messieurs

de la bienveillance avec laquelle ils ont suivi ce travail et d'en constituer le jury.

Puis-je exprimer ma gratitude envers tous les professeurs de la Faculté et de l' I.S.E.N.

Je tiens à, remercier Monsieur VALET, chargé d'électronique à l'I.P.E. de Lyon pour l'aide technique qu'il m'a apportée dans la réalisation de la sonde .

INTRODUCTION

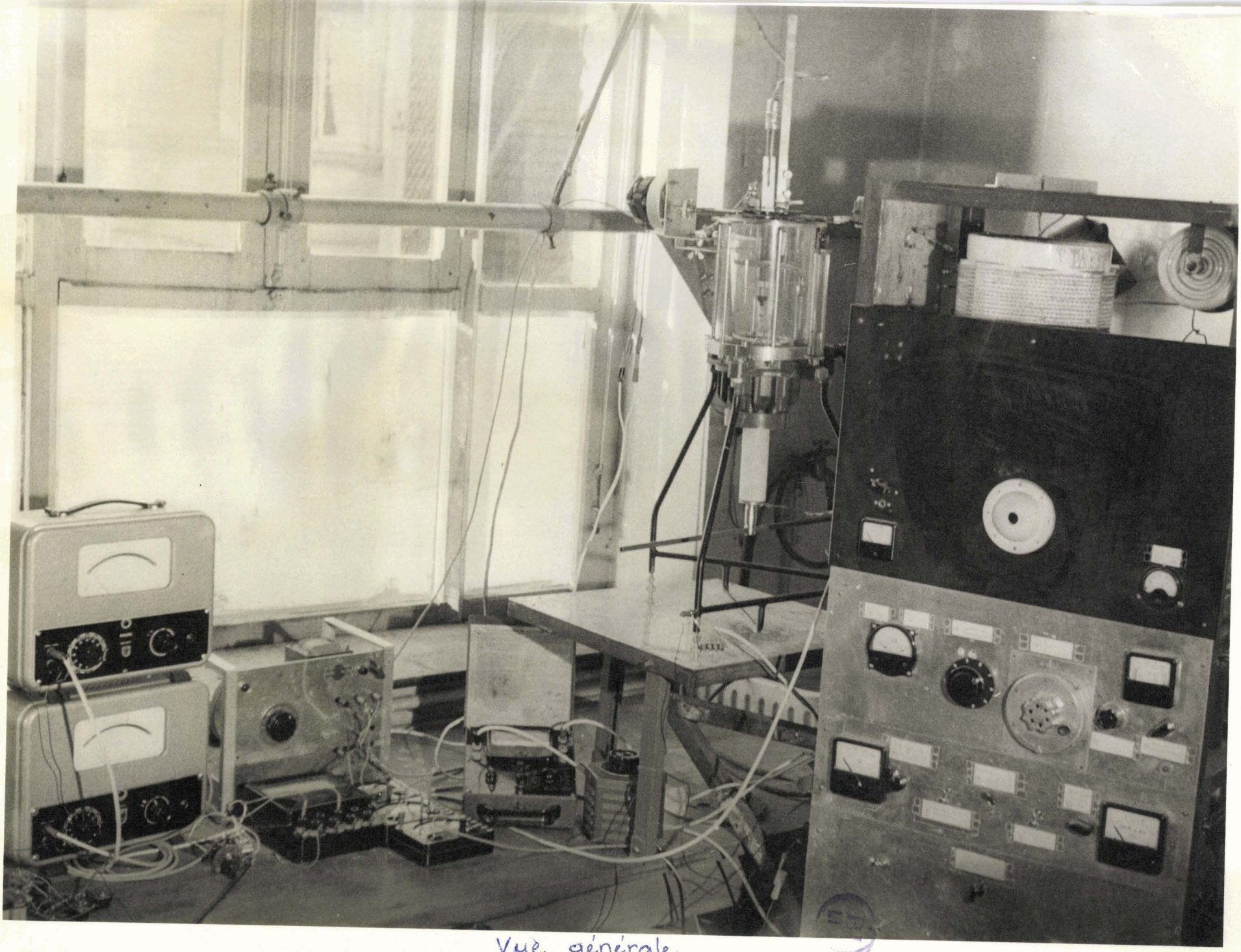
Le but essentiel de ce travail est la mise au point d'une nouvelle sonde piezoelectrique destinée à la mesure de l'énergie ultrasonore.

Une sonde utilisant un quartz comme élément récepteur avait été mise au point dans les laboratoires de l'I.S.E.N. par Melle CASSETTE (Mme DEFFONTAINES) (7) . Dans la nôtre nous avons fait choix d'une céramique au titanate de baryum comme élément récepteur.

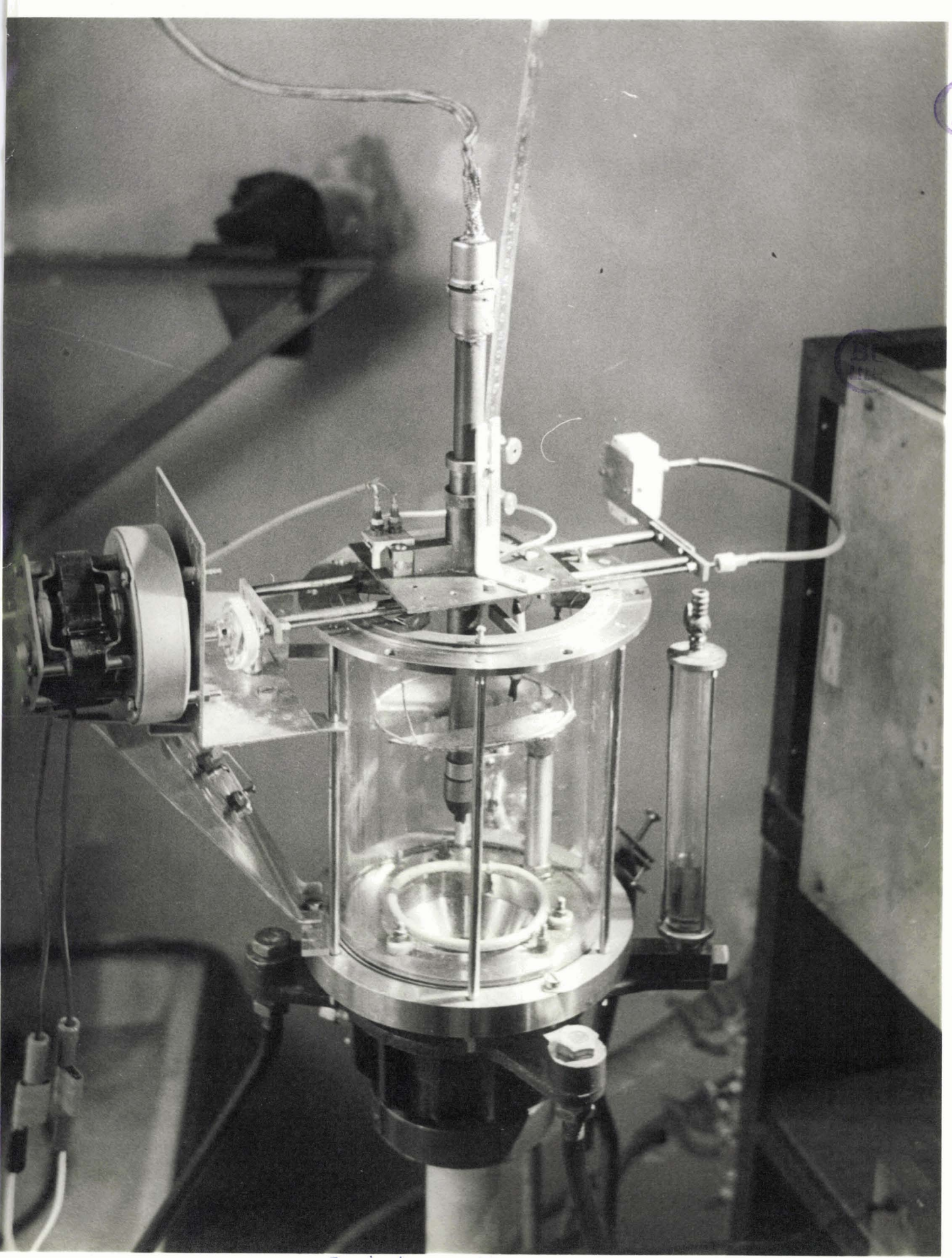
Dans une première partie, nous traiterons d'une façon théorique les problèmes concernant les céramiques au titanate de baryum, notamment la définition de leurs textures et de leurs modules piézoélectriques. Nous verrons comment utiliser ce matériau pour l'exploration des champs ultrasonores.

La seconde partie présentera le dispositif automatique d'enregistrement. En effet, les dimensions plus restreintes de la sonde nous ont amenés à multiplier les pointés, ce qui nécessitait un enregistrement continu. Nous ferons aussi une étude détaillée des caractéristiques de la sonde.

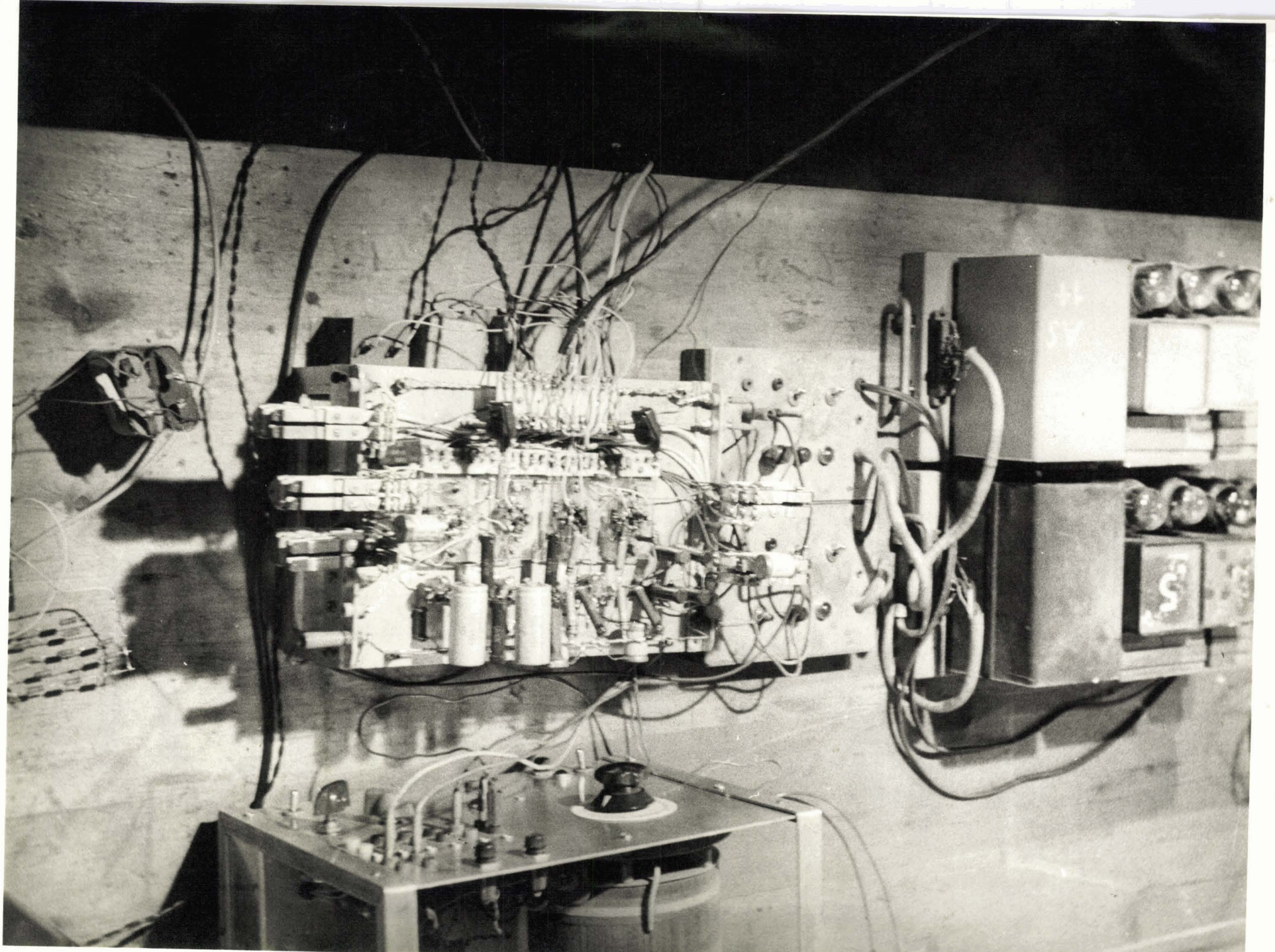
Dans la troisième partie, nous chercherons à déterminer l'influence de divers paramètres sur la reproductibilité du champ ultrasonore. Et nous relaterons les résultats concernant les conditions de stabilité de l'émission ultrasonore.



Vue générale



Projecteur ultrasonore



Bascules

G R A N D E U R S M E S U R E E S

PRINCIPE DES MESURES

1/- PUISSANCE TRANSPORTEE PAR UN FAISCEAU ULTRASONORE.

a/ définitions

On appelle puissance ultrasonore P la quantité d'énergie communiquée au milieu ultrasoné en une seconde.

En admettant que le quartz vibre d'une façon uniforme, l'intensité acoustique I sera définie par la puissance émise par unité de surface du quartz. $I = \frac{P}{S}$

Mais dans le cas où le quartz ne vibrerait pas d'une façon uniforme, l'intensité au point M considéré sera définie comme une limite.

$$I_M = \lim_{ds \to 0} \left(\frac{dP}{dS} \right)_M$$

Si nous faisons l'hypothèse des ondes planes, l'intensité émise est la quantité d'énergie qui traverse par unité de temps toute unité de surface orientée parallèlement au front d'onde dans le faisceau.-

b/ puissance acoustique d'un faisceau ultrasonore

Cherchons à déterminer l'intensité et la puissance acoustique du faisceau.

Pour cela, considérons d'une façon théorique un quartz vibrant uniformément et harmoniquement . A l'instant T , le déplacement de sa surface par rapport à la position d'équilibre est défini par :

$$a_Q = A \sin \omega t$$

Admettons aussi qu'il crée dans le liquide ultrasoné un train d'ondes planes progressives ; au même instant T , à la distance du quartz l'ébranlement a pour expression

$$a = A \sin \left(\omega t - \frac{x}{V} \right)$$

ceci en négligeant le phénomène d'absorption -

L'énergie que possède un élément de volume ultrasoné S dx est composée :

- d'une énergie cinétique , d Wc due au mouvement des particules liquides
- d'une énergie potentielle d Wp due à la pression subie.

Or on démontre (5) que l'énergie cinétique d'une portion de fluide parcouru par des ondes progressives planes est égale à son énergie potentielle . Donc l'énergie totale de l'élément de volume sera :

$$dW_T = dW_c + dW_p = 2\,dW_c$$
$$= 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (\rho_o \cdot S \cdot dx) \cdot \left(\frac{\partial a}{\partial t}\right)^2$$
$$= \rho_o \cdot S \cdot dx \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2\left[\omega\left(t - \frac{x}{V}\right)\right]$$

La valeur moyenne de cette expression est :

$$W_T = \frac{1}{T}\int_o^T dW_T \cdot dt = \rho_o \cdot S \cdot dx \cdot A^2\omega^2 \cdot \frac{1}{T}\int_o^T \cos^2\left[\omega\left(t - \frac{x}{V}\right)\right] dt$$
$$= \frac{1}{2}\rho_o \cdot S \cdot dx \cdot A^2 \cdot \omega^2$$

Or pendant l'unite de temps, les ondes ont parcouru une distance V ; si on désigne par σ la densité d'énergie vibratoire par unité de volume , l'intensité acoustique aura pour expression :

$$I = \sigma \cdot V$$

D'où les expressions :

$$\sigma = \frac{W_T}{S \cdot dx} = \frac{1}{2}\rho_o \cdot A^2 \cdot \omega^2$$
$$I = \frac{1}{2}\rho_o \cdot V \cdot A^2 \cdot \omega^2$$
$$P = \frac{1}{2}\rho_o \cdot V \cdot S \cdot A^2 \cdot \omega^2$$

2/ MESURE DE LA PUISSANCE ULTRASONORE.

Cherchons les expressions de l'intensité et de la puissance acoustique en faisant intervenir l'amplitude Δp des variations alternatives de pression dues au passage des ultrasons dans le liquide.

Le passage de l'onde au point M est supposé adiabatique et l'amplitude Δp a pour expression :

$$\Delta p = -\frac{\theta}{\chi_{ad.}} = \frac{\text{(dilatation)}}{\text{(coefficient de compression adiabatique)}}$$

$$\Delta p = -\frac{1}{\chi_{ad.}}\left(\frac{\partial a}{\partial t}\right) = \frac{A\omega}{\chi_{ad} \cdot V} \cdot \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{V}\right)\right]$$

L'amplitude maximum des variations alternatives de pression est donnée par :

$$\Delta p = \frac{A\omega}{\chi_{ad} \cdot V} \qquad \text{et} \qquad V = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \cdot \chi_{ad}}}$$

on déduit les expressions

$$I = \frac{(\Delta p)^2}{2\rho_0 \cdot V}$$

$$P = \frac{S \cdot (\Delta p)^2}{2 \cdot \rho_0 \cdot V}$$

Le principe de notre mesure de l'intensité acoustique est le suivant : une céramique piezoélectrique est soumise à un effort variable ; celui-ci développe à chaque instant sur ses faces une quantité d'électricité proportionnelle à l'effort appliqué ; la différence de potentiel qui s'établit entre les faces de la céramique, après adaptation d'impédance est redressée et reportée sur un appareil de mesure, ou un enregistreur.

Supposons, notre céramique plongée dans le milieu ultrasoné et placée normalement à la direction de propagation des ultrasons . A chaque instant, elle est soumise à une variation sinusoïdale de pression de la forme :

$$p = (\Delta p) \cdot S \cdot \sin \omega t$$

où : Δp est l'amplitude.

S la surface de la céramique.

Or, celle-ci ayant pour diamètre 4 mm, nous pouvons considérer que toute sa surface est soumise à la même amplitude : Δp -

Si , K est le module piézoélectrique de la céramique , la quantité d'électricité qui apparaît sur ses faces est :

$$q = k \cdot (\Delta p \cdot S) \sin \omega t$$

La différence de potentiel efficace qui naitra sera : $\delta U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{k \cdot (\Delta p \cdot S)}{C_0}$

- Mais en fait, nous devons mesurer une tension après le dispositif adaptateur ; donc la charge qui est née sur les faces de la céramique est répartie sur toute la capacité d'entrée et la différence de potentiel est réduite dans le rapport :

$$A = \frac{C_o}{C_o + \Sigma C}$$

où : Co = capacité propre de la céramique

C = capacité d'entrée du dispositif adaptateur.

Et si nous désignons par a le gain de ce dispositif , nous avons pour expression du signal mesuré

$$\Delta U_{eff} = \frac{a.A}{\sqrt{2}} \cdot \frac{k.\Delta p.S}{C_o}$$

Nous voyons ainsi que le signal considéré est proportionnel aux variations de pression ; donc la puissance ultrasonore au point considéré sera proportionnelle à ΔU^2 -

REMARQUE

Nous n'avons pas fait intervenir le facteur de Langevin, il met en évidence, la diminution de la tension recueillie aux bornes de l'élément piézoélectrique, quand le récepteur a même fréquence que l'émetteur.- Pour un quartz ce facteur est : 3,26 - . En effet la céramique a une fréquence différente : F = 1070,65 KHz de celle de l'émetteur : F = 900 KHz -

D O N N E E S T H E O R I Q U E S E T E X P E R I M E N T A L E S

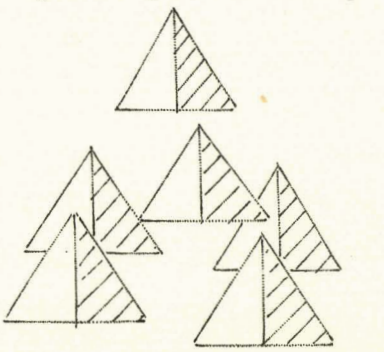
S U R L A C E R A M I Q U E

TEXTURES PIEZOELECTRIQUES

1/ - SYMETRIE DANS LES TEXTURES.

Une texture est un corps homogène possédant une structure dépourvue de réseau et formé de corpuscules élémentaires orientés dans l'espace selon les lois de la symétrie . Exemple de texture : les cristaux en aiguilles ou lamellaires -

Prenons un cristal asymétrique comme particule élémentaire que nous représenterons par un triangle rectangle dont l'une des faces est blanche et l'autre est noire- Multiplions cette particule en lui faisant subir des translations T ,arbitraires en grandeur et en direction de façon à obtenir une densité à peu près uniforme . Si les particules sont petites , la texture peut-être considérée comme homogène .Nous aurons un élément appartenant au groupe ponctuel asymétrique 1 et au groupe spatial T .



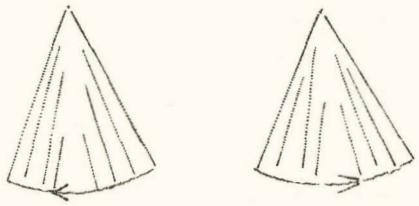
Envisageons le cas d'une symétrie ponctuelle d'ordre 2 . Elle est caractérisée par la figure ci-contre ; les deux triangles sont accolés et leurs faces sont intervertis ; si on fait subir à cette particule une translation T , on a une texture (2)T

Donc on peut désigner l'aspect d'une texture par la notation G (T) : G désigne le groupe ponctuel et T le groupe spatial.

Parmi les groupes ponctuels, on s'attache particulièrement aux groupes : (G ∞) qui comportent des axes d'ordre infini ; ces groupes sont au nombre de sept et sont appelés groupes ponctuels liminaires . Etudions les deux premiers groupes , ce qui nous permettra de définir la texture de notre céramique en titanate de baryum.

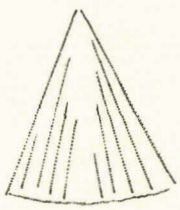
- Premier groupe ponctuel : ∞

Le groupe ne possède aucun élément de symétrie, si ce n'est l'axe ∞ lui-même ; les figures illustrant ce groupe se présentent sous deux formes énantiomorphes, gauche et droite selon le schéma ci-contre .



-Deuxième groupe ponctuel : $(\infty \cdot m)$

le groupe comporte en plus de l'axe ∞ un nombre infini de plans de symétrie longitudinaux . Le point dans la formule $(\infty \cdot m)$ indique le parallélisme entre l'axe et le plan m - La figure ci-contre illustre ce groupe.



Il est facile de comprendre que l'axe d'ordre ∞ pour un élément ponctuel sera un axe de la texture -.

Après polarisation dans un champ électrique continu intense, le titanate de Ba polycristallin se transforme en textures : $\infty \cdot m$
Nous avons ainsi défini la texture de la céramique utilisée dans notre sonde -.

2:/ POLARISATION DES TEXTURES.

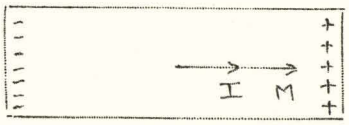
a/- le moment électrique

Considérons un diélectrique parfait dans lequel les charges ponctuelles positives et négatives sont uniformément distribuées et liées entre elles - Les charges d'un même signe peuvent se déplacer par rapport aux charges contraires environnantes, mais non présenter un mouvement de progression au sein du diélectrique.

Si Q est la charge totale d'un même signe, ℓ la distance des centres de gravité des charges positives et négatives le moment électrique du diélectrique polarisé est :

$$M = Q \cdot \ell$$

b/ Intensité de Polarisation .



Dans le cas d'un diélectrique parfait ,on peut décomposer l'échantillon en feuillets infiniment minces portant les charges $+\sigma S$ et $-\sigma S$ En juxtaposant ces feuillets les charges s'annulent et il ne reste que les charges réparties sur les extrémités: $+\sigma S$ et $-\sigma S$ avec l représentant la longueur de l'échantillon.

On définit l'intensité de polarisation comme le moment électrique par unité de volume.

$$I = \frac{M}{V} \qquad \frac{\sigma . S . l}{S . l} = \sigma$$

c/ Condensateur à diélectrique isotrope.(unités u.e.s)

Pour un condensateur plan vide, la densité superficielle a pour valeur :

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

et le champ à l'intérieur des armatures : $E = 4\pi\sigma$

Introduisons une lame de diélectrique isotrope entre les armatures . Si Q_o est la charge du condensateur à vide, la nouvelle charge Q_1 sera plus petite à cause de la quantité d'électricité induite dans le diélectrique: on travaille à charges constantes :

$$Q_1 = Q_o - Q_2$$

$$4\pi\sigma_1 = 4\pi\sigma_o - 4\pi\sigma_2$$

Nous passons à l'expression des champs :

$$E = D - 4\pi I$$

En posant : $\varepsilon = \frac{D}{E}$ =pouvoir inducteur spécifique.

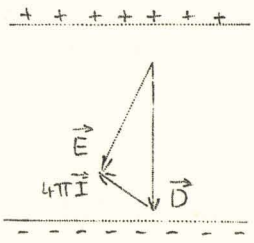
$\chi = \frac{I}{E}$ = susceptibilité diélectrique

on a les deux expressions :

$$D = E + 4\pi I$$

$$\varepsilon = 1 + 4\pi\chi$$

d/ Condensateur à diélectrique amisotrope

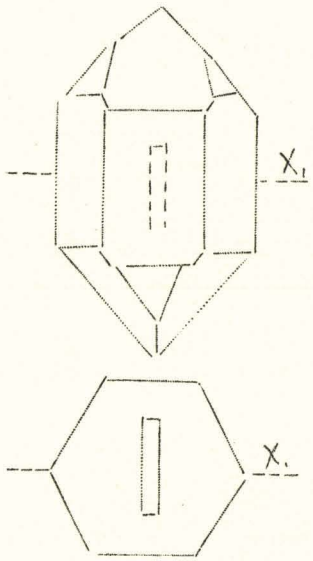


Si nous introduisons un diélectrique anisotrope nous sommes obligés de considérer les grandeurs vectorielles . Le vecteur $\vec{D}$ est toujours perpendiculaire aux lames du condensateur . Nous avons la relation vectorielle :

$$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{I}$$

e/ La polarisation piézoélectrique dans un cas simple

C'est la polarisation qui apparaît dans certains diélectriques, sous l'influence de tensions ou déformations mécaniques.



Prenons le cas d'une lame de quartz découpée perpendiculairement à l'axe électrique ou une lame de titanate de Ba cuit polarisée dans la direction de sa normale.

Si une telle lame est soumise à une compression uniforme dans le sens de l'épaisseur des charges de signe contraire apparaissent sur ses faces.

Comme l'application d'une force s'accompagne d'une compression et le retrait de cette force d'une distension de la lame, nous pouvons dire que la modification du signe de la force entraîne un changement de signe pour les charges.

L'effet inverse consiste dans l'apparition de déformations lorsqu'on confère aux deux faces de la lame des charges de signe contraire-

L'expérience montre que la valeur de la charge Q apparaissant sur une face est , dans un large intervalle des valeurs de la force F, proportionnelle à cette dernière:

$$Q = d \cdot F$$

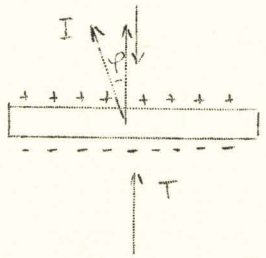
Le coefficient de proportionnalité d est le module piézoélectrique.
En divisant par la surface on a :

$$\sigma = d \cdot T$$

σ est la densité de charge.

T est la tension normale .

Or, pour un diélectrique isotrope , σ est numériquement égal à I . Pour les cas que nous étudions , la normale à la lame se confond avec l'axe de symétrie pour la lame de quartz ou avec l'axe ∞ pour la lame de titanate. Donc pour des raisons de symétrie , le vecteur de polarisation est orienté perpendiculairement à la lame , bien qu'ils s'agissent de lames anisotropes . Nous pouvons écrire :



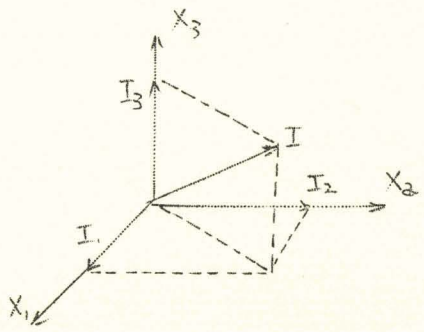
$$I = d.T$$

Dans le cas d'un diélectrique anisotrope où le vecteur $\vec{I}$ n'est plus normal à la lame, on écrira .

$$I . \cos\varphi = d.T$$

3/ Tenseur piézoélectrique

a/ composantes du vecteur polarisation.



Repérons le vecteur polarisation dans un système d'axes orthonormés (x_1, x_2 x_3) à trois dimensions en désignant par C_1 , C_2 , C_3 , les cosinus directeurs:

$$I_1 = C_1 . I$$
$$I_2 = C_2 . I$$
$$I_3 = C_3 . I$$

Prenons un nouveau système d'axes orthonormés (X_1' , X_2' , X_3') et désignons par C_{ik} le cosinus de l'axe (i) dans l'ancien système et de l'axe (k) dans le nouveau . Les nouvelles composantes du vecteur $\vec{I}$ dans le système (2) seront données par l'application linéaire :

$$(I') = A (I)$$

(A) est la matrice de transformation :

$$(A) = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{pmatrix}$$

Les équations peuvent se mettre sous la forme simplifiée :

$$I'_i = \sum_{K=1}^{3} c_{Ki} I_K \qquad 1 \leq i \leq 3$$

$$I_i = \sum_{K=1}^{3} c_{iK} I'_K \qquad 1 \leq K \leq 3$$

b/ tension et déformation

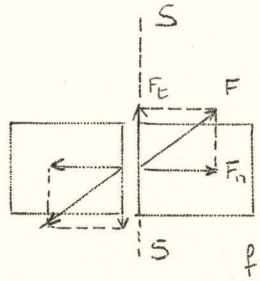


fig I

Prenons un solide que nous supposerons divisé en deux parties par un plan S . Sur chaque élément dS agissent deux forces opposées dF, si le corps est en équilibre - Pour une tension homogène, nous aurons une résultante générale F .

La force F se décompose en :

- une tension normale : F_n / S
- une tension tangentielle : F_t / S

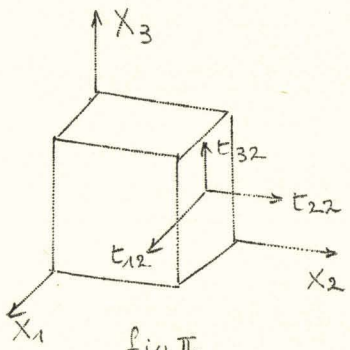


fig II

Pour décrire l'état de tension d'un corps, on le rapporte à trois axes orthonormés en utilisant le tenseur des forces :

$$\begin{matrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} \\ t_{21} & t_{22} & t_{32} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} \end{matrix}$$

La notation t(ik) indique que la tension est dirigée selon l'axe (i) sur le plan perpendiculaire à (k).

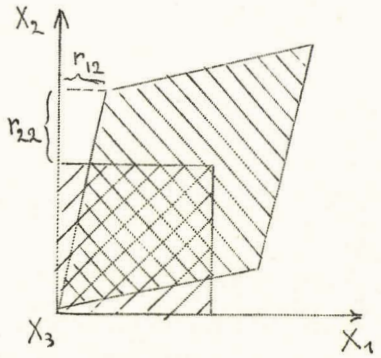
CONVENTION DE SIGNES :

- Les forces normales sont positives quand elles tendent à fragmenter le corps, selon le plan S (fig I)
- Les forces tangentielles sont positives quand elles tendent à diminuer l'angle entre les axes correspondants ; ex : t_{I2} dans la fig. II-

Nous pouvons passer à un nouveau système d'axes (X'_1, X'_2, X'_3) par les formules de transformation :

$$t'_{ik} = \sum_{l=1}^{3} \sum_{m=1}^{3} c_{li} \cdot c_{mk} \cdot t_{lm}$$

$$t_{ik} = \sum_{l=1}^{3} \sum_{m=1}^{3} c_{il} \cdot c_{km} \cdot t'_{lm}$$



Nous pouvons représenter la déformation par un tenseur analogue au précédent :

$$\begin{matrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{matrix}$$

La notation r(ik) signifie que le point situé sur l'axe (i) se déplace dans le sens de l'axe (k) ;

r_{ii} exprime un allongement ;

r_{ij} exprime un déplacement.

-CONVENTION DE SIGNES.:

Pour les termes r_{ii} , l'allongement est positif et le rétrécissement négatif.

Pour les termes r_{ij} , une augmentation d'angle entre les extrémités positives des axes est considéréecomme positive.

c/ tenseur piezoélectrique.

La théorie générale de la piézoélectricité admet qu'il existe une relation linéaire entre les composantes du vecteur $\vec{I}$ et les composantes de la tension :

$$I_1 = d_{111}\ t_{11} + d_{122}\ t_{22} + \text{----------} + d_{121}\ t_{21}$$
$$I_2 = d_{211}\ t_{11} + d_{222}\ t_{22} + \text{----------} + d_{221}\ t_{21}$$
$$I_3 = d_{311}\ t_{11} + d_{322}\ t_{22} + \text{----------} + d_{321}\ t_{21}$$

Ce que l'on note commodément par le schéma .

	t_{11}	t_{22}	t_{33}	t_{23}	t_{32}	t_{31}	t_{13}	t_{12}	t_{21}
I_1	d_{111}	d_{122}	d_{133}	d_{123}	d_{132}	d_{131}	d_{113}	d_{112}	d_{121}
I_2	d_{211}	d_{222}	d_{233}	d_{223}	d_{232}	d_{231}	d_{213}	d_{212}	d_{221}
I_3	d_{311}	d_{322}	d_{333}	d_{323}	d_{332}	d_{331}	d_{313}	d_{312}	d_{321}

Les coefficients (dickl) sont les modules piézoélectriques au nombre de 27, qui donnent un tenseur de 3° ordre.

- t_{11} représente la tension normale selon l'axe X_1.
- $t_{2,3}$; t_{32} représentent l'action tangentielle autour de l'axe X_1.

Pour passer d'un système de coordonnées à un autre, on utilisera les formules:

$$d'_{ikl} = \sum_{m=1}^{3} \sum_{n=1}^{3} \sum_{o=1}^{3} c_{mi} \cdot c_{nk} \cdot c_{ol} \cdot d_{mno}$$

$$d_{ikl} = \sum_{m=1}^{3} \sum_{n=1}^{3} \sum_{o=1}^{3} c_{im} \cdot c_{kn} \cdot c_{lo} \cdot d'_{mno}$$

Faisons une simplification, en utilisant la relation t(i k)= t(k i); ceci est vérifié en élasticité pour les processus isothermiques et adiabatiques-. Le tenseur a pour expression :

	t_{11}	t_{22}	t_{33}	t_{23}	t_{31}	t_{12}
I_1	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}
I_2	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}	d_{25}	d_{26}
I_3	d_{31}	d_{32}	d_{33}	d_{34}	d_{35}	d_{36}

La transition entre les indices à 3 chiffres et ceux à 2 chiffres se fait immédiatement :

$$d_{11} = d_{111}$$

$$d_{14} = 2\, d_{123} = 2 d_{132}$$

La cristallographie nous permet de simplifier le tenseur piézoélectrique en choisissant judicieusement les axes;par exemple, s'il y a un centre de symétrie dans le milieu,tous les piézomodules sont nuls -

Parmi les milieux anisotropes d'axe. d'ordre infini, trois groupes présentent des caractères piézoélectriques ; l'un de ces trois groupes est $[\infty . m]$ qui constitue le titanate de Ba. polycristallin après polarisation dans un champ électrique intense. Son tenseur s'écrit :

	t_{11}	t_{22}	t_{33}	t_{23}	t_{31}	t_{12}
I_1	0	0	0	0	dI5	0
I_2	0	0	0	d_{I5}	0	0
I_3	d_{31}	d_{31}	d_{33}	0	0	0

Si nous considérons l'effet piézoélectrique comme conséquence de déformations mécaniques , nous avons le tenseur :

	r_{11}	r_{22}	r_{33}	$2r_{23}$	$2r_{31}$	$2r_{12}$
I_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}	e_{16}
I_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	e_{24}	e_{25}	e_{26}
I_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	e_{34}	e_{35}	e_{36}

Parallèlement à l'effet piézoélectrique direct,dû à la déformation mécanique,il existe un effet inverse : c'est l'apparition de tensions ou de déformations mécaniques sous l'influence d'un champ électrique E - les équations fondamentales reliant $\vec{E}$ aux tensions ou aux déformations mécaniques se mettent sous la forme :

	E_1	E_2	E_3
t_{11}	d'_{11}	d'_{21}	d'_{31}
t_{22}	d'_{12}	d'_{22}	d'_{32}
t_{33}	d'_{13}	d'_{23}	d'_{33}
t_{23}	d'_{14}	d'_{24}	d'_{34}
t_{31}	d'_{15}	d'_{25}	d'_{35}
t_{12}	d'_{16}	d'_{26}	d'_{36}

	E_1	E_2	E_3
t_{11}	e'_{11}	e'_{21}	e'_{31}
t_{22}	e'_{12}	e'_{22}	e'_{32}
t_{33}	e'_{13}	e'_{23}	e'_{33}
t_{23}	e'_{14}	e'_{24}	e'_{34}
t_{31}	e'_{15}	e'_{25}	e'_{35}
t_{12}	e'_{16}	e'_{26}	e'_{36}

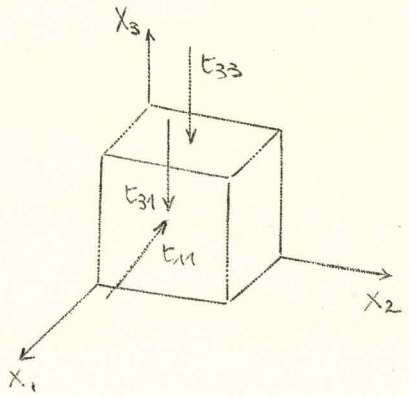
3/ TENSEUR PIEZOELECTRIQUE DES MILIEUX :

Le milieu est précisément celui du titanate de baryum polycristallin, comme nous l'avons dit - En utilisant le tenseur donné précédemment, on a les équations :

$$I_1 = d_{15}\ t_{31}$$
$$I_2 = d_{15}\ t_{23}$$
$$I_3 = d_{31}\ (t_{11} + t_{22}) + d_{33}\ t_{33}$$

à condition de prendre pour axe de coordonnées X_3 l'axe de symétrie . Pour un titanate , c'est l'axe constitué par l'orientation de la polarisation constante .

Donnons en quelques mots le mode de détermination du module piézoélectrique d_{33} d'un titanate de Ba.



Prenons un cube dont les arêtes sont parallèles aux axes X_1, X_2 ,X_3 et exerçons une pression unilatérale t_{33}. On mesure la charge: $\sigma = I_3$. Les équations suivantes donnent la valeur de : d_{33}

$$I_1 = 0$$
$$I_2 = 0$$
$$I_3 = d_{33} \cdot t_{33}$$

On peut déterminer le module piézoélectrique d_{31} d'une façon analogue . On soumet le petit cube à une pression unilatérale t_{11} et on mesure la charge $\sigma_3 = I_3$ sur la face normale à X_3 . On déduit la valeur du module piézoélectrique:

$$I_1 = 0$$
$$I_2 = 0$$
$$I_3 = d_{31} \times t_{11}$$

Pour mesurer le module d_{15} , on soumet le cube à une tension tangente t_{31} et on mesure la charge $\sigma_1 = I_1$ sur la face normale à X_1 . On a :

$$I_1 = d_{15}\ t_{31}$$
$$I_2 = 0$$
$$I_3 = 0$$

Si les conditions pratiques ne permettent pas de créer une tension t_{31}, il existe une voie détournée pour déterminer d_{15}

4/ DETERMINATION PRATIQUE DES MODULES PIEZOELECTRIQUES D'UN MILIEU

Il existe deux sortes de méthodes pour effectuer cette mesure: les méthodes dynamiques lorsqu'on applique la tension mécanique en une seule fois et les méthodes pulsatoires lorsqu'on applique la tension mécanique périodiquement,avec une fréquence généralement faible.

Shubnikov (4) a mesuré les modules piézoélectriques du titanate de Ba céramique en utilisant la première méthode;les valeurs trouvées sont :

$d_{33} = 270 \cdot 10^{-8}$ u.e.s
$d_{31} = 110 \cdot 10^{-8}$ u.e.s
$d_{15} = 200 \cdot 10^{-8}$ u.e.s

Dans nos mesures,nous trouverons :

$d_{33} = 389 \cdot 10^{-8}$ u.e.s.

Cet écart s'explique en notant les paramètres qui peuvent influencer la polarisation : forme de l'échantillon,intensité du champ électrique appliqué , etc.....

RESULTATS EXPERIMENTAUX

1/ Mesure du module piézoélectrique.

Nous utilisons une céramique fabriquée par la Société "QUARTZ & SILICE", répondant aux caractéristiques:

- diamètre : ϕ = 4 mm.
- fréquence de résonance : 1070,65 KHz, ce qui donne une épaisseur d'environ : 2,5 mm.
- faces argentées sans électrode soudée-

Nous ne connaissions pas la valeur du module piézoélectrique de la céramique. Or, il nous est indispensable de le connaître afin de pouvoir étalonner notre sonde.

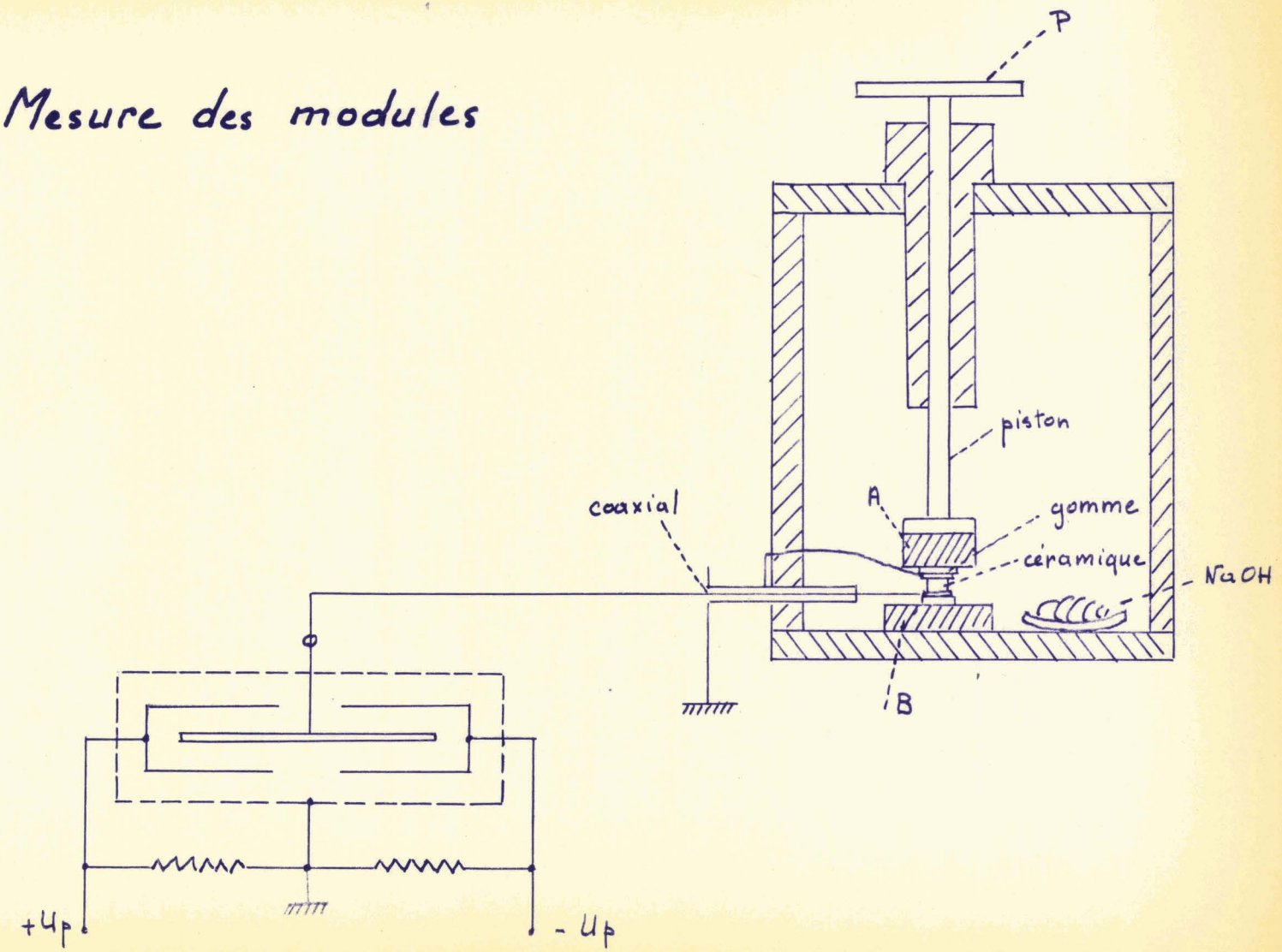
Des essais préliminaires avec pression d'azote sur la face de la céramique aboutissaient à des résultats peu concluants étant donné que la pression s'exerçait aussi sur les faces latérales de la céramique.

Finalement, nous avons adopté le dispositif représenté sur la figure ci-contre- Une chambre en plexiglass assure une étanchéité pour l'humidité à peu près parfaite - Un piston dont le guidage a été soigné pour que le frottement soit à peu près nul transmet la charge P à la céramique.

Cette dernière est montée entre deux feuilles d'aluminium assurant le contact entre le câble coaxial et les faces argentées de la céramique. Sur les deux blocs de plexiglass A et B , nous avons collé un tampon de gomme dure pour assurer une transmission homogène de la pression.

Un câble coaxial transmet la différence de potentiel recueillie aux bornes de la céramique à un électromètre à quadrants n'ayant aucune consommation et dont la résistance d'isolement est très grande- Un essai avec un voltmètre électronique n'a donné aucun résultat, l'impédance d'isolement n'étant pas assez grande pour éviter la décharge de la céramique. L'électromètre a été monté en hétérostatique pour assurer un équilibre parfait, comme le montre le schéma.

Mesure des modules



Une source d'ennuis pour les mesures trouve son origine dans l'humidité de l'air ambiant - En effet en exerçant une pression sur la céramique nous obtenions bien une différence de potentiel, mais la décharge était presque instantanée. Après avoir étudié l'isolement de chaque partie du circuit, nous avons conclu que cela tenait à l'humidité de l'air- Nous avons ajouté une coupelle contenant de la soude caustique à l'intérieur de l'enceinte : nous avons supprimé complètement la décharge.

a/ . mesure du module piézoélectrique

Le module piézoélectrique est défini par la relation :

$$k = \frac{Q}{F} = \frac{CV}{F}$$

Q est la charge apparaissant sur les faces de la céramique Celle-ci forme une capacité statique C , et le phénomène se traduit par une différence de potentiel enregistrée par l'électromètre. F est la force appliquée.

Nous avons donc exercé sur le plateau P différentes charges allant de 200 g à 1000 g - Les valeurs plus faibles ont été rejetées, car les forces de frottement interviennent. Dans la deuxième série de mesure, nous avons ajouté un petit condensateur à air aux bornes de la céramique afin de déterminer la capacité de l'électromètre et des liaisons coaxiales- En effet, nous devons considérer que les charges se répartissent sur toutes les capacités du circuit : céramique , cable coaxial, électromètre; une correction était donc nécessaire.

Nous pouvons tracer les deux courbes $V = f(P)$ selon le tableau de valeurs ci-après . Nous constatons que les courbes sont linéaires, donc qu'il y a proportionnalité, entre la force exercée et la charge qui apparait sur les faces de la céramique.

II-2-b

Courbe : V = f(P)

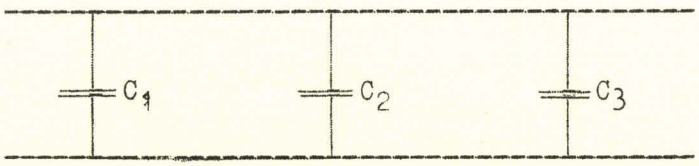
Tochon Lepage Paris

- Tableau II a :

	Sans capacité	Avec capacité
Force exercée (g)	V (v)	V (v)
200	3	
300	4,35	
400	5,8	3,6
500	7,2	4,55
600	8,8	5,25
700	I0,I5	6,3
800	II,2	7,25
900	I2,15	8,2
1000	I3,6	9,15
1100	I4,85	

C/ - calcul du module piézoélectrique .

Les capacités à envisager peuvent être représentées par le schéma suivant:



C_1 = capacité de l'électromètre et du câble coaxial

C_2 = capacité statique de la céramique = 36 pF

C_3 = capacité additive = 46,4 pF

Nous avons la relation générale :

$$\frac{V}{F} = \frac{K}{C}$$

Pour le premier montage on obtient :

$$\frac{U}{F1} = \frac{K}{C_1 + C_2}$$

- Pour le deuxième montage on a :

$$\frac{V}{F2} = \frac{K}{C_1 + C_2 + C_3}$$

Nous adoptons une même tension aux bornes de la céramique afin que la capacité de l'électromètre soit toujours la même : elle est fonction de la position des quadrants.

$V = 10\ V$

$F_1 = 735\ g$

$F_2 = 1100\ g$

On tue la valeur de C_1 :

$$\frac{F_1}{C_1 + C_2} = \frac{F_2}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$C_1 = 57{,}44\ pF$$

D'où la valeur du module piézoélectrique:

$$K = \frac{C\ V}{F} = \frac{(54{,}44 + 36).\ 10^{-12}.10.3.10^9}{735.981}$$

$$K = 389.10^{-8}\ \text{u.e.s.}$$

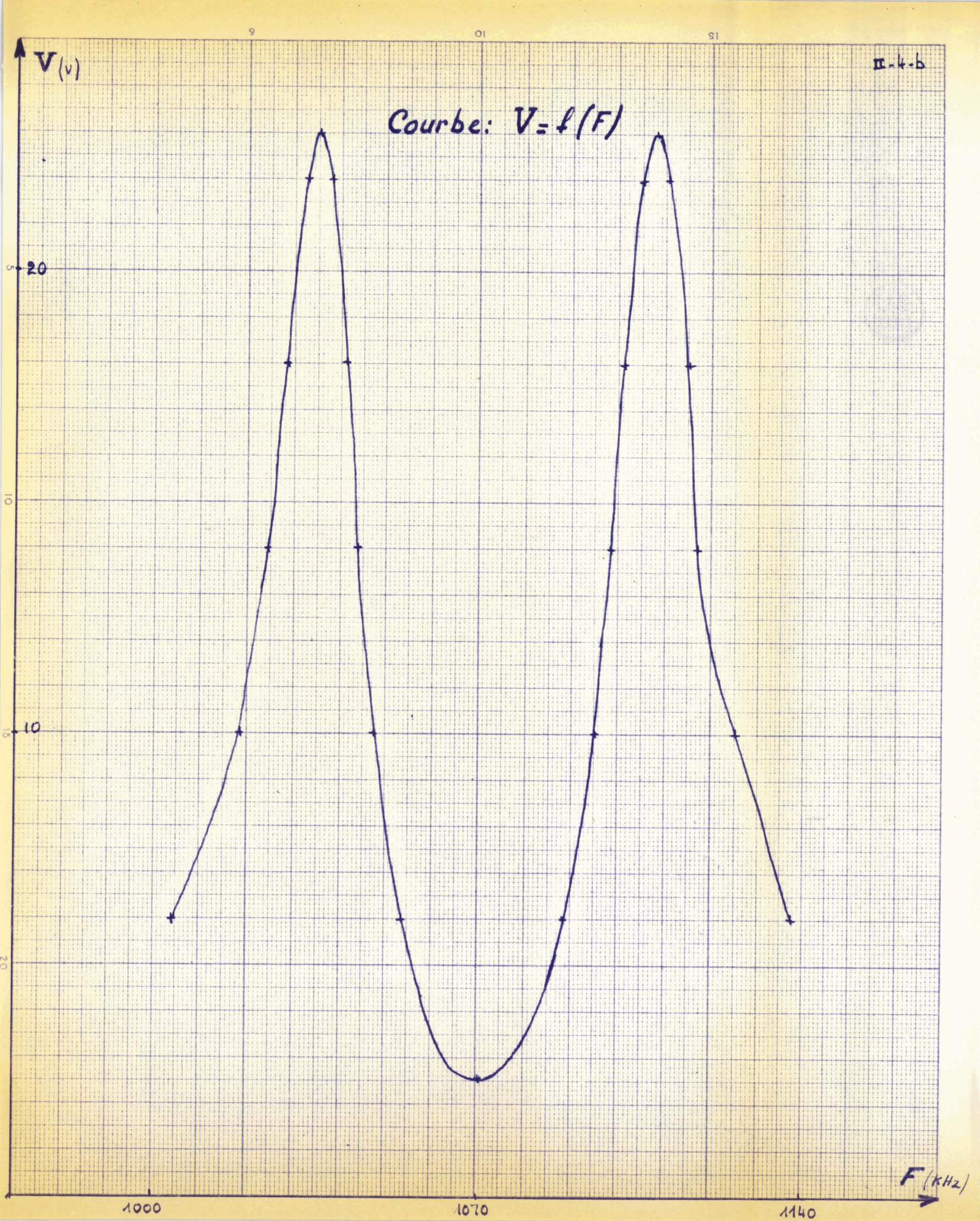
Pour un quartz on a : $K = 6{,}4.10^{-8}$ u.e.s, ce qui montre que la céramique est très avantageuse.

2/ Fréquence de résonance .

Les céramiques possèdent deux modes de vibration.

- mode fondamental : les élongations sont parallèles au champ électrique.
- mode secondaire : les élongations sont perpendiculaires au champ électrique.

II-4-b



La fréquence de résonance est donnée d'une façon approchée par la formule:

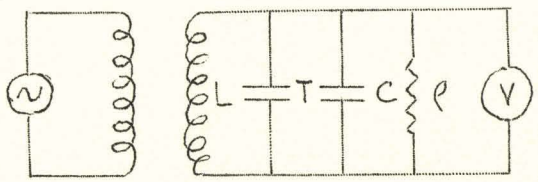
$$F \cdot d = 2500$$

F est la fréquence en khz

d est l'épaisseur exprimée en mm.

Pour déterminer la fréquence de résonance de la céramique d'une façon plus précise, nous avons utilisé la méthode de la crevasse en utilisant le dispositif suivant simplifié -.

La céramique est connectée aux bornes d'un circuit oxcillant LT couplé avec une source de fréquence variable et étalonnée - Un voltmètre V permet de mesurer la tension aux bornes du circuit oscillant.



En remplaçant la céramique par son schéma équivalent, le circuit prend la forme représentée par la figure ci-contre -

Tant que la fréquence f de la source est différente de la fréquence de résonance de la céramique f_o l'impédance Z reste très grande et on a un simple circuit oscillant : L et (T + C) - On obtient donc une courbe de résonance classique .

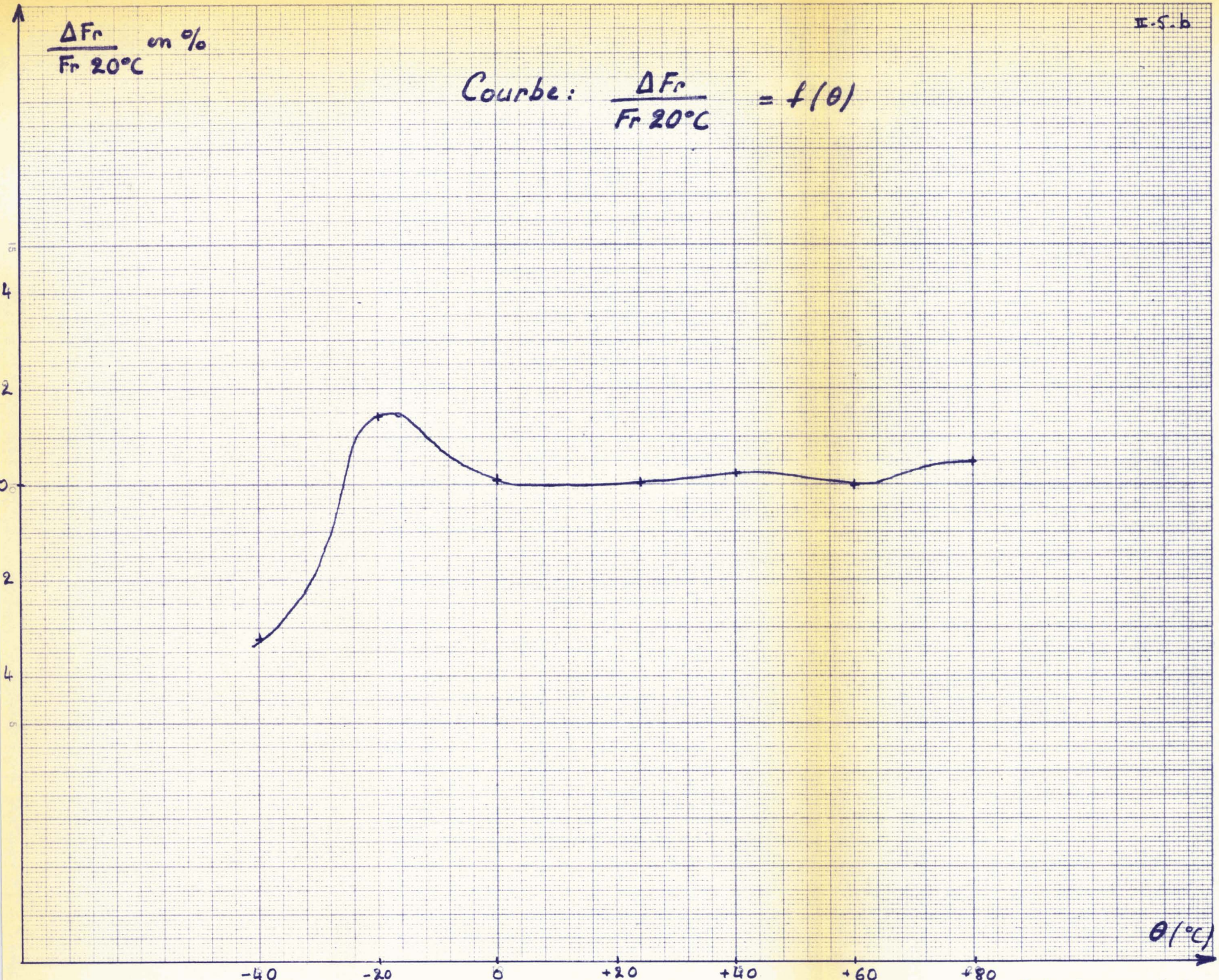
Au contraire lorsque la fréquence f est égale à f_o l'impédance se réduit à la résistance apparente de la céramique ρ qui est en général très faible - La tension devient petite et une crevasse apparait dans la courbe de résonance et son sommet indique la fréquence f_o .

Nous avons tracé cette courbe de résonance avec un Q-mètre et les valeurs trouvées sont :

V v	F (khz)	V (suite)	F (suite)
30	1004,62	30	1088,25
50	1018,5	50	1095,1
70	1024,53	70	1098,67
90	1028,68	90	1101,99
110	1032,8	110	1105,76
115	1035,36	115	1108,3
110	1037,87	110	1110,67
90	1041,5	90	1115,13
70	1044,24	70	1116,8
50	1047,61	50	1125
30	1053,84	30	1137,6
13	1070,65		

$\frac{\Delta Fr}{Fr\ 20°C}$ en %

Courbe : $\frac{\Delta Fr}{Fr\ 20°C} = f(\theta)$



Tochon-Lepage Paris

Nous avons trouvé ainsi que la fréquence de résonance était :

$$f_o = 1070{,}65 \text{ khz}$$

Mais la méthode s'avère beaucoup moins précise pour une céramique que pour un quartz parce que le coefficient de qualité de ce dernier est très grand. Pour la céramique, nous obtenons une crevasse très large dont il est plus difficile de déterminer le sommet.

Une autre étude sur la fréquence de résonance a été faite par la société " Quartz et Silice " à cause du dispositif calorimétrique que cela nécessite . En effet comme nous travaillons à des températures différentes, il était nécessaire de voir si la fréquence de résonance ne glissait pas avec la température . La courbe ci-contre représente la variation relative de la fréquence en % par rapport à la fréquence de résonance à 20 °C.

θ (° C)	$\frac{Fr}{Fr\ 20°C}$ (%)
- 40°	- 3,3 %
- 20	+ 1,5
+ 0	0,05
+ 20	0,0
+ 40	0,25
+ 60	0
+ 80	0,4

Nous voyons ainsi que pour une température ambiante avoisinant 20° , la stabilité est satisfaisante.

3/ Variations de la capacité.

Comme nous l'avons vu, nous sommes obligés de régler la fréquence du générateur H.F. pour parfaire la résonance du quartz émetteur.

Courbe : C = f(F)

Tochon-Lepage Paris

Il convenait de s'assurer si la capacité adoptée pour la céramique ne variait pas excessivement en fonction de la fréquence.

Nous avons déterminé au Q mètre, à l'aide d'un condensateur micrométrique la capacité de la céramique en fonction de la fréquence et nous obtenons les résultats suivants :

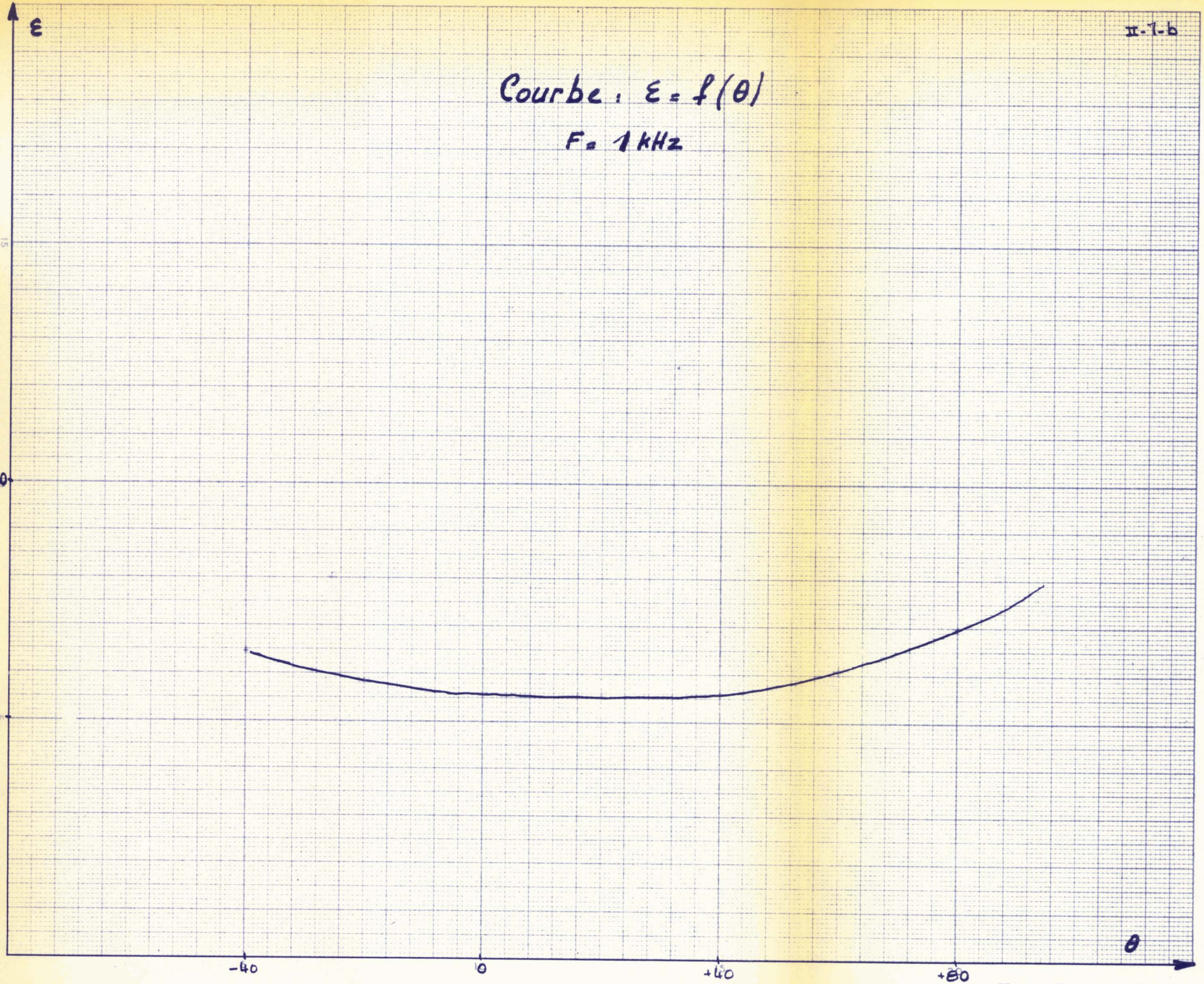
F (khz)	C (pF)	F (suite)	C (suite)
55	31,4	1100	12,5
100	30,1	1125	I7,5
200	31	1150	26
300	31,3	1175	21,4
400	32,2	1200	22,5
500	33,3	1300	24,9
600	36,1	1400	24,6
700	39,3	1600	25,9
800	23,2	1700	26,1
900	24,3	1800	26,3
1000	30,2	1900	26,5
1025	33,4	2000	26,7
1050	40,1		
1075	-----		

Nous nous apercevons ainsi que la capacité est extrèmement variable avec la fréquence et nous en concluons que l'étalonnage de la sonde ne sera pas valable si on s'écarte beaucoup de la fréquence choisie - D'autre part pour la fréquence de résonance de la céramique f_o , la capacité varie beaucoup.

II-1-b

Courbe : $\varepsilon = f(\theta)$

F = 1 kHz



Tochon-Lepage Paris

De même que pour la fréquence de résonance, nous avons fait éxécuter " Quartz & Silice " un essai donnant la variation du pouvoir inducteur spécifique en fonction de la température. Nous aurons ainsi l'évolution de la capacité en fonction de la température . Malheureusement l'essai n'a été fait qu'à la fréquence de 1 KHz .

ε (u.e.s)	θ (°C)
1280	-40
1160	-20
1120	+ 0
1100	+20
1130	+40
1220	+60
I400	+80

Ici encore pour une température voisine de l'ambiante, nous avons une grande stabilité.

M A T E R I E L A N N E X E

I GENERATEUR ULTRA-SONORE

- Le générateur H.F.

Ce générateur a été construit au laboratoire de physique et a fait l'objet de précédents mémoires (6).

Il est composé de trois étages : une tétrode 6V6 forme l'étage pilote qui fournit les oscillations H.F. - Cet étage est suivi de deux autres : un étage intermédiaire (une tétrode 807) et un étage de puissance (deux triodes 250 T H en parallèle)

a/ -l'étage pilote :

Le tube, une 6V6 est une tétrode à faisceaux électroniques dirigés-

- le circuit anodique contient un oscillateur classique R.F.B.

(Reversed feed-back oscillator)

- La grille est polarisée automatiquement par un bloc R C (2 MΩ-100pF) La tension écran est ajustable par un potentiomètre de 10 kΩ - Le découplage est assuré par une capacité de 1000 pF branchée au curseur du potentiomètre, suivie d'une nouvelle cellule RC de découplage (5 kΩ -1000pF)

- la liaison entre étages est réalisée par une capacité de I000 pF.

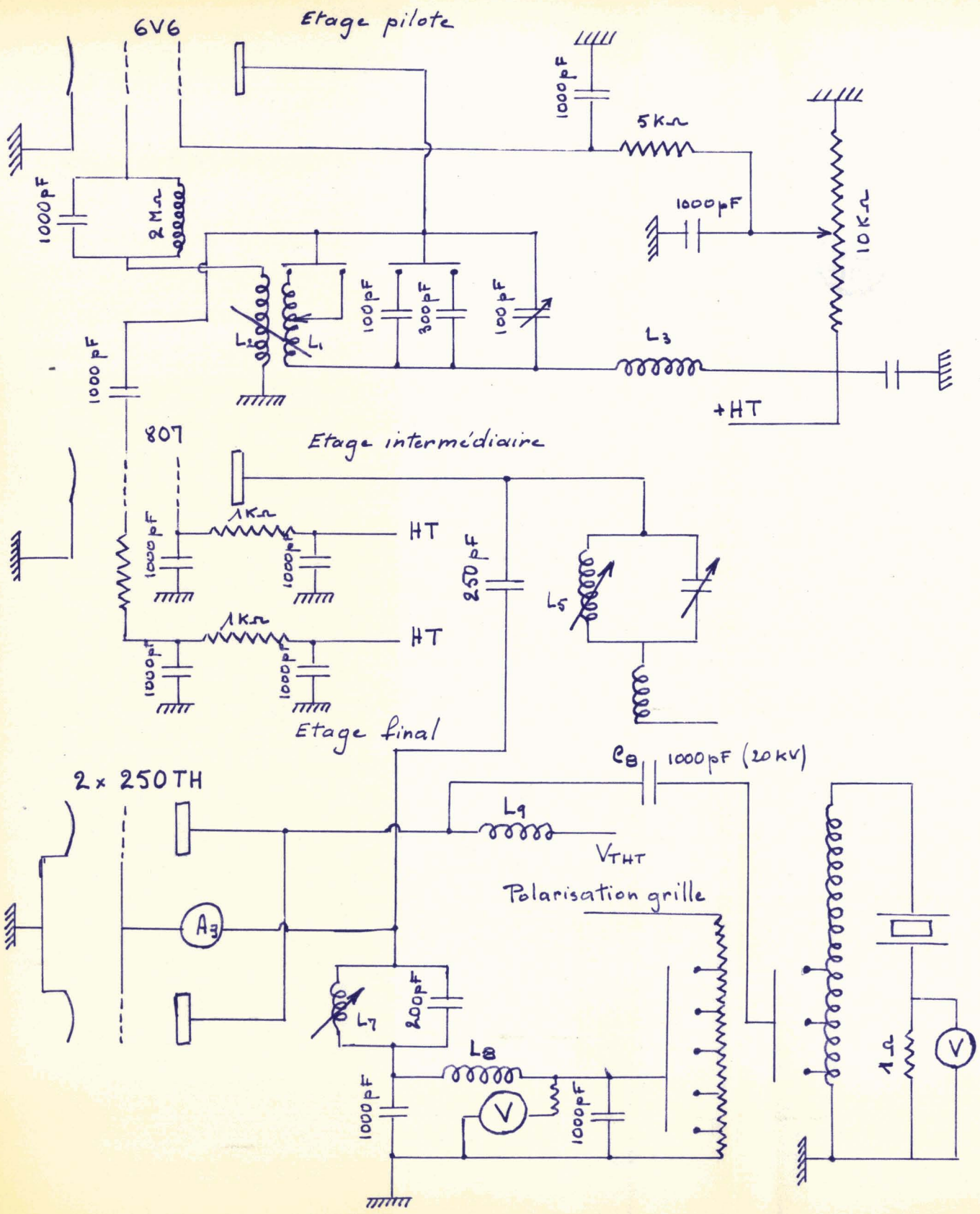
b/ - l'étage intermédiaire.

C'est un premier étage amplificateur de puissance avec un circuit bouchon comme charge de plaque. Le tube est une 807 : tétrode à faisceaux électroniques dirigés.

- la polarisation de grille est mixte : polarisation automatique doublée d'une polarisation fixe réglable . La polarisation automatique est obtenue par la résistance reliant la grille à la source de polarisation fixe (0 à 100 V) parfaitement filtrée-.

- La tension écran est stabilisée par tubes néon- Le retour de la haute fréquence sur les néons est évité par une cellule RC en π (1000 Ω ; 2. 1000 pF)

Générateur H.F.



- Le circuit anodique comprend essentiellement un circuit résonant, self et capacité en parallèle - La puissance de sortie de cet étage est d'environ 30 W.

- La liaison de l'étage intermédiaire avec le suivant est assurée par un condensateur de 250 pF : il reporte la composante alternative du courant plaque de la 807 sur les grilles des tubes de l'étage final -

c/ l'étage final.

C'est le second étage amplificateur de puissance dont une étude a été faite dans un précédent mémoire (8)

(puissance d'entrée : environ 30 W)

(puissance de sortie maximum : 425- 450 W).

Les tubes utilisés sont deux triodes 250 TH montées en parallèle qui travaillent en classe C .

- Circuit de grille :

La polarisation de grille est fixe et réglable (-330 V à - 60 V) - Elle est prise sur le potentiomètre 15, alimenté par une tension redressée par une EZ 80 , puis filtrée par une cellule en π (L_8 ; 2. 1000 pF).

Le circuit de grille comporte un circuit bouchon accordé (L_7 et C_7 en parallèle) réuni à la source de polarisation.L'accord de la fréquence du bouchon sur celle du signal d'entrée se fait par variation de L_7 (16) -

- Circuit anodique :

Les anodes des 250 TH sont alimentées en parallèle par l'intermédiaire de la self L_9 (Cette self de choc arrête la composante H.F. du courant anodique qui passe presque entièrement dans le circuit d'utilisation , le quartz) -

Il importe d'éliminer la T.H.T. continue d'anode qui, appliquée au quartz , le briserait ou le déformerait au point de le rendre incapable de vibrer.C'est le rôle de la capacité C_8 de 1000 pF qui peut supporter une tension de 20 kV.

Par ailleurs l'impédance du quartz à la résonance , même lorsque celle-ci est amortie par une charge acoustique importante, est nettement supérieure à l'impédance d'utilisation optima de l'étage final. Il importe d'adapter ces impédances. (ρ tube = 5500 Ω ; $n^2\rho = \overline{5}^2 \, 5500 \simeq$ Résistance du quartz).

C'est le rôle de l'autotransformateur A dont le primaire est placé en série entre C_8 et la masse . Ce circuit primaire est formé des x premières spires d'une self qui en comporte 75. La self totale forme le secondaire et les connexions sont telles que le primaire et le secondaire ont leur borne commune à la masse ; l'autre extrémité du secondaire est reliée à l'électrode H.F. du quartz -

Le nombre x de spires à prendre sur le primaire varie avec l'impédance d'entrée du quartz que l'on veut exciter ; on a prévu pour cela plusieurs sorties sur l'enroulement. Pour le projecteur ultrasonore utilisé, nous devons prendre $x = 15$ spires ; et la tension H.F. d'excitation du quartz est $\frac{75}{15} = 5$ fois plus forte que la tension H.F. fournie par l'étage final.

2/ - LE PROJECTEUR ULTRASONORE

Le champ ultrasonore étudié est produit par un projecteur type L de la S.C.A.M. . Le quartz piézoélectrique vibrant, adapté de façon étanche sur le carter est en contact direct avec l'eau à ultrasoner contenue dans le vase laboratoire .

a/ le quartz et son support

Le quartz circulaire Q utilisé a environ 2,9 mm d'épaisseur Son diamètre est de 60 mm ; en fait le diamètre de la partie centrale vibrant au maximum est de 38 mm (diamètre de l'électrode H.F. inférieure).

Le disque de quartz est maintenu par un joint élastique en néoprène périphérique placé dans le plan nodal de vibration ; ainsi disposé, ce joint ne freine pratiquement pas les oscillations en épaisseur du quartz et d'autre part assure l'étanchéité entre le carter inférieur et le vase- laboratoire supérieur.

L'ensemble joint-quartz s'adapte dans un anneau métallique vissé sur le porte-quartz P , amovible , en forme de cuvette . Il se fixe sur le carter.

b/ - le carter

Le carter métallique est rempli de liquide isolant (pétrole, distillé et desséché sur calcium). Il contient l'électrode haute fréquence : E - (l'électrode de masse étant l'eau du vase laboratoire que l'on rend plus conductrice par addition d'un peu de chlorure de sodium) . Ce carter est à la masse : delà, l'importance d'utiliser un pétrole soigneusement desséché pour l'emplir,si l'on veut pouvoir employer une tension d'excitation importante sans risque de rupture du quartz.

On doit aussi éviter au maximum la formation de bulles de cavitation dans le pétrole en le versant délicatement lors du remplissage et en le dégazant par une méthode que nous verrons plus loin- L'électrode E est constituée par un disque métallique de 38 mm de diamètre ; la haute fréquence lui est amenée par une tige conductrice V , entourée d'un tube de silice ; la tige apparait que par son extrémité inférieure C où l'on connecte la sortie du générateur H.F.

Cette tige est en fait une vis à pas micrométrique On peut,en la tournant par son extrémité inférieure régler la distance électrode - quartz; cette distance peut être lue sur un limbe L gradué en dixièmes de mm. L'énergie ultrasonore émise dans le vase laboratoire est maximum lorsqu'il y a réflexion totale sur l'électrode des ultrasons émis par la face inférieure du quartz dans le pétrole. .

c/ -le vase-laboratoire

C'est un manchon cylindrique de Pyrex serré dans une monture métallique- Il se fixe au dessus du porte-quartz, à l'aide de 6 tiges filetées;un joint plastique assure l'étanchéité. D'autre part une circulation d'eau peut-être faite à l'intérieur du vase-laboratoire -.

II. DISPOSITIF AUTOMATIQUE D'ENREGISTREMENT

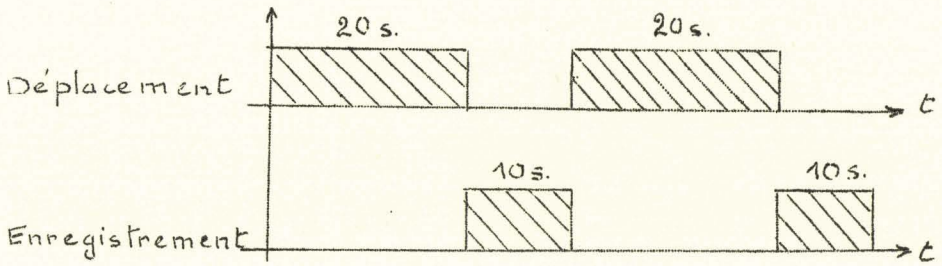
1/ - Nécessité du dispositif .

Par l'étude précédente, nous avons montré qu'un des avantages de la céramique consistait en l'importance de son module piézoélectrique. Ceci nous a permis de réduire dans un rapport 1/10 les dimensions de l'élément par comparaison avec la sonde déjà construite (7).

Nous avons pu envisager des pointés très serrés de l'ordre de 1,5 mm. Mais un relevé manuel s'avérait impossible, vu le temps nécessaire à le réaliser. D'autre part, comme nous le verrons plus loin, nous ne pouvions faire un enregistrement continu du champ ultrasonore, parce que les conditions de température variant énormément, toutes les mesures étaient erronées - C'est pour cela que nous avons utilisé un ensemble de multivibrateurs et d'univibrateurs.

2/ - Premier dispositif utilisé.

Lors des premiers essais en vue de l'enregistrement automatique de l'énergie ultra-sonore, nous n'avions utilisé qu'un multivibrateur donnant dans un premier temps le déplacement de la sonde, puis dans un deuxième temps l'enregistrement des variations, selon le schéma ci-dessous.



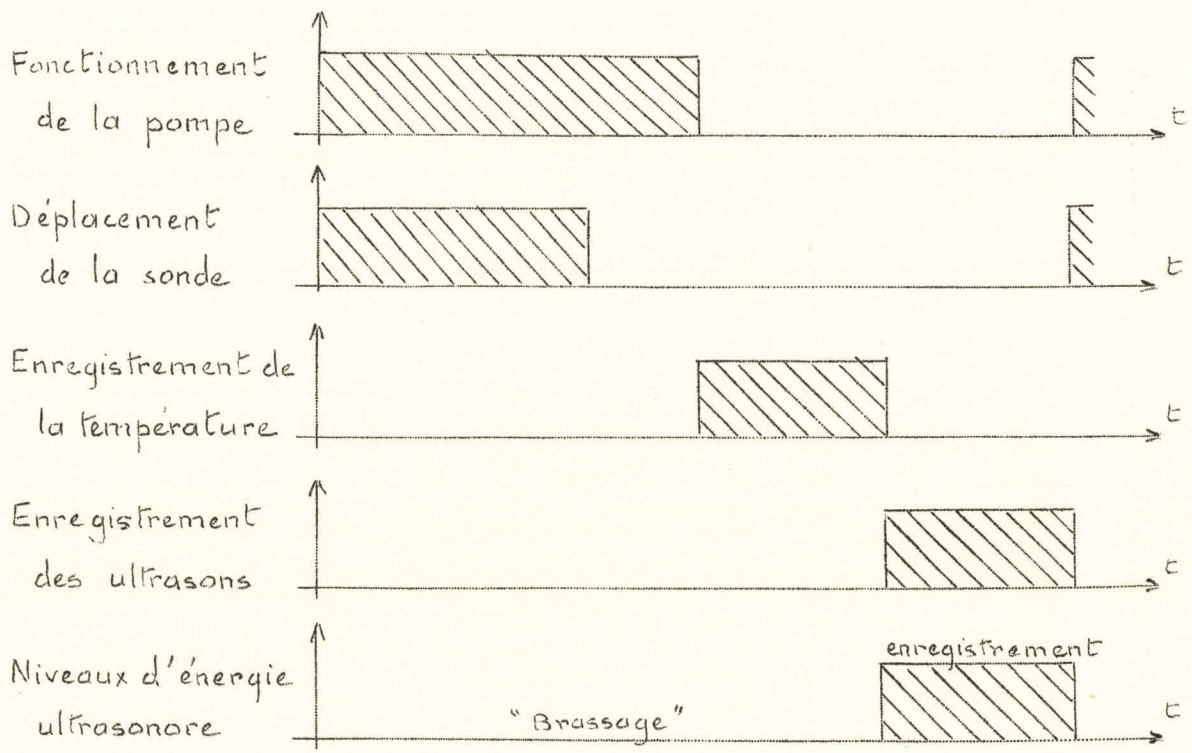
3/ - Dispositif général.

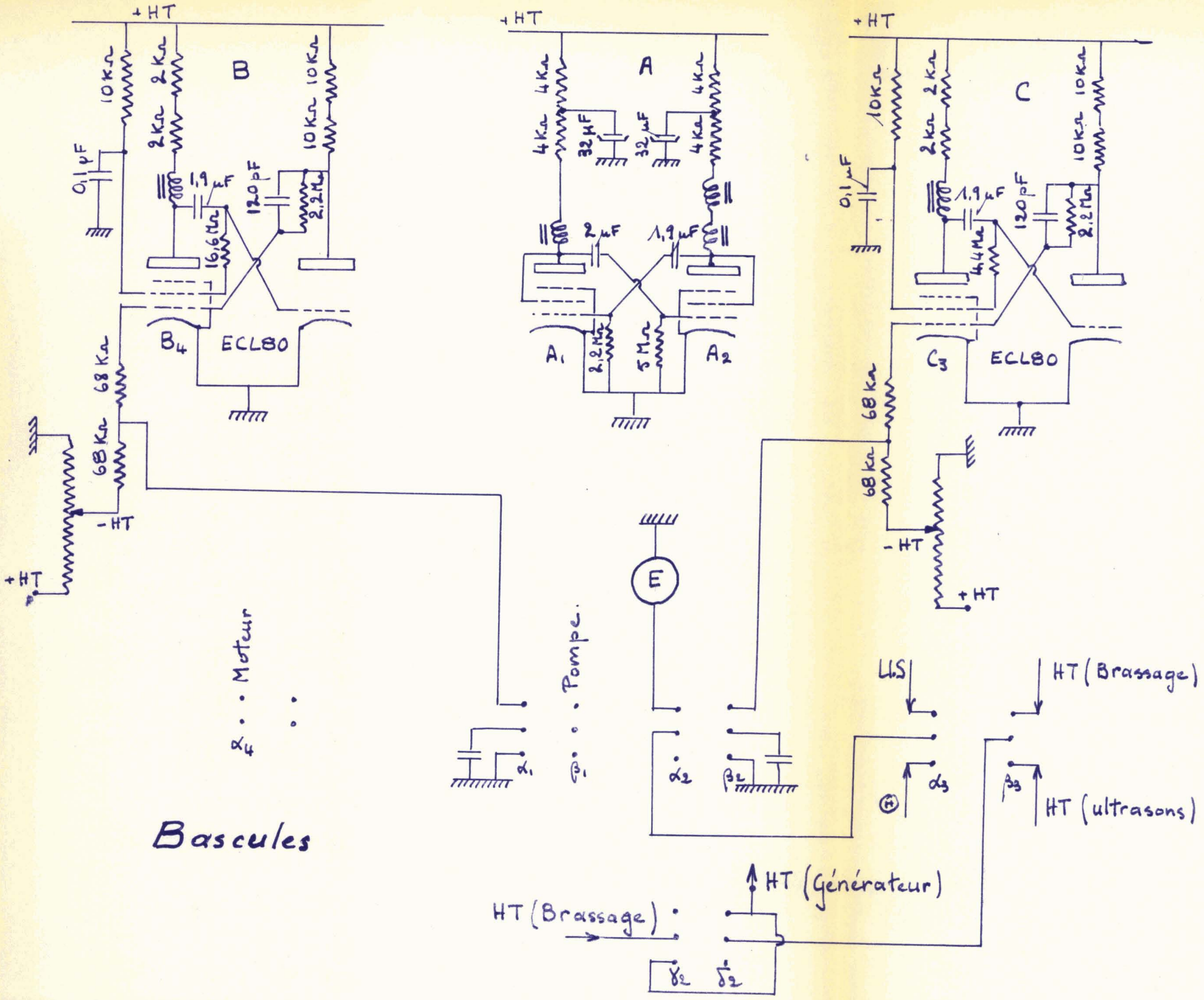
L'étude des conditions de stabilité que nous verrons plus loin nous a montré que la décomposition des temps adoptée ci-dessus était insuffisante. Nous devons considérer les paramètres suivants :

- le déplacement de la sonde dans un plan méridien du champ
- le refroidissement de l'eau par action d'une pompe.
- l'application d'une certaine énergie ultra-sonore pendant le refroidissement que nous appellerons " énergie de brassage"
- l'enregistrement de la température par thermistance
- l'enregistrement des énergies ultrasonores par la sonde piézoélectrique. Auparavant un dispositif automatique devra faire passer l'énergie ultrasonore du niveau de brassage au niveau que l'on veut étudier

a/ <u>Découpage des temps</u>.

Nous devons par suite adopter la décomposition suivante des temps:




+HT
B
10 Kn
2 Kn
2 Kn
10 Kn
10 Kn
0,1 µF
1,9 µF
120 pF
16,6 Kn
2,2 Mn
B4
ECL80
68 Kn
68 Kn
-HT
+HT
A
4 Kn
4 Kn
4 Kn
4 Kn
32 µF
32 µF
2 µF
1,9 µF
A1
2,2 Mn
5 Mn
A2
C
10 Kn
2 Kn
2 Kn
10 Kn
0,1 µF
1,9 µF
120 pF
4,4 Mn
2,2 Mn
C3
ECL80
68 Kn
68 Kn
-HT
+HT
E
α4 . . . Moteur
β1 . . . Pompe.
α1
α2
β2
α3
β3
H
L.S
HT (Brassage)
HT (ultrasons)
HT (Générateur)
HT (Brassage)
γ2
δ2

Bascules

b/ Fonctionnement du dispositif

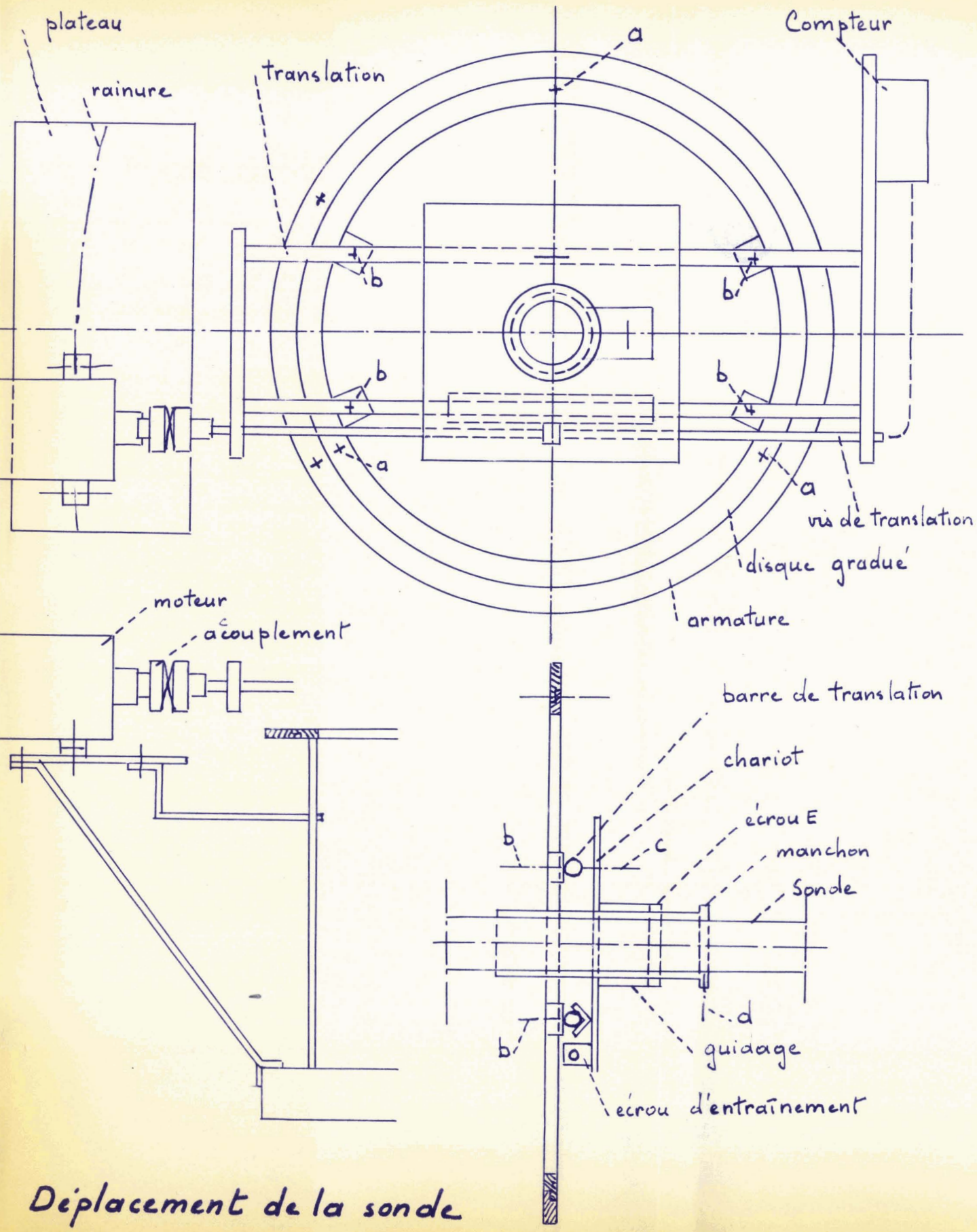
Le multivibrateur est formé par 2 pentodes montées en triodes: E L 84 - .Dans tous les montages,nous ferons appel à une source H.T. stabilisée pour éviter tout déclenchement intempestif des relais. La constante de temps est déterminée par le produit de la résistance de découplage de grille par la capacité de couplage grille-plaque. Le principe du multivibrateur est connu,chaque tube débitant alternativement pendant un temps déterminé par la constante : Rg .C.

Le tube (A_1) commande un double relai (α_1 - β_1) L'élément (β_1) commande la mise en route de la pompe de refroidissement-L'élément (α_1) envoie une impulsion à la grille de l'univibrateur (B). Un essai d'impulsion par signaux dérivés n'a pas abouti,parce que les relais se déclenchaient à contre-temps.

Sur le tube (A_2) sont montés deux relais doubles (α_2 , β_2 , γ_2 , δ_2). L'élément (α_2) ferme le circuit enregistreur lors de l'enregistrement de la température et des U.S. L'élément (β_2) envoie une impulsion à la grille de l'univibrateur (C) . Les éléments (γ_2, δ_2 , β_3) permettent d'appliquer au projecteur ultrasonore le niveau d'énergie désiré,celui de brassage ou celui enregistré.

Les univibrateurs ont été montés par des tubes triode-pentode : E C L 80 - Le diviseur de tension reliant :(plaque triode,- HT) maintient la grille de la pentode à un potentiel très négatif,ce qui bloque le tube. Les impulsions envoyées par le multivibrateur permettent de faire débiter les tubes (B_4 , C_3) pendant un temps déterminé par la constante : Rg.C-

Le relai (α_4) commande le déplacement de la sonde grâce à l'alimentation du moteur de translation.L'élément (α_3) permet d'enregistrer soit la température,soit le niveau d'énergie ultrasonore-



Déplacement de la sonde

c/ -Temps adoptés pour les diverses opérations.

Le choix de la durée de chaque opération a été influencé par l'étude de la stabilité en température.Il s'agissait d'avoir un temps de refroidissement assez long et d'appliquer les U.S. à haut niveau d'énergie le moins longtemps possible. Nous avons adopté:

- Refroidissement du vase-laboratoire : 30 sec.
- Déplacement de la sonde: 20 sec.
- -Enregistrement de la température : 3,5sec.
- Enregistrement des U.S. : 3,5sec.
- Energie ultrasonore de brassage 33,5sec.
- Energie ultrasonore enregistrée: 3,5sec.

4/ -Dispositif mécanique de déplacement de la sonde.

L'ensemble du montage est représenté par la figure ci-contre. Il a demandé une précision mécanique assez importante car une légère variation du plan de déplacement de la sonde se traduit immédiatement par une variation du niveau d'énergie,étant donné la faible longueur d'onde des U.S.

Sur l'armature métallique du vase-laboratoire,nous avons adapté un élément de goniomètre gradué en degrés.Trois vis (a) fixées dans ce disque permettent de régler parfaitement son plan . Nous avons ainsi la possibilité de repérer tous les méridiens du champ ultra-sonore.

Sur cette pièce est monté un châssis composé de deux barres cylindriques de translation réunies par deux plats de laiton . Les quatre vis (b) permettent de régler le parallélisme du plan du châssis et du plan du disque gradué.

Sur ces barres de translation se déplace le chariot métallique. Il repose sur une tige par l'intermédiaire d'un "V" et sur l'autre par une vis (c) :nous assurons ainsi un guidage parfait par trois points.

La vis (c) permet de régler le parallélisme du chariot avec les plans précédemment étudiés ainsi que la verticalité de la sonde.

Le déplacement du chariot est assuré par une vis de translation au pas de 6 ; un écrou d'entraînement la lie au chariot, mais étant libre dans une gorge, on a un démontage instantanné . Une des extrémités de la vis est liée par un flector à un compte-tours; celui-ci permet de repérer exactement la position de la sonde dans le plan méridien .L'autre extrêmité est liée par un accouplement élastique au moteur d'entraînement que nous étudierons plus loin.

Sur le chariot est monté un dispositif permettant le déplacement vertical de la sonde -Un manchon fixé sur le chariot assure le guidage. Dans celui-ci coulisse un manchon fileté au pas de 8, fixé sur la sonde par la vis (d) . Cette vis permet les grands déplacements de la sonde et l'écrou (e) assure le réglage fin. Nous avons réalisé ainsi les trois mouvements principaux nécessaires à l'étude du champ ultra-sonore.

5/- ETUDE DU MOTEUR D'ENTRAINEMENT (Moteur S.A.P.M.I.)

Ce moteur est synchrone et par l'intermédiaire d'engrenages il assure un déplacement très lent du chariot. Il est fixé sur un plateau rainuré; il peut suivre ainsi les déplacements du disque gradué- Le plateau rainuré peut lui aussi se déplacer tout autour du vase-laboratoire, selon le méridien exploré.

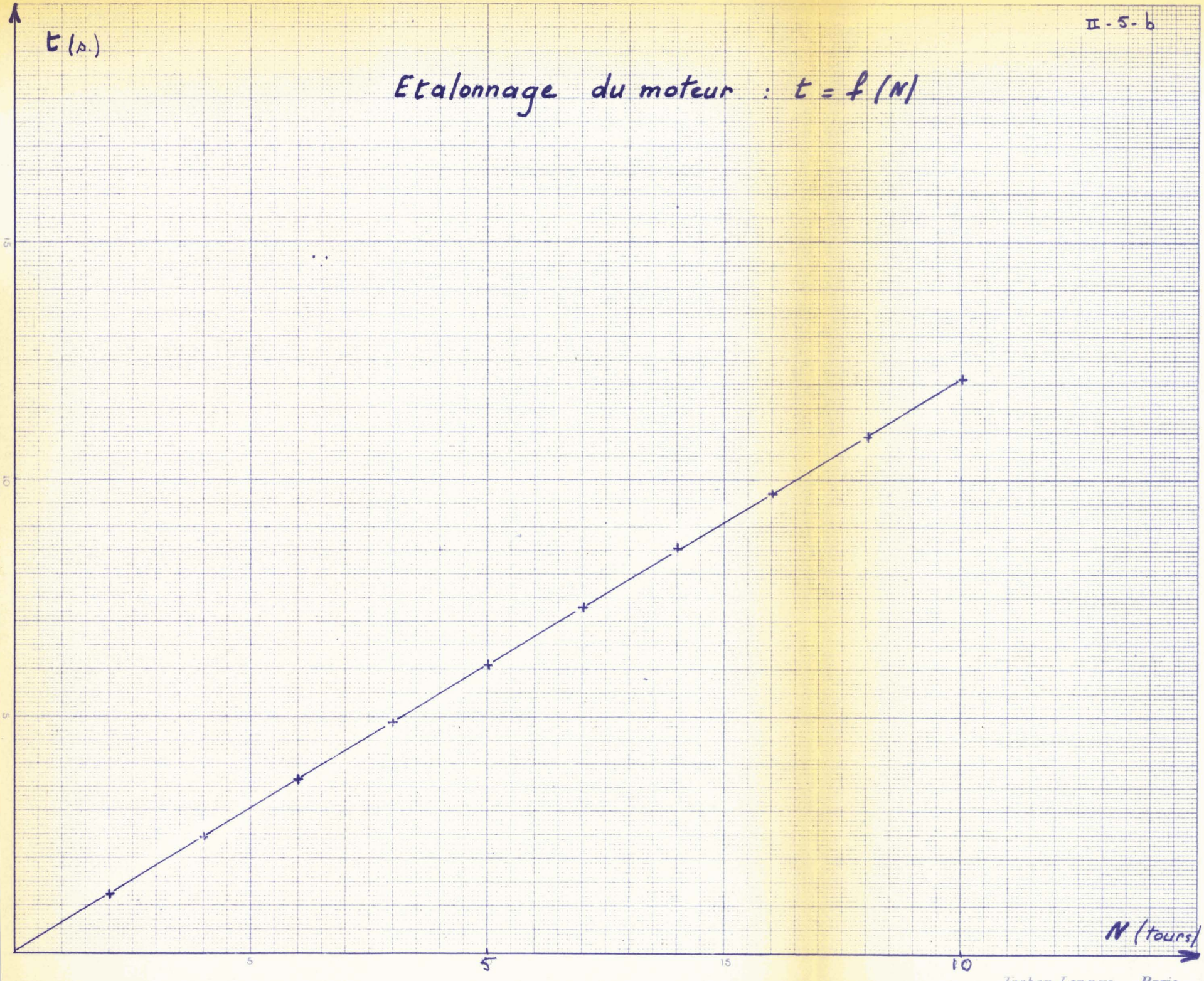
Nous avons fait l'étalonnage du moteur afin de voir, si le nombre de tours par seconde variait avec la durée du fonctionnement. Nous avons trouvé une forme linéaire et la constante suivante.

I tour en 12 sec.

Ce moteur est commandé par l'univibrateur (B) pendant un temps de 20 sec. Nous pouvons calculer la distance séparant deux pointés de la sonde:

$$d = \frac{0,6 \times 20}{12} = 1 \text{ mm}$$

Etalonnage du moteur : $t = f(N)$



Tochon-Lepage Paris

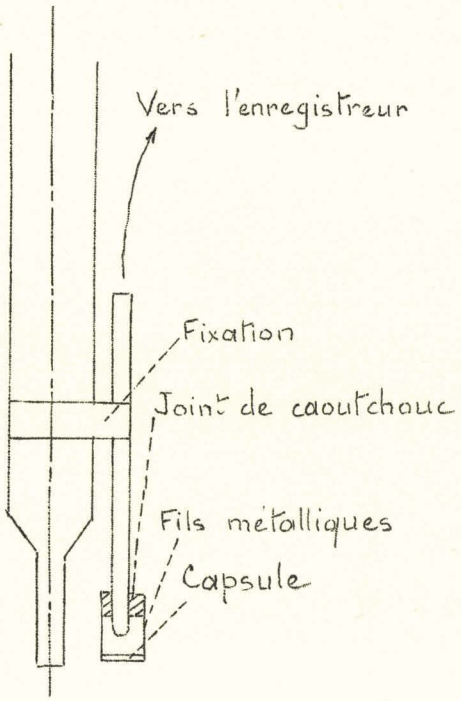
III ENREGISTREMENT DE LA TEMPERATURE

1/- Nécessité du contrôle de la température

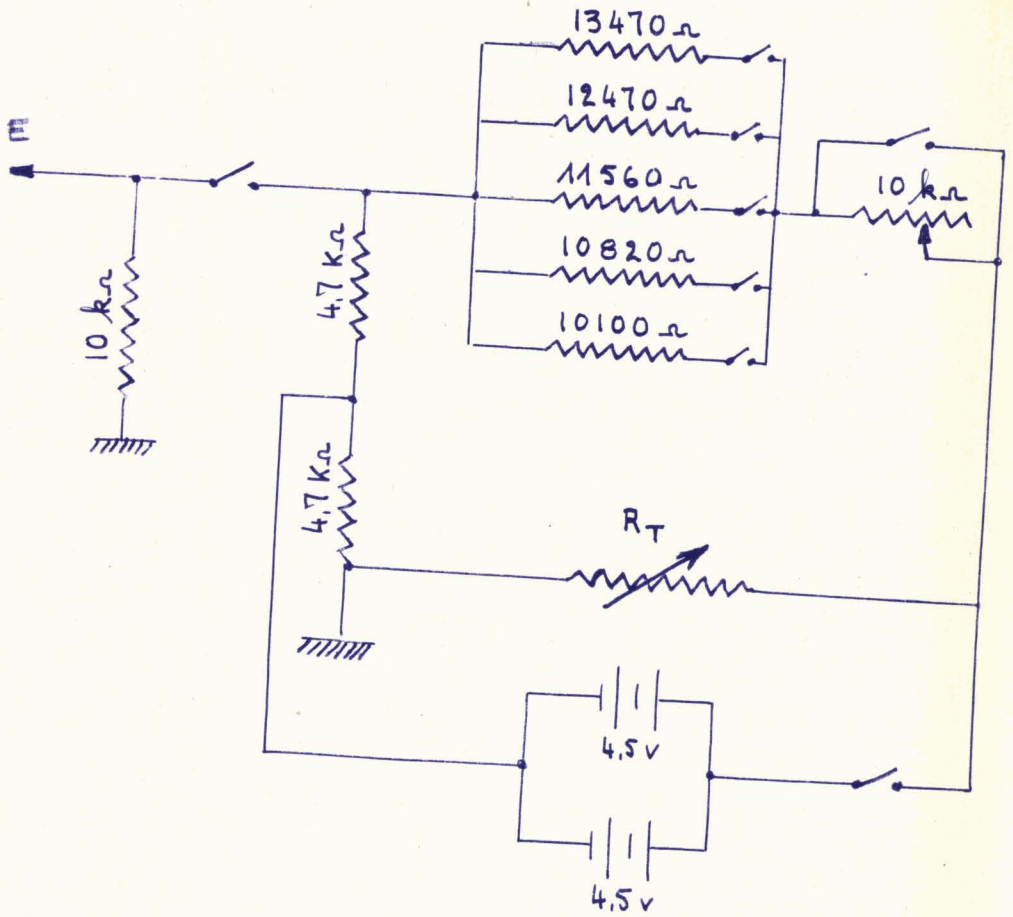
Comme nous le verrons dans l'étude des conditions de stabilité, le facteur température est très important, des variations de l'ordre de 1/10 de degré ayant des répercussions sur la vitesse, donc la longueur d'onde des Ultra-sons.

Il était donc nécessaire de noter la température avant chaque enregistrement d'énergie ultrasonore-Nous avons fait appel évidemment à une thermistance, vu le procédé automatique adopté.

Elle est montée comme l'indique le schéma ci-contre. Nous n'avons pas la température à l'endroit de mesure, mais comme nous le montrerons, de l'homogénéité de température à l'endroit où se trouve la thermistance, nous pouvons conclure à celle de l'endroit où est placée la sonde.



Dans l'enregistrement de la température, nous devons éviter l'échauffement de la thermistance par friction. En effet, les ultra-sons créent un mouvement dans le liquide. Les molécules frottant le verre de thermistance, peuvent faire passer l'indication du simple au double. Aussi nous avons adapté à l'extrémité, une capsule d'air formant réflecteur parfait pour les ultra-sons:-Ils n'agissent sur la thermistance que par échauffement local dû à leur énergie.



Enregistrement de la température

2/ - Pont de mesure - (Thermistance de la Radiotechnique)

La thermistance utilisée a une résistance de l'ordre de 10 kΩ - Nous l'avons montée dans une branche d'un pont de Wheatstone. Le pont est alimenté par deux piles de 4,5 V en parallèle ; ceci pour limiter leur débit et éviter la polarisation.

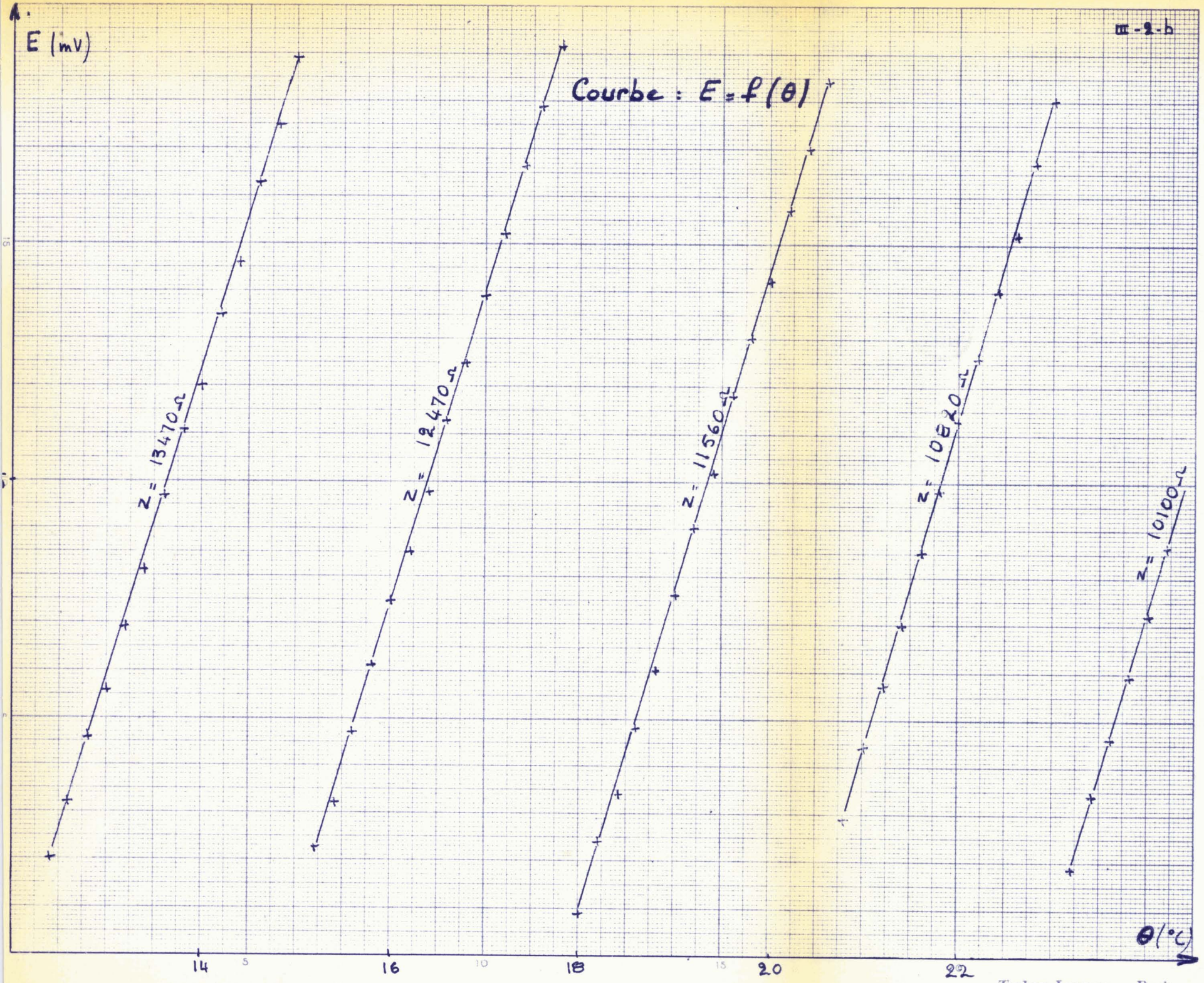
L'emploi de l'enregistreur, nous oblige à adopter pour celui-ci la même sensibilité que pour l'enregistrement des énergies ultrasonores. Aussi, nous avons placé dans la branche symétrique de la thermistance un commutateur mettant en circuit diverses impédances selon la température.

D'autre part, la température d'expérimentation étant notée, nous voulions déplacer le signal sur un bord de la bande enregistreuse. Nous avons inclu un potentiomètre de 10 kΩ qui permet de régler à volonté la grandeur du signal - Un interrupteur peut le court-circuiter-.

3/ ETALONNAGE.

Il a été fait pour des températures voisines de l'ambiante, puisque ce sont celles utilisées en expérimentation; les variations sont comprises entre 12° C et 24° C.

Chaque changement d'impédance, nous donne une nouvelle caractéristique et comme nous le montre le graphique, nous apprécions facilement le 1/50e de degré.



Tochon-Lepage Paris

M I C R O S O N D E

I- S C H E M A G E N E R A L

1/ Principe.

Le schéma complet est representé par la figure suivante- Les ultrasons exercent sur la face d'une céramique (C), une variation de pression alternative-Les vibrations mécaniques du capteur se traduisent par une différence de potentiel alternative aux bornes de la mécanique.

Ce signal est reporté sur la grille d'une pentode (type subminiature: 5636 montée en triode. C'est un montage cathodyne qui réalise l'adaptation d'impédance.

Nous avons mesuré la capacité de la céramique à la fréquence utilisée de 900 KHz et pour une température de 17°- On a au Q mètre:

$$Co = 24,5 \text{ pF}$$

La lampe travaille dans les conditions suivantes:

- Chauffage filament : V = 6,3 V
- Tension d'anode : Va = I00 V
- Tension d'alimentation : V = I96 V
- Polarisation grille : Vg = -1,7 V
- Résistance de charge : Rp = 10 KΩ
- Résistance de grille : Rg = 1 MΩ
- Débit d'alimentation : Ip = 8 mA

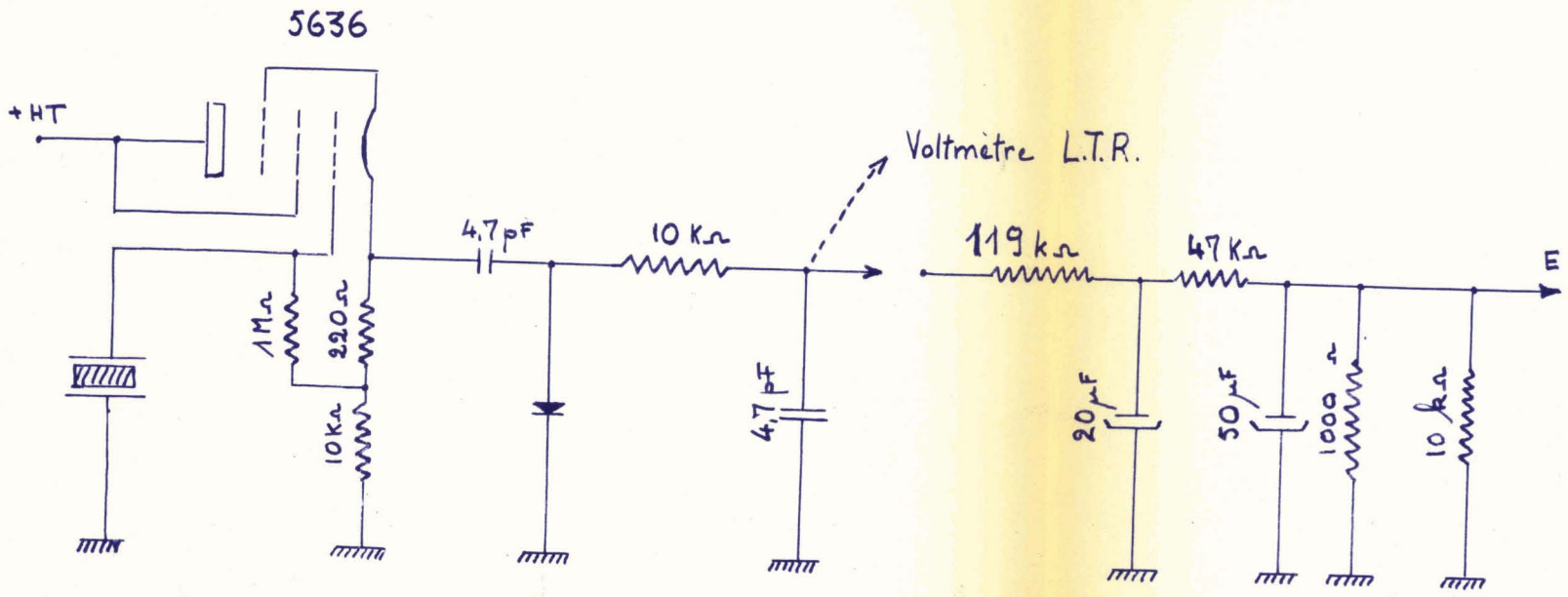
Nous avons mesuré la capacité d'entrée du tube et des liaisons; nous l'avons trouvée égale à :

$$C' = 11,8 \text{ pF}$$

Les charges électriques qui apparaissent sur la céramique se répartissent sur la capacité de la céramique Co et sur la capacité des liaisons : C'- La tension d'entrée sur la grille: Vg par rapport à celle que les ultrasons développent effectivement sur la céramique est dans le rapport:

$$A = \frac{24,5}{24,5 + 11,8} = 0,675$$

Montage électronique de la sonde



2/ Circuit de mesure (Enregistreur Philips 4040/01)

Nous avons mesuré le gain de la lampe adaptatrice,qui est de :

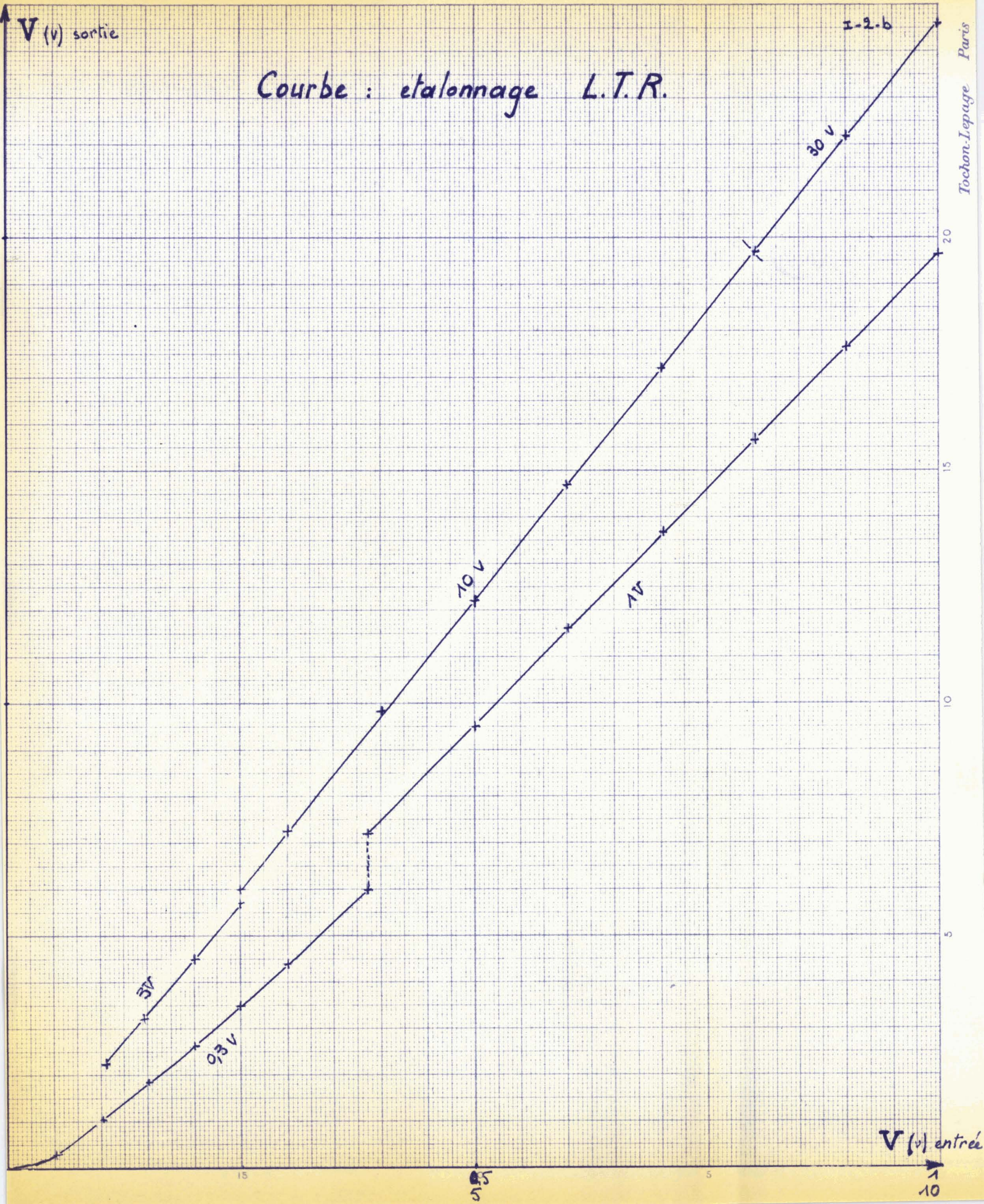
$$a = 0,955$$

Pour éviter d'avoir une tension haute fréquence dans les circuits de mesure (on travaille dans des champs H.F. intenses,nous redressons le signal par une diode au germanium : OA85.Puis,nous avons une cellule de découplage et nous reportons le signal à mesurer,soit sur un voltmètre L.T.R.,soit sur un enregistreur.

Pour déterminer,le gain de l'ensemble,nous avons tracé la courbe d'étalonnage à 900 KHz. Le voltmètre LTR a une grande impédance d'entrée: 200000 Ω/V et cela nous donne,une droite différente à chaque changement de sensibilité . Nous constatons sur les courbes que la réponse est pratiquement linéaire,jusqu'à une tension d'entrée de 15 V -.

Mais la méthode de l'enregistrement graphique,nous a obligés à faire l'étalonnage de l'enregistreur . A la suite de la diode,nous avons placé un diviseur de tension afin de pouvoir entrer sur l'enregistreur à la sensibilité de 50 mV-. D'autre part,le but des capacités C est d'atténuer les fluctuations du signal délivré par la sonde ; en effet,le signal est modulé par la cavitation,les changements de charge acoustique dûs au geyser. La constante de temps a été déterminée expérimentalement de façon à supprimer les petites oscillations autour de la position d'équilibre . De même que précédemment,nous constatons que la courbe d'étalonnage est pratiquement linéaire-

Les tableaux suivants résument les valeurs trouvées pour les étalonnages.


V (v) sortie
I-2-b
Courbe : étalonnage L.T.R.
Tockon-Lepage Paris
30 v
10 v
1 v
3 v
0,3 v
20
15
10
5
V (v) entrée
15
5
5
10

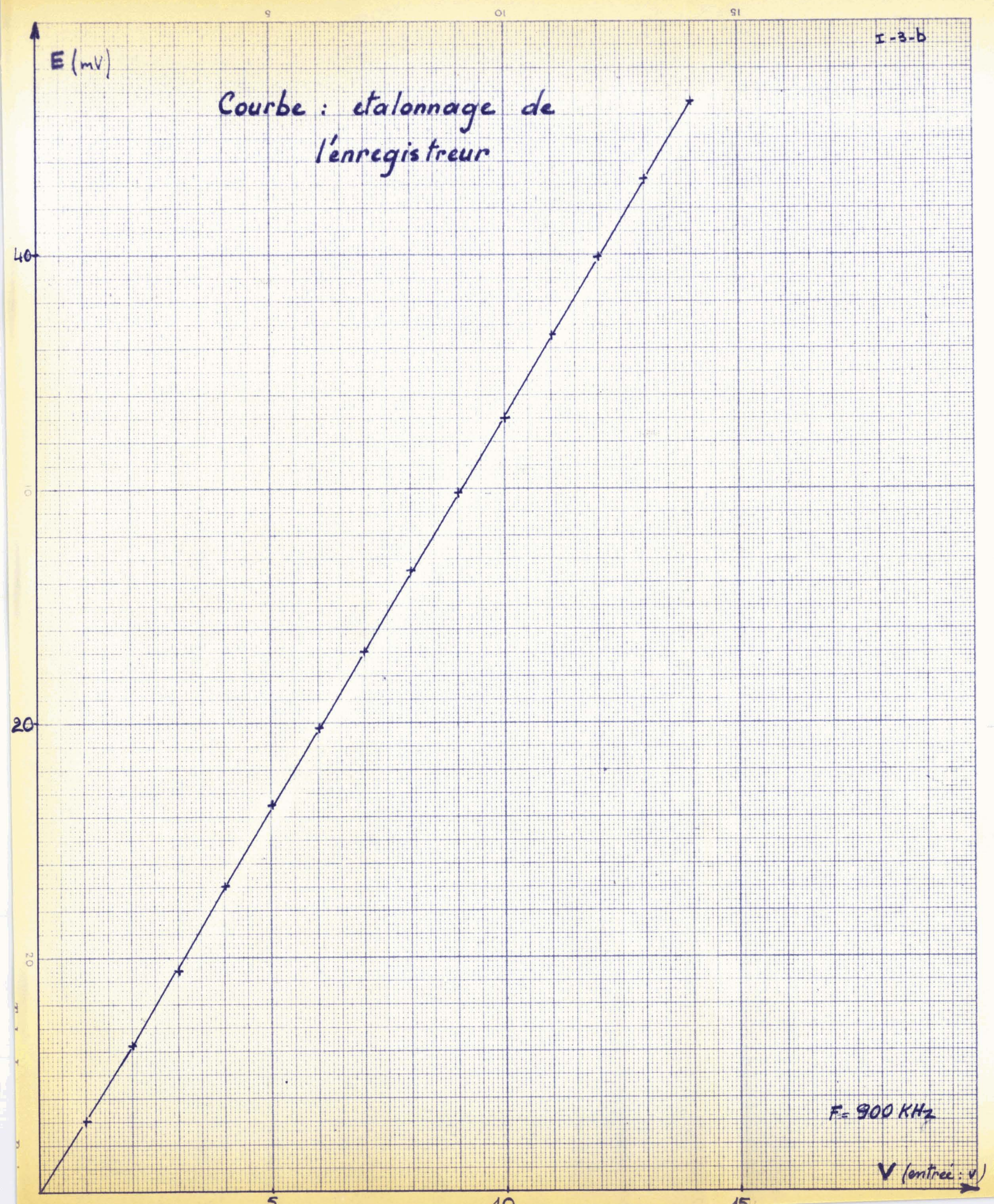
- Tableaux : I.a.
  ==========

Etalonnage avec L.T.R.		Etalonnage avec enregistreur	
Entrée (v)	Sortie (v)	Entrée (v)	Sortie (mv)
0,1	0,05	1	3
0,2	0,13	2	6,2
0,3	0,22	3	9,4
0,4	0,3	4	13
0,5	0,475	5	16,5
0,6	0,605	6	19,8
0,7	0,68	7	23
0,8	0,78	8	26,5
0,9	0,88	9	29,8
1	0,98	10	33
2	2,25	11	36,5
3	3,65	12	39,8
4	4,9	13	43,2
5	6,1	14	46,5
6	7,35		
7	8,6		
8	9,8		
9	1,11		
10	1,23		
11			

Cherchons à déterminer la constante d'étalonnage dans le cas de l'enregistreur.

-soient: k le module piézoélectrique de la céramique

I-3-b


E (mV)
Courbe : étalonnage de l'enregistreur
40
20
F = 900 KHz
V (entrée : V)
5
10
15

Δp: l'amplitude des variations de pression que les ultrasons exercent sur la céramique.

S : la surface utile de la céramique = 0,126 cm^2

a : le gain de l'ensemble: amplificateur + enregistreur

A : le coefficient dû aux capacités.

Nous lisons sur l'enregistreur une tension efficace qui a pour valeur:

$$\Delta U = \frac{A.a}{\sqrt{2}} \cdot \frac{K.S.}{C} \cdot (\Delta p)$$

La l cture de la courbe d'étalonnage donne :

$$a = \frac{V_s}{V_e} = \frac{33.10^{-3}}{10} = 3,3.10^{-3}$$

D'où le calcul pratique.

$$\Delta U_{u.e.s} = \frac{(0,675.3,3.10^{-3})(389.10^{-8}.\ 0,126)}{\sqrt{2}.(24,5.10^{-12}.\ 9.10^{11})} \cdot \Delta p \text{ (baryes)}$$

$$\Delta U_{mV} = \frac{0,675.3,3.389.10^{-8}.0,126.300}{\sqrt{2}.24,5.10^{-12}.9.10^{11}} .1013000.\ \Delta p \text{ (atmos.)}$$

$$\Delta U_{mV} = 6,7 \cdot \Delta p \text{ (atmos.)}$$

3/ Conditions de stabilité de réponse de la sonde

a) Haute tension d'alimentation.

La lampe amplificatrice est placée à l'intérieur d'un tube de cuivre : il s'ensuit que le refroidissement est très imparfait et ne peut se faire que lorsque le tube est placé dans l'eau ultrasonée. Les grosses variations de température changent son point de fonctionnement . Aussi nous avons cherché comment variait la réponse de la sonde quand nous changions la tension d'alimentation,le signal d'entrée étant maintenu constant à la valeur de 8 volts.

Le tableau I-b résume les valeurs:

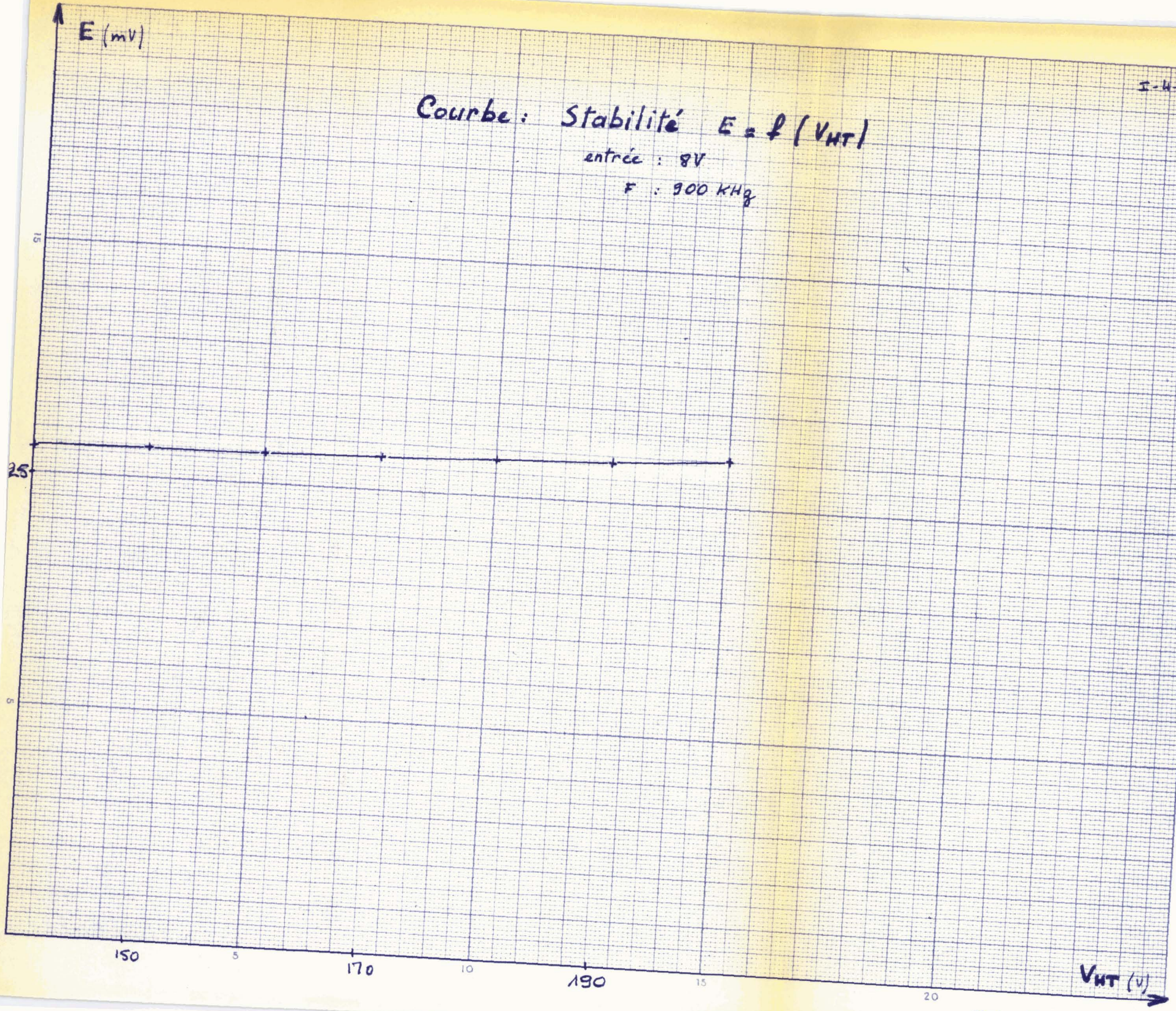
V_{HT_V}	140	150	160	170	180	190	200
$Sonde_{mV}$	26,5	26,7	26,7	26,8	27	27,2	27,5

I-4-b

Courbe : Stabilité $E = f(V_{HT})$

entrée : 8V

F : 900 KHz



Tochon-Lepage Paris

Pratiquement,nous pourrons accepter les valeurs de réponse de la sonde,même si le point de fonctionnement varie dans des limites assez grandes comme le montre la courbe précédente.

b/- Influence de la fréquence.

Nous sommes obligés d'examiner ce point,car nous avons fait l'étalonnage à la fréquence de 900 KHz.Or, selon les conditions de travail du quartz: température,hauteur d'eau dans le vase-laboratoire,pression,etc... nous sommes obligés de faire varier la fréquence d'accord du générateur haute fréquence,pour avoir le rendement maximum.L'étalonnage de la sonde est-il encore valable ?

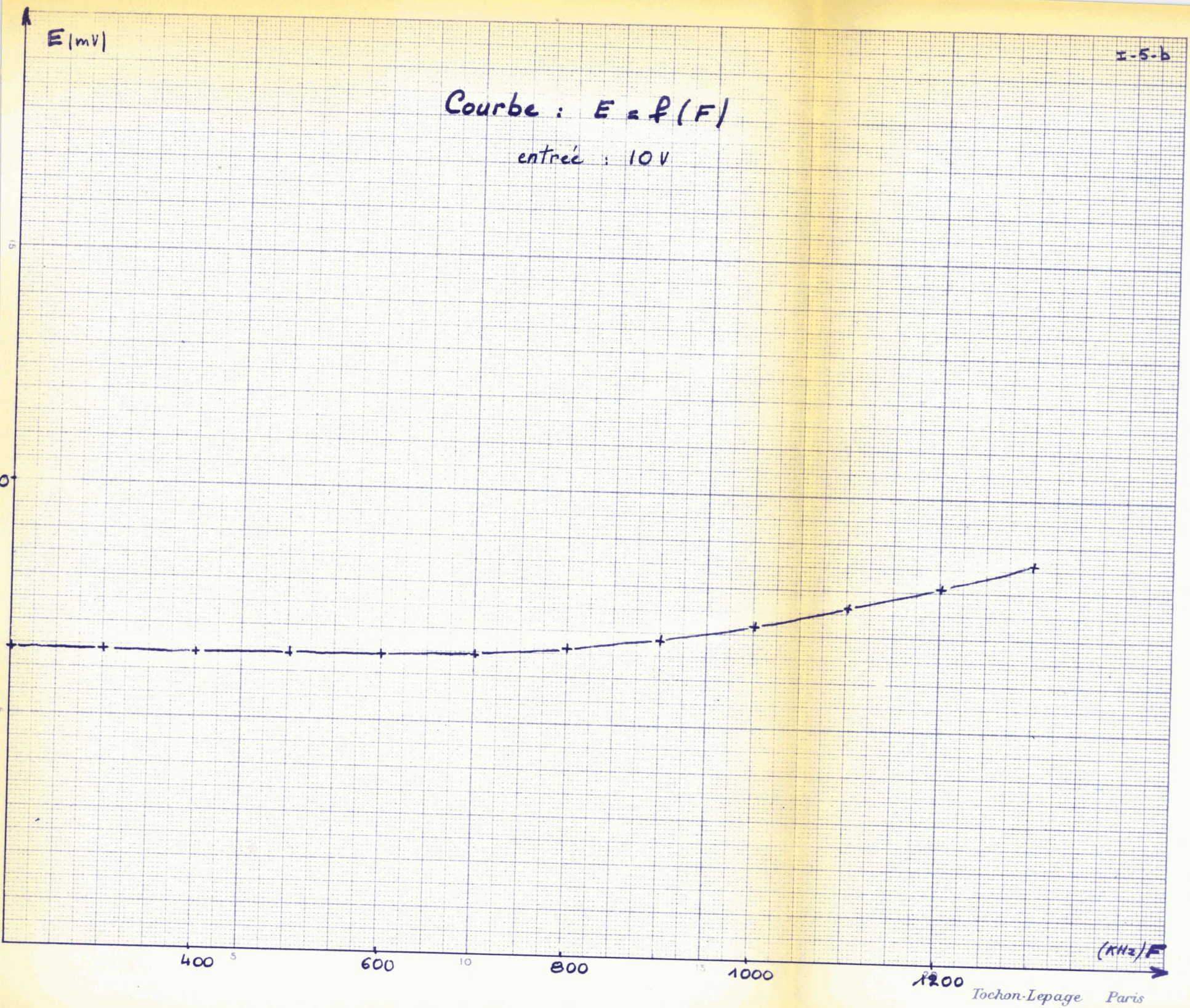
Pour cela,nous avons relevé les réponses de la sonde lorsque la fréquence de travail change et pour une tension d'entrée constante de 10V .

- Tableau I-c

Fréquence KHz	Sonde (mV)
200	32
300	32
400	32
500	32
600	32
700	32,2
800	33
900	34,2
1 000	36
1 100	38,2
1 200	40,5
1 300	43

Courbe : E = f(F)

entrée : 10 V



D'après la courbe tracée, l'étalonnage n'est plus valable, si la fréquence varie beaucoup pour un changement de quartz, mais il reste valable pour les réglages fins de quelques KHz réalisés pour parfaire l'accord.

c/ Influence de la salinité de l'eau ultrasonée

La mise à la masse de la céramique piézoélectrique se fait par l'intermédiaire de l'eau salée. Nous avons cherché quelle concentration minimum était nécessaire pour que la réponse de la sonde soit indépendante de cette concentration .

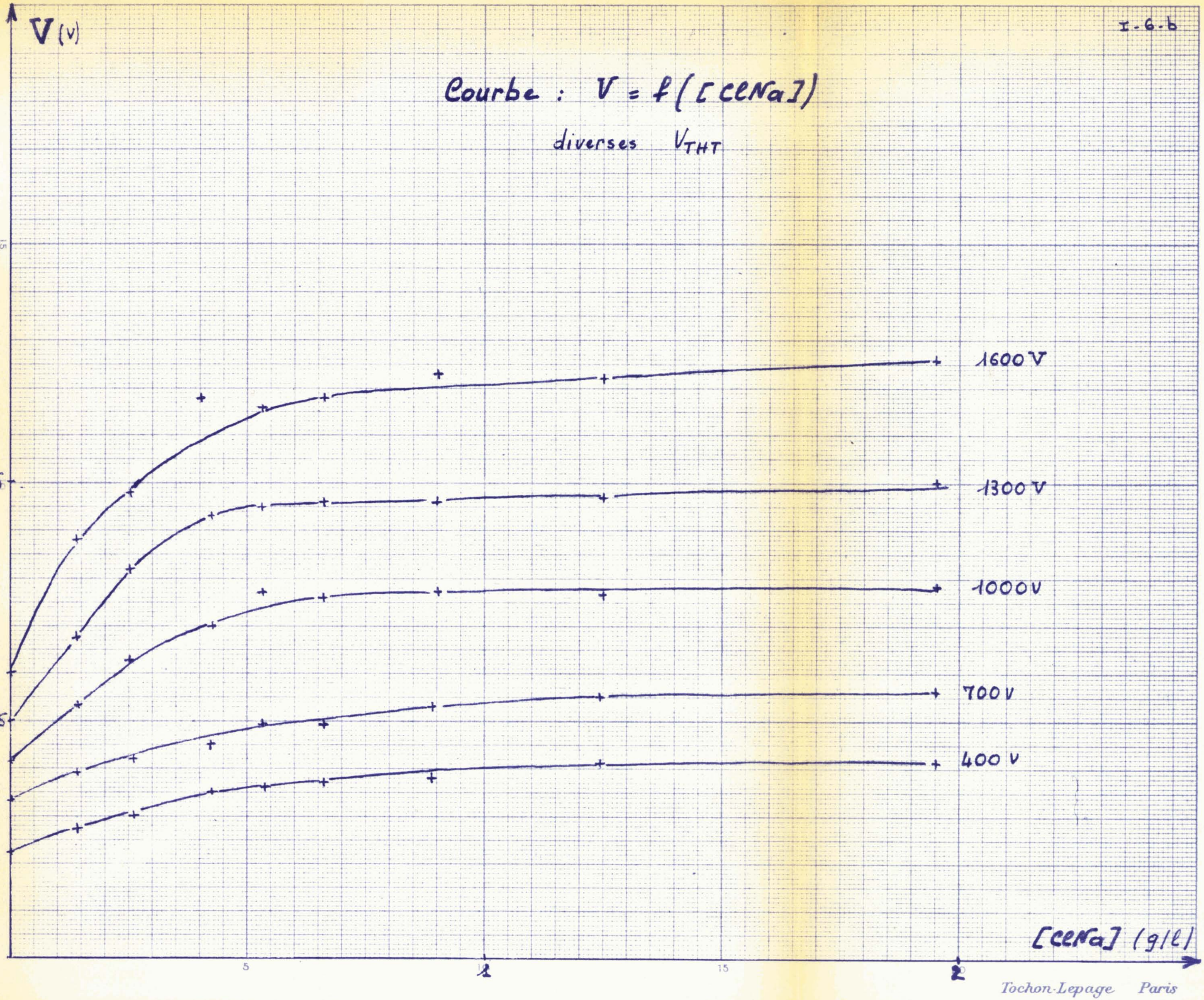
Le tableau I.d résume les mesures sur le voltmètre L.T.R

$C_{g/l}$ \ V_{THT_v}	400	700	1000	1300	1600
0	1,13	1,67	2,07	2,5	3
0,141	1,37	1,95	2,65	3,4	4,4
0,258	1,5	2,1	3,15	4,1	4,9
0,423	1,75	2,25	3,5	4,65	6,4
0,541	1,8	2,45	3,85	4,75	5,8
0,658	1,85	2,47	3,8	4,8	5,9
0,893	1,9	2,65	3,85	4,8	6,15
1,245	2,05	2,75	3,8	4,85	6,1
1,95	2,05	2,8	3,9	5	6,3

Les courbes étudiées, nous montrent que la conductivité atteint rapidement un palier pour une faible concentration de ClNa . D'autre part pour une concentration nulle, la conductivité est assez grande et elle semble due aux impuretés inévitables, que l'eau peut contenir.

Courbe : $V = f([CeNa])$

diverses V_{THT}



Tochon-Lepage Paris

II DESCRIPTION MECANIQUE

1/ Etude de la sonde

Elle est représentée sur la figure ci-contre-Elle se compose d'un corps formé par un tube de cuivre et d'une tête où se trouve placée la céramique. Au point de vue mécanique,nous avons surtout veillé à obtenir un démontage très facile des éléments.

Dans le corps de la sonde,nous pouvons loger le dispositif amplificateur monté sur une plaquette isolante-La grille du tube est simplement réunie à un ressort qui vient s'appuyer sur la pièce (a) - Toutes les connexions aboutissent à un bouchon logé dans la partie supérieure. Il y a donc possibilité de démonter le dispositif amplificateur en très peu de temps ; éventuellement on peut,le remplacer par un autre fixé sur une plaquette isolante identique.

L'extrémité de la sonde est faite d'un assemblage de pièces exactement centrées.La céramique est maintenue dans un tube en aluminium par un joint de polystyrène-Le tube est lui-même fixé sur la sonde par un écrou E et par le double écrou E'on adapte l'ensemble sur le corps de la sonde. Nous introduisons à chaque filetage,un joint spécial dur pour assurer un bon blocage des pièces-

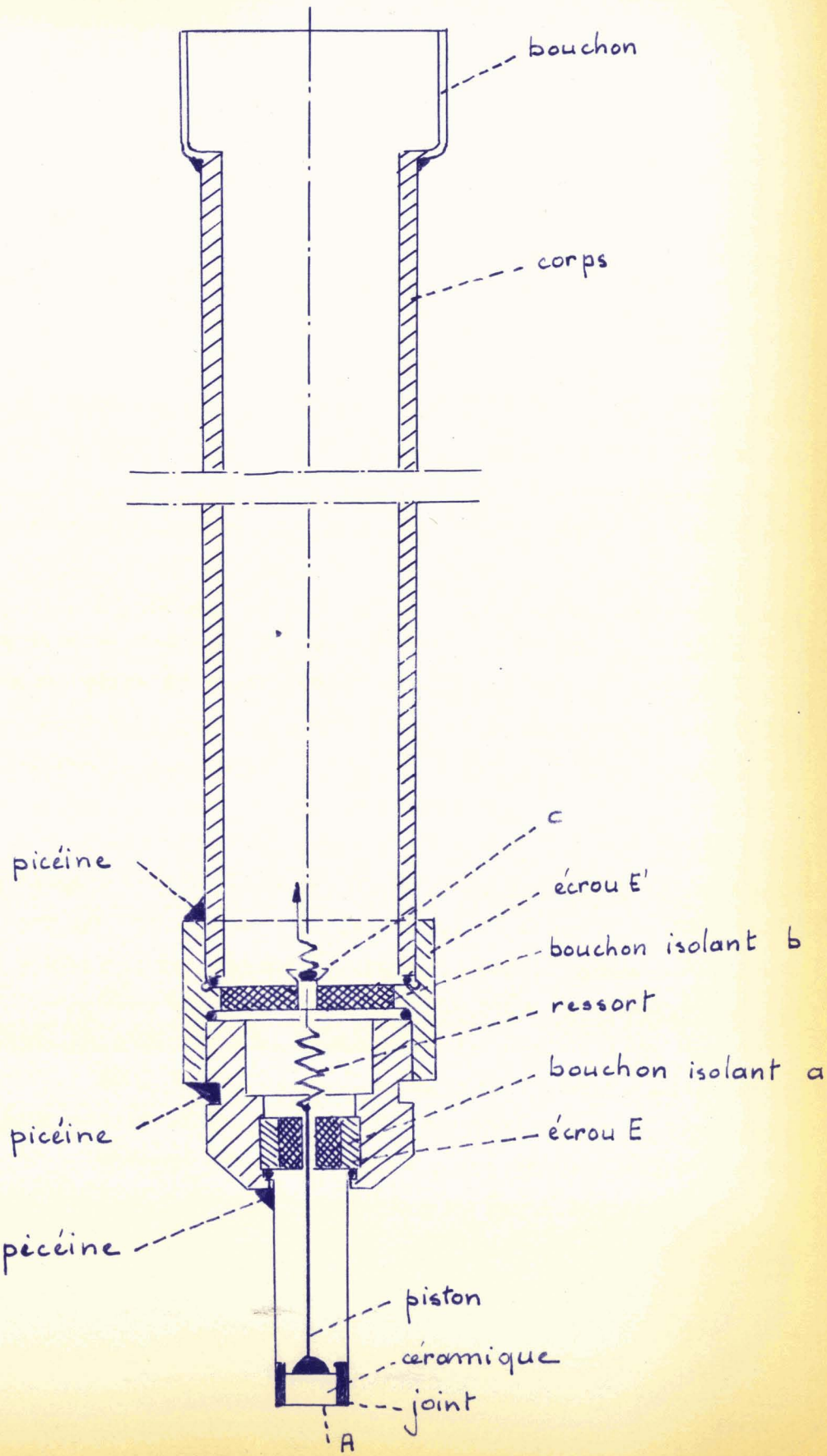
Le circuit électrique est formé par un piston métallique venant s'appuyer sur la face supérieure argentée de la céramique;il est maintenu par un bouchon isolant (a) -Dans le bouchon isolant (b) est fixé une pièce (c) qui assure le contact avec la sonde.

Nous avons fait une petite étude du ressort qui assure le contact entre le piston et la céramique-

Mais il faut que la constante de rappel du rsssort soit faible pour éviter l'amortissement des oscillations de la céramique.

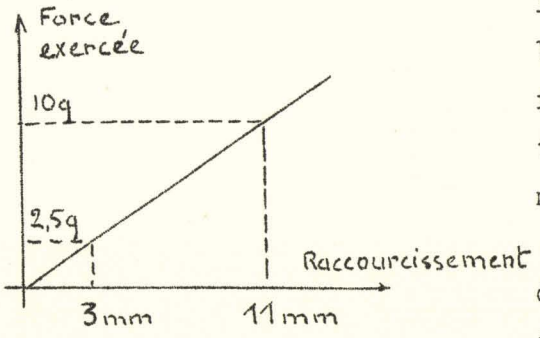
Lorsque la sonde est en position de prospection dans le champ ultrasonore,le niveau d'eau au-dessus de la céramique est environ

Montage mécanique



de 20 cm au maximum. La céramique est alors soumise à une force hydrostatique de :

$$p = 20.\frac{\pi.4^2}{4} = 2,5\,g$$



Il faut donc, un ressort qui exerce sensiblement la même force pour éviter toute déformation. Nous avons étudié un ressort très faible donnant à l'essai le diagramme ci-contre.

Donc pour exercer une contre-pression de 2,5g , il faudra raccourcir le ressort d'environ 3mm . Notons que ces valeurs sont à réaliser approximativement, mais cette étude s'imposait, car en général les ressorts couramment utilisés ont une force de rappel importante.

2/ Entretien et réglages

Comme nous l'avons vu le dispositif amplificateur se démonte aisément par l'extrémité supérieure.

Pour le montage de la céramique, on la dégraisse dans du tétrachlorure de carbone et on la fixe à l'intérieur du joint de polystyrène à l'aide d'une colle plastique que l'on dépose aussi sur toute la face (A) de la céramique. Après séchage, on fait une légère ouverture dans la pellicule plastique pour assurer le contact de la sonde avec l'eau à ultrasoner - Il est à remarquer que cette pellicule n'absorbe pratiquement pas les ultrasons, vu sa faible épaisseur-D'autre part, la colle plastique donne au joint de polystyrène une grande élasticité et la céramique peut vibrer aisément-

L'expérience a montré que les ultra-sons à grande puissance sont capables de ronger le tube d'aluminium à tous les noeuds de vibration: nous l'avons alors entouré d'une gaine de plastique.

Pour le montage de la céramique, une seule précaution est à prendre ; les pièces mécaniques sont toutes centrées et il suffit de monter la céramique perpendiculairement à l'axe de la sonde ; on y arrive aisément en se servant du piston utilisé pour la mesure du module piézo-électrique.

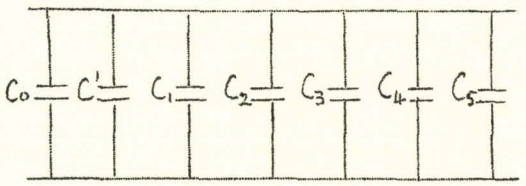
Nous avions pensé que les joints à chaque partie vissée assureraient aisément l'étanchéité, mais cela n'est pas vrai lorsqu'on utilise les ultrasons à haute puissance ; nous avons déposé une couche de picéine sur chaque partie vissée. Donc, nous avons gagné énormément au point de vue étanchéité par rapport à la sonde précédemment construite ; elle nécessitait un démontage complet toutes les 6 heures ; pour la nôtre, il suffit de déposer une couche plastique après une trentaine d'heures de travail.

III CARACTERISTIQUES

1/ Répartition des charges sur la capacité d'entrée.

Dans l'étude précédente, nous avons supposé que les charges se répartissaient sur toute la capacité d'entrée du tube amplificateur.

A cet effet,nous avons disposé des capacités variables en parallèle sur la céramique de la sonde. La connexion des capacités se faisait par report des circuits à l'extérieur de sorte que la sonde étant en place,on peut connecter à volonté n'importe quelle capacité.



Nous avons le schéma ci-contre.Toutes les capacités ont été mesurées au Q mètre, à la fréquence de 90 KHz qui est celle utilisée-

La capacité Co est celle de la céramique : 24,(pF et la capacité C' correspond à la capacité parasite. d'entrée,soit C' = 28,3 pF.

Comme la sonde n'est pas déplacée,elle enregistre toujours la même énergie ultrasonore,et nous avons pour la répartition des charges:

$$q = C.V = \text{constante}$$

Donc en traçant les courbes : $v = f(1/c)$,nous trouvons des droites,soit pour un maximum,soit pour un minimum d'ondes stationnaires-Les valeurs sont données par le tableau (III-a) et par les courbes (III-a)-

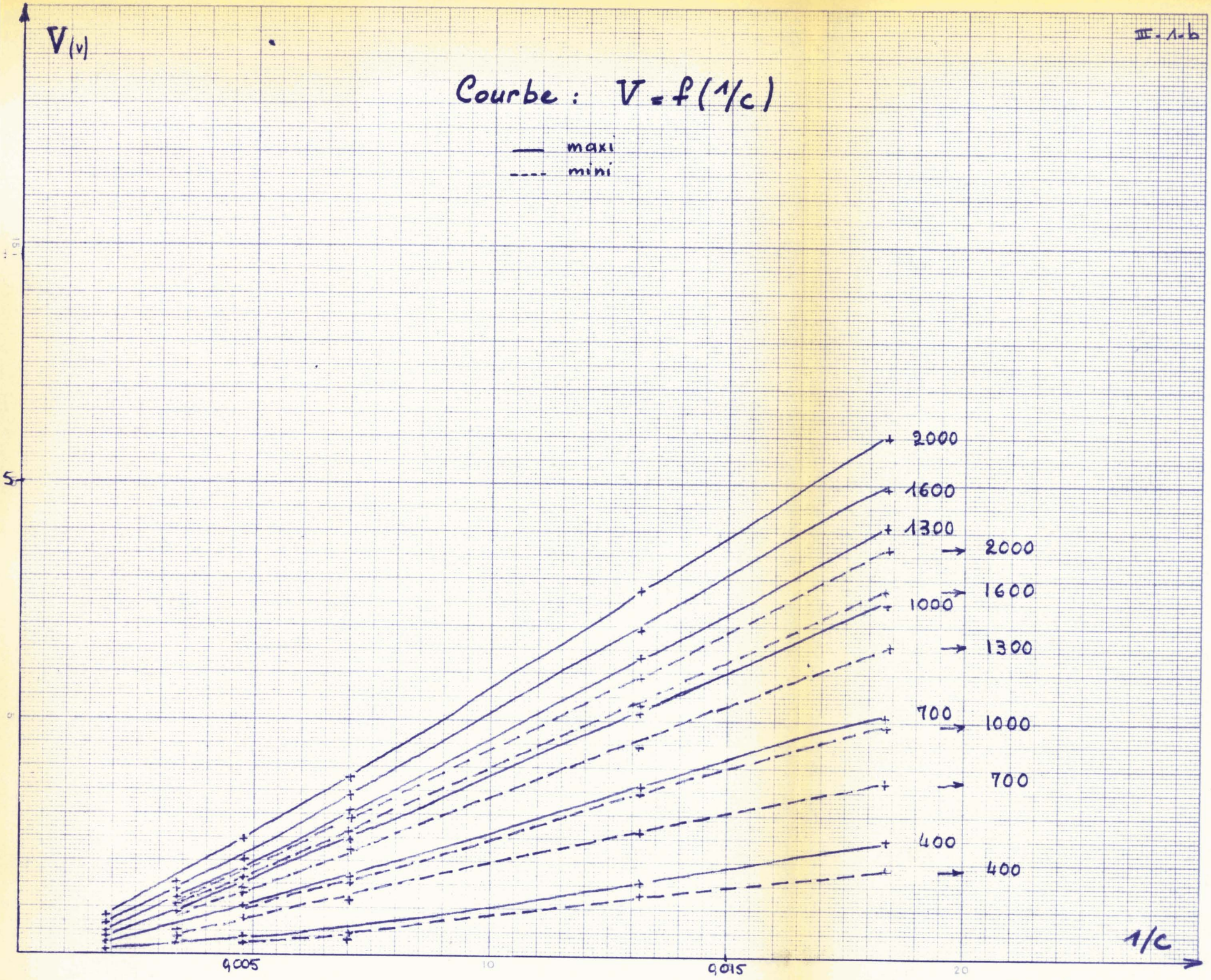
Donc,puisque les courbes sont rectilignes,nous pouvons dire que la possibilité de la sonde est directement liée au rapport :

$$A = \frac{Co}{Co + \Sigma C}$$

Dans notre cas,ce rapport a pour valeur:

$$A = \frac{24,5}{24,5 + 11,8} = 0,675$$

Courbe : V = f(1/c)



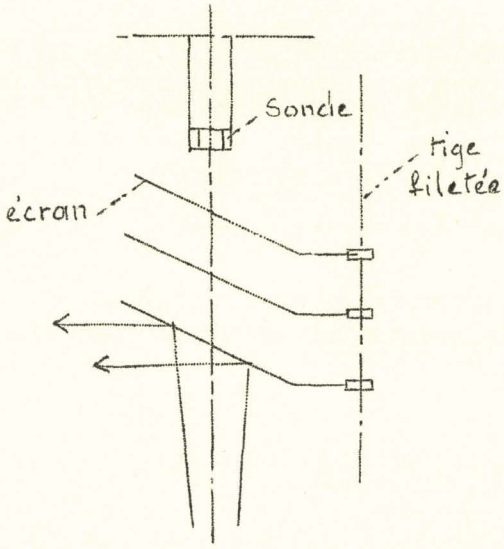
Tochon-Lepage Paris

- Tableau : III.a.

Vtht / 1/c	400v		700v		1000v		1300 V		1600V		2000V	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$1,835.10^{10}$	1,25	0,92	2,5	1,84	3,74	2,44	4,55	3,27	4,95	3,86	5,5	4,32
$1,315.10^{10}$	0,75	0,63	1,8	1,32	2,6	1,775	3,15	2,22	3,42	2,57	3,9	2,93
$0,697.10^{10}$	0,24	0,18	0,8	0,575	1,22	0,784	1,52	1,1	1,67	1,33	1,88	1,48
$0,474.10^{10}$	0,18	0,I4	0,5	0,375	0,71	0,506	0,87	0,652	0,96	0,81	1,22	0,89
$0,336.I0^{10}$	0,10	0,058	0,25	0,185	0,46	0,273	0,6	0,462	0,7	0,525	0,754	0,612
$0,1835.10^{10}$	0,05	0,042	0,12	0,088	0,18	0,13	0,23	0,177	0,355	0,212	0,39	0,235

2/ - Linéarité des réponses de la sonde

Notre but était de montrer la linéarité de la sonde en fonction de la puissance émise.Dans des essais préliminaires,nous avions essayé d'avoir divers niveaux de puissance ultrasonore en faisant de l'absorption par des écrans de picéine. Mais le procédé s"est révélé inadéquat à cause des ondes stationnaires qui peuvent, s'établir entre les écrans et la sonde-



Aussi,nous avons réalisé le dispositif ci-contre,en présentant devant la sonde des écrans formés par des feuilles de cuivre.Elles doivent être assez grandes (3cm x 3cm),pour éviter les effets de diffraction. Une partie du faisceau ultrasonore se réfléchit sur les écrans et se perd latéralement.

Linéarité de la sonde (V_{THT} = 2000 v)

III-2.b

E (mV)

40

20

0 écran

1 écran

2 écrans

3 écrans

4 écrans

5 écrans

Philips PR 4040/01

Philips PR 4040/01

Nous sommes obligés d'incliner légèrement les écrans (18° environ), pour éviter le phénomène d'ondes stationnaires et des réflexions entre les écrans

Carlin (9), donne les équations régissant la répartition de l'énergie à la surface de séparation liquide-solide et solide -liquide- Soit Io l'intensité de l'onde incidente, I celle de l'onde transmise à la surface de séparation de 2 milieux et T le rapport entre les deux énergies; on a :

$$I = Io \cdot T \qquad T < 1$$

Pour un écran, nous avons deux surfaces de séparation:

$$I = Io \cdot T^2$$

Pour (n) écrans, on obtiendra:

$$I = Io \cdot T^{2n}$$

Nous avons alors enregistré la réponse de la sonde avec un certain nombre d'écrans; en adoptant la loi précédente, nous trouvons comme valeur de T :

Nombre d'écrans	1	2	3	4	5
Valeur de T	0,824	0,81	0,813	0,825	0,824

D'après les valeurs trouvées, nous pouvons conclure à la linéarité de la sonde, en remarquant que les écarts numériques deviennent grands quand T possède un exposant élevé-

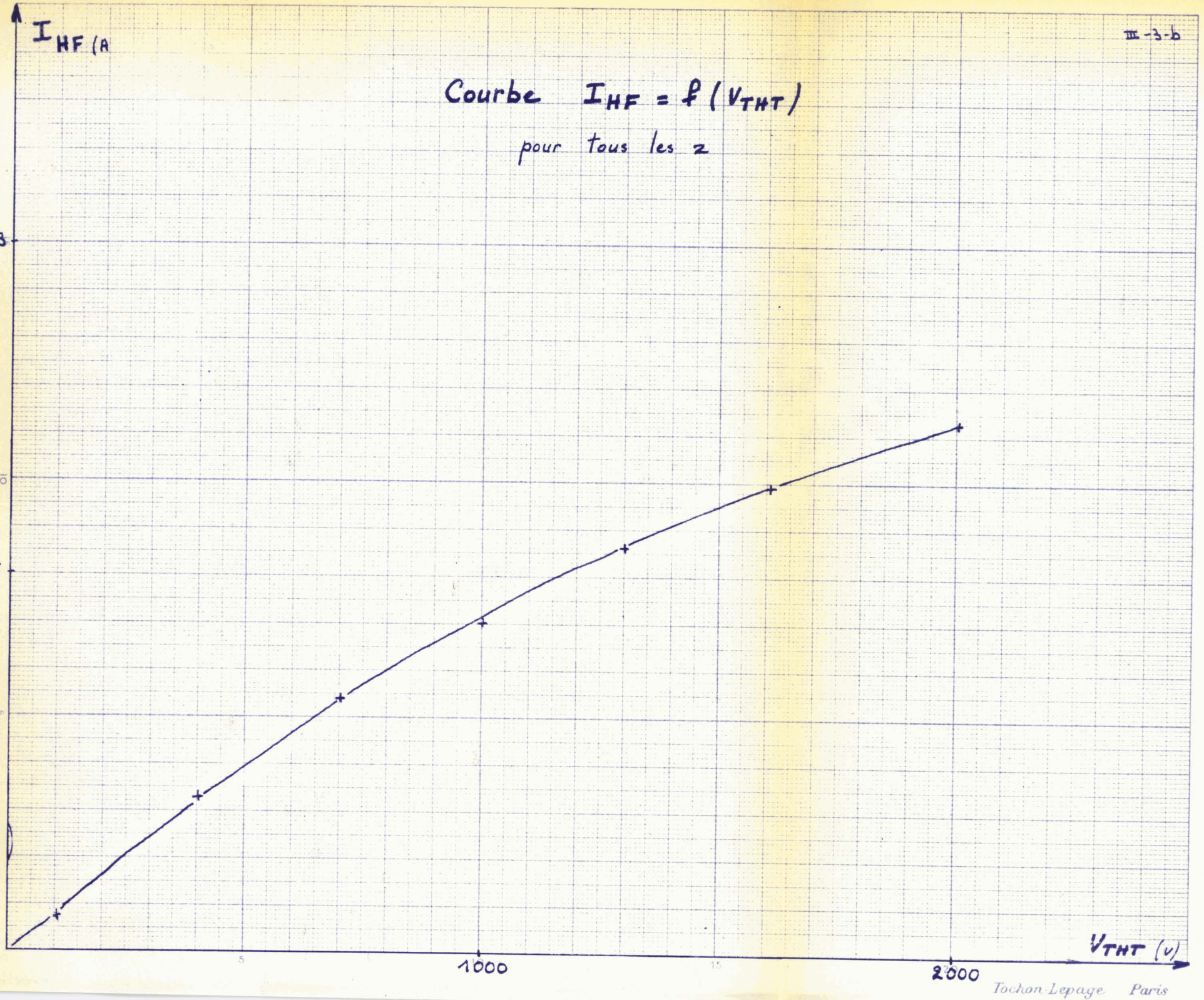
3/- Comportement de l'émetteur en présence de la sonde

a/ - Ondes stationnaires

Malgré les dimensions assez réduites de la sonde, le fait de l'introduire dans le champ ultrasonore entraine des régimes d'ondes stationnaires entre le quartz émetteur et la céramique. Les ondes stationnaires peuvent être mises en évidence en déplaçant la sonde verticalement : Il y a alternance de maxima et de minima.

Courbe $I_{HF} = f(V_{THT})$

pour tous les z



Tochon-Lepage Paris

Mais nous constatons expérimentalement que cela ne modifie en rien la charge de l'émetteur:le courant I(hf) reste constant lorsqu'on enfonce la sonde par l'écrou de règlage fin -

On déduit une longueur d'onde approchée de

$$\lambda = 1,6 \text{ mm}$$

b/ Courant I(hf) dans l'émetteur

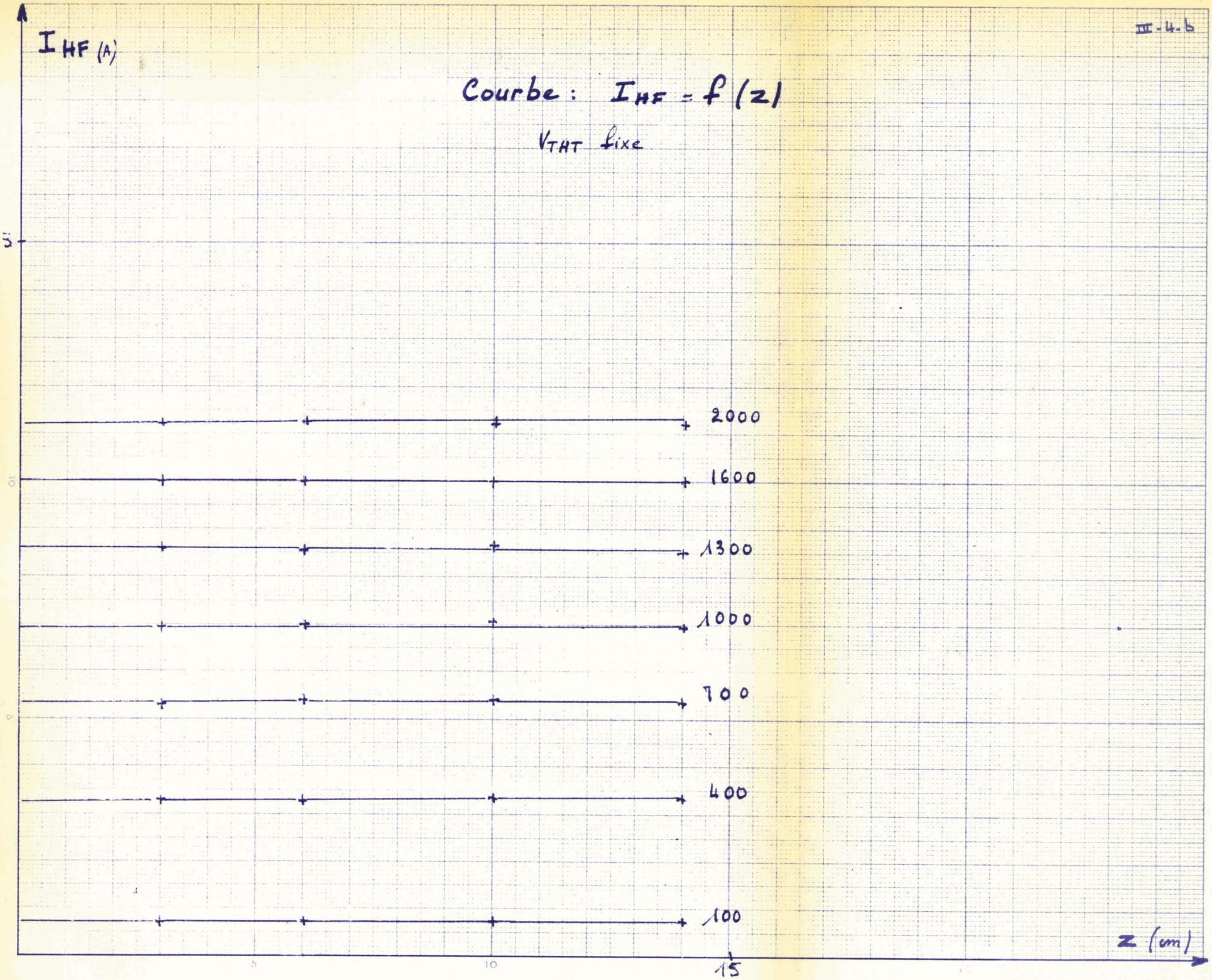
Dans le tableau ci-dessous,nous avons reporté les valeurs du courant I(hf) débité dans le quartz émetteur pour diverses tensions V_{THT} anodiques de l'étage final du générateur,la sonde étant disposée au centre du champ ultrasonore à différentes hauteur z .Les variations de I(hf), quand on passe d'un minimum à un maximum d'ondes stationnaires sont pratiquement négligeables.

- Tableau IIIb : I(hf) en A.

z / V_{tht}	7cm		10cm		13,8cm		17,9cm		sans sonde
	1	2	1	2	1	2	1	2	
100	0,072	0,072	0,070	0,070	0,073	0,073	0,071	0,071	0,072
400	0,325	0,325	0,33	0,33	0,335	0,34	0,340	0,340	0,340
700	0,520	0,515	0,535	0,530	0,502	0,502	0,535	0,545	0,535
1000	0,615	0,625	0,690	0,680	0,70	0,70	0,690	0,690	0,690
1300	0,825	0,820	0,850	0,835	0,85	0,85	0,85	0,85	0,850
1600	0,970	0,970	0,990	0,990	1,00	1,00	1,00	1,01	1,010
2000	1;15	1,16	1,20	1,16	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

Nous pouvons tracer la courbe (III,b . : $I_{hf} = f(V_{THT})$ pour diverses valeurs de z et nous voyons que c'est une fonction croissante de V_{THT} -

Mais la courbe étant valable pour toutes les hauteurs z ,il semble que la sonde ne réagisse plus sur l'émetteur à cause de ses dimensions plus petites- D'autre part,le phénomène d'ondes stationnaires ne semble pas jouer sur la valeur du courant I_{hf}.



Tochon-Lepage Paris

Donc,nous avons amélioré le dispositif par rapport à la première sonde construite puisque pour celle-ci I(hf) variait suivant le taux d'ondes stationnaires et selon que la sonde était plus ou moins proche de l'émetteur.

Les courbes [III.c] représente I(hf) = f (z) pour divers V_{THT},donnant une valeur constante pour une tension d'anode donnée,quelle que soit la distance : z -

c/ Impédance de charge .

Nous avons fait différentes mesures de I_{hf} et de V_{hf} pour en déduire l'impédance de charge : Z = V_{hf} / Ihf afin de voir les paramètres qui peuvent la faire varier.

Dans le tableau (III-d) ci-dessous,nous rassemblons les mesures pour différentes hautes tensions V_{tht} appliquées et en faisant varier aussi la valeur de z -

Les courbes (III.d) donnent les variations de Z dans les conditions précitées,en remarquant que les résultats sont identiques en eau dégazée ou non,mais dans ce dernier cas les mesures ne peuvent être faites qu'en dessous de 500V , car le phénomène de cavitation bouleverse les mesures.

Nous voyons ainsi que l'impédance de charge de l'émetteur est constante quelles que soient la haute tension appliquée et la hauteur de la sonde . Nous avons là une preuve supplémentaire que la sonde ne réagit pas sur le quartz émetteur.Donc,nous avons amélioré le dispositif,puisque,pour la première sonde construite,l'impédance était fonction et de la hauteur z et du taux d'ondes stationnaires.En particulier au seuil de cavitation on obtenait une brusque chute de l'impédance Z.

Courbe : $Z = f(V_{THT})$

pour tous les z

Tochon-Lepage Paris

	z = 7 cm						z = 12 cm					
	1			2			1			2		
V_{THT} V	I_{HF} A	V_{HF} V	$Z_{10^2\Omega}$	I_{HF} A	V_{HF} V	$Z_{10^2\Omega}$	I_{HF} A	V_{HF} V	$Z_{10^2\Omega}$	I_{HF} A	V_{HF} V	$Z_{10^2\Omega}$
100	0,103	236	22,9	0,103	238	22,9	0,102	235	23	0,102	234	22,7
400	0,261	585	22,4	0,263	595	22,64	0,260	585	22,5	0,262	592	22,76
500	0,287	644	22,4	0,287	653	22,8	0,287	648	22,6	0,287	648	22,6
600	0,309	697	22,7	0,310	705	22,8	0,310	697	22,5	0,311	703	22,66
700	0,330	745	22,8	0,333	755	22,7	0,331	748	22,65	0,330	750	22,6
800	0,357	795	22,3	0,354	800	22,6	0,357	795	22,3	0,353	796	22,6
1000	0,391	883	22,6	0,390	885	22,7	0,390	881	22,6	0,390	880	22,6
1300	0,442	995	22,6	0,438	995	22,7	0,440	990	22,5	0,437	983	22,5
1600	0,485	1095	22,6	0,482	1095	22,7	0,484	1095	22,6	0,480	1095	22,8
2000	0,541	1225	22,7	0,542	1225	22,6	0,540	1220	22,6	0,537	1215	22,6

- Tableau III.d (suite)

	Z = 18 cm						Sans sonde		
	1			2					
V_{THT} V	I_{HF} A	V_{HF} V	Z $10^2\Omega$	I_{HF} A	V_{HF} V	Z $10^2\Omega$	I_{HF} A	V_{HF} V	Z $10^2\Omega$
100	0,103	235	22,8	0,105	242	23	0,102	235	23,4
400	0,261	587	22,5	0,260	492	22,84	0,256	595	23,3
500	0,287	644	22,5	0,288	650	22,6	0,278	645	22,2
600	0,309	694	22,5	0,308	698	22,7	0,300	695	23,5
700	0,330	742	22,5	0,330	747	22,6	0,324	750	23,2
800	0,350	785	22,3	0,350	793	22,7	0,340	793	23,4
1000	0,387	865	22,4	0,389	877	22,6	0,382	890	23,4
1300	0,436	976	22,4	0,436	985	22,6	0,430	1000	23,4
1600	0,479	1085	22,6	0,480	1095	22,8	0,467	1090	23,4
2000	0,537	1215	22,63	0,538	1220	22,65	0,524	1212	23,2

CONDITIONS DE STABILITE

I CONDITIONS DE STABILITE

Pour la mesure des niveaux d'énergie ultrasonore, nous avions adopté le dispositif d'enregistrement mécanique. Ceci facilitait les mesures, mais nous devions nous assurer de la reproductibilité des relevés qui étaient faits.

Ceci nous a permis de déterminer l'influence d'un certain nombre de paramètres qui agissent sur la propagation des ultra-sons au sein du liquide-

1/ -Salinité de l'eau ultrasonée.

Cette étude est identique à celle faite pour la sonde - En effet le circuit résonant formé par la quartz émetteur est mis à la masse par l'intermédiaire de l'eau salée. Le tableau ci-dessous montre l'influence de ce paramètre:

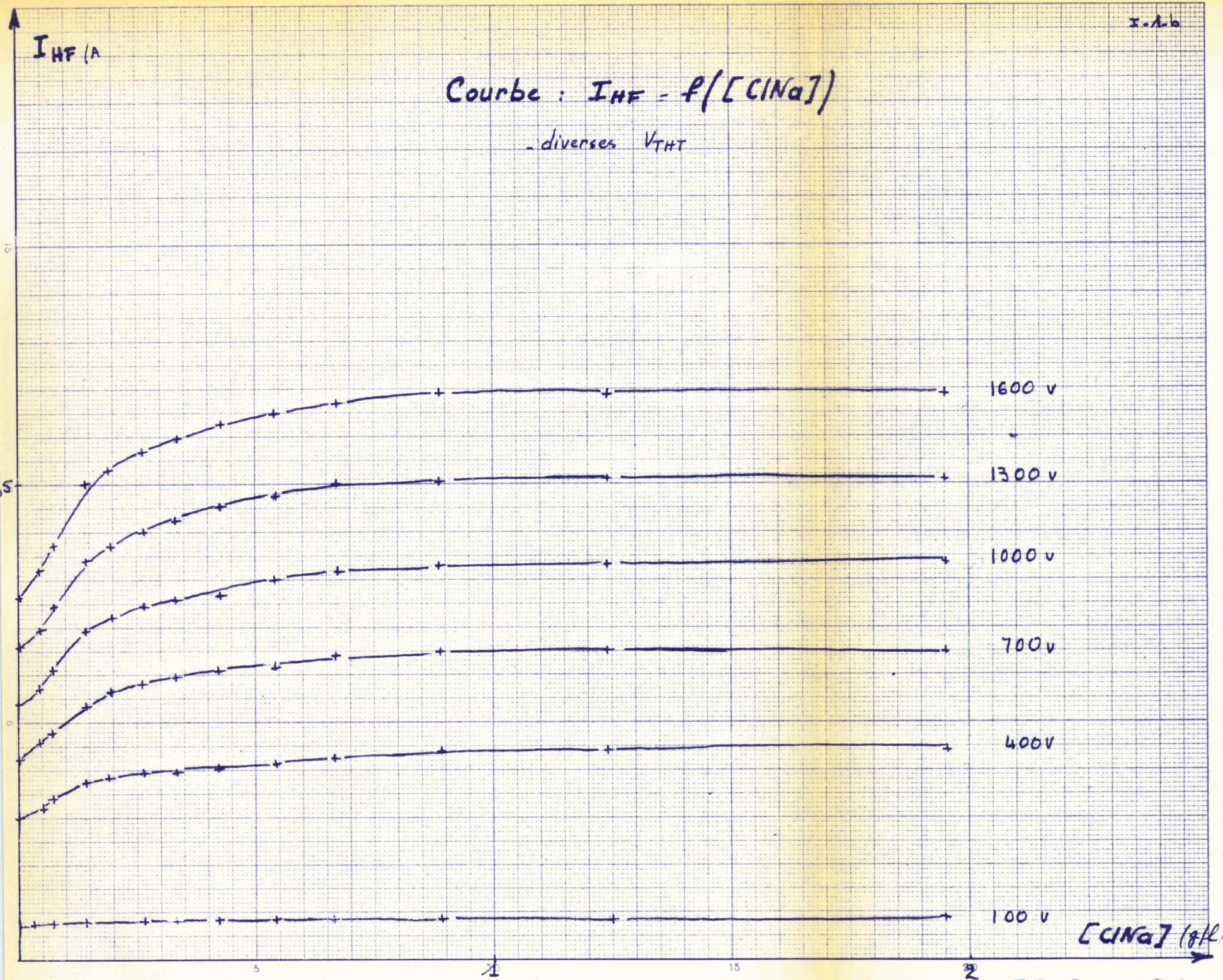
- Tableau : I a . (Ihf en A)

C g/l \ V_{THT}	400	700	1000	1300	1600
0	0,15	0,21	0,27	0,33	0,38
0,141	0,175	0,266	0,345	0,42	0,5
0,258	0,195	0,29	0,37	0,45	0,535
0,423	0,202	0,305	0,385	0,475	0,53
0,541	0,212	0,307	0,4	0,465	0,535
0,658	0,317	0,32	0,407	0,5	0,54
0,893	0,22	0,325	0,415	0,505	0,545
1,245	0,22	0,325	0,415	0,505	0,545
1,95	0,22	0,325	0,42	0,505	0,545

I.1.b

Courbe : $I_{HF} = f([ClNa])$

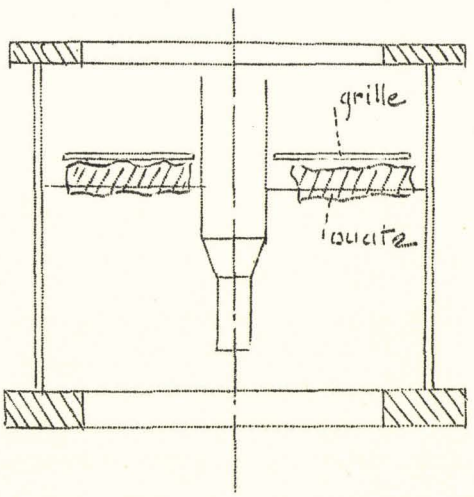
- diverses V_{THT}



Tochon-Lepage Paris

Nous éliminons ainsi l'influence de ce paramètre par une faible concentration de ClNa et qui est identique à celle utilisée pour la sonde.

2/- Ecrans absorbants .



Ces écrans se sont avérés nécessaires pour deux raisons : la sensibilité de la sonde qui enregistre les moindres variations de pression et le dispositif enregistreur automatique.

En effet, comme nous le verrons plus loin, la surface: eau-air du liquide à ultrasoner, forme réflecteur pour les ultrasons.

Or, dès que nous utilisons un niveau d'énergie ultrasonore un peu élevé, l'eau est agitée à la surface et cela crée de multiples fluctuations dans l'enregistrement de la sonde - En effet, lorsque le liquide est agité, la surface de réflexion est mouvante et l'énergie renvoyée par réflexion n'est pas constante -

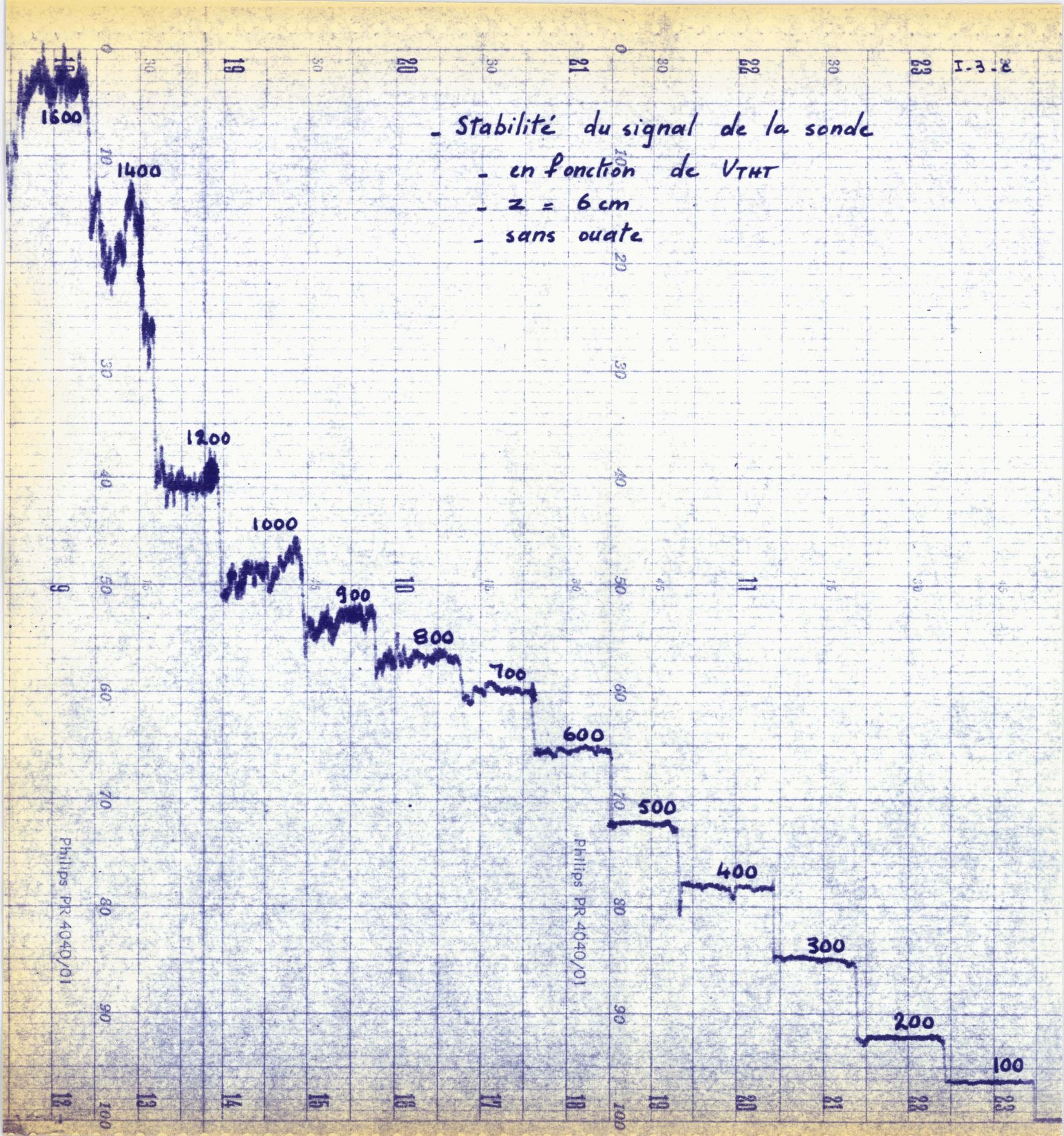
Ces écrans absorbants sont formés d'une grille très fine sur laquelle est fixée la ouate utilisée comme absorbant. Mais, après avoir utilisé cela, nous devions prouver que cet écran ne réagissait pas sur l'émetteur.

Le tableau suivant rassemble, les mesures concernant la valeur du courant I_{hf} de l'émetteur lorsqu'on utilise ou non l'écran de ouate. Pratiquement on n'observe aucune réaction sur l'émetteur.

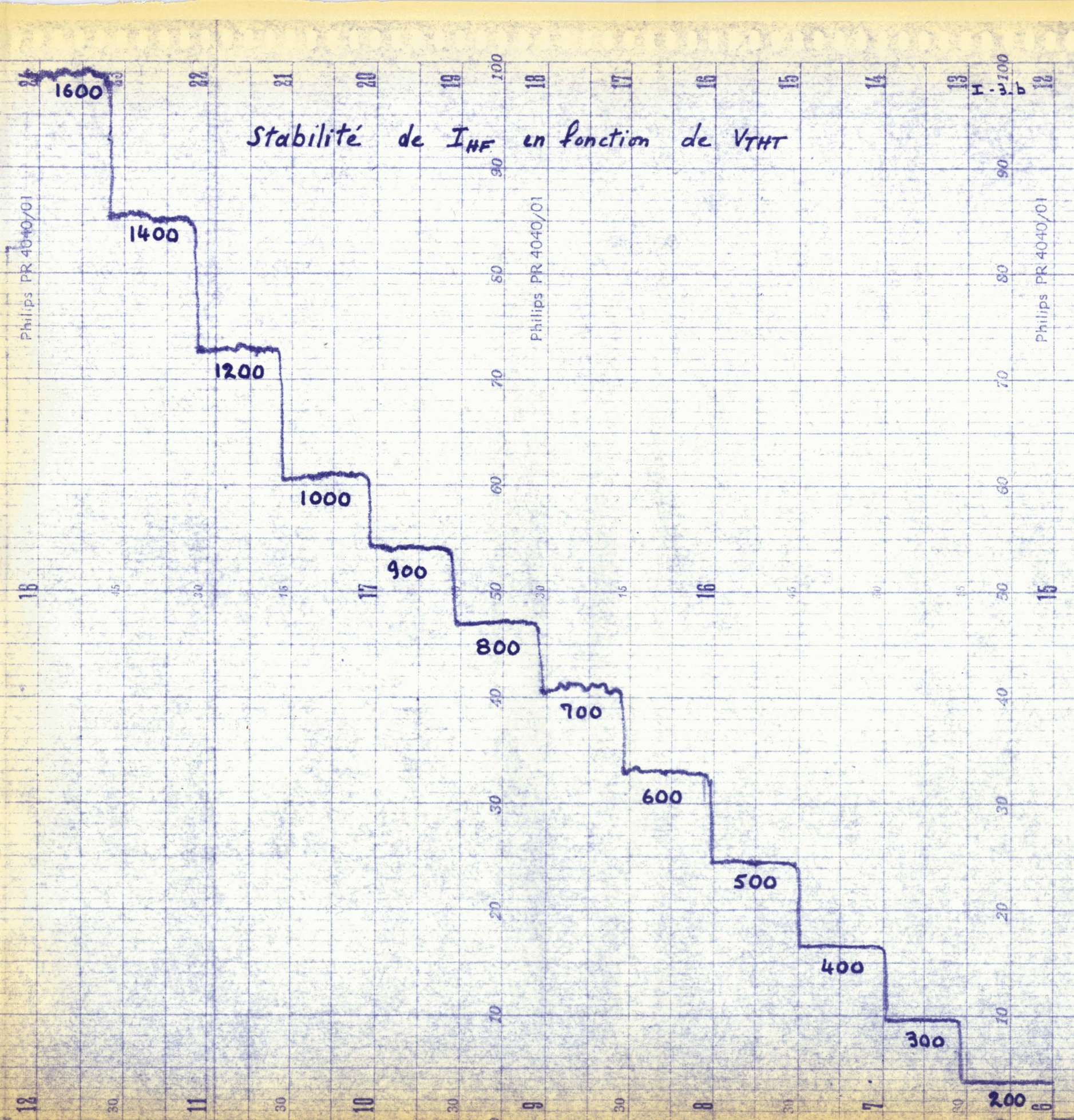
De plus, sur les deux enregistrements, on peut voir l'influence de la ouate qui atténue les fluctuations, ceci pour diverses valeurs de l'énergie ultrasonore.

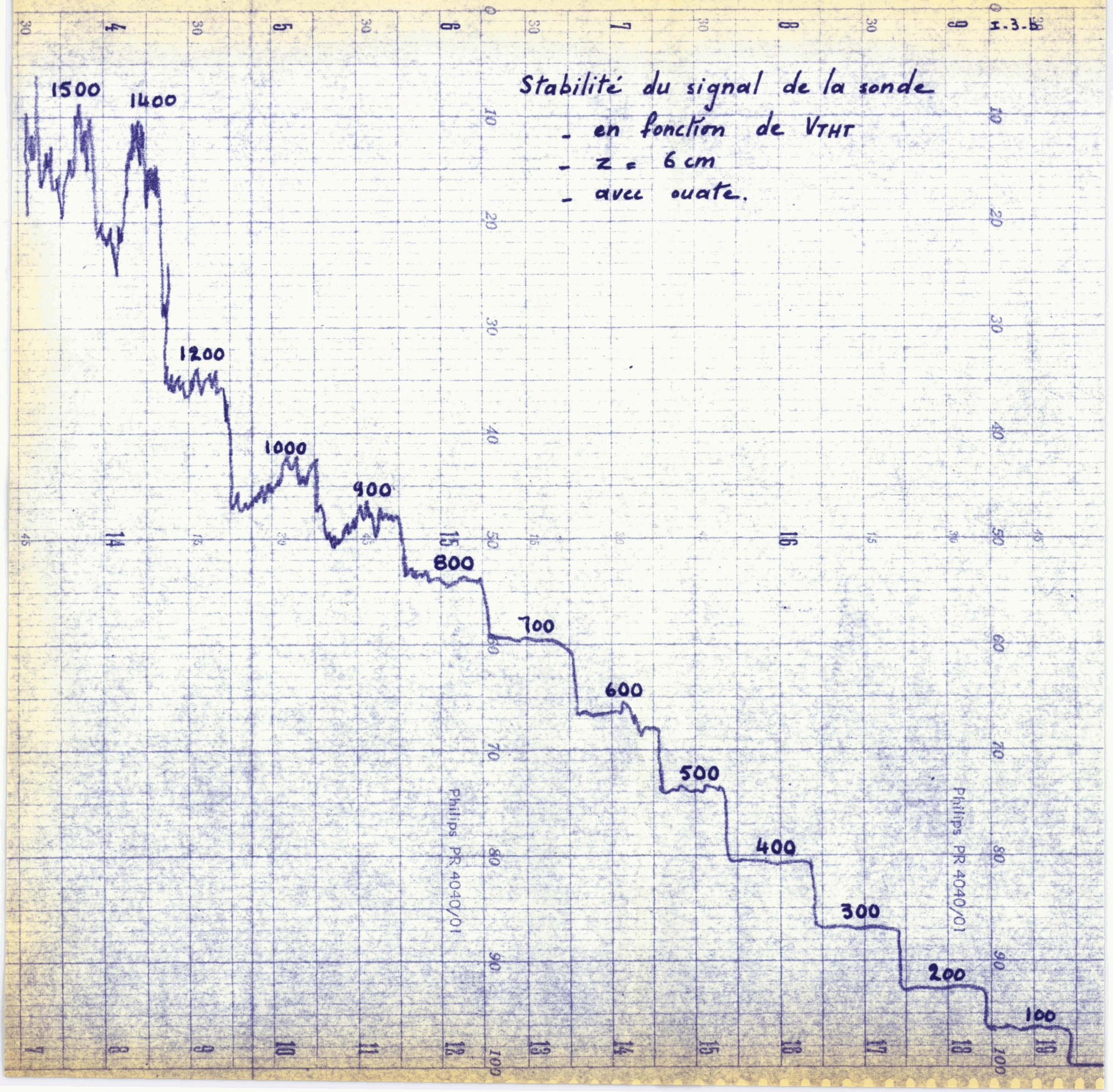
-Tableau I-b.: Ihf en A

z / V_{THT} V	7 cm		10 cm		13,9 cm		17,9 cm		Sans sonde
	1	2	1	2	1	2	1	2	
				Sans écran de ouate					
100	0,072	0,072	0,705	0,70	0,730	0,730	0,710	0,710	0,710
400	0,325	0,325	0,330	0,330	0,342	0,335	0,340	0,340	0,340
700	0,520	0,515	0,535	0,530	0,503	0,503	0,545	0,535	0,535
1000	0,665	0,675	0,690	0,680	0,695	0,695	0,690	0,690	0,690
1300	0,820	0,825	0,845	0,825	0,847	0,845	0,850	0,845	0,850
1600	0,970	0,970	0,990	0,925	1,00	1,00	1,010	0,995	1,01
2000	1,155	1,16	1,195	1,165	1,20	1,20	1,200	1,205	1,20
				Avec un écran de ouate					
100	0,720	0,720	0,720	0,715	0,720	0,720	0,720	0,720	0,720
400	0,625	0,630	0,625	0,627	0,335	0,325	0,332	0,335	0,330
700	0,503	0,503	0,535	0,540	0,540	0,540	0,535	0,540	0,540
1000	0,685	0,695	0,700	0,695	0,705	0,705	0,695	0,700	0,700
1300	0,840	0,736	0,845	0,850	0,865	0,865	0,850	0,860	0,860
1600	1,00	1,00	0,995	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00
2000	1,19	1,20	1,19	1,21	1,22	1,21	1,20	1,22	1,22


I-3-c
- Stabilité du signal de la sonde
- en fonction de V_{THT}
- z = 6 cm
- sans ouate
1600
1400
1200
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01

Stabilité de I_{HF} en fonction de V_{THT}




I.3.B
Stabilité du signal de la sonde
- en fonction de VTHT
- z = 6 cm
- avec ouate.
1500
1400
1200
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01

3/- Stabilité du courant I_{HF}.

La stabilité du générateur H.F. lui-même constitue un paramètre agissant sur la puissance ultrasonore;le générateur est évidemment alimenté par une source de tension stabilisée.

Afin de pouvoir enregistrer les fluctuations de I_{HF},nous l'avons détecté par une diode au germanium O A 85,selon la méthode classique - Le signal a été enregistré pour diverses valeurs de la très haute tension appliquée.

Sur l'enregistrement suivant,on peut constater que la stabilité est excellente.

4/ - Dérive de l'émetteur en fréquence.

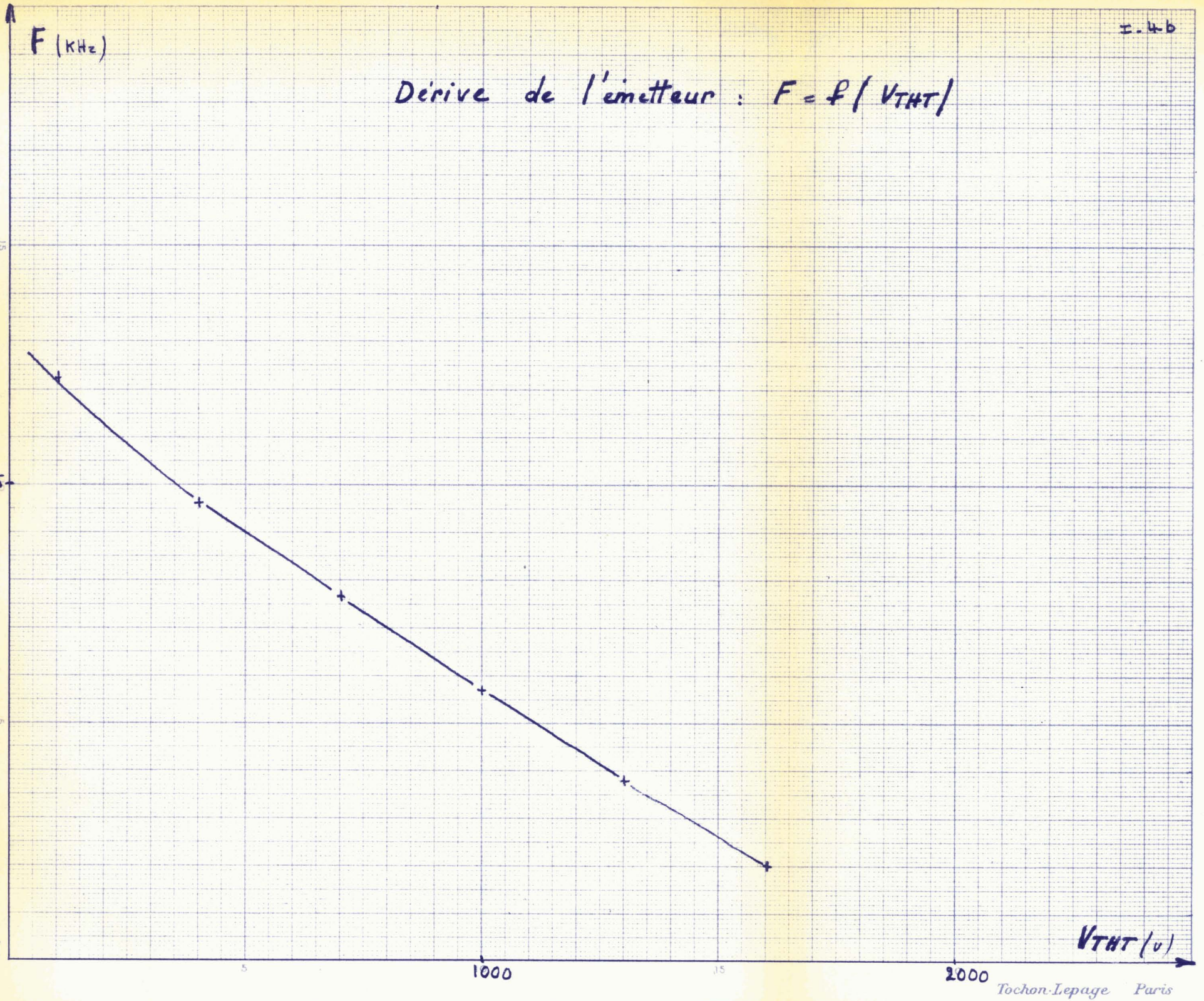
Nous avons fait la mesure sans connecter le circuit de mesure de V_{HF} ce qui nous donne une fréquence d'accord voisine de 917 KHz.

Dans cette série de mesure,nous avons noté la variation de la fréquence du générateur H.F.,lorsqu'on fait varier la haute tension d'alimentation. D'après le tableau suivant : I,c ., on peut constater que la variation est très faible, de l'ordre de 0,05 %- On peut à première vue,négliger cette variation après avoir fait le réglage de la fréquence pour T.H.T. = 1000v . Mais il est préférable,pour parfaire l'accord de régler la fréquence pour chaque haute tension appliquée; en effet la valeur élevée du Q du quartz est très vite modifiée par un léger écart de la fréquence.

- Tableau : Ic.

V_{THT}	100	400	700	1000	1300	I600
F	917,61	917,48	917,38	917,29	917,19	917,10

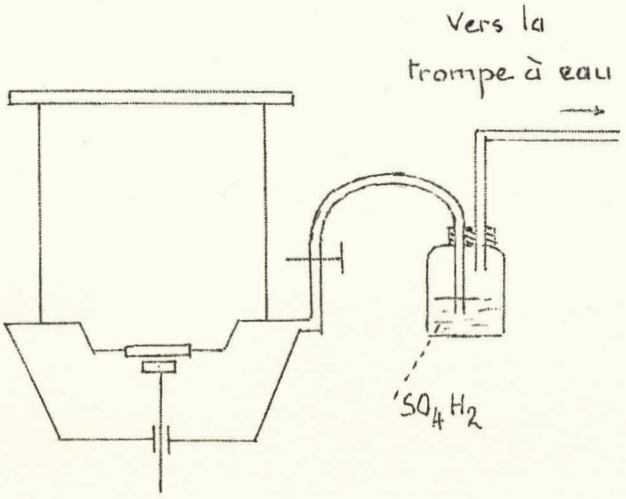
Dérive de l'émetteur : $F = f(V_{THT})$



Tochon-Lepage Paris

5/ - Influence du dégazage

a/ dégazage du pétrole



Lors des multiples mesures récemment faites avec le projecteur ultrasonore, on avait constaté la formation de bulles d'air entre le piston H.F. et le quartz émetteur, notamment lorsqu'on travaillait avec une forte puissance ultrasonore.

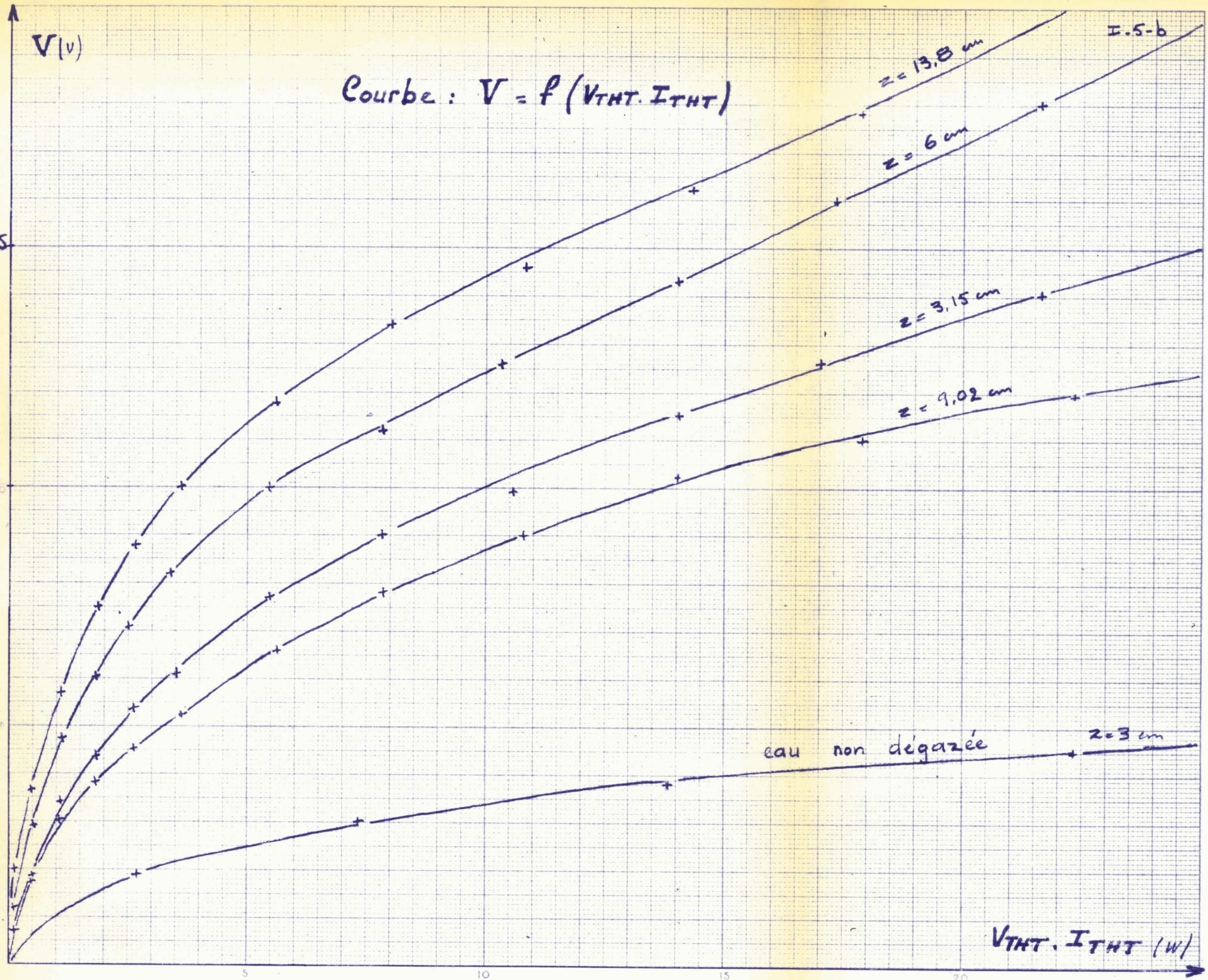
Ceci avait deux inconvients, d'une part, on devait arrêter les mesures car il y avait danger de briser le quartz; d'autre part, les petites bulles d'air qui apparaissaient entre le piston H.F. et le quartz rendaient l'émission ultrasonore fluctuante.

Nous avons fait le montage ci-dessus ; le carter contenant le pétrole est hermétiquement clos et le piston H.F. appuie sur le quartz pour éviter le déplacement de celui-ci à la dépression - Celle-ci est faite par une trompe d'eau avec une trappe à S O 4 H 2 comme intermédiaire pour éviter que l'humidité n'arrive jusqu'au pétrole.

Le dégazage s'est avéré effectif, les bulles ne réapparaissant qu'après de nombreuses heures de travail -

C/ Dégazage de l'eau.

Il est très facile de s'apercevoir de la formation de petites bulles au sein de l'eau, lorsqu'on utilise celle-ci sans la dégazer auparavant sous vide. Ceci a pour inconvénient d'absorber toute la puissance ultrasonore pour libérer l'air dissous dans l'eau-



Tochon-Lepage Paris

Le tableau I.d. donne les réponses de la sonde en fonction de la puissance continue du générateur H.F. pour l'eau dégazée ou non, la sonde étant placée au centre du champ ultrasonore -

- Tableau I. d.

			Eau dégazée				Eau non dégazée
Puissance continue			z=3,15cm	z=9,02	z= 6cm	z=13,8	z=3cm
$I_{THT_{ma}}$	V_{THT_V}	P_{THT_W}	$Sonde_V$	$Sonde_V$	$Sonde_V$	$Sonde_V$	$Sonde_V$
10	100	1	0,4	0,355	0,61	1	0,08
22	200	4,4	0,87	0,91	1,47	1,82	
36	300	10,8	1,73	1,52	2,38	2,85	
45	400	18	2,18	1,92	3,02	3,75	0,95
52	500	26	2,68	2,25	3,55	4,4	
58	600	34,8	3,05	2,62	4,1	5	1,5
68	800	54,4	3,85	3,3	5	5,9	
78	1000	78	4,5	3,9	5,6	6,7	1,9
88	1200	105,5	4,95	4,5	6,3	7,3	
100	1400	140	5,75	5,1	7,15	8,1	
106	1600	170	6,3	5,5	8	8,9	2,75
120	1800	216	7	5,95	9	10,4	
130	2000	260	8	6,2	10,5	11,5	3,7

Nous voyons ainsi que toute la puissance disponible est utilisée dans le phénomène de cavitation-D'autre part,les petites bulles d'air libérées se rassemblent aux noeuds des ondes stationnaires; ceci crée de nombreuses fluctuations dans les réponses de la sonde, chacune de ces bulles jouant le rôle d'un petit réflecteur pour les ultra-sons, réflecteur mouvant au sein du liquide- Donc pour avoir des mesures cohérentes,le dégazage de l'eau est inévitable-

c/ Méthode de dégazage de l'eau

Au début des essais, nous faisions le dégazage de l'eau par ébullition sous vide dans un ballon, le vide étant créé par une trompe à eau - Mais les inconvénients sont les suivants : regazage de l'eau lors de son transvasement dans le projecteur d'ultrasons; mauvaises conditions de température puisque nous sommes obligés de refroidir l'eau-

Nous avons adopté une autre méthode: dégazage de l'eau par les ultra-sons sous vide ; compte tenu que la trappe à SO^4H^2 a été supprimée. Nous utilisons le même montage que pour dégazer le pétrole mais on l'applique à l'eau à ultrasoner ; d'autre part, on utilise également les ultrasons pour accélérer le dégazage.

Pendant le dégazage, nous observons deux phénomènes; le premier consiste en l'apparition de bulles nombreuses au sein du liquide, mais sans bouillonnement, ceci dès le début de la dépression. Au bout d'un certain temps, il y a une brusque apparition de bulles très fines dans le liquide avec bouillonnement.

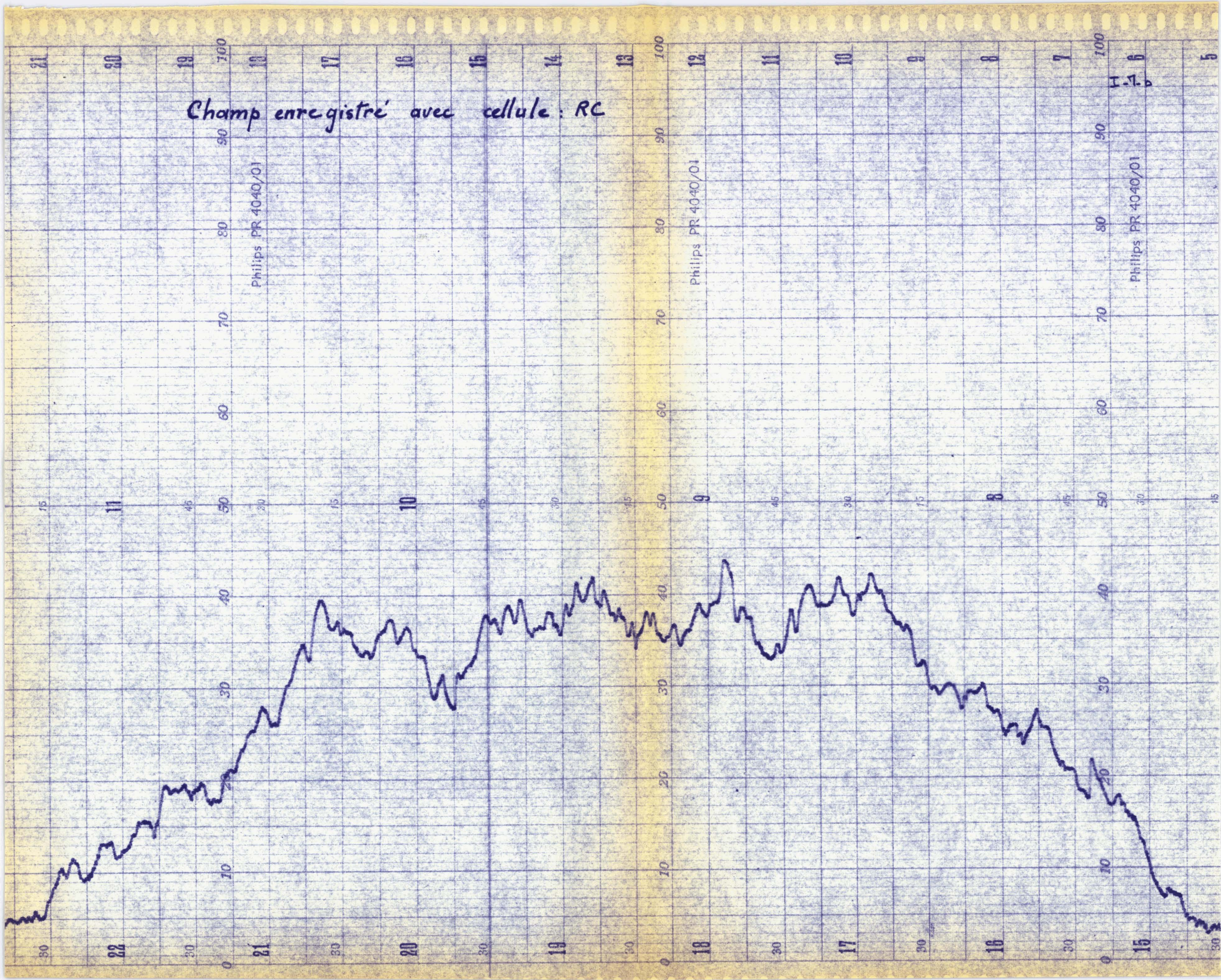
Nous pensons donner une première interprétation du phénomène - En effet des enregistrements de température pendant le dégazage ont révélé deux baisses de celle-ci aux moments de l'apparition des bulles ce qui signifie une brusque absorption d'énergie nécessaire pour chasser les gaz dissous- Il semblerait donc, qu'on ait deux gaz dissous dans l'eau et qui sont libérés à deux niveaux différents de température et de pression-

Pour nous, il est très important de retenir le fait que cette méthode donne un dégazage plus parfait (on évite le regazage dû au transvasement). D'autre part, l'expérience a montré que le dégazage n'est vraiment efficace que si l'on attend la deuxième libération de gaz dissous -

6/ -Circuit R C de mesure.

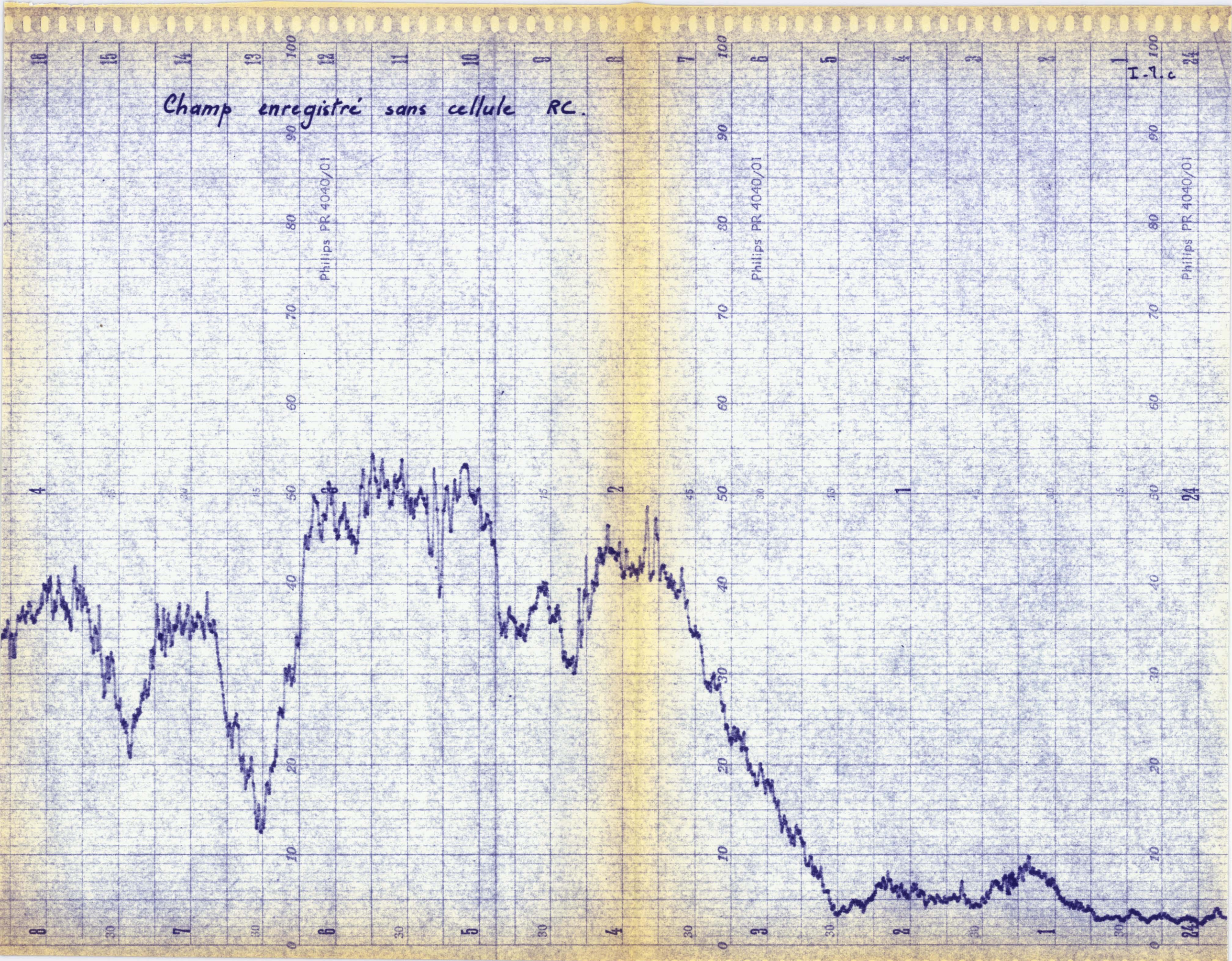
Comme nous l'avons montré en étudiant le circuit de mesure de la sonde, nous avons introduit un circuit R C pour augmenter

Champ enregistré avec cellule : RC



Champ enregistré sans cellule RC.

I.1.c



la constante de temps ; la sonde intègre alors les légères fluctuations qui existent toujours même lorsque la température est parfaitement stabilisée-

Dans les deux enregistrements ci-contre, nous avons montré l'influence du circuit R C dont la constante a été déterminée d'une façon purement expérimentale .

7/ Influence de la hauteur d'eau ultrasonée.

L'eau contenue dans le vase-laboratoire forme une masse vibrante au dessus du quartz qui la met en vibration- Lorsque son épaisseur correspond à :

$$e = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

l'onde qui se réfléchit sur la surface de l'eau est en opposition et on a un minimum d'ondes stationnaires ; au contraire lorsque l'épaisseur a pour valeur :

$$e = K.\lambda$$

on a la formation d'ondes stationnaires , ce qui accroit l'énergie de la source ultrasonore .

Aussi si nous diminuons progressivement la hauteur d'eau au-dessus du quartz, nous devons passer successivement par différents états d'ondes stationnaires .

C'est ce que nous avons réalisé en vidant l'eau du vase-laboratoire goutte à goutte et en enregistrant l'énergie ultrasonore au sein du liquide.

Sur cet enregistrement, nous avons montré le rôle obsorbant de la ouate qui diminue le phénomène d'ondes stationnaires sans pouvoir toutefois le supprimer. Lorsque le niveau d'eau est soit en-dessus, soit en-dessous de la ouate, l'amplitude des variations de l'énergie ultrasonore est assez importante ; par contre, dans la région de la ouate, elles sont considérablement diminuées-

Philips PR 4040/01

Philips PR 4040/01

Philips PR 4040/01

Philips PR 4040/01

Philips PR 4040/01

Philips PR 4040/01

Nœud de la ouate

Ondes stationnaires selon le niveau d'eau -

8/ Réglage des parallélismes.

Les réglages sont encore les conséquences de l'enregistrement automatique - En effet,nous n'avons pas pu éliminer le phénomène d'ondes stationnaires entre la sonde et le quartz émetteur : nous sommes donc obligés de faire les mesures soit au maximum d'ondes stationnaires soit en leur absence - Pour un relevé manuel point par point, il était possible de régler la hauteur de la sonde chaque fois par le réglage fin. Dans notre cas,le réglage est fait au début de l'enregistrement . Il est donc nécessaire que le plan dans lequel se déplace la sonde soit rigoureusement parallèle à celui du quartz-

Ce réglage a été effectué au comparateur au 1/100 de mm en agissant sur les éléments de réglage suivants :

- Les 3 vis du disque gradué
- Les 6 vis de serrage du vase en pyrex
- Les 4 vis maintenant les deux glissières
- La vis de réglage du chariot.

Le parallélisme du plan de la sonde et du quartz peut-être approché à $\frac{+}{6}$ 3/100 de mm. En effet les multiples liaisons mécaniques existantes suppriment la rigidité du montage qu'il aurait fallu construire beaucoup plus massif.

Nous envisageons plus loin dans le paragraphe concernant les améliorations possibles du projecteur,le réglage du parallélisme : quartz- piston H.F. dont l'importance est énorme parce qu'il modifie les formes du champ.

9/ Influence de la température.

C'est évidemment le paramètre le plus important au point de vue reproductibilité des mesures - C'est d'ailleurs ce paramètre qui nous a conduits à un enregistrement automatique de l'énergie

Enregistrement : des U.S.
de température - en un point

- V_{THT} = 1000 v
- I_{HF} = 0,58 v

I-9-b

Changement de sensibilité

T

U.S

ultrasonore et de la température.

Nous avons fait un enregistrement de la température et de l'énergie ultrasonore en un point donné du champ ultrasonore - Nous voyons ainsi un équilibre thermique qui s'établit selon une courbe à allure exponentielle. A cause de la grosse capacité calorifique du projecteur ultrasonore, l'équilibre thermique est très long à s'établir.

Pour ce qui est de la valeur de l'énergie ultrasonore, nous la voyons changer en fonction de la température du milieu - Ceci s'explique par le fait que la longueur d'onde est fonction de la température du milieu ultrasoné. Donc le taux d'ondes stationnaires qui s'établit entre la sonde et le quartz émetteur est fonction de la température, ce qui explique les fluctuations de l'enregistrement -

- Remarque importante :

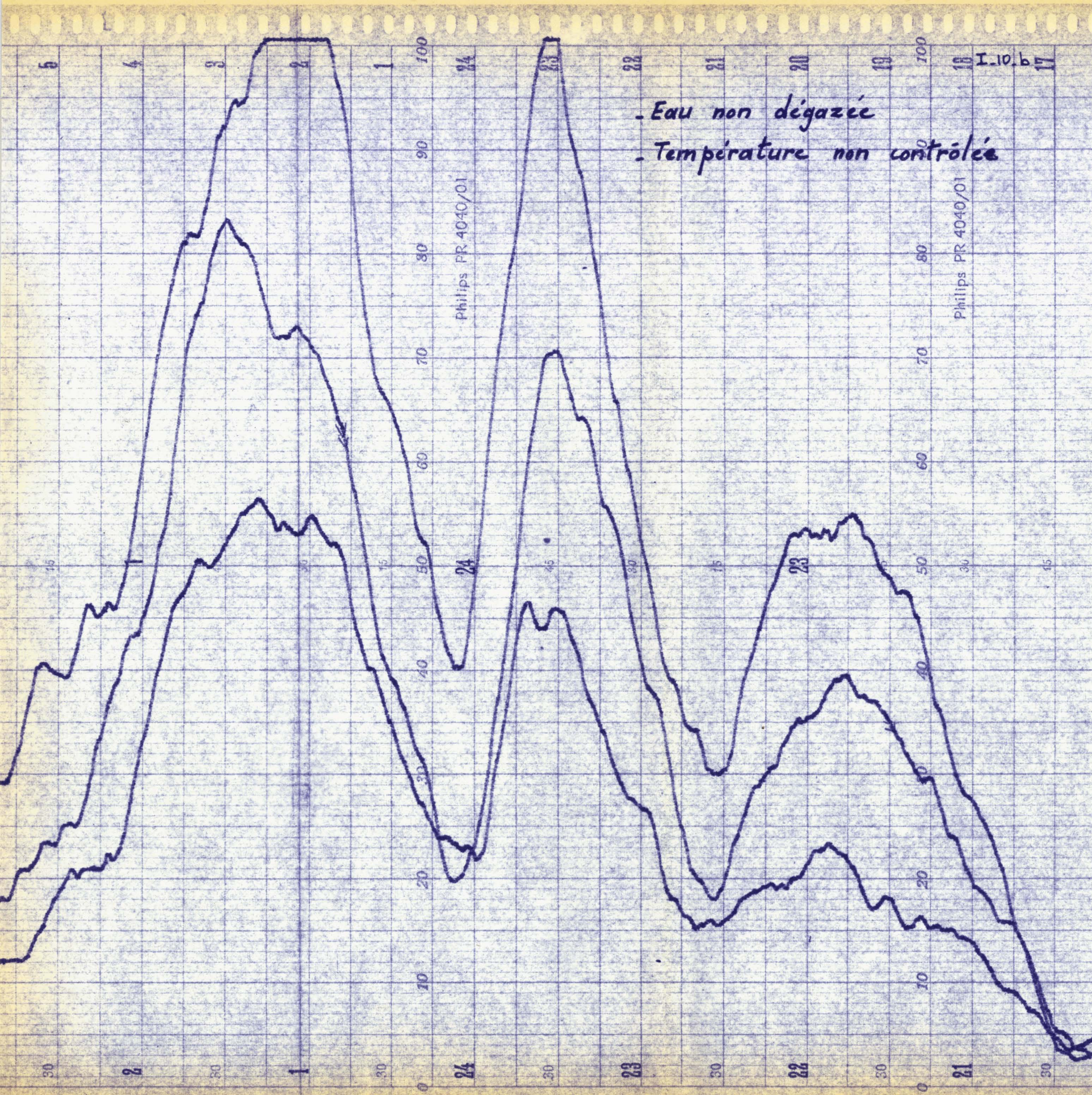
Elle concerne les réglages du générateur H.F. en fréquence, de la position du piston H.F. par rapport au quartz, et de la position de la sonde dans le champ - Quand l'équilibre de température a été atteint, nous sommes obligés de refaire tous ces réglages pour nous placer dans la position optimum - Ceci amènera nécessairement une modification de la température, très petite d'ailleurs , mais qui demande aussi un certain temps pour atteindre l'équilibre .

Donc, pour être à même de comparer deux enregistrements ultrasonores il faudrait être dans les mêmes conditions de température.

a/ - premier essai de reproductibilité

Il est donné par l'enregistrement ci-contre exécuté d'une façon continue, la sonde se déplaçant sans arrêt - D'autre part, l'essai est réalisé en eau non dégazée, sans contrôle de température.

Nous nous apercevons que le champ ultrasonore a sensiblement les mêmes formes, mais nous sommes très loin de la reproductibilité.-


I.10.b
- Eau non dégazée
- Température non contrôlée
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01

b/ Influence du dégazage

Dans l'enregistrement précédent, nous avions adopté une constante de temps beaucoup trop grande, de sorte que la sonde suivait très lentement les fluctuations d'énergie ultrasonore - Ce qui nous a révélé un enregistrement sans cellule RC . Pour les enregistrements suivants , la constante de temps résulte de l'expérience : la sonde suit les fluctuations même assez rapides du signal -

Ceci,nous a conduits au dégazage de l'eau ultrasonée et du pétrole par les méthodes que nous avons indiquées précédemment . En effet les petites bulles qui se fixent aux noeuds des ondes stationnaires peuvent agir comme réflecteurs et modifier ainsi l'énergie transmise. De même pour le pétrole, ces bulles pouvaient modifier l'énergie renvoyée par le piston H.F., ce qui modifiait le champ.

L'enregistrement fait après avoir procédé au dégazage,nous montre que ce paramètre n'est pas le seul à agir sur les conditions de reproductibilité .

c/ - Réglage mécanique

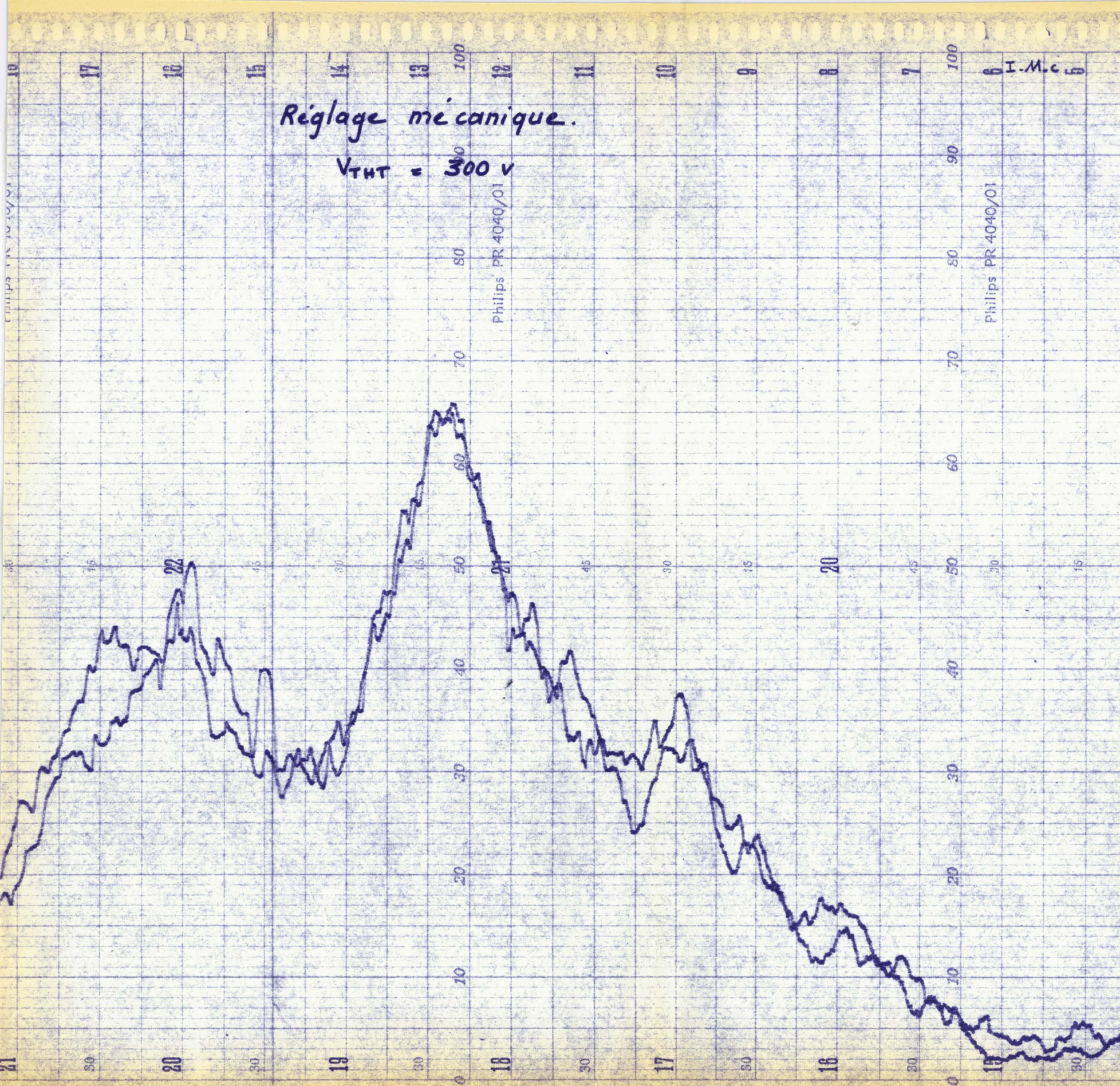
Nous avons pensé alors à la question du dispositif mécanique. En effet, la sonde est très sensible et de légers déplacements dans son trajet peuvent se traduire par des indications très différentes.

Nous avons mis au point le réglage mécanique de façon que la sonde décrive toujours le même chemin. Pour cela,nous avons assuré un contact entre les pièces mécaniques par trois points : projecteur et disque gradué ; glissières et chariot . D'autre part, les glissières ont été polies et lubrifiées pour qu'aucune force de frottement importante ne donne des à-coups dans le déplacement de la sonde.

Nous avons ainsi grandement amélioré la reproductibilité mais, ce n'était pas suffisant - L'enregistrement présenté semble excellent déjà , mais ceci est dû au fait que nous avons sensiblement les mêmes conditions de température aux deux passages , ceci sans contrôle de température.

I.11.b

Eau et pétrole dégazés


Réglage mécanique.
V_{THT} = 300 v
Philips PR 4040/01
I.M.C

D'autres enregistrements faits ensuite se sont montrés beaucoup plus défectueux, ce qui nous a poussés à étudier le paramètre température.

d/- Utilisation d'un circuit de refroidissement

Nous avons monté un circuit de réfrigération représenté ci-dessous. L'eau du vase-laboratoire est refroidie dans deux tubes à boules , eux-mêmes refroidis par l'eau de réfrigération provenant du réseau de distribution. Ceci a un premier inconvénient : il sera très difficile d'avoir la même température dans le vase-laboratoire pour des jours d'enregistrement différents ; ceci est d'ailleurs encore influencé par la température ambiante qui varie facilement. Dans le circuit de l'eau ultrasonée, il faut se garder de laisser des bulles d'air, ce qui aurait pour effet de regazer l'eau - Celle-ci est mise en circulation par une pompe à vibreur-

Dans un premier essai, nous avons monté un multivibrateur avec deux relais - Pendant le premier temps, la sonde se déplaçait et la pompe était en fonctionnement - Le deuxième temps consistait dans l'enregistrement du niveau d'énergie ultrasonore-

Le premier enregistrement a été fait avec l'arrivée d'eau par le haut pour ne pas provoquer des remous au sein du liquide: la reproductibilité est meilleure sans pouvoir être acceptable.

Dans le deuxième enregistrement l'eau arrivait par le bas grâce à une couronne de distribution percée de petits trous. Ceci donnait un refroidissement plus efficace, assuré d'ailleurs par le brassage de l'eau dû aux ultrasons : Nous obtenons alors une reproductibilité bien meilleure -

e/ - Recherche d'un contrôle de température

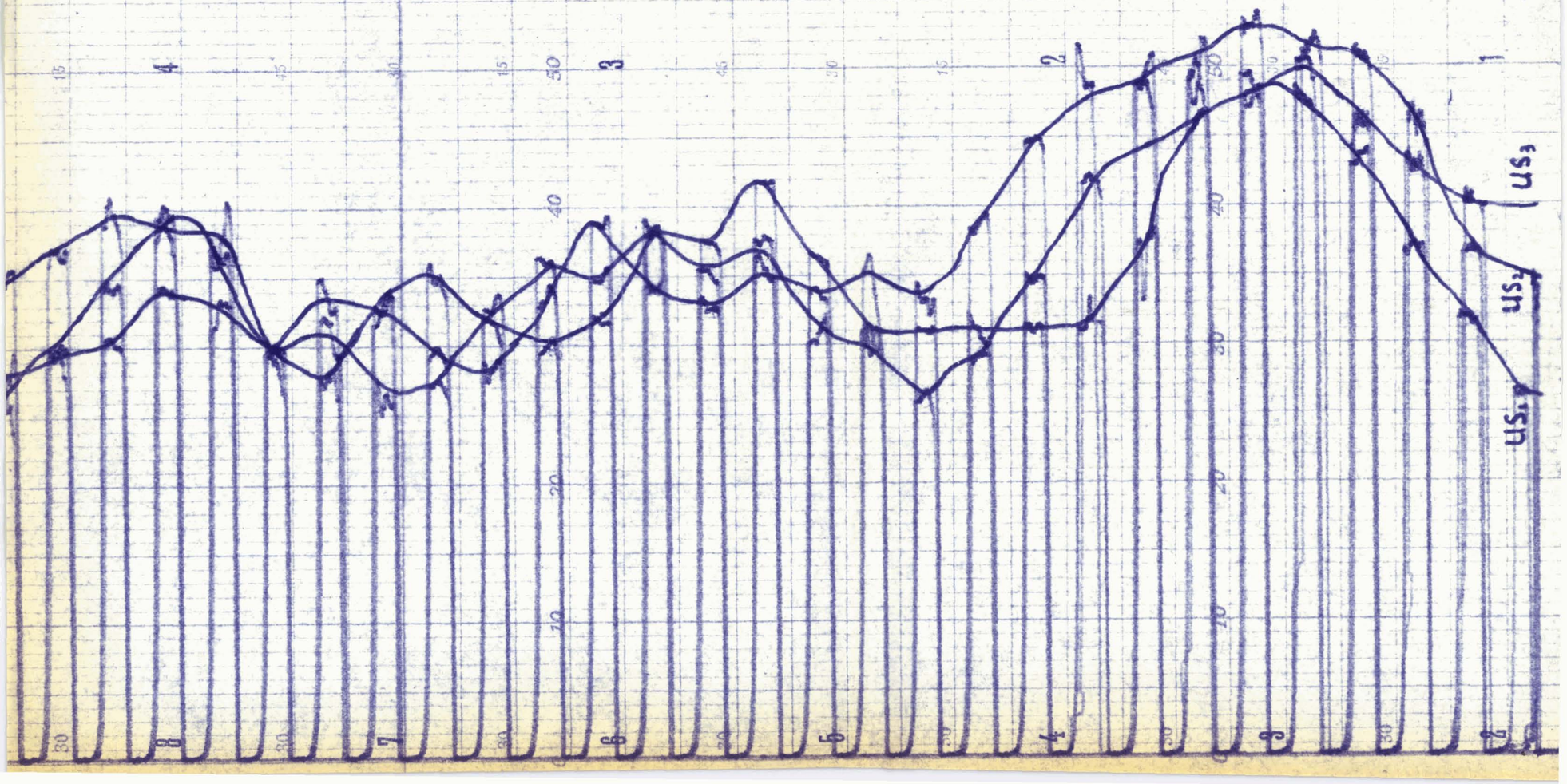
Avant de monter le dispositif de contrôle de température qui demandait beaucoup de mise au point, nous nous sommes assurés

I.12.b

Refroidissement par le haut du vase. laboratoire

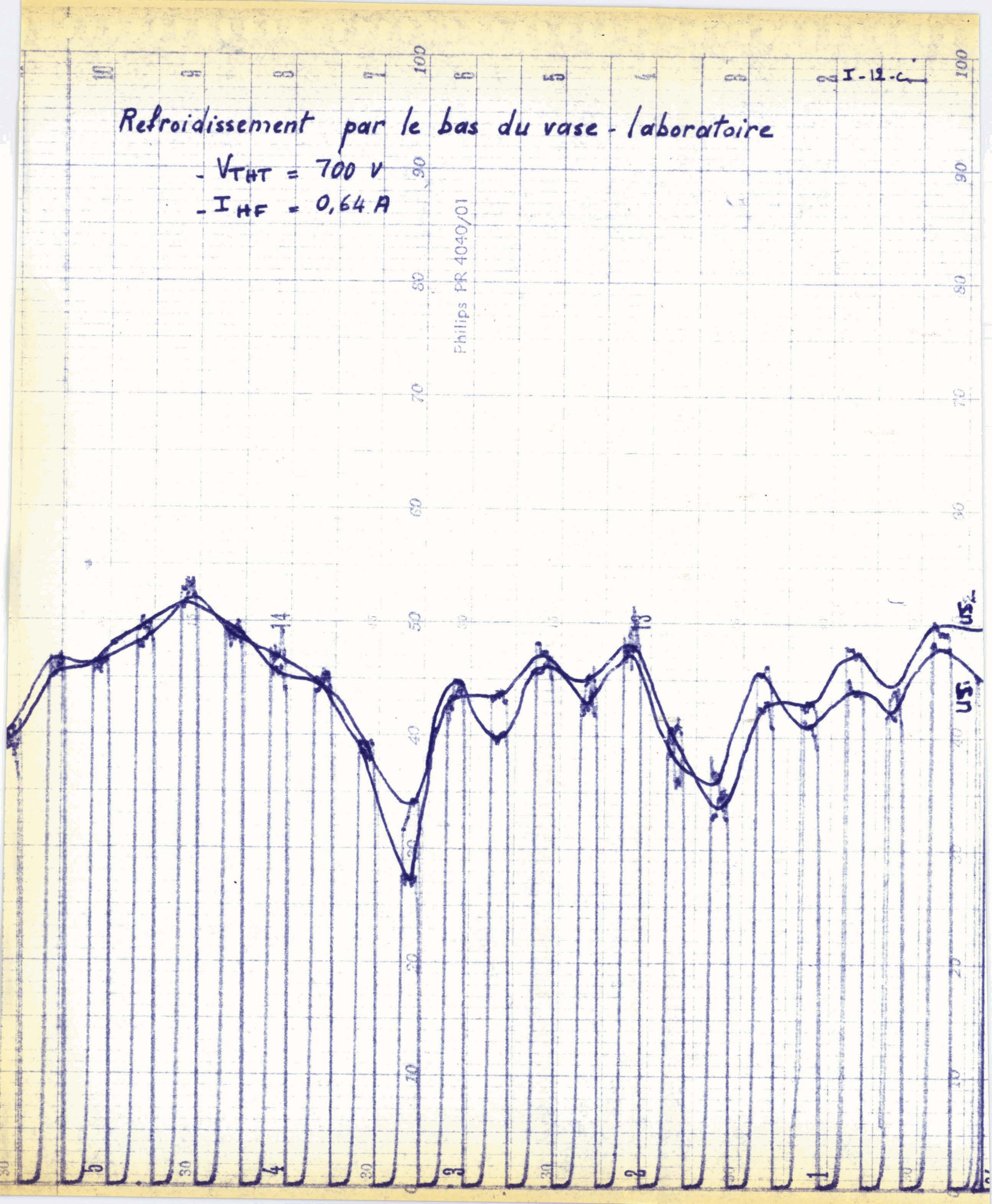
V_{THT} = 480 v

I_{HF} = 0,44 A.

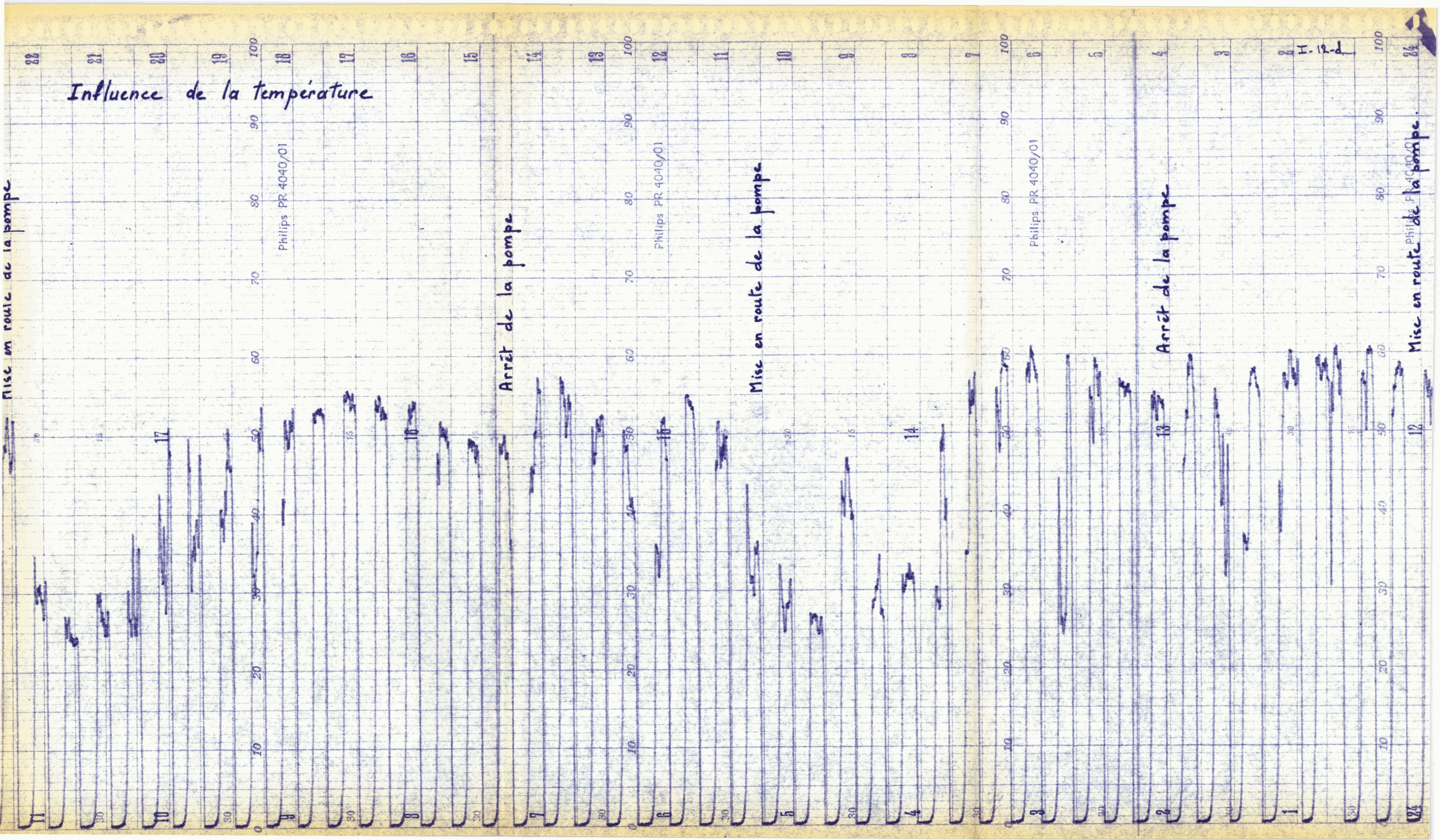


Refroidissement par le bas du vase - laboratoire

- $V_{THT} = 700\ V$
- $I_{HF} = 0{,}64\ A$



Influence de la température



de l'importance de ce facteur.

Pour cela nous avons placé la sonde au centre du champ en stabilisant les paramètres étudiés précédemment. Puis,nous avons fait l'enregistrement en un point en fermant le circuit de pompe ou en l'ouvrant.

Nous voyons que l'énergie enregistrée peut varier de 50% , à cause du changement de longueur d'onde des ultrasons dû à l'élévation de température.

f/- Contrôle de température.

Un dispositif présenté dans le matériel utilisé a été monté; il est composé d'un multivibrateur et de deux univibrateurs - Le montage permet :

- le déplacement de la sonde
- le refroidissement et le brassage de l'eau ultrasonée
- l'enregistrement de la température
- l'enregistrement des ultrasons

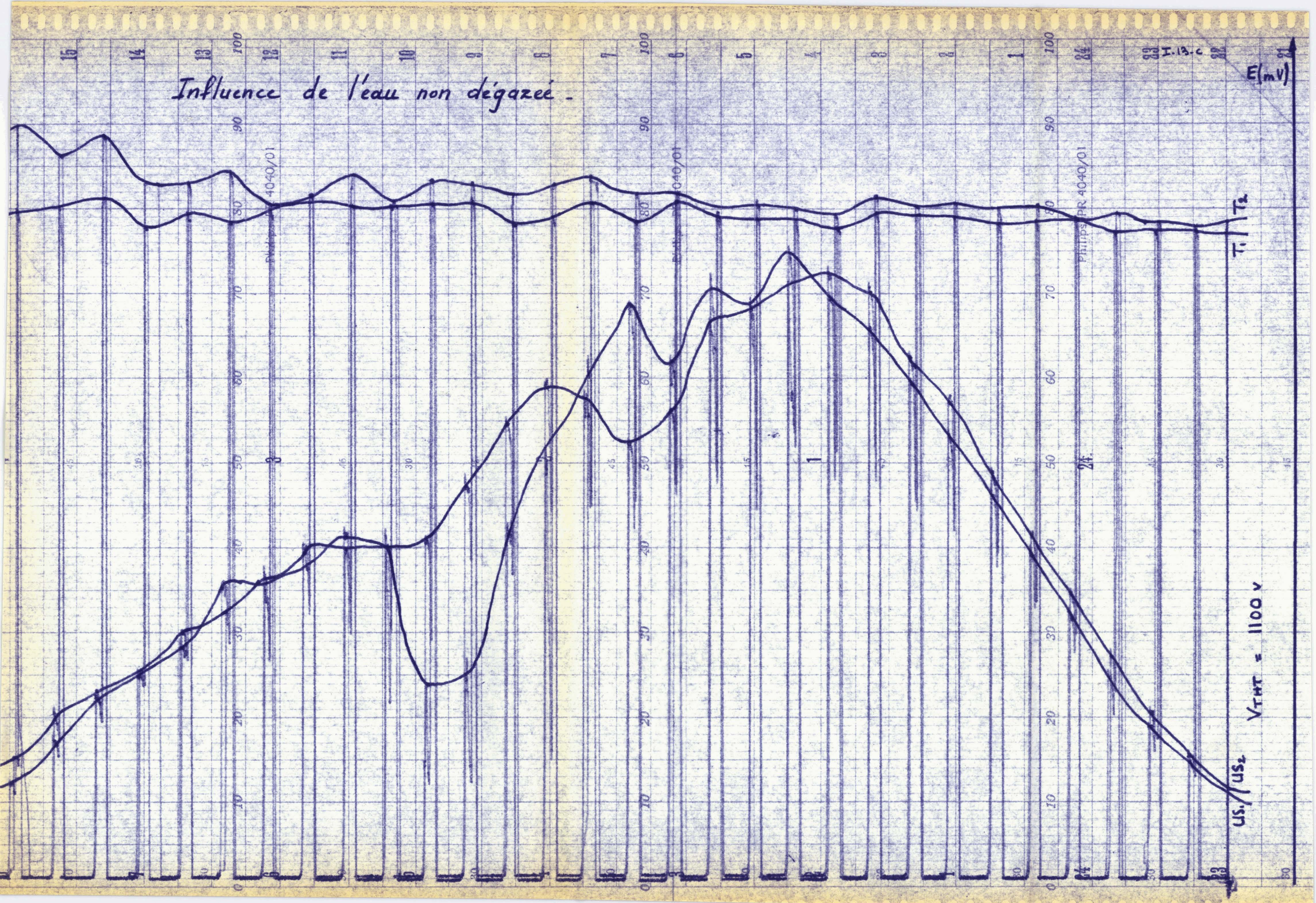
Nous arrivons ainsi à contrôler la température et a obtenir une reproductibilité du champ presque parfaite ,malgrè certains écarts de températures.

Il est à remarquer que ce contrôle de température ,ne pouvait être effectué par thermomètre; en effet, les ultrasons peuvent provoquer facilement l'apparition de bulles d'air dans le mercure du thermomètre- D'autre part, il s'agit avant tout d'échauffements locaux très importants qui ne réagissent pas immédiatement sur la température générale du vase-laboratoire.

La solution de la thermistance est la seule adéquate. Comme sa constante thermique est de 3 ou 4 secondes, on enregistre les variations instantanées de température ; sa fixation tout près de la céramique permet de contrôler la température presque au point de mesure.

Dans le deuxième enregistrement,nous avons montré le rôle que jouent encore les bulles d'air en eau non dégazée, ceci malgré le contrôle de température. Nous avons là les deux paramètres importants-

Influence de l'eau non dégazeé.



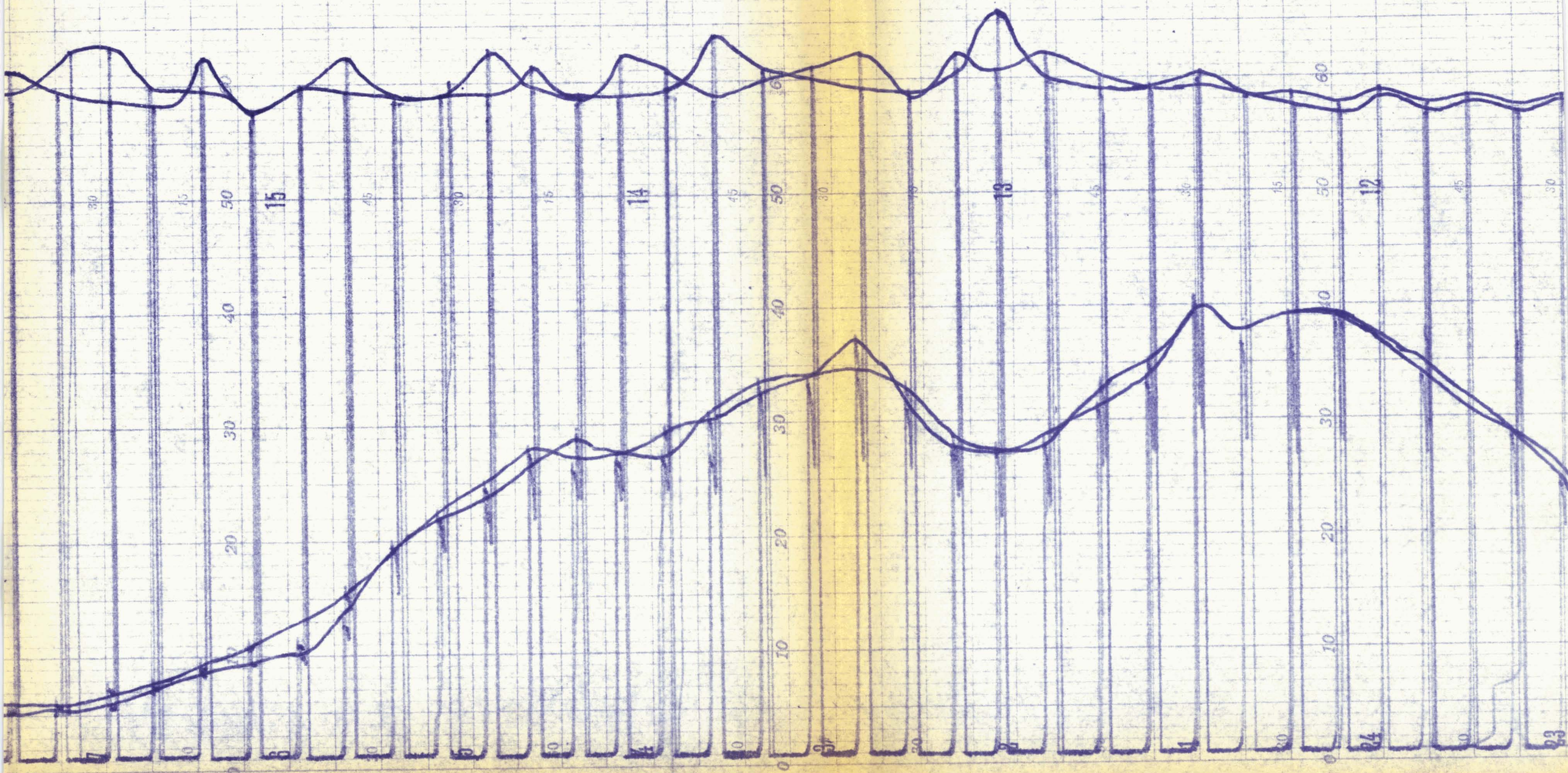
I.13.b

Essai de reproductibilité

- V_{THT} (brassage) = 600 V
- V_{THT} (enregistrement) = 1000 V

V_{HF} = 1780 V

I_{HF} = 0,58 A .



g/- Déréglage du piston

Nous avons présenté notre méthode de dégazage ci-dessus. Elle a un inconvénient qui consiste dans le déréglage du piston H.F.. En effet, la dépression faite au-dessus de l'eau soulève légèrement le quartz, ce qui oblige à remonter le piston H.F. pour que la distance piston H.F. - quartz soit toujours $1/4\lambda$.

En général, le dégazage de l'eau n'est valable que pendant 4 ou 5 heures, dans lesquelles il faut compter le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre thermique. Or les travaux de recherches : prospection du champ ultrasonore ou autres phénomènes dépassent largement ce temps et des dégazages sont nécessaires en cours de travail.

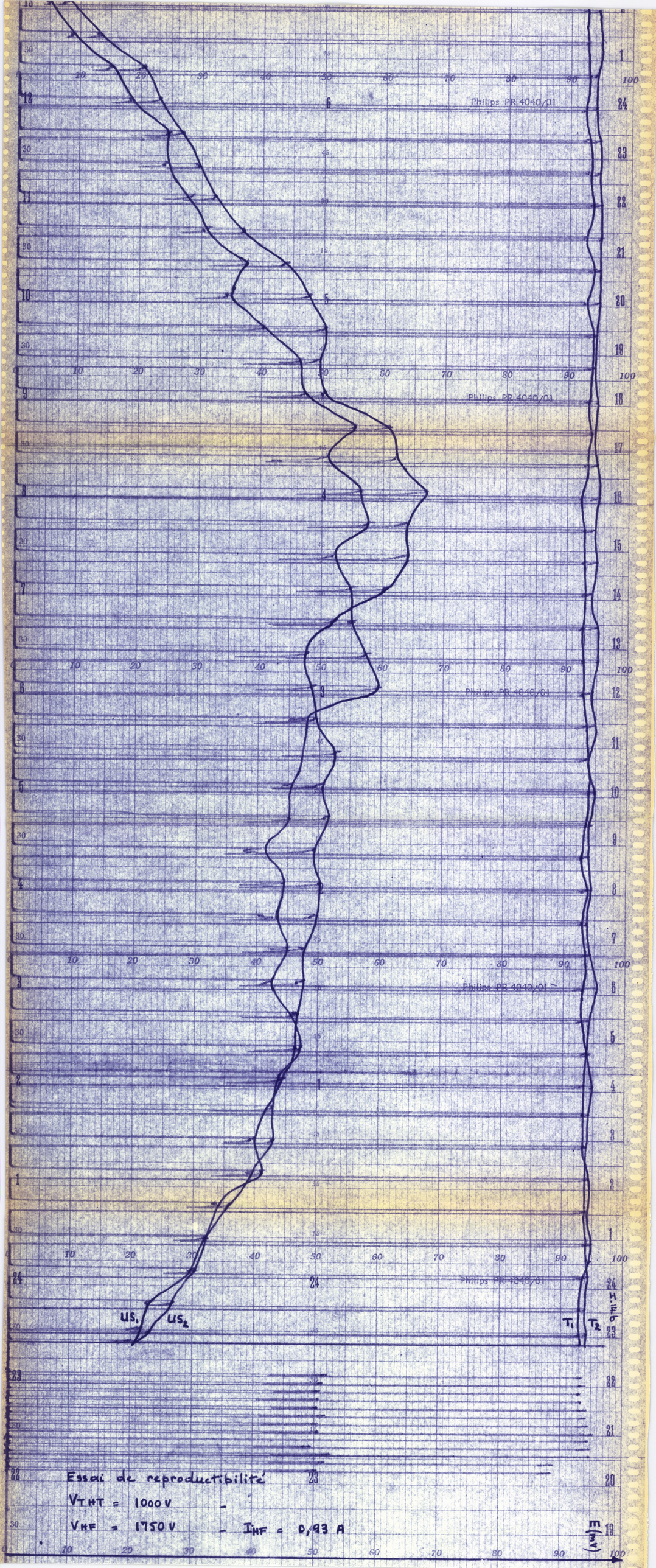
Il était nécessaire de voir si on pouvait retrouver la forme du champ après un déréglage du piston en gardant les mêmes conditions de température - C'est ce que montre un enregistrement ci-contre qui donne alors une mauvaise condition de reproductibilité.

h/- Polissage du piston

Nous avons démonté le projecteur ultrasonore afin de polir la surface du piston réflecteur. Celui-ci était brut d'usinage et sa surface était marquée par les traces de l'outil. Ces multiples sillons pouvaient être cause de la non-reproductibilité du champ ; pour un léger écart dans la position du piston, les sillons du piston changeaient de place et le champ variait.

Le piston a été poli à l'alumine pour obtenir un poli presque spéculaire ; on ne peut arriver à finir le poli, parce que l'aluminium qui forme le piston H.F. n'est pas assez dur.

Puis, nous avons remonté le piston H.F. en écrasant une bulle de pétrole entre le piston H.F. et le quartz; on règle la position du carter du projecteur de façon à obtenir une bulle presque circulaire.



Essai de reproductibilité

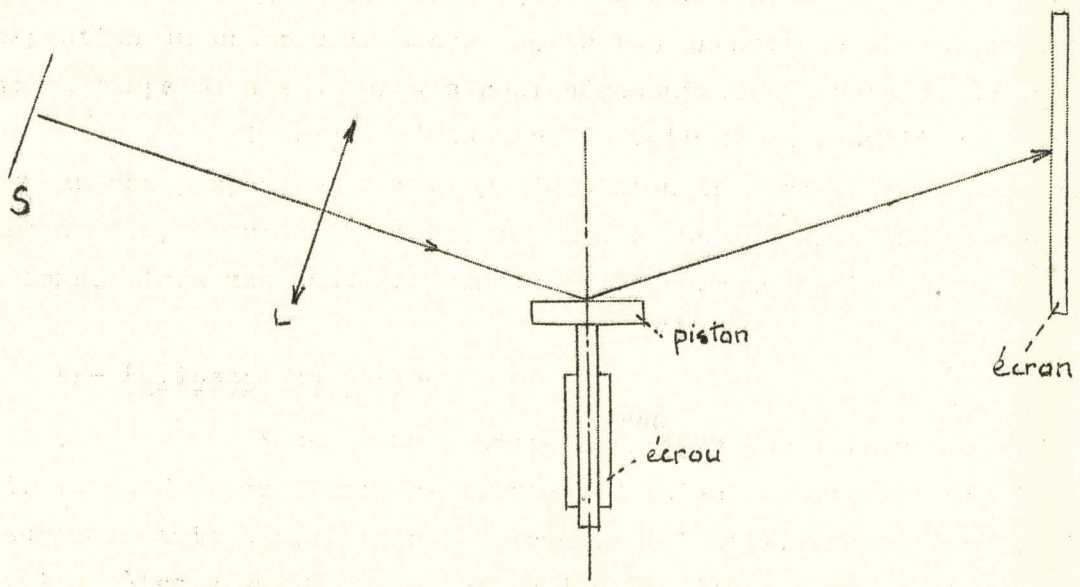
V_{THT} = 1000 V

V_{HF} = 1750 V – I_{HF} = 0,93 A

L'enregistrement du champ ultrasonore dans trois méridiens et dans un même plan horizontal, nous a permis de tracer une carte du champ avec les différentes courbes de niveau . Les courbes de niveau sont presque circulaires, mais le centre est assez flou.

i/ - Autre réglage.

Un réglage important restait à faire : s'assurer que la surface réfléchissante du piston H.F. était bien perpendicalaire à l'axe de translation du piston. Nous avons fait le montage suivant:



Devant une source lumineuse S , nous avons placé un réticule dont nous avons formé l'image sur un écran après réflexion sur la surface du piston.

Lorsqu'on déplace le piston verticalement, l'image du réticule doit se déplacer aussi verticalement mais non latéralement, si le réglage est bien fait.

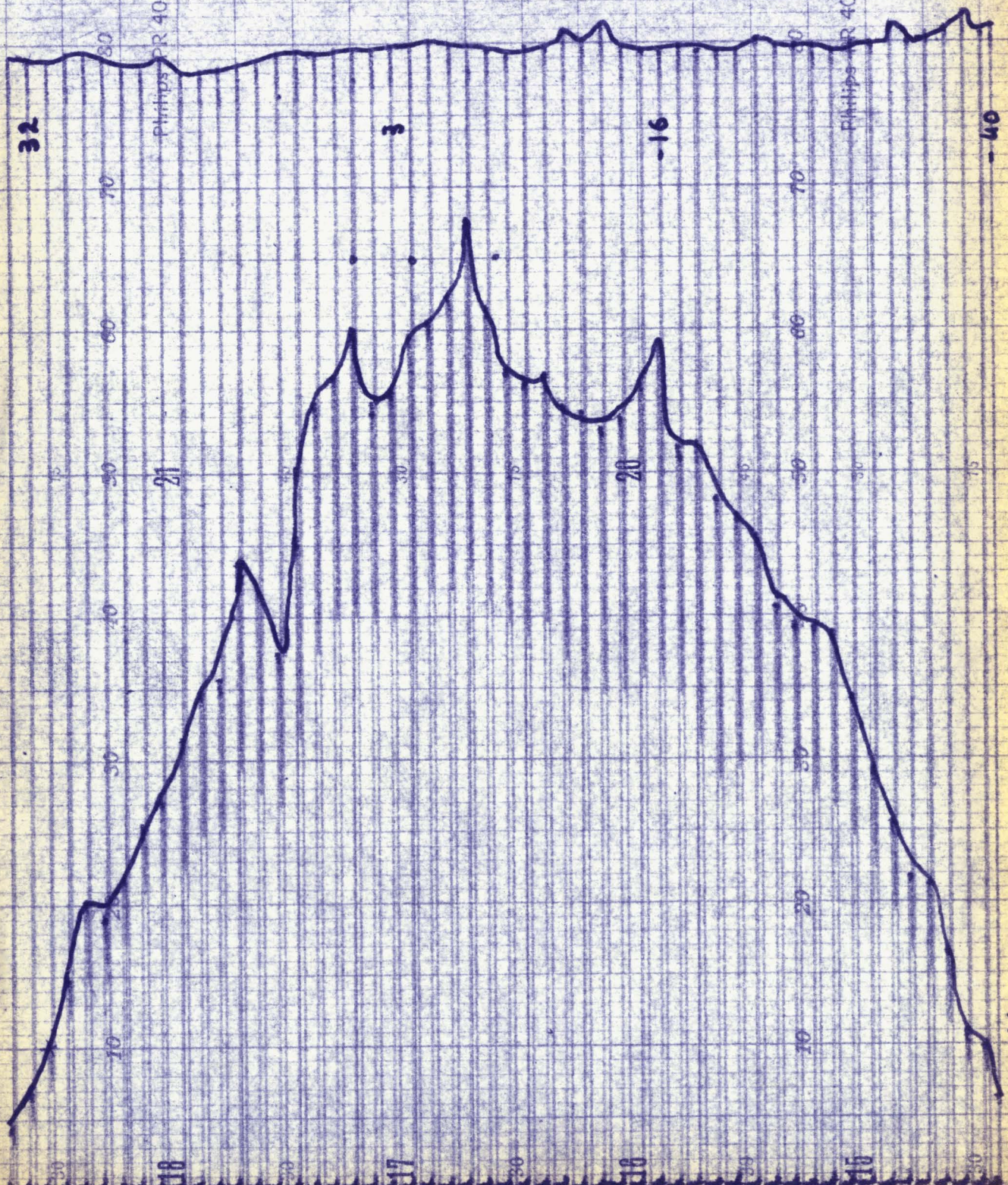
Nous avons alors remonté le piston dans le projecteur en faisant les mêmes réglages de parallélisme que précédemment , à savoir: écraser une bulle de pétrole entre le quartz et le piston H.F.

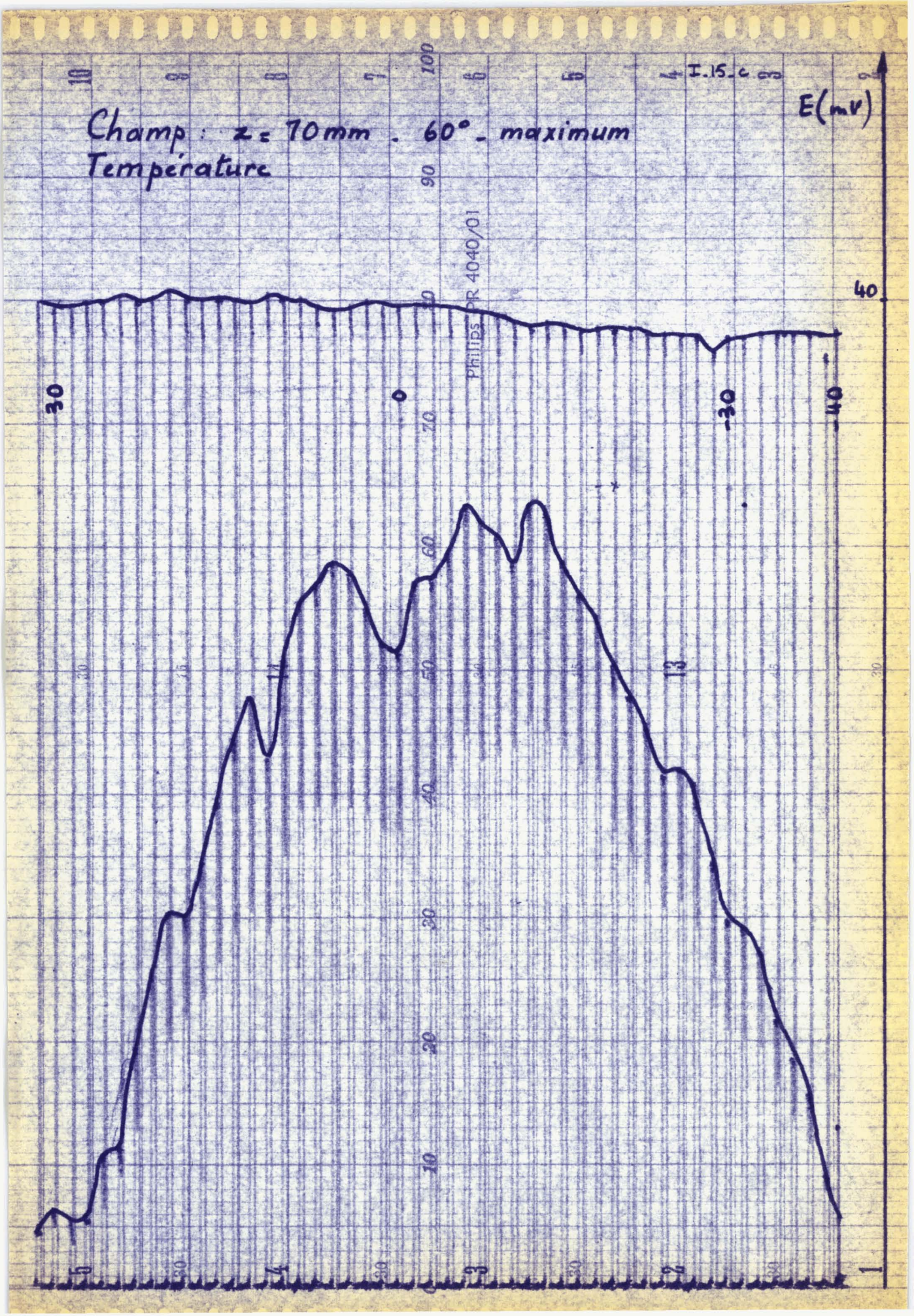
I-15_b

E (mV)

Champ : 2 = 70 mm - 0° - maximum

Température

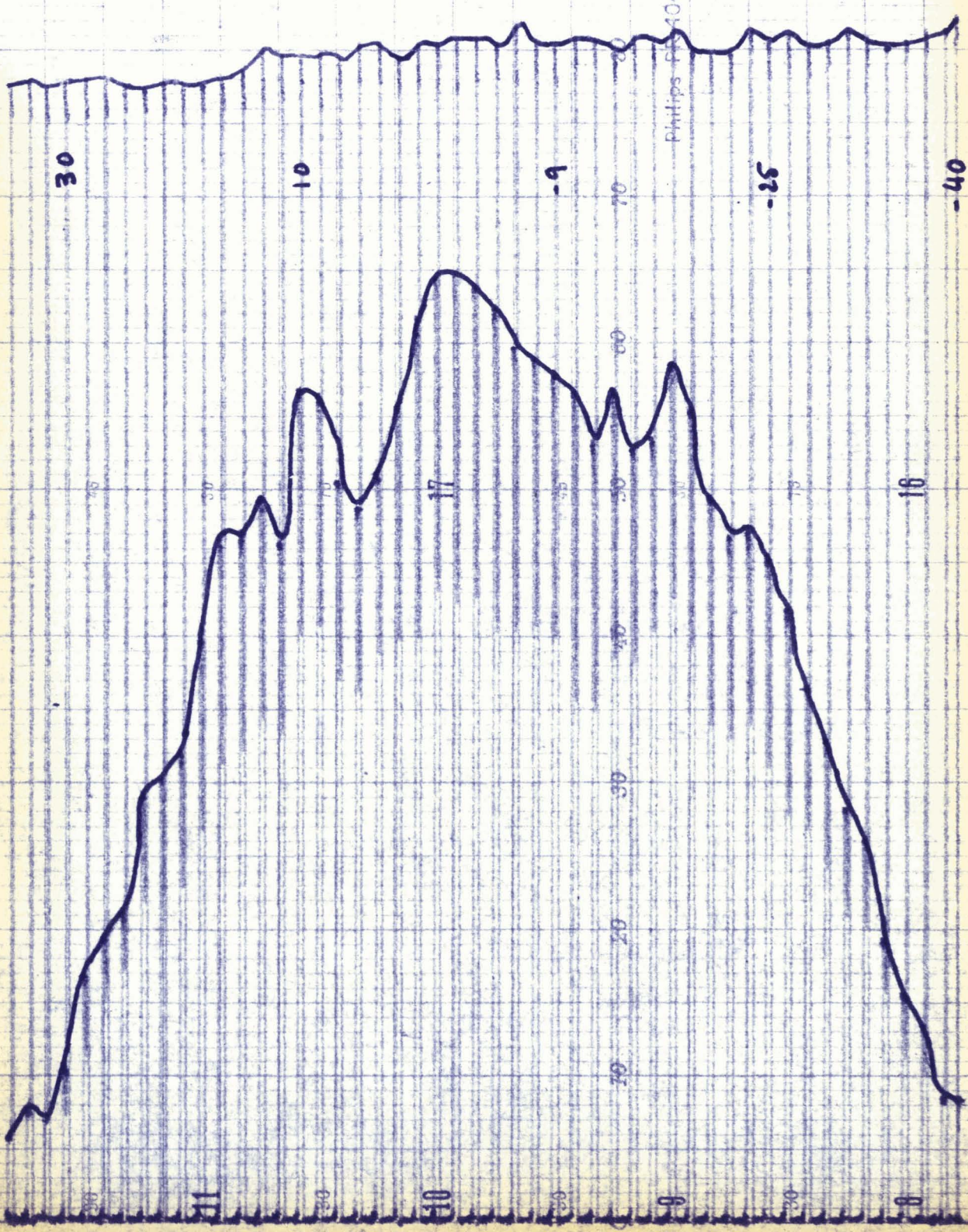



I.15_c
E(mV)
Champ : z = 70mm . 60° - maximum
Température
Philips PR 4040/01
40
30
0
-30
-40

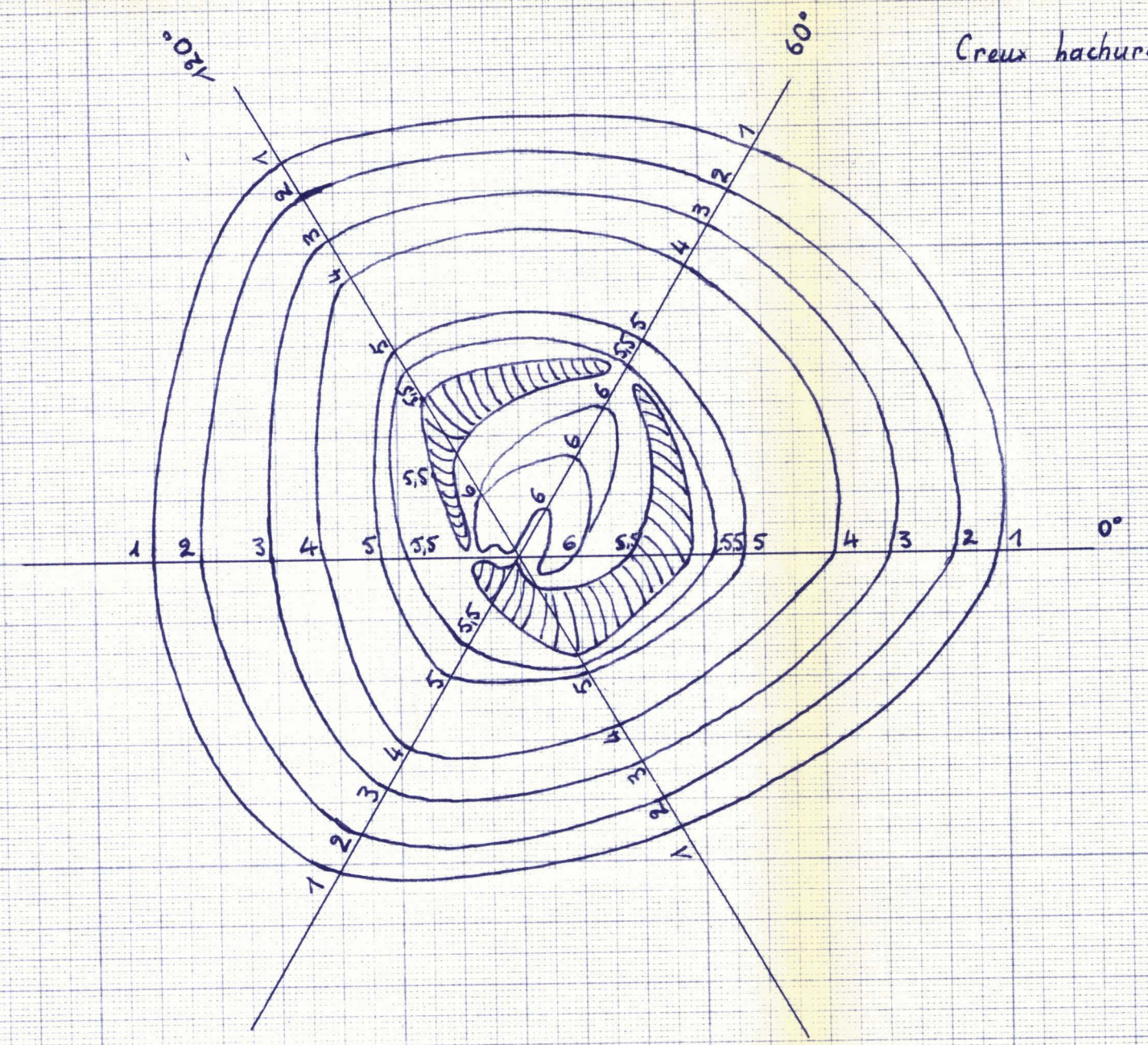
I.15.d

E (mV)

Champ : z = 10 mm - 120° - maximum
Température

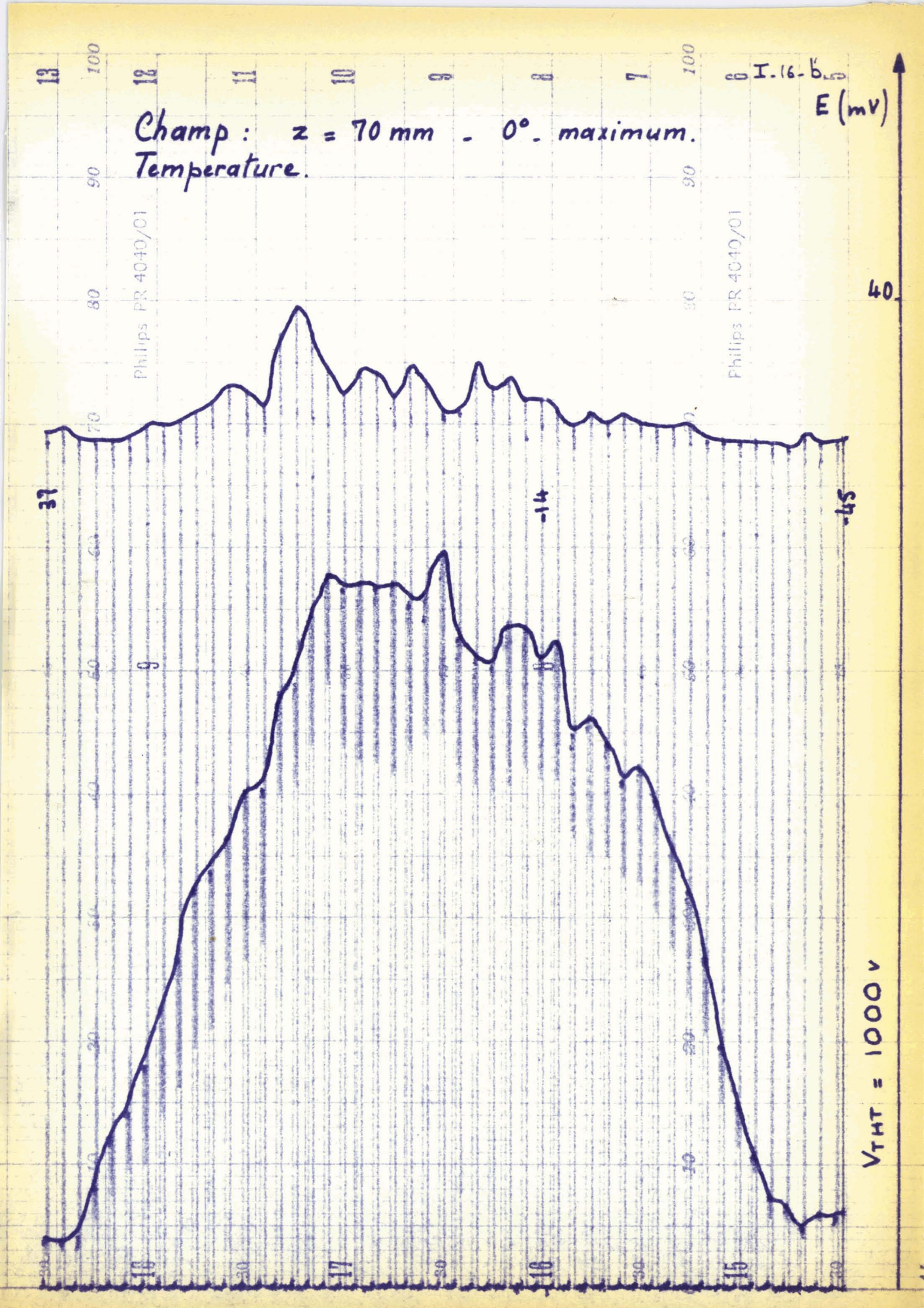


I-15-e

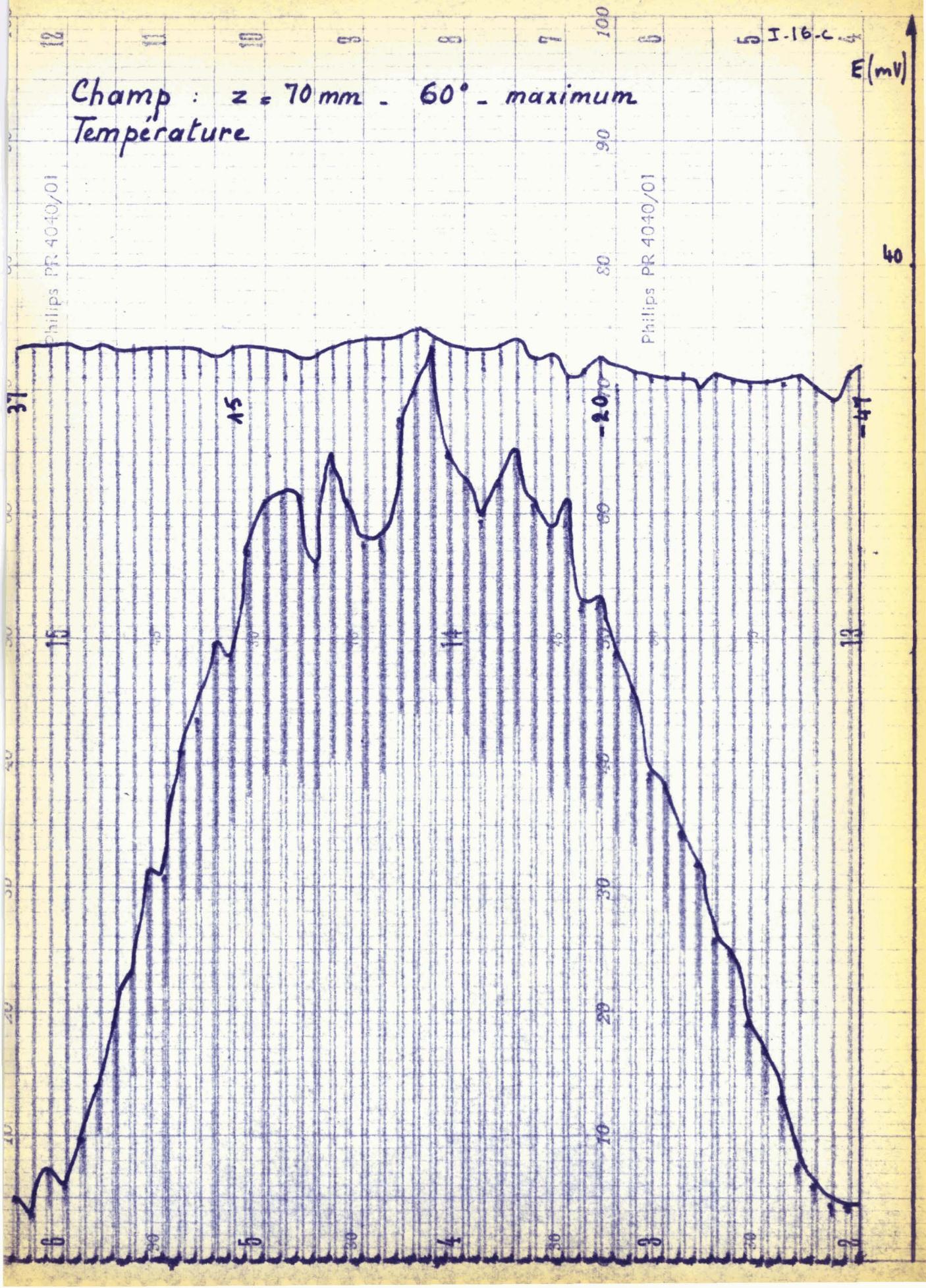


Tochon-Lepage Paris

I.16-b


Champ : z = 70 mm - 0° - maximum.
Température.
E (mV)
40
-45
-14
37
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01
V_{THT} = 1000 v

Avant de refaire le tracé d'une carte de niveaux d'ultrasons, nous avons retouché légèrement le réglage dans les conditions suivantes. On produit le geyser dans le vase-laboratoire et on règle très légèrement le parallélisme piston H.F. -quartz de façon que lorsqu'on monte le piston le geyser s'éteigne bien régulièrement; il doit rester circulaire sans se diviser en petits geysers latéraux ; avant de disparaitre , on a sensiblement une sorte de couronne avec un creux au centre-


Champ : z = 70 mm - 60° - maximum
Température
I-16-c
E(mV)
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01
37
15
-20
-47
40

I.16-d

Champ : z = 70 mm . 120° - maximum
Temperature

E (mV)

40

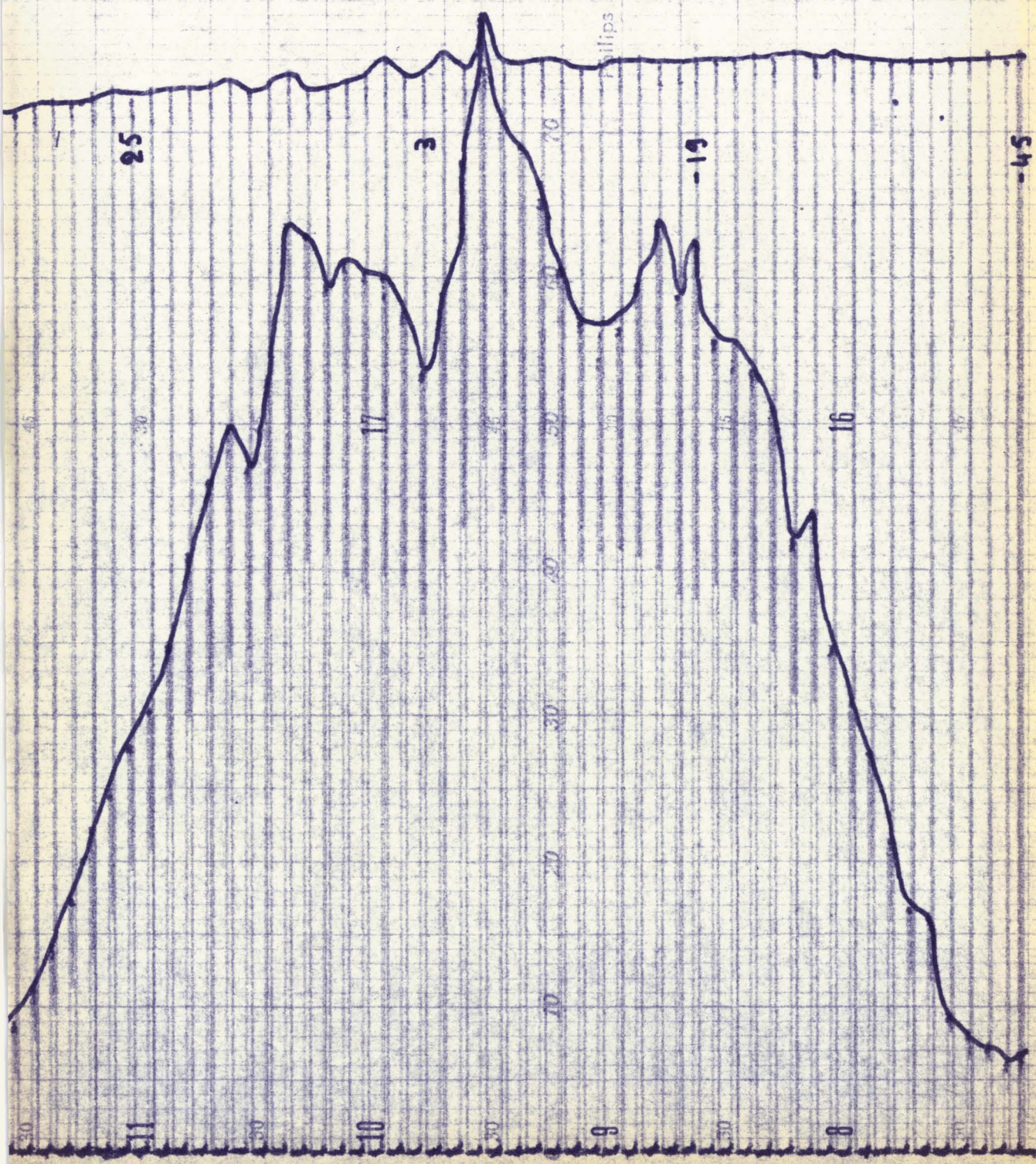
25

3

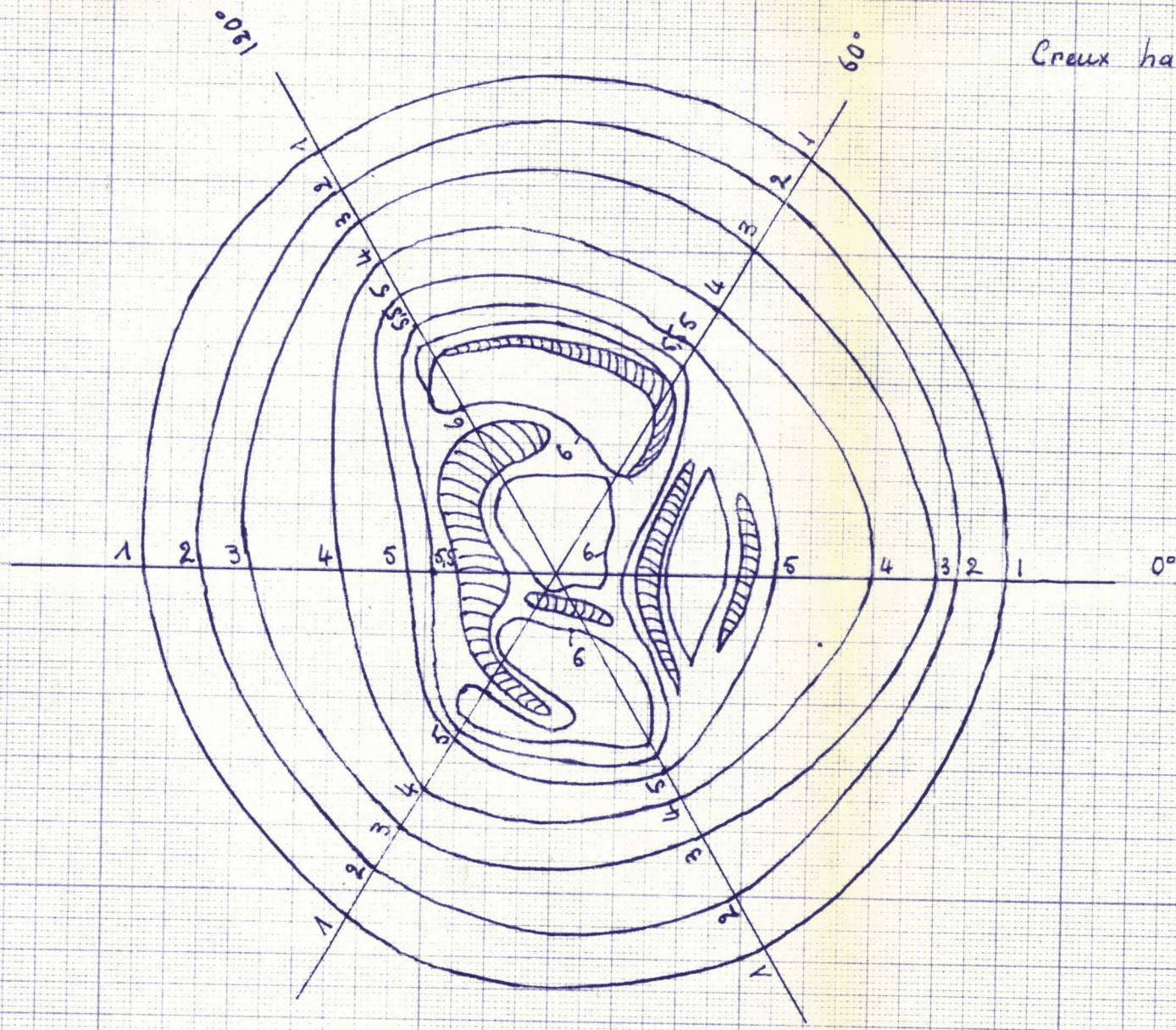
-19

-45

Philips PR 4040/01



I.16-a



Tochon-Lepage Paris

FORMES DU CHAMP

1/- Description générale

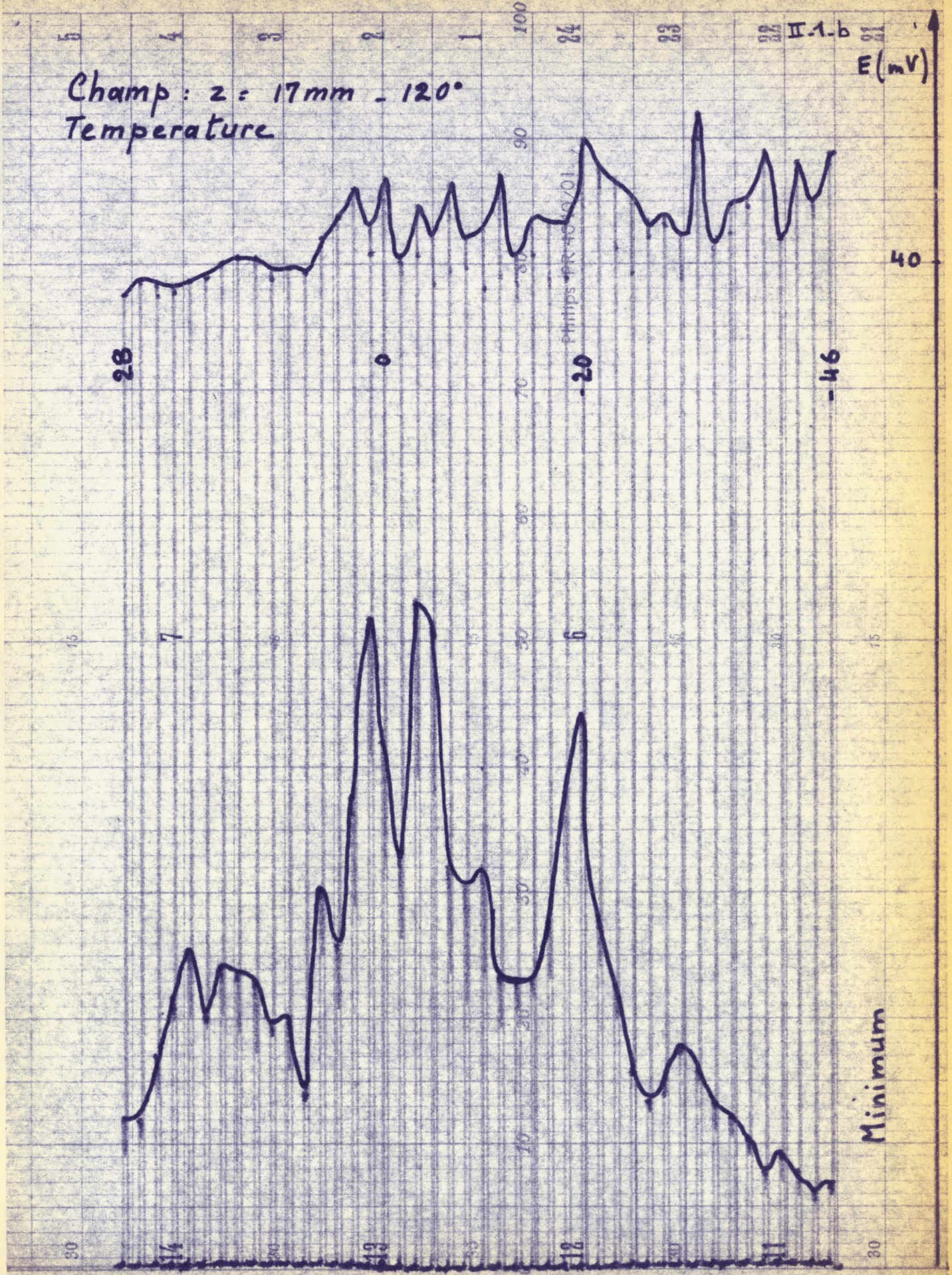
Nous avons relevé la forme du champ dans les mêmes conditions de température et de réglage du piston H.F.

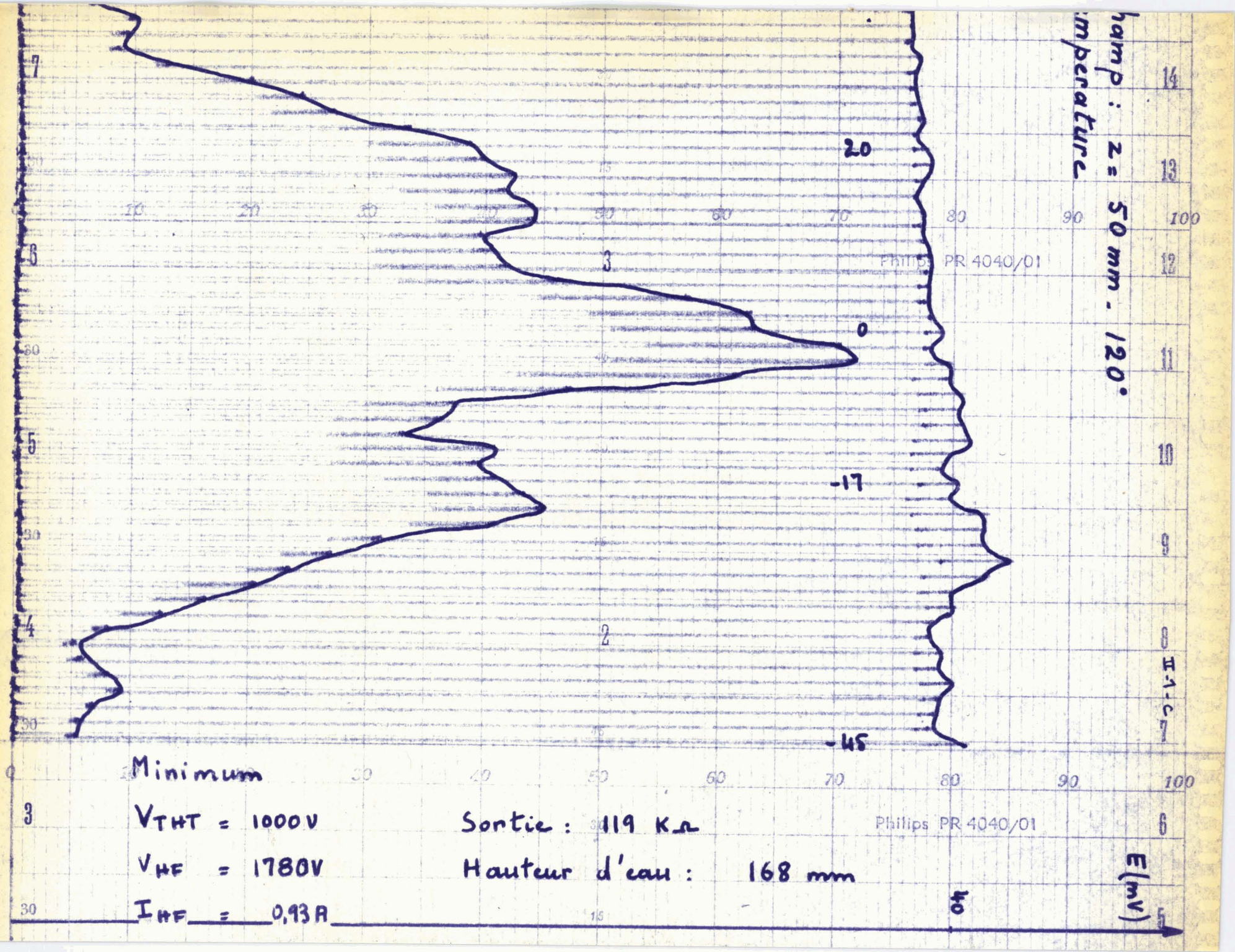
Une première série de courbes représente la forme du champ pour le maximum d'ondes stationnaires entre la sonde et le quartz émetteur. Tout près du quartz (z = 17 mm), on observe un grand maximum central avec sur les cotés un début de pics secondaires. La brusque élévation de température au centre semble dûe au système de refroidissement qui est moins effectif dans cette région.

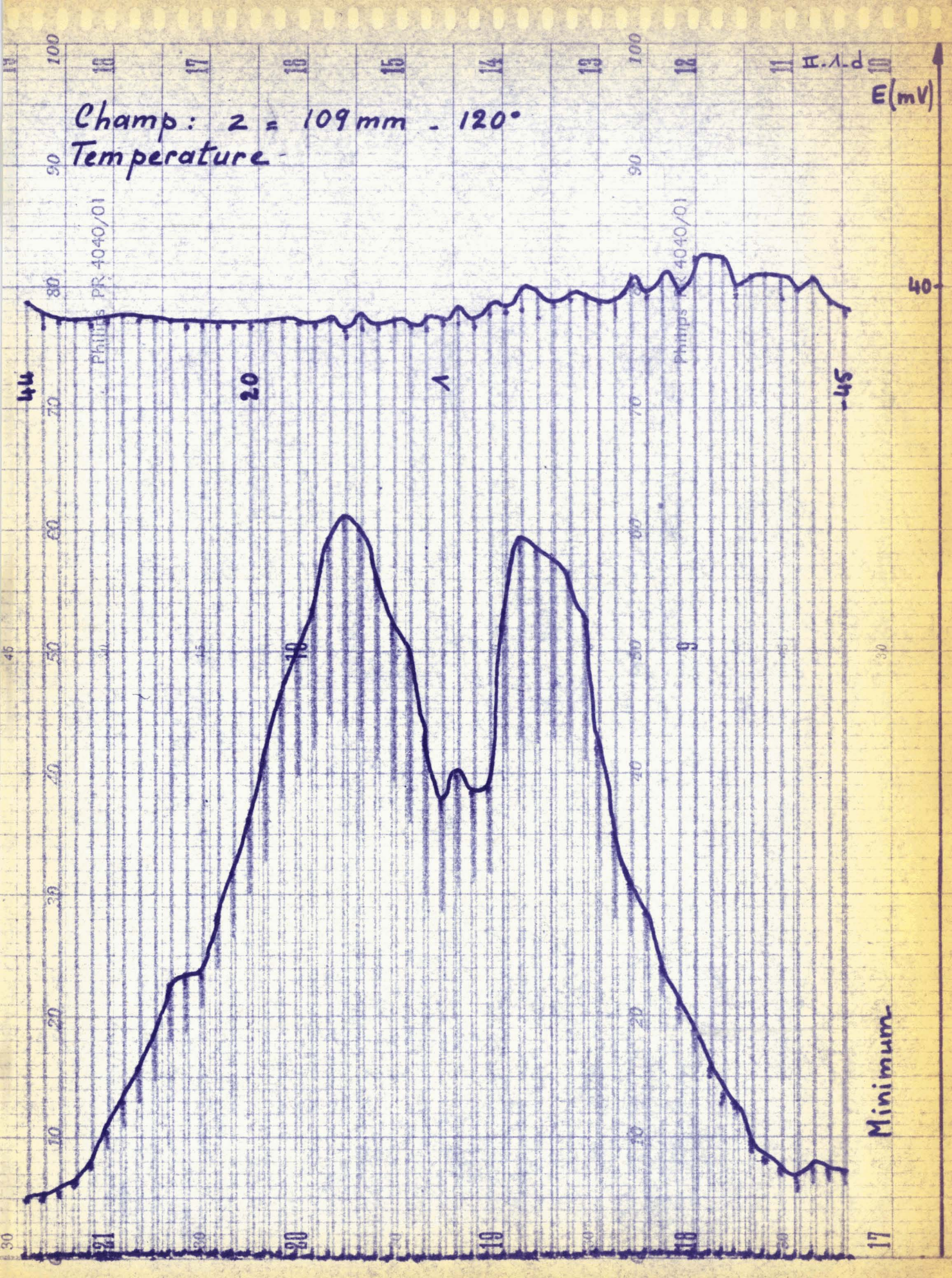
Pour une hauteur (z = 50 mm), les pics latéraux augmentent au détriment du pic central . La stabilité de la température est excellente au centre même avec le maximum central. Donc,on peut admettre comme valable le pic central obtenu pour z = 17 mm . Nous obtenons la même figure de champ pour Z = 109 mm , mais le maximum central a disparu tandis que les maxima latéraux ont grandi.

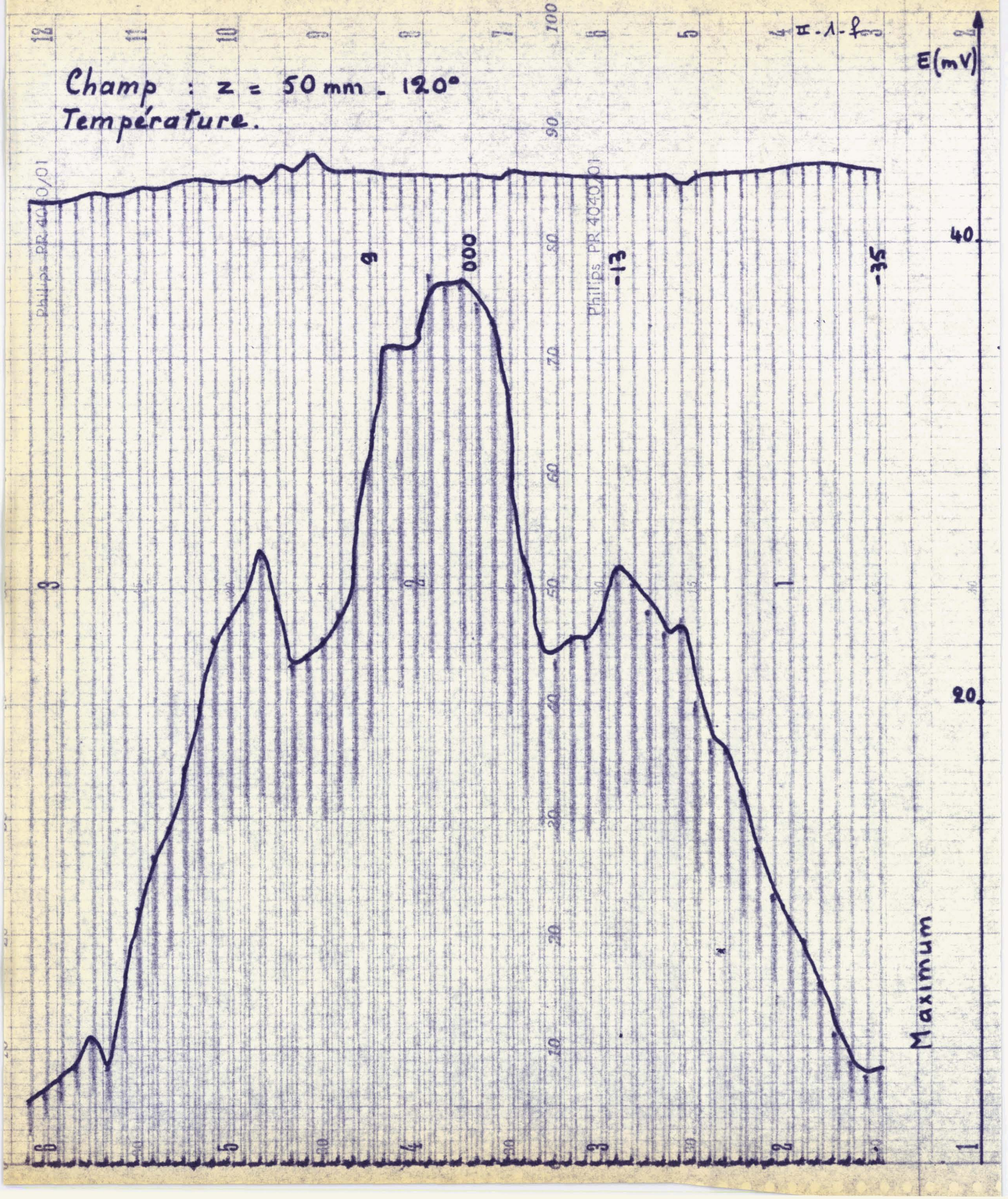
Enfin les deux formes de champ pour z = 146 mm et pour z = 159 mm , les courbes sont identiques pour le maximum et pour l'absence d'ondes stationnaires . Pour la première,on trouve des pics latéraux sensiblement égaux au pic central. Pour la deuxième,au contraire,on constate que le maximum central semble grandir de nouveau.

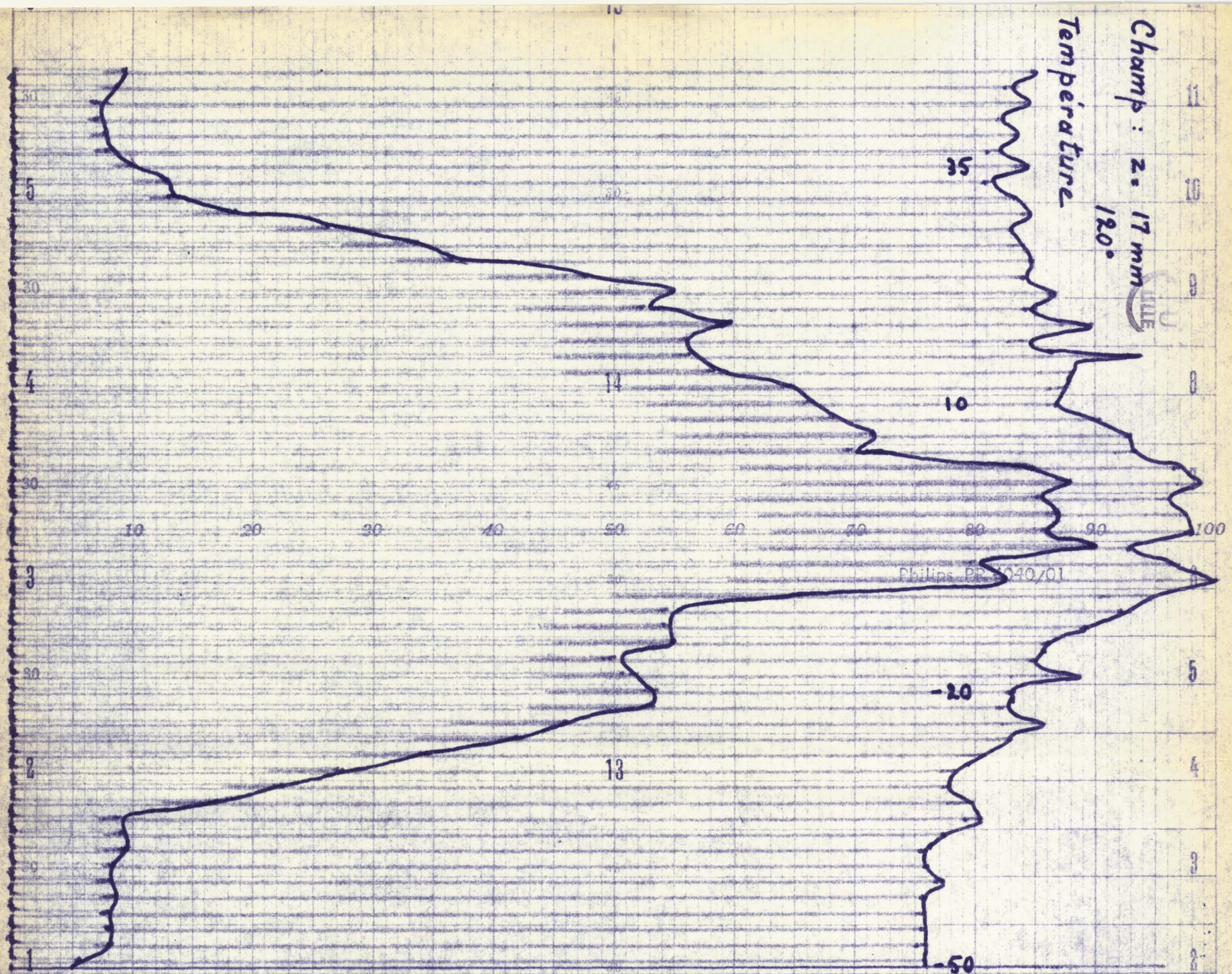
La deuxième série de mesures donne les formes du champ en l'absence d'ondes stationnaires. Nous obtenons sensiblement les mêmes formes de champ ,mais atténuées. D'ailleurs cette atténuation diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du quartz.


II.1-b
E(mV)
Champ : z = 17mm - 120°
Temperature
28
0
-20
-46
40
Minimum


Champ : z = 50 mm - 120°
Température
Philips PR 4040/01
20
3
0
-17
2
-45
E(mV)
Minimum
V_{THT} = 1000 V
V_{HF} = 1780 V
I_{HF} = 0,93 A
Sortie : 119 KΩ
Hauteur d'eau : 168 mm
Philips PR 4040/01


Champ : 2 = 109 mm - 120°
Temperature -
E(mV)
Philips PR 4040/01
Minimum


Champ : z = 50 mm - 120°
Température.
II-1-f3
E(mV)
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01
-13
-35
40
20
Maximum



Maximum

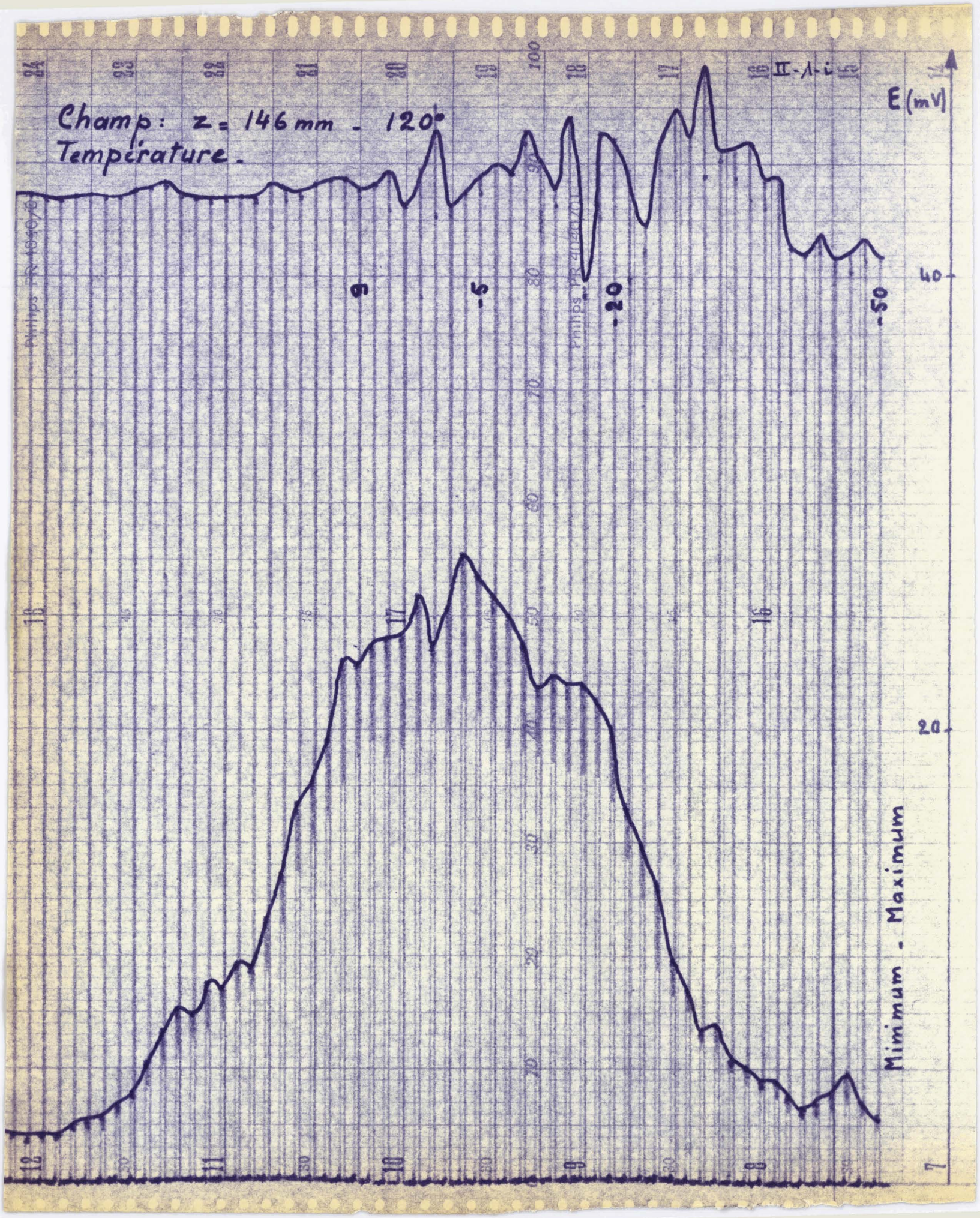
V_{THT} = 1000 V

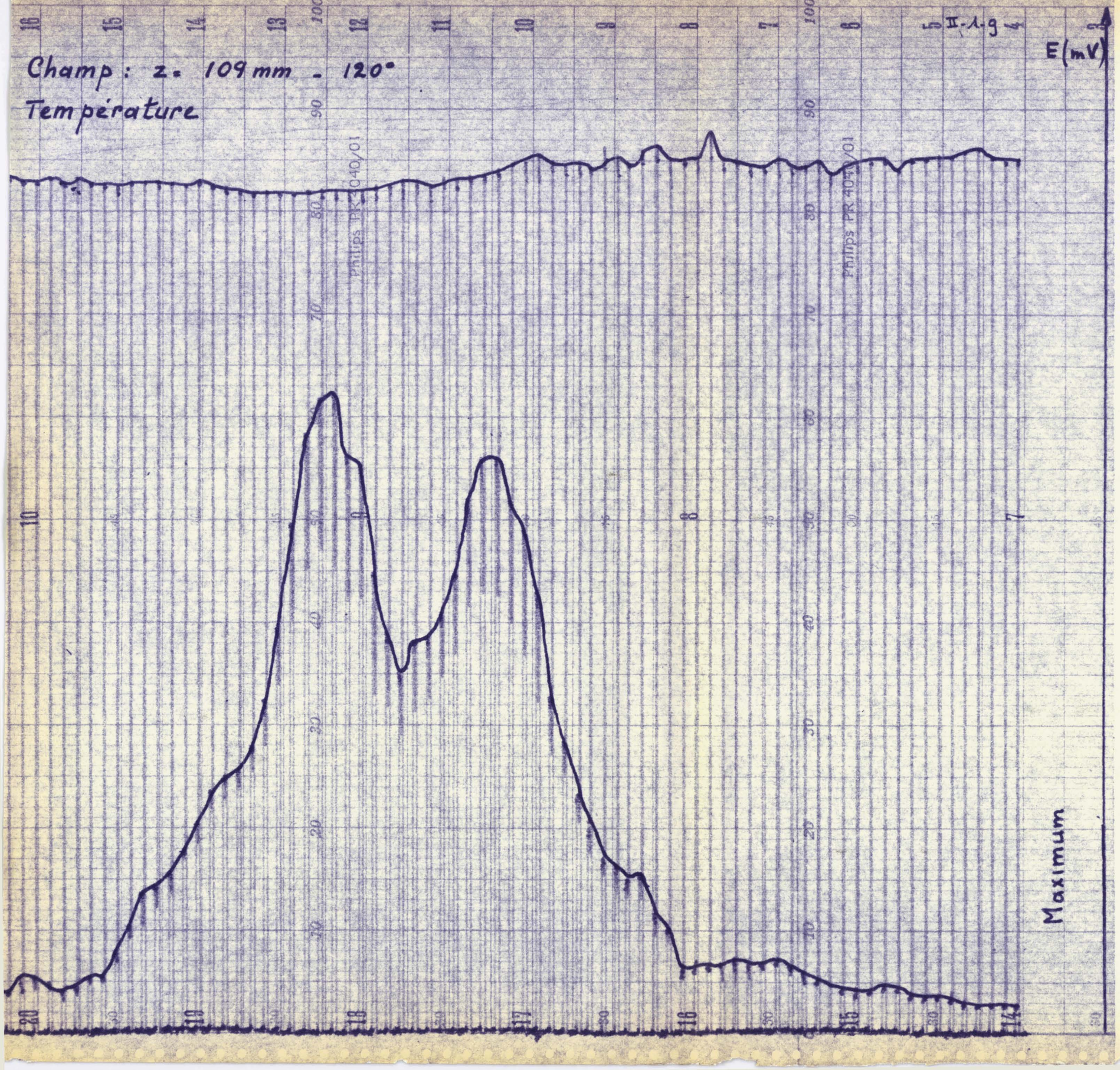
V_{HF} = 1780 V

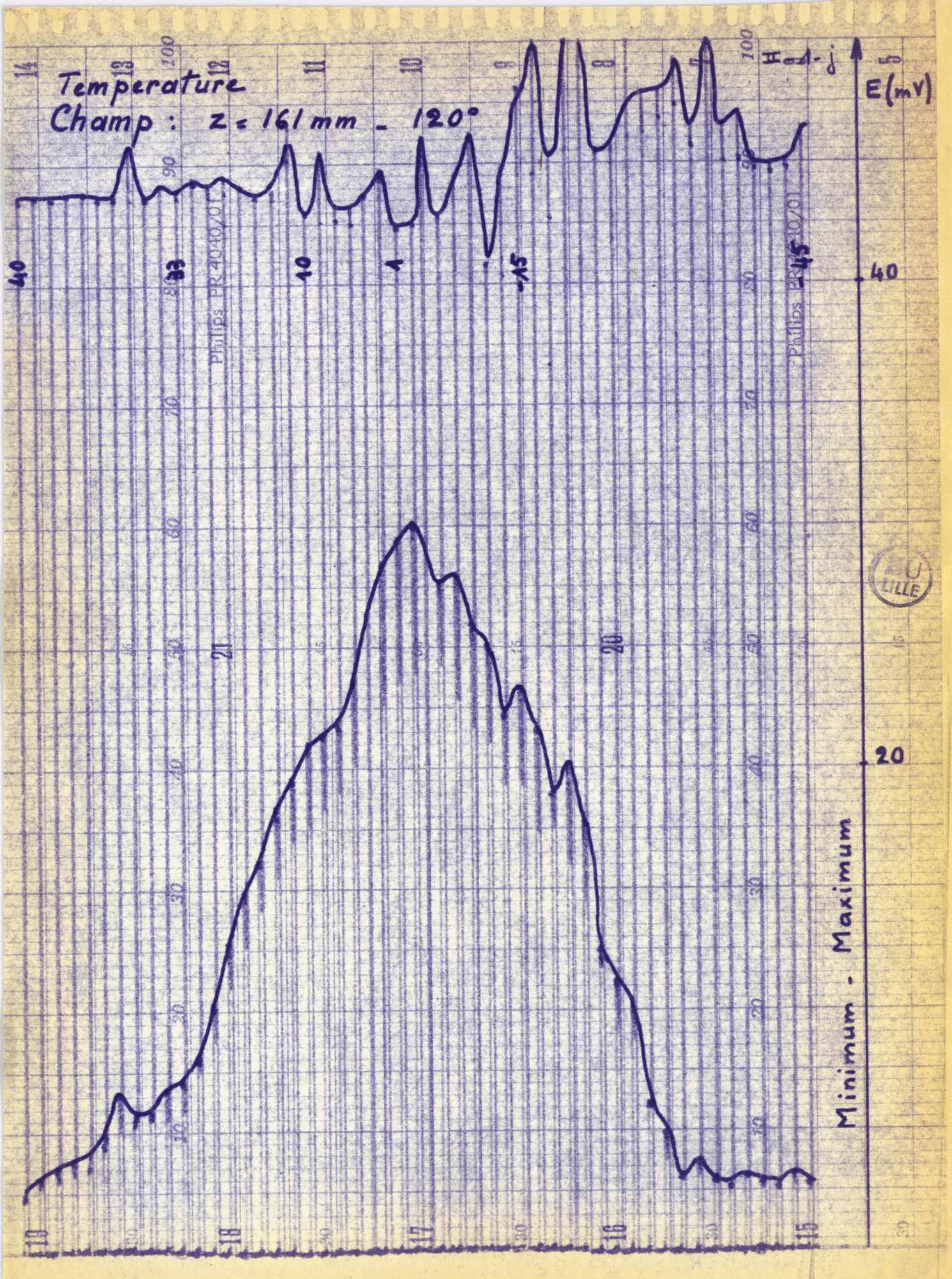
I_{HF} = 0,93 A

Sortie : 119 KΩ

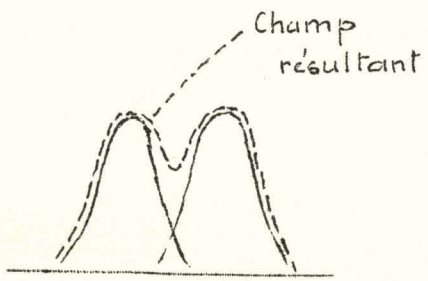
Hauteur d'eau : 168 mm

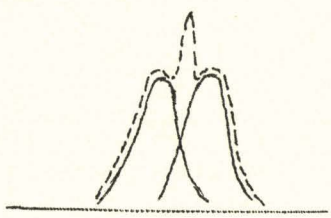

Champ: z = 146 mm - 120°
Température.
E (mV)
40
20
Minimum - Maximum
9
-5
-20
-50
Philips PR 4040/70


Champ : z. 109 mm - 120°
Température
E(mV)
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01
Maximum


Temperature
Champ : z = 161 mm - 120°
H = 1 - j
E (mV)
40
20
Minimum - Maximum
Philips PR 4040/01
Philips PR 4040/01
U LILLE

2/ Interprétation et amélioration possibles.





Les formes de champ que nous avons relevées nous montrent que celui-ci est très irrégulier ; tantôt nous avons un grand pic central, tantôt nous avons deux pics latéraux.

D'autre part, si nous regardons la dernière carte de niveaux dressée, nous voyons que pour direction 120° , il existe deux geysers latéraux, et un autre au centre. Nous pensons pouvoir expliquer les formes du champ en faisant la somme de l'énergie ultra-sonore des deux geysers latéraux comme le montrent les figures ci-dessus. Donc il ne s'agit pas de figures de diffraction comme on pourrait le penser d'après la théorie des champs ultrasonores émis par un piston source, mais tout simplement que le quartz ne vibre pas d'une façon uniforme.

Nous avons pensé alors à une autre méthode pour vérifier ces hypothèses . Il s'agit des figures de Chaldni (4): elles sont obtenues en déposant sur la surface de l'élément étudié, une poudre très fine de densité variable. Le spectre formé par cette poudre après avoir soumis l'élément à un mode de vibration donné, permet de découvrir les noeuds et les ventres de vibration.

Pour étudier notre quartz, nous avons utilisé de la limaille de fer que l'on place dans l'eau du vase-laboratoire. Pour une puissance ultrasonore moyenne, cette limaille se répartit à la surface du quartz aux noeuds de vibration , où l'amplitude est minimum . Nous avons ainsi obtenu une figure avec une large bande centrale dépourvue de limaille, cette bande correspondant évidemment avec la ligne des geysers.

Terminons en remarquant que nous n'avons pas obtenu un champ homogène et de révolution à cause du mode de vibration du quartz. Cela peut provenir de deux choses ; mauvais réglages du piston H.F. ou déformation mécanique du quartz à cause de son serrage.

BIBLIOTHEQUE INTERUNIVERSITAIRE
SECTION DE SCIENCES
LILLE

B I B L I O G R A P H I E

1- BERGMANN (L)	" DER ULTRASCHALL",HIRZEL	Stuttgart	1949
2- DOGNON (A)	" LES ULTRASONS ET LEURS APPLICATIONS"	P.U.F.	1953
3- PALMANS (E)	" PIEZOELECTRICITE :THEORIE ET PRATIQUE"	Eyrolles	1946
4- SHUBNIKOV	" ETUDES DES TEXTURES PIEZOELECTRIQUES"	Dunod	1958
5- LUCAS (R)	" ACOUSTIQUE"	Hermant	
6- VERHOYE (P)	" DIPLOME d'ETUDES SUPERIEURES"	Lille	1956
7- Melle CASSETTE Mme DEFFONTAINES	" DIPLOME d'ETUDES SUPERIEURES"	Lille	1958
8- POSSELLE (G)	" DIPLOME d'ETUDES SUPERIEURES"	Lille	1960
9- CARLIN	" LES ULTRASONS"		1946