

CEA-R 2577 - PROT André, MONNIER Pierre

CONTROLE PAR ULTRASONS DES TUBES DE GAINÉ EN ACIER INOXYDABLE

Sommaire. - Parmi toutes les méthodes possibles de contrôle des gaines minces, le procédé retenu pour de multiples raisons a été celui faisant appel à la technique des ultrasons.

Une méthode a été mise au point qui doit permettre un contrôle industriel rapide et efficace des tubes de gaine.

Sont exposés en détail, les raisons du choix de la méthode par ultrasons, les principes de cette méthode et les paramètres du contrôle proprement dit.

Dans l'état actuel de nos études la cadence devrait permettre le contrôle de 50 000 tubes par an au minimum. Des améliorations de détail portant sur la technique de contrôle elle-même, doivent permettre d'accélérer très notablement cette cadence.

1964

28 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R 2577 - PROT André, MONNIER Pierre

ULTRASONIC TESTING OF CANNING TUBES IN STAINLESS STEEL

Summary. - From all the methods possible for controlling thin cans the one chosen, for numerous reasons, was that making use of ultrasonic techniques.

A method has been developed which should make it possible to carry out a rapid and efficient industrial control of canning tubes.

The reasons for the choice of the ultrasonic method are given in detail, together with the principles of the method and the actual control parameters.

In the present state of our research, it should be possible to control at least 50 000 tubes a year. Improvements brought about in the details of the control technique itself should make it possible to increase this rate considerably.

1964

28 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

**CONTROLE PAR ULTRA-SONS
DES TUBES DE GAINÉ EN ACIER INOXYDABLE
DU REACTEUR EL 4**

par

André PROT , Pierre MONNIER

Rapport C E A - R 2577

**C E N T R E D ' E T U D E S
N U C L É A I R E S D E S A C L A Y**

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

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

Services de Technologie

CONTROLE PAR ULTRA-SONS DES
TUBES DE GAINÉ EN ACIER INOXYDABLE
DU REACTEUR EL 4

par

A. C. PROT

P. R. MONNIER

**CONTROLE PAR ULTRA-SONS DES
TUBES DE GAINÉ EN ACIER INOXYDABLE
DU REACTEUR EL 4**

par A.C. PROT
et P.R. MONNIER

I - INTRODUCTION.

La mise au point des éléments combustibles d'un réacteur de puissance du type EL4, nécessite de nombreuses études portant sur les divers constituants de ces éléments :

- combustible lui-même,
- gaines,
- bouchons,
- entretoises, etc..

Parmi tous les problèmes qui se posent, l'un des plus importants est sans conteste celui de la gaine. En effet celle-ci doit réunir un certain nombre de propriétés plus ou moins contradictoires, parmi lesquelles il faut citer :

- la résistance mécanique à température élevée,
- la résistance à la corrosion sous CO₂,
- la faible absorption neutronique ... etc.

En particulier, le choix du matériau de gainage étant effectué, son épaisseur dépendra d'un compromis entre ces diverses exigences.

Il est clair toutefois que les caractéristiques exigées du matériau de gainage et celles des gaines elles-mêmes doivent être sérieusement contrôlées afin d'assurer un fonctionnement optimum du réacteur, en limitant par exemple le nombre et la fréquence des ruptures de gaines. Ces contrôles sont de types très divers et font appel à des techniques assez différentes :

- contrôles métrologiques qui permettent de vérifier la géométrie :

- longueur
- diamètre intérieur
- épaisseur
- ovalisation
- flèche
- orthogonalité par rapport à l'axe de la section terminale

- contrôle de l'état de surface (paramètre pouvant intervenir sur la qualité du transfert thermique et sur les contrôles non destructifs

- contrôle de santé des tubes qui font l'objet des contrôles non destructifs proprement dits.

En outre on peut également citer les essais mécaniques qui peuvent être effectués par prélèvements :

- éclatement
- fluage sous pression
- fatigue ... etc ...

La mise au point d'une méthode de contrôle de santé de tubes de gaine par des procédés non destructifs se heurte dès le départ à plusieurs difficultés :

- au lancement d'une fabrication nouvelle, les produits obtenus sont généralement d'assez mauvaise qualité (en particulier en ce qui concerne les états de surface) et ceci peut interférer avec la qualité du contrôle.

- l'absence de produit parfaitement sain ou possédant des défauts connus, étalonnés, se fait cruellement sentir et impose dès le départ un certain nombre de limitations.

- l'ignorance presque totale dans laquelle on se trouve de l'importance des défauts admissibles est un autre facteur de souci et ce n'est pas le moindre.

- Enfin rentrent en ligne de compte les facteurs économiques :

- coût et durée du contrôle -
- facilité de mise en oeuvre -
- technicité du personnel utilisé sur les machines.

Ces divers paramètres conduisent très souvent à envisager plusieurs contrôles partant de techniques très diverses et destinés à se recouper. Il est évident qu'une telle solution, si elle offre plus de certitude quant à la qualité finale, ne correspond absolument pas aux impératifs économiques signalés.

Il a donc fallu, dans le cas particulier du contrôle des gaines en acier inoxydable du réacteur EL 4, faire un choix à priori et étudier le plus à fond possible, une technique bien déterminée. Nous allons exposer brièvement les raisons de notre choix.

II - JUSTIFICATION DE LA METHODE DE CONTROLE PAR ULTRA-SONS.

L'un des impératifs les plus sérieux était la nécessité d'aboutir dans des délais raisonnables à une solution industrielle, en tenant compte des possibilités du laboratoire en personnel et en matériel.

Les critères de choix sont nombreux :

- cadence possible compte tenu du nombre de tubes (50 000 environ).
- rapidité de mise au point.
- aptitude à la détection des défauts susceptibles d'être effectivement rencontrés.

Partant de ces critères, il faut systématiquement éliminer pour un contrôle à 100%, le ressuage, l'endoscopie, la radiographie. Ces méthodes sont limitées en effet par plusieurs facteurs.

- difficulté d'automatisation
- difficulté d'interprétation
- impossibilité de détection de certains types de défauts.

Restent donc en compétition deux méthodes : les courants de Foucault, les ultra-sons. Notre choix a porté sur les ultra-sons. Les raisons en sont les suivantes :

- existence d'appareils commercialisés bien au point permettant d'envisager une étude avec le minimum d'inconnues.
- faible nombre de paramètres parasites susceptibles d'interférer avec le contrôle, le plus important d'entre eux étant constitué par les variations éventuelles de couplage entre les palpeurs et le tube à contrôler. La technique par immersion permet de s'affranchir de la plupart de ces difficultés et d'autre part favorise l'automatisation du dispositif. De plus le contrôle par ultra-sons fait appel à des phénomènes relativement simples et ne nécessite pas d'interprétation laborieuse. Si on le compare aux courants de Foucault, le plus gros inconvénient réside dans la nécessité d'une exploration en hélice avec recouvrement suffisant, ce qui limite très sérieusement la cadence. On verra plus loin comment cette difficulté peut être en partie surmontée.

En outre, il est possible par ultra-sons d'envisager le contrôle simultané des défauts longitudinaux et transversaux, en les discriminant, et de profiter de ce contrôle pour effectuer celui des épaisseurs qui en principe fait partie de la métrologie.

Dans le cas des courants de Foucault, les procédés classiques permettent le contrôle en continu sans mise en rotation du tube. Mais, malgré les perfectionnements récents apportés à la conception des bobines et à l'électronique des appareils, le nombre de paramètres auxquels ce procédé est sensible rend l'interprétation délicate. L'étude d'un tel procédé aurait demandé plus de temps, et les délais que nous pouvions envisager ne permettaient pas d'assurer la réussite dans ce domaine. Aussi avons nous abandonné provisoirement cette technique.

Il reste que, au cours de notre étude, les procédés de contrôle par endoscopie, ressuage et radiographie ont été employés à titre de confirmation et avant l'examen destructif par micrographie.

III - METHODE DE CONTROLE.

III. 1 - Méthodes possibles.

Elles sont assez nombreuses car le nombre de paramètres que l'on peut modifier est assez important : nombre et types de palpeurs, fréquence de travail, disposition relative des palpeurs, du tube, des éléments intermédiaires le cas échéant. Compte tenu de nombreuses exigences (délais en particulier) et des résultats acquis lors d'un contrat préliminaire passé avec une société privée, nous nous sommes bornés à l'étude d'une seule de ces méthodes, celle faisant appel au plus petit nombre d'éléments.

III. 2 - Méthode utilisée.

Elle se décompose en trois :

- le contrôle des défauts longitudinaux
- le contrôle des défauts transversaux
- le contrôle des épaisseurs

III. 2. 1 - Contrôle des défauts longitudinaux.

Le principe consiste à utiliser un traducteur ultra-sonore émetteur-récepteur, non focalisé, situé dans un plan de section droite du tube et dont l'axe acoustique est décalé d'une certaine quantité par rapport à l'axe du tube, de telle sorte que le faisceau d'ultra-sons attaque le tube sous une certaine incidence (fig. 1).

La fréquence choisie pour le contrôle est celle dont nous disposons le plus facilement et pour laquelle la qualité des palpeurs autorisait le plus de possibilité, soit 4 MHz, l'élément piezo-électrique étant réalisé au titanate de baryum. Initialement ce palpeur a été choisi de forme cylindrique. Par la suite d'autres formes de palpeurs ont été envisagées. Il en sera question plus loin.

Il faut immédiatement remarquer l'apparente contradiction existant entre l'épaisseur du tube (0,4 mm) la fréquence choisie (4 MHz) et la profondeur des défauts que l'on peut envisager (de l'ordre de 20 μ). En effet même en supposant un parcours dans l'acier effectué en ondes transversales, ($V_T \neq 3250$ m/sec.) la demi-longueur d'onde correspondante est de l'ordre de l'épaisseur du tube (0,4 mm). On verra cependant par la suite qu'il a été possible de mettre en évidence des défauts inférieurs à 10 μ . Ceci peut s'expliquer si l'on admet une propagation du type onde de plaque, ce qui semble confirmé par les incidences de faisceaux nécessaires.

Lorsque l'on observe l'écran de l'appareil à ultra-sons après avoir réglé au mieux la position relative du palpeur et du tube permettant d'obtenir une bonne sensibilité tant sur un défaut externe que sur un défaut interne, on constate que dans la zone où l'écho de défaut est maximum, se trouvent toujours des échos parasites (fig. 2) dus aux réflexions directes sur le tube. La présence de tels échos empêche de profiter de cette zone de forte sensibilité pour l'enregistrement. C'est pourquoi l'utilisation d'un cache est indispensable (fig. 3).

Toutefois, l'expérience montre que l'on éprouve certaine difficulté à régler au mieux la position relative tube-cache-traducteur.

Ceci nous a amené à rechercher comment l'énergie ultrasonore était répartie dans le faisceau. Un dispositif expérimental a permis de faire une analyse très fine de cette répartition. Les figures 4, 5, 6 donnent une idée des courbes qu'il est possible de tracer à partir d'une telle analyse. Il en est résulté plusieurs conclusions pratiques.

- Il est difficile sinon impossible de travailler dans le champ proche du palpeur, la distance optimale étant précisément égale à la longueur de ce champ proche (1 seul maximum absolu de l'intensité ultrasonore).

- L'axe acoustique du palpeur peut être sérieusement différent de son axe géométrique.

- Dans le cas d'un palpeur de diamètre 10 mm la zone sensible est très étroite et permet de définir une incidence de travail.

- La figure 1, donne un exemple de positionnement qui a permis d'obtenir d'excellentes sensibilités.

- La figure 3, montre l'oscillogramme correspondant exempt de tout écho-parasite.

Il faut remarquer que les phénomènes de diffractions sur la fente et le bord du cache ne doivent pas être très considérables. En effet, la longueur d'onde dans l'eau à 4 MHz est voisine de 0,4 mm et la distance de l'arête du cache au tube est voisine de 0,5 mm.

Les essais ont été effectués avec un tube comportant des défauts réalisés mécaniquement et n'ayant qu'un rapport assez lointain avec ceux susceptibles d'être effectivement rencontrés. De plus les défauts externes et internes ne présentent pas exactement la même géométrie. Ce tube présente en outre, un certain nombre de défauts réels très petits, dont la présence nous a beaucoup aidés pour apprécier la sensibilité et la reproductibilité. Les figures 7-1 à 7-3 représentent un enregistrement type du tube étalon avec un palpeur circulaire de $\phi = 10$ mm. Noter l'excellente reproductibilité.

On peut constater sur ces enregistrements un phénomène de décollement du zéro du tracé dont l'origine se trouve dans les constantes de temps du moniteur enregistreur. En effet ce dernier fournit un signal continu à partir des impulsions recueillies dans le diaphragme, ce qui nécessite des constantes de temps relativement importantes. Il faut toutefois remarquer que ceci ne constitue nullement un inconvénient. L'amplitude de ces déviations est liée directement à la profondeur des défauts, ceci restant valable seulement pour des défauts très importants et de longueur suffisante.

Les figures 8 à 11, montrent les enregistrements et les micrographies correspondant à des défauts réels décelés dans des tubes de 0,3 mm d'épaisseur. Les autres paramètres du contrôle étaient les suivants :

- V rotation 280 t/mm

- pas - environ 1,2 à 1,3 mm/tour.

Il est certain que ces paramètres pourraient être améliorés sans dommage pour la sensibilité, mais le dispositif expérimental utilisé alors ne permettait pas de le faire.

Nous avons parlé au début de cet exposé des difficultés pouvant provenir de l'état de surface des tubes. Elles se sont manifestées de plusieurs manières :

- création d'un bruit de fond sur les enregistrements, réduisant fortement le rapport signal/bruit et par conséquent la sensibilité.

- dans le cas de micro-rayures de surface, possibilité d'accrochages de petites bulles d'air provoquant des échos parasites qui peuvent être interprétés comme des défauts.

Plusieurs solutions ont été envisagées pour prévenir la formation de ces bulles. L'utilisation d'une préchambre de mouillage sur la cuve de contrôle permet d'éviter l'introduction d'air au droit du joint, telle que nous avons pu le constater par suite de l'ovalisation ou du manque de rectitude des tubes. Il reste que la solution la meilleure à ce problème consiste à obtenir l'état de surface le plus parfait possible.

L'examen des figures 7-1 à 7-3 (enregistrement du tube étalon) nous montre également que les trous de petits diamètres sont "vus" seulement deux ou trois fois si l'on utilise un palpeur cylindrique de $\varnothing = 10$ mm. Ceci est encore plus vrai dans le cas de défauts très courts tels ceux ayant donné lieu aux micrographies précédentes (fig. 8, 9-1, 9-2). Ce phénomène présente deux inconvénients.

- il n'est pas possible d'espérer augmenter le pas de contrôle donc la cadence sans risquer d'échapper ces défauts très courts.

- en outre, compte tenu de la distribution de l'énergie ultrasonore de part et d'autre de l'axe du faisceau, les amplitudes correspondantes aux différents passages dans ce faisceau ne sont pas représentatives de la profondeur de ce dernier : il est possible en effet d'obtenir une très forte amplitude pour un défaut petit se présentant exactement dans l'axe, et deux amplitudes beaucoup plus faibles s'il se présente différemment (fig. 12).

Ces deux considérations nous ont amenés à étudier la répartition de l'énergie sonore dans le cas d'un traducteur dont l'élément piézo-électrique aurait une forme rectangulaire. On constate alors (fig. 13) que cette répartition est suivant la grande dimension du traducteur, beaucoup plus favorable. Le "plateau" que l'on observe permet de s'assurer que les petits défauts ne seront pas "oubliés", et même permet d'envisager une augmentation du pas. C'est ce qui ressort des enregistrements effectués avec un tel palpeur (fig. 14-2).

La figure 14-1 correspond aux mêmes défauts étalons enregistrés à l'aide d'un palpeur 4 MHz $\varnothing = 10$ mm, la position 1 correspond au cas de la figure 1, la position 2 correspond à la même disposition, le palpeur ayant subi une rotation de 90° par rapport à son axe, de telle sorte que la courbe de niveau 63 présente sa partie allongée suivant l'axe du tube.

On voit que l'utilisation d'un tel palpeur permettrait de multiplier par 2 au minimum le pas de contrôle, donc diviser par 2 la durée de celui-ci. Ce résultat sera confirmé auparavant sur d'autres types de palpeurs rectangulaires.

III. 2. 2 - Contrôle des défauts transversaux.

Il est réalisé suivant la méthode classique : à l'aide d'un palpeur dont l'axe situé dans un plan méridien, est incliné de manière à réaliser une certaine incidence. Dans un but de simplification de l'appareillage nous avons cherché à utiliser un palpeur de même fréquence travaillant en parallèle, ce qui nécessite le même gain de l'amplificateur. Il semble que dans ce cas le type d'onde qui permet la détection la plus sensible des défauts petits soit celui correspondant aux ondes de plaque définies par la fréquence et l'épaisseur du palpeur. En l'occurrence il s'agit du mode 1-AS. La figure 15 est un exemple type d'enregistrement obtenu dans ces conditions ($U_r = 280 \text{ t/mn}$ - pas 1, 2 à 1, 3 mm/tour).

Le palpeur utilisé dans ce cas est du même type que le précédent, soit $17 \times 10 \text{ mm}$ - 4 MHz. Aucun intermédiaire n'a été pour le moment utilisé, les réflexions directes tombant au delà de la surface émettrice. L'étude se poursuit pour vérifier la possibilité de déceler des défauts de même géométrie avec la même sensibilité en longitudinal et en transversal.

On peut remarquer plusieurs facilités par comparaison avec la détection des défauts longitudinaux.

- le réglage d'incidence est beaucoup plus aisé.
- le positionnement du palpeur par rapport au tube est beaucoup moins critique.
- la convexité du tube provoque une collimation automatique du faisceau d'ultra-sons dans le sens transversal.

III. 2. 3 - Mesure des épaisseurs.

Ce problème qui a déjà reçu de nombreuses solutions, (mécaniques, pneumatiques) a tout de même fait l'objet d'une étude basée sur l'utilisation de la résonance ultrasonore. Les avantages de cette méthode sont multiples :

- possibilité d'obtenir l'enregistrement des épaisseurs à l'aide de la machine de contrôle de défauts et sur la même bande d'enregistrement.
- très bonne sensibilité permettant de contrôler dans la gamme des tolérances sans difficultés.
- possibilité de procéder par immersion, donc d'utiliser tous les avantages de cette méthode en contrôle automatique.

Un problème se pose toutefois : l'appareillage standard "Vidigage" (Branson) associé à un "Automation converter", délivre un signal difficile à exploiter sur un enregistreur rapide (Siemens "Oscillomink") du type utilisé pour la détection des défauts. En outre, cet appareil procède par échantillonnage à 50 Hz (ou à 300 Hz pour un modèle que nous ne possédons pas). Si l'on veut donc obtenir, soit le profil d'épaisseur d'une section (phase d'étude), soit une commande automatique d'éjection des tubes hors tolérances (phase industrielle), il est nécessaire de s'assurer que le nombre de prélèvements par tour de tube est suffisant.

L'utilisation d'un dispositif annexe d'enregistrement délivrant des dents de scie d'amplitude reliée à l'épaisseur à la fréquence de 50 Hz, nous a montré que l'enregistrement (donc également la commande de rebut) n'était fidèle que jusqu'à une vitesse de rotation de 150 t/mn (pour les tubes considérés). Au delà, la répartition aléatoire des prélèvements introduit une erreur qui n'est pas négligeable. Pour pallier cet inconvénient un dispositif de "lissage" permet d'obtenir la courbe enveloppe des crêtes de dents de scie et ce jusqu'à la vitesse de rotation actuellement utilisée soit 280 t/mn, sans aucune altération du profil d'épaisseur. Ce résultat n'est valable que si l'on admet une variation régulière de l'épaisseur à l'intérieur de chaque tour, ce qui est le cas la plupart du temps (tubes excentrés). Les figures 16 à 18 illustrent les étapes de cette étude et les possibilités de l'enregistrement.

IV - CONCLUSIONS.

Le contrôle non destructif de la santé des tubes de gaine par ultra-sons, a permis d'obtenir de bons résultats, dans d'excellentes conditions de reproductibilité et de sensibilité.

Les défauts effectivement décelés sont du type de ceux que l'on rencontre le plus fréquemment sur des tubes de cette géométrie :

- criques
- rayures
- piqûres.

Toutefois il est certain que cette méthode de contrôle reste incomplète. En effet :

- elle ne permet probablement pas la détection des inclusions métalliques ou non métalliques, sauf peut-être dans le cas où une microfissure est associée à la présence d'une telle inclusion.
- quelle que soit la technique de contrôle ultrasonore choisie, l'importance du signal enregistré est fonction non seulement de la surface du défaut décelé, mais encore de son orientation par rapport au faisceau. Nous pensons que, dans le cas des défauts longitudinaux, l'utilisation d'un dispositif permettant d'enregistrer plusieurs fois les défauts très courts, donne l'assurance qu'ils ne seront pas ignorés, ce qui ressort clairement de l'utilisation des traducteurs rectangulaires.

L'un des avantages du procédé retenu est de permettre une automatisation aisée, d'où gain de temps et facilité de mise en oeuvre.

Une remarque est toutefois nécessaire.

La technique utilisée a permis de tirer un très bon parti des caractéristiques des appareils actuellement sur le marché. Il est certain toutefois que la limite de sensibilité est atteinte et que tout perfectionnement ultérieur nécessitera :

- une étude plus poussée des paramètres de qualité des traducteurs émetteurs récepteurs d'ultra-sons, permettant éventuellement d'aboutir à des normes de réception extrêmement sévères pour ce matériel.
- une étude simultanée d'un matériel électronique mieux adapté au problème particulier du contrôle de santé des tubes minces. Rappelons à ce sujet que l'appareillage utilisé permet également

le sondage de pièces d'acier de 10 à 15 m. Il n'est donc pas étonnant que son utilisation au contrôle des tubes minces, pose des problèmes fort délicats.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 OLIVER R. B., Mc CLUNG R. W., WHITE J. K.
Ultrasonic inspection of pipe and tubing
ORNL-2254 - Feb. 15, 1957
- 2 FARNSWORTH P. L., OAKES H. P., SOCKY R. B.
Quality evaluation of zircaloy-2 sheath tubing - HW-64.452
September 8, 1959
- 3 FARNSWORTH P. L., HAWS K. M.
Fabrication and Evaluation of Zr-2 and Zr-4 tubing for use
in cladding uranium dioxide and aluminium-plutonium fuel -
HW-66.810 - October 1, 1960
- 4 SAWYER W. A.
Ultrasonic testing of thin wall zircaloy tubing -
AECL-1360, August 1961
- 5 NELSON B., NYSTRÖM U. and al
Production Control of Zircaloy fuel cladding -
Aktiebolaget Atomenergi - Stockholm - 22 Août 1961
- 6 FITCH C. E., MAY H. E., KALE V. E.
Ultrasonic Testing of zircaloy sheath tubing for fuel elements
HW-72.802 - June 1962.

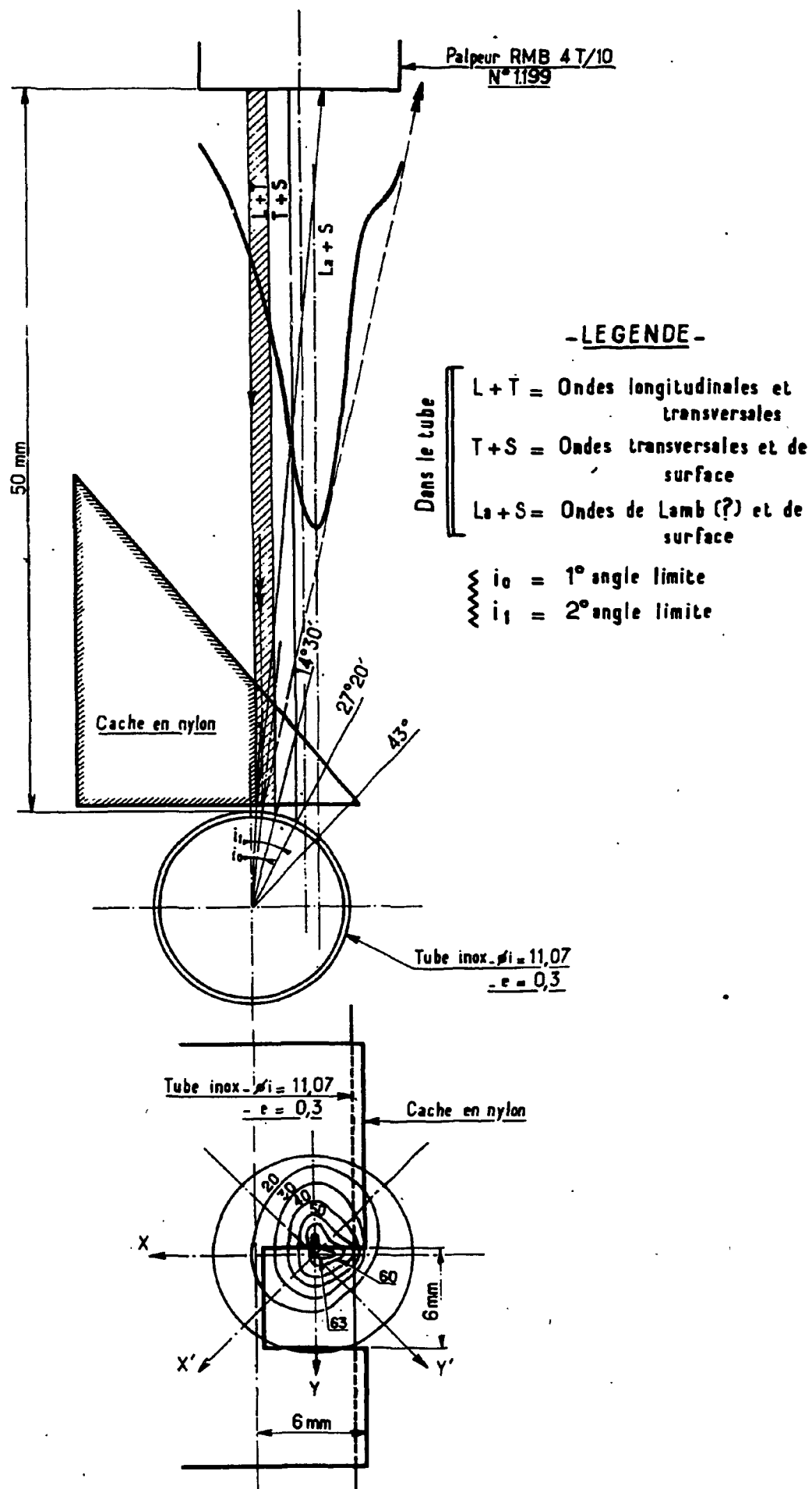
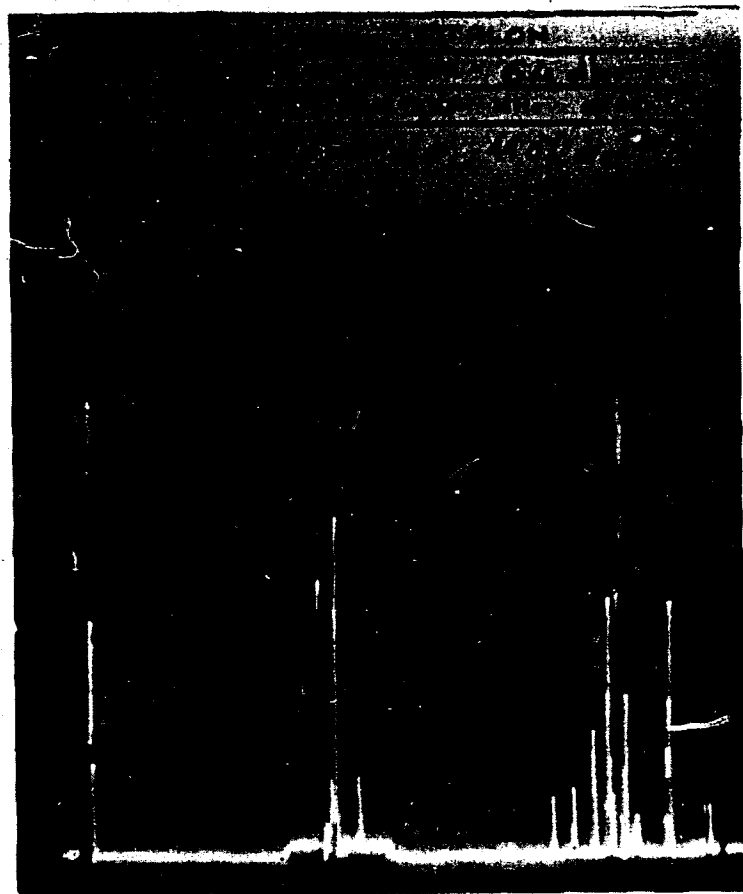
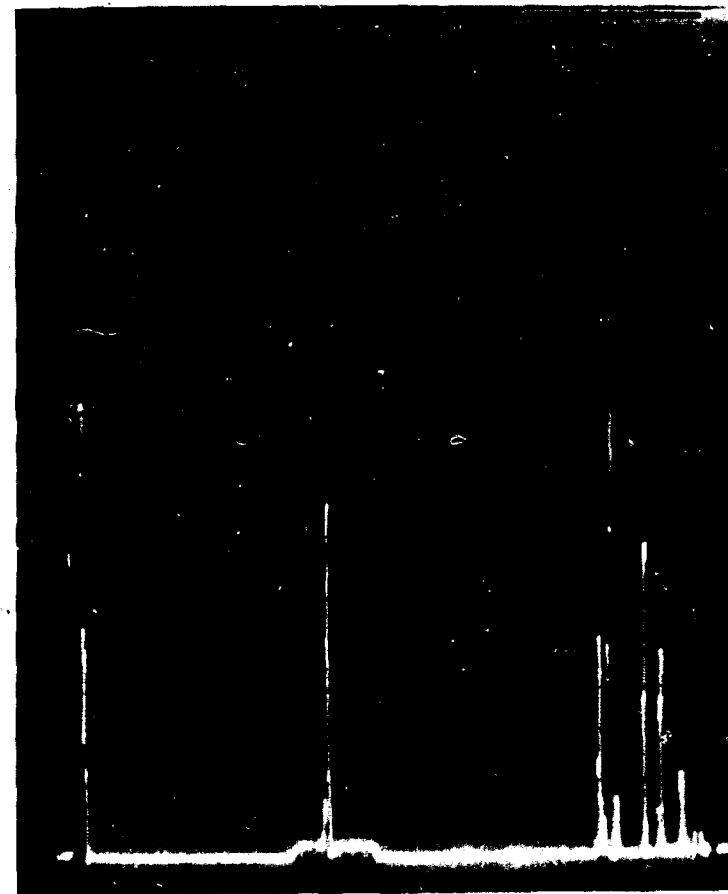


FIG 1 Position relative des divers éléments du montage .



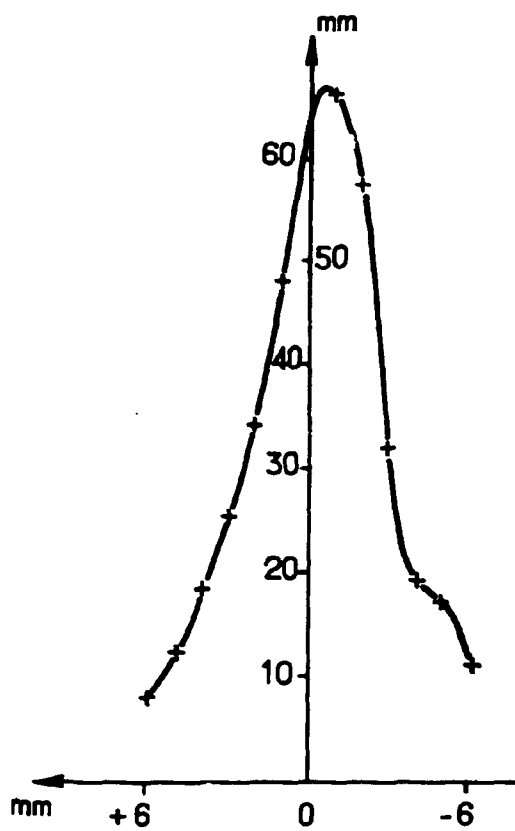
échos parasites

FIG 2 Oscillogramme avec palpeur $\varnothing 10\text{mm}$.
sans cache

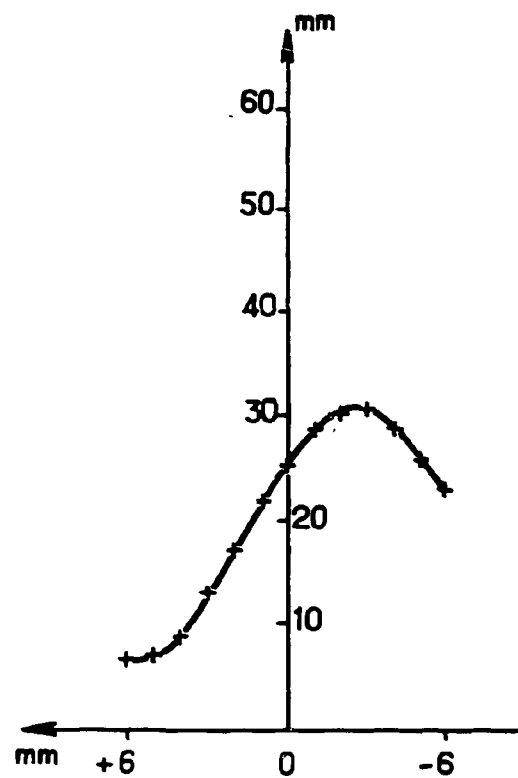


écho de défaut

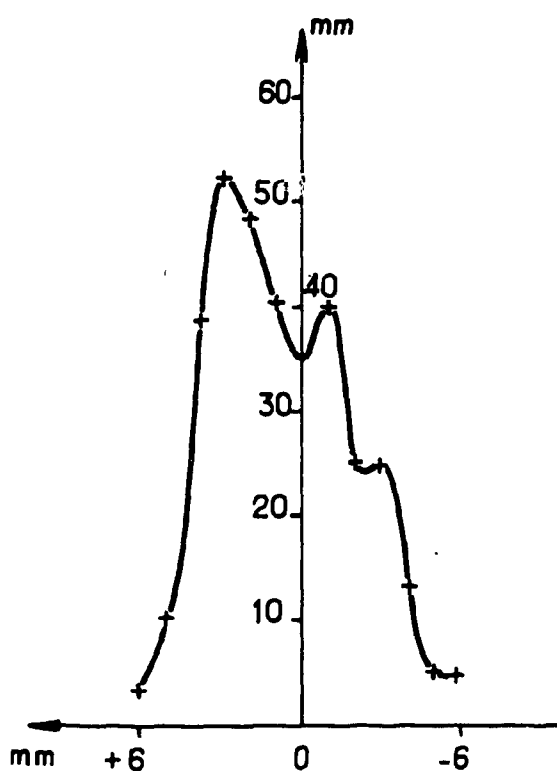
FIG.3 Oscillogramme identique
mais avec cache



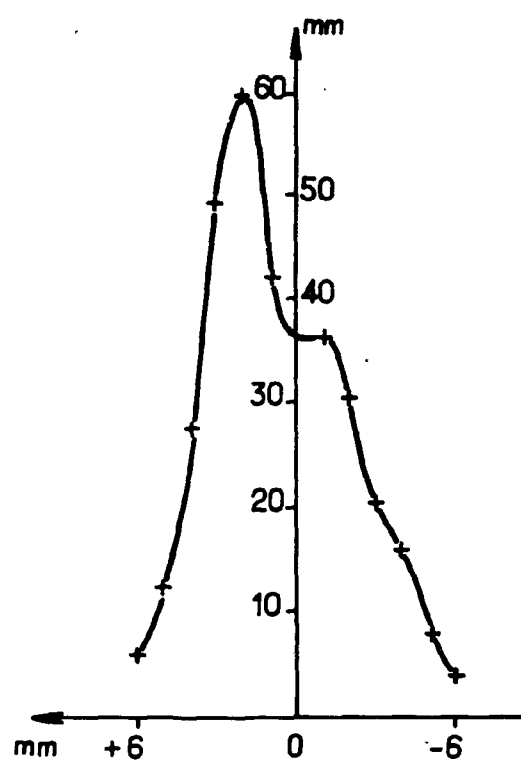
CHAMP A 5 mm
Examen suivant x



CHAMP A 15 mm
Examen suivant x



CHAMP A 49 mm
Limite du champ proche = 50 mm



CHAMP A 115 mm
Limite du champ proche = 50 mm

PALPEUR RMB 4T/10 N°1199

FIG 4 Trace du champ à différentes distances de la surface émettrice

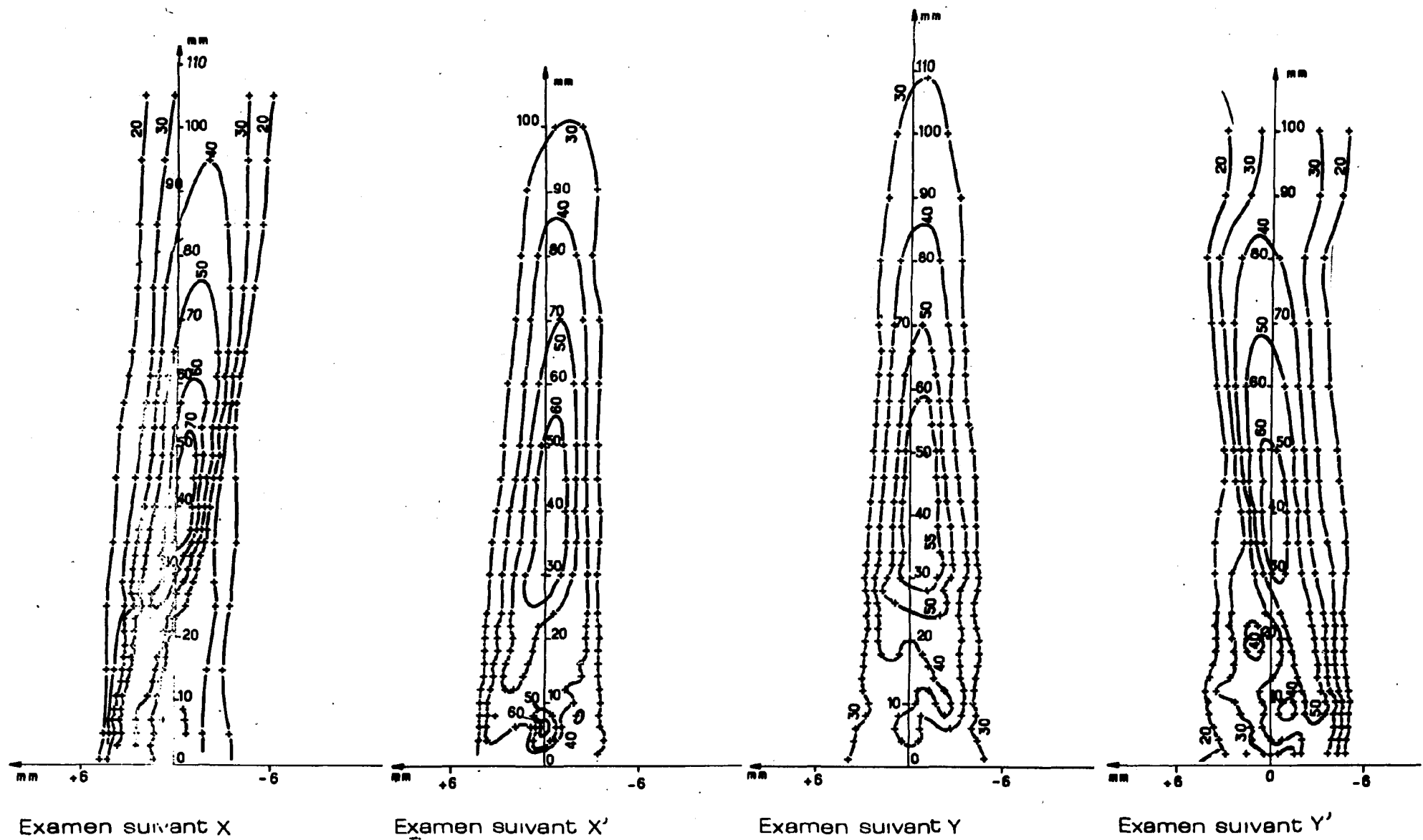


FIG 5 PALPEUR RMB4T/10 N°1199
COURBES DE NIVEAUX

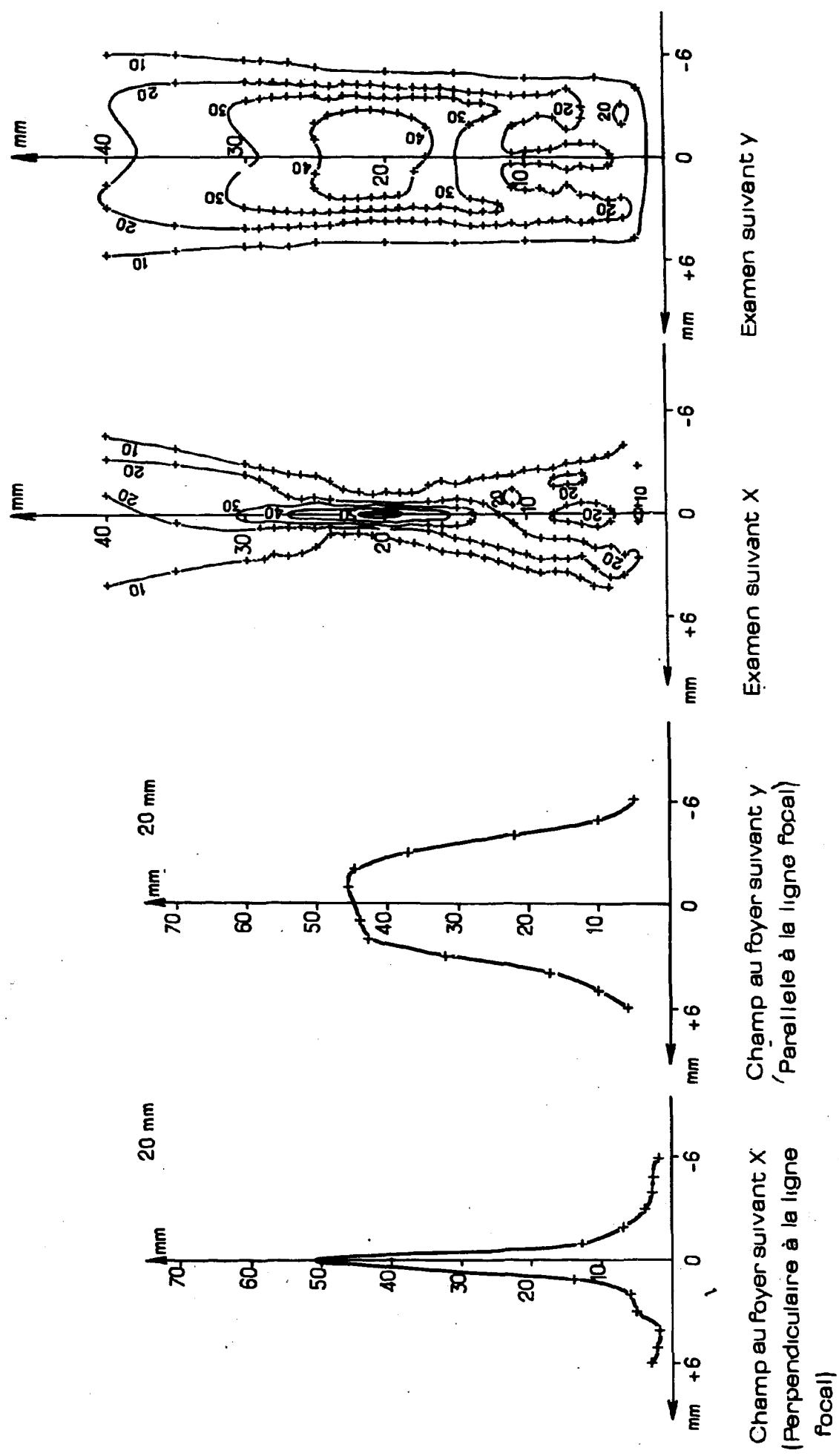
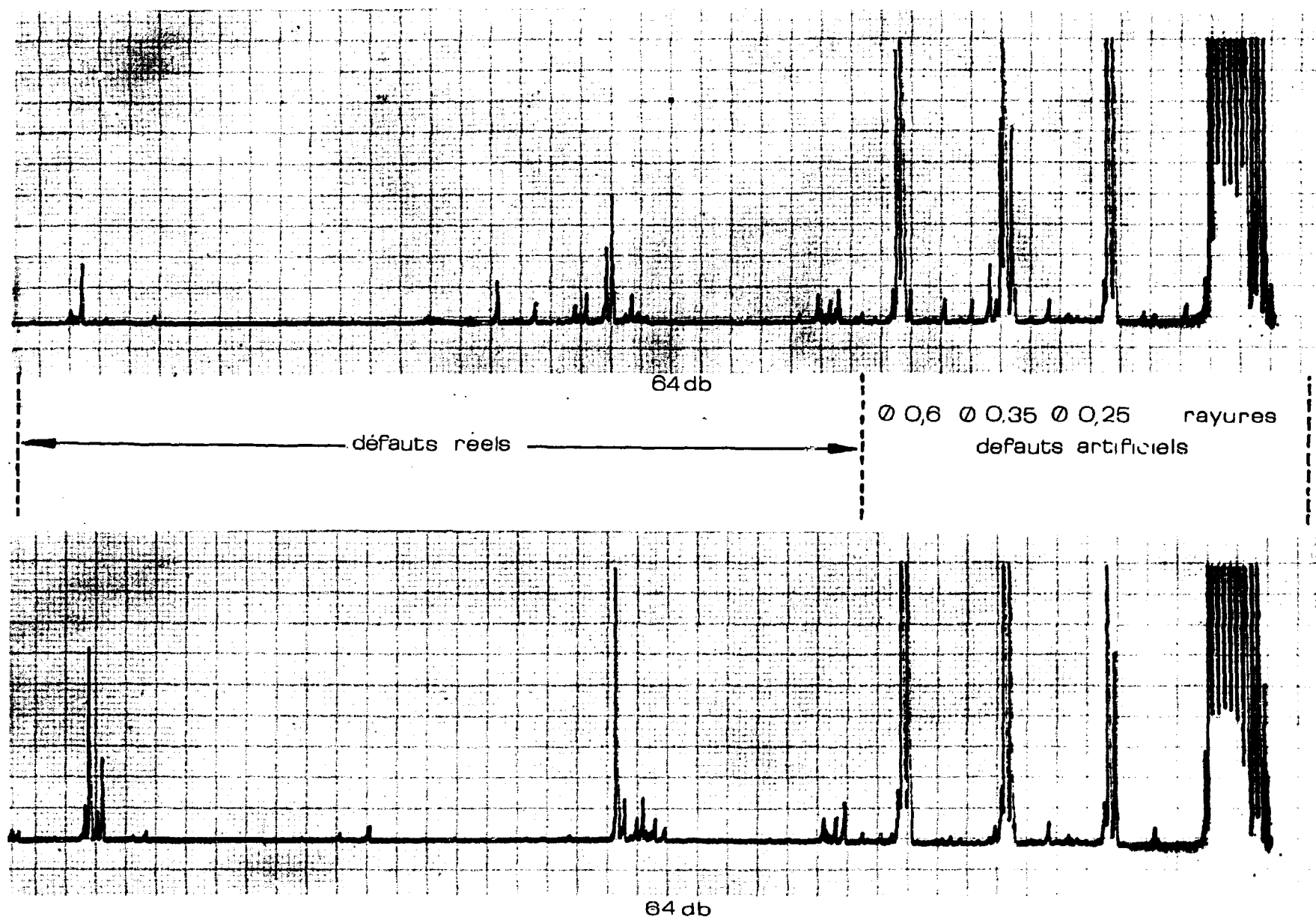


FIG 6 PALPEUR RMB 4T/10 N° 1089 FOCALISE EN LIGNE



Nota : les trous artificiels débouchent à l'intérieur du tube

FIG 7-1

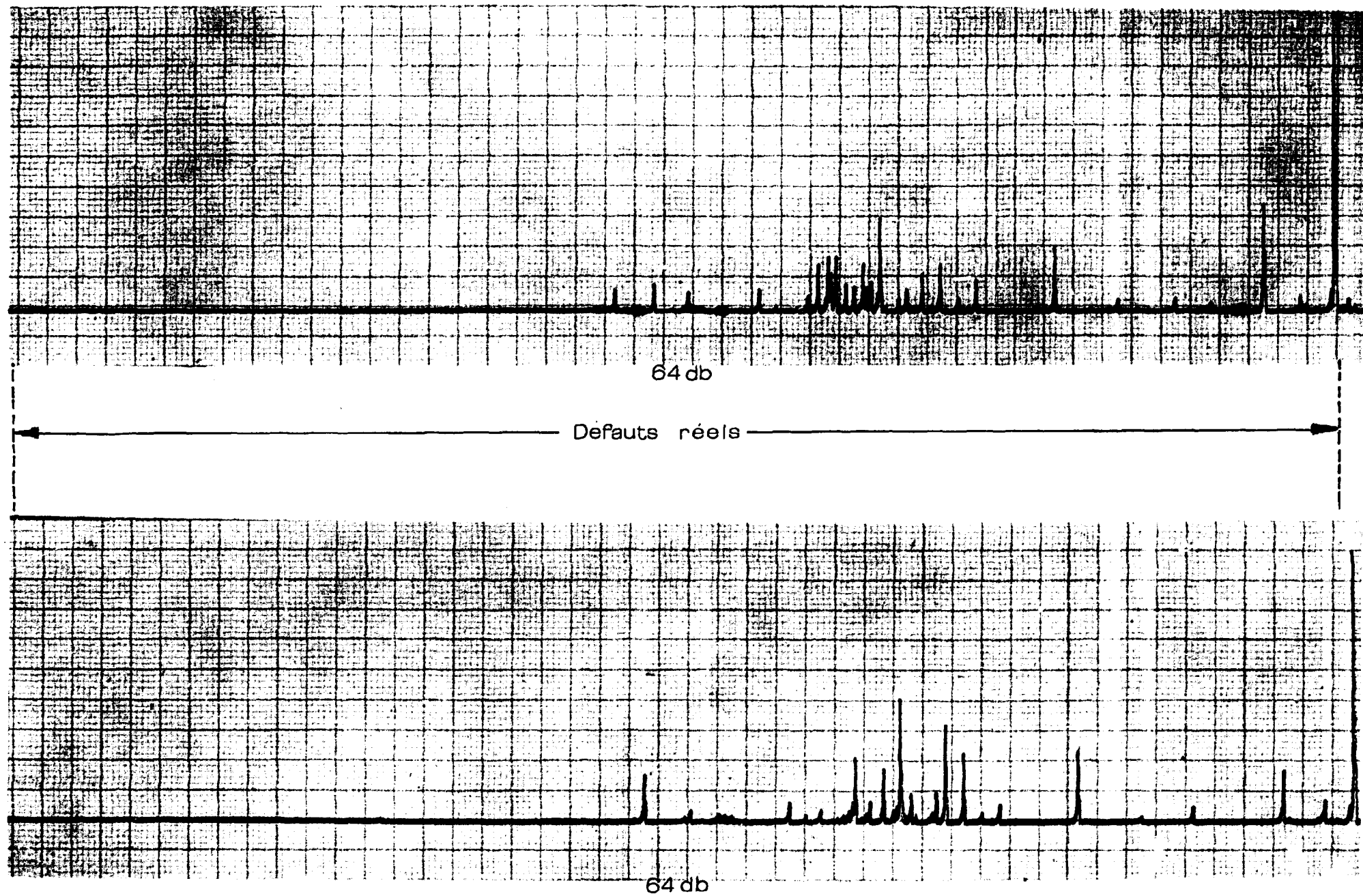


FIG 7 -2

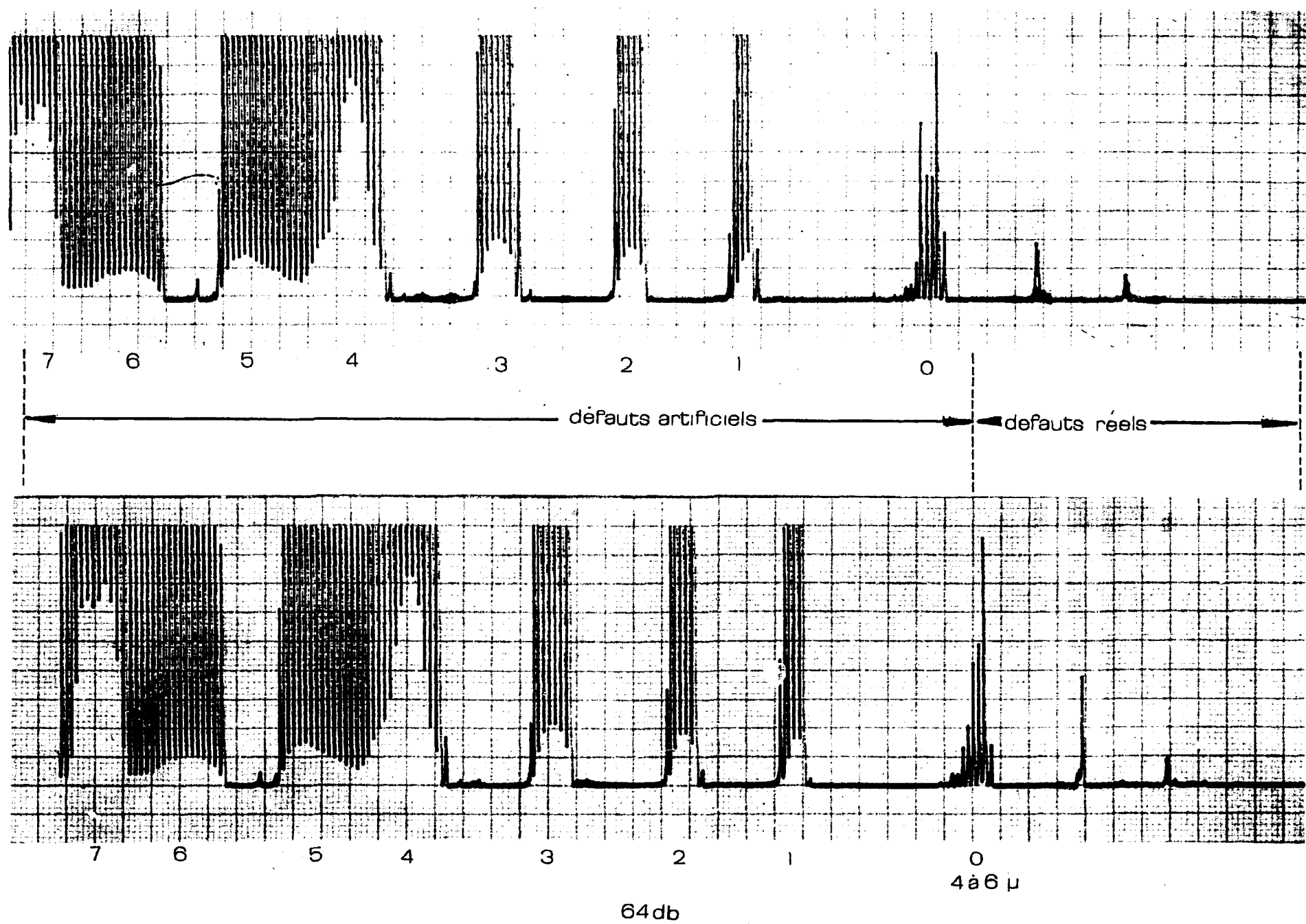
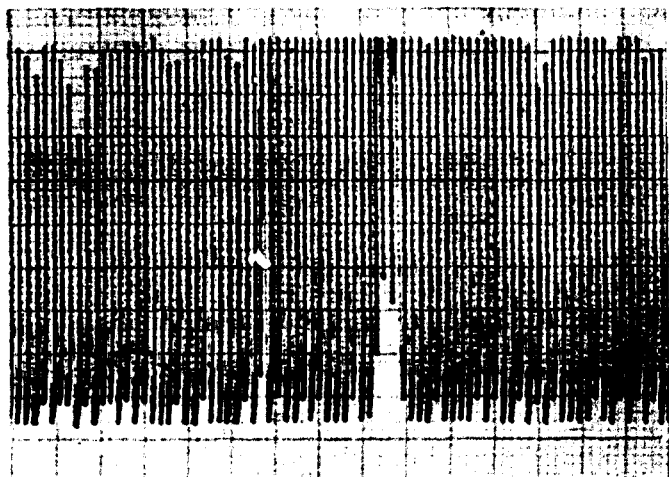
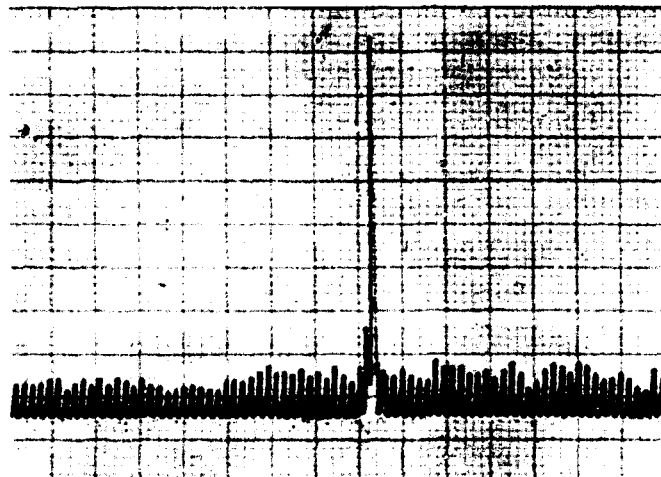


FIG 7-3



62 db



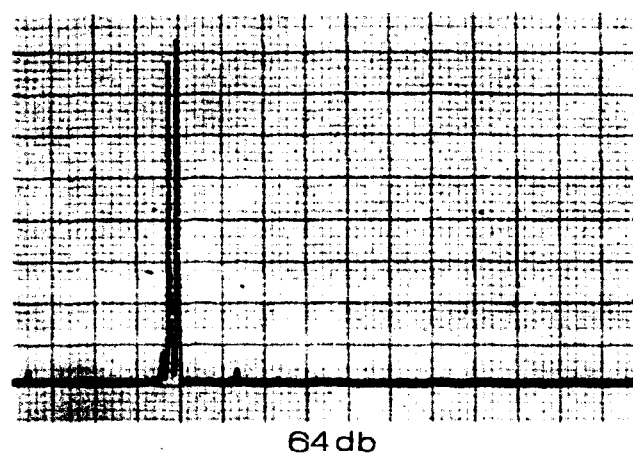
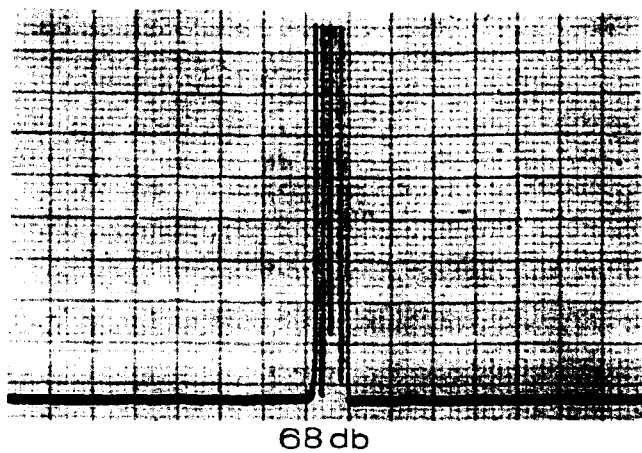
56 db



x 150

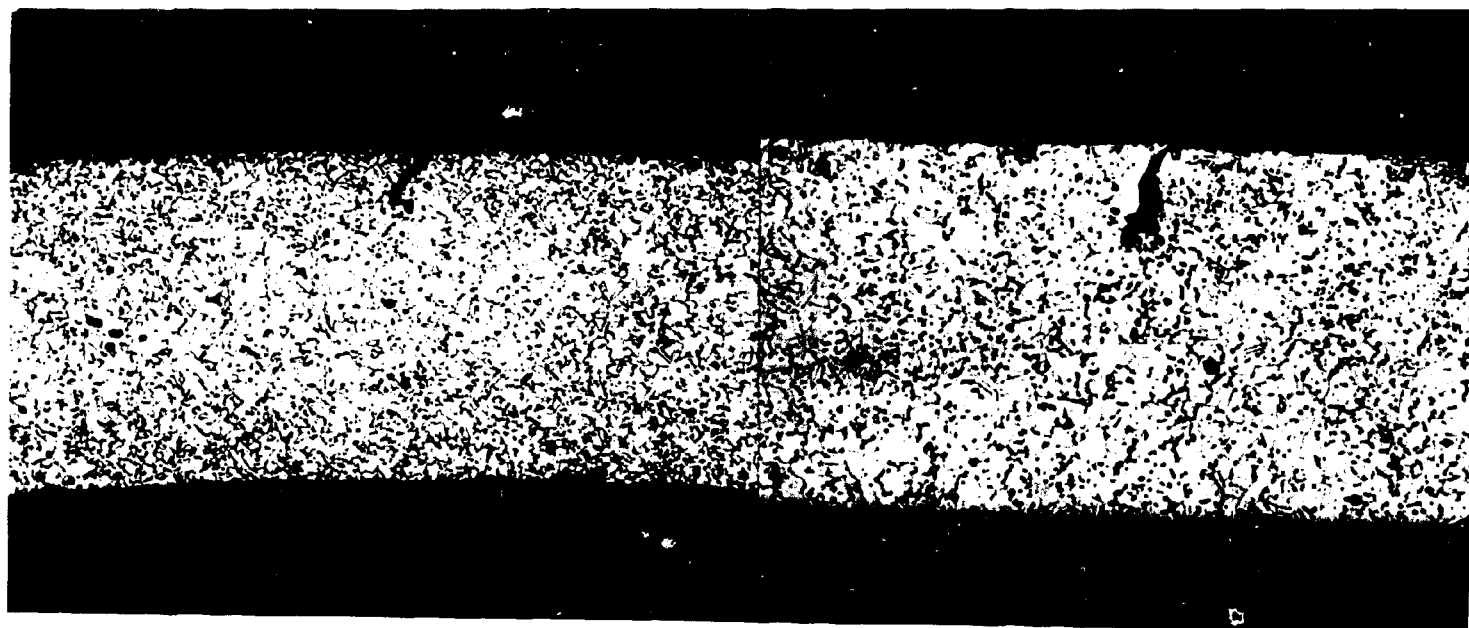
FIG. 8.

GAF. I. défaut intérieur.



21861

TACm 2



x 150

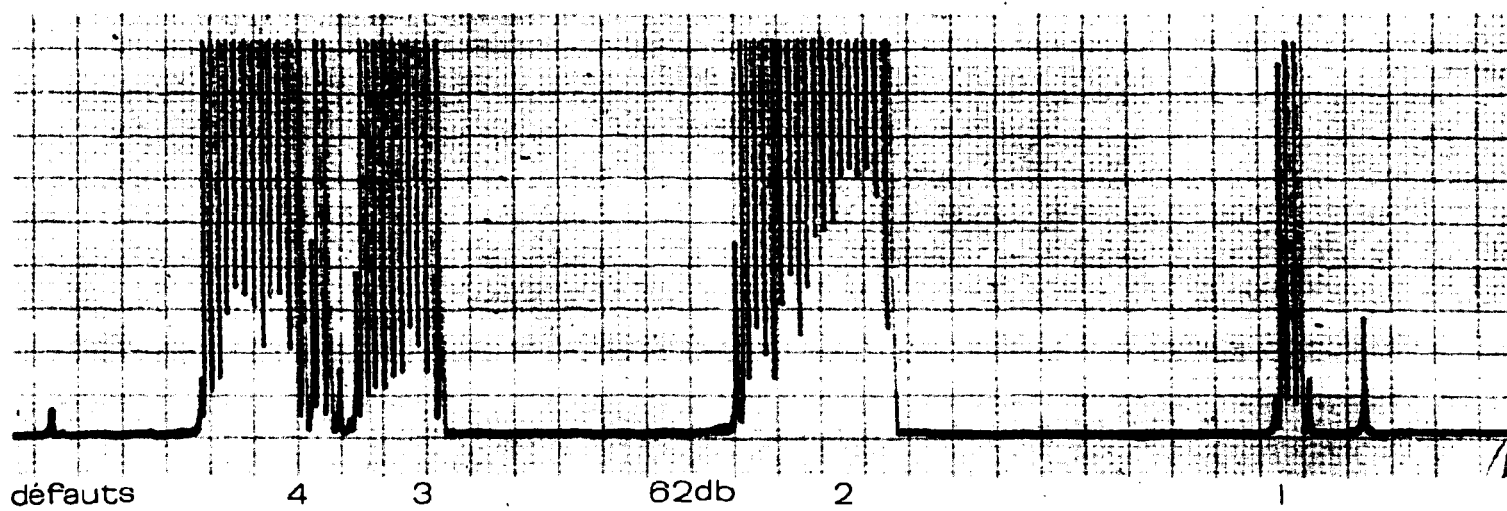
x 450

GAF.5 (extérieur)

GAF.7 défaut N°1 (extérieur)

FIG 9-1

FIG. 9-2



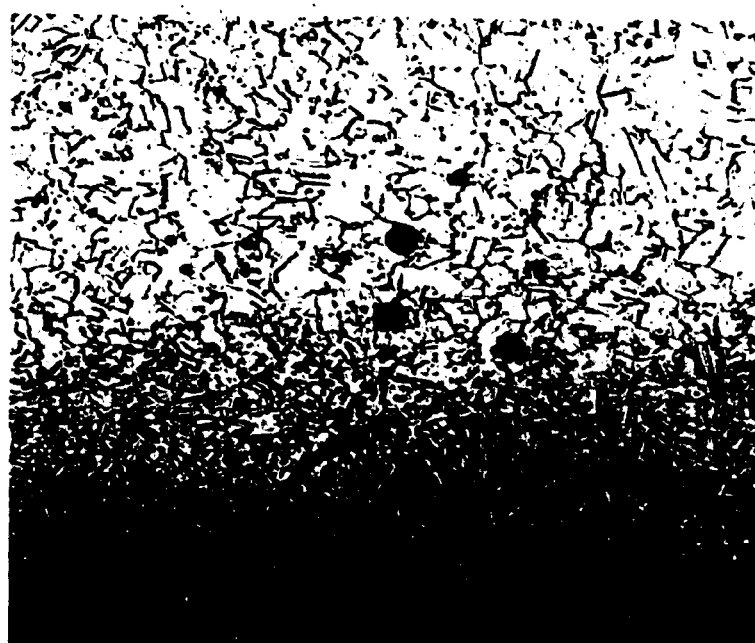
22014

22016



N°1

22020

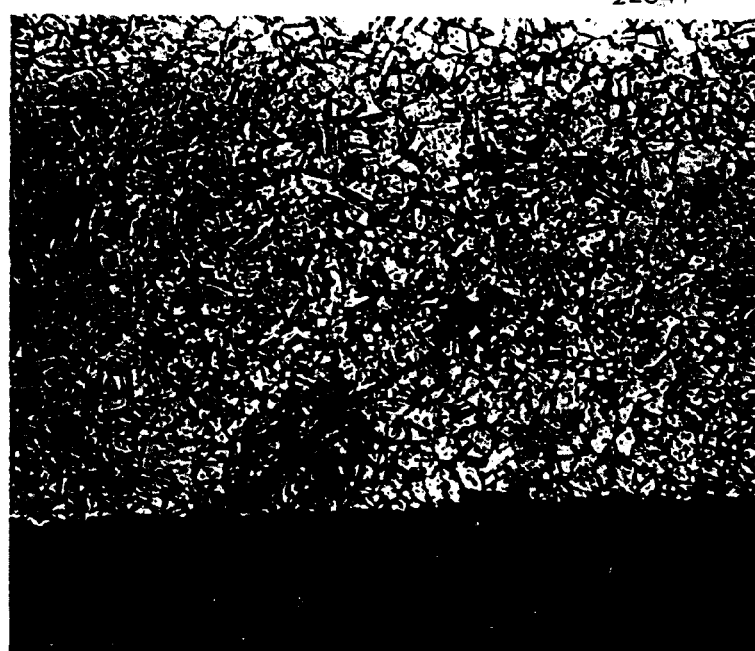


N°2

22044

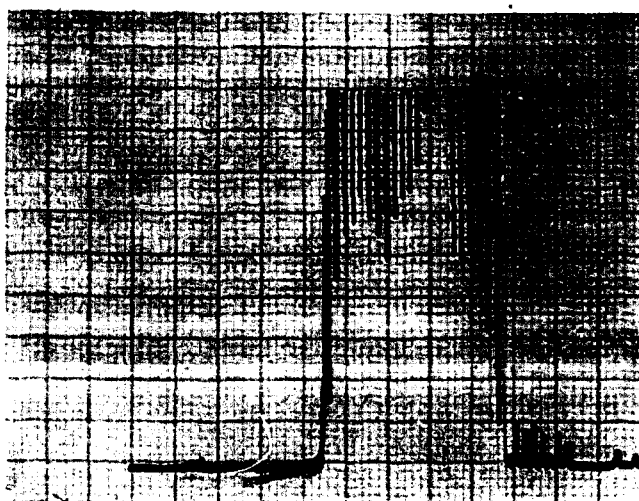


N°3

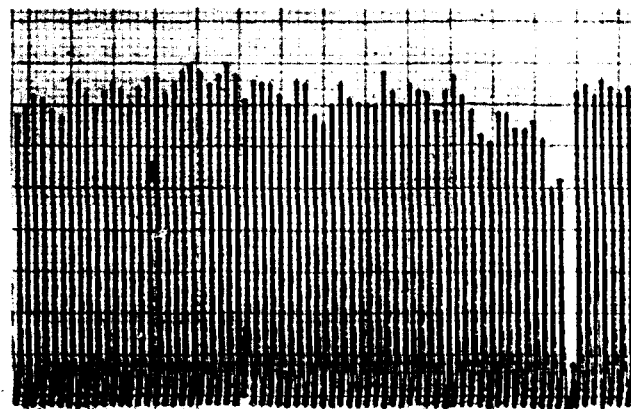


N°4

FIG. 10 Défauts intérieurs x450 GAF 10



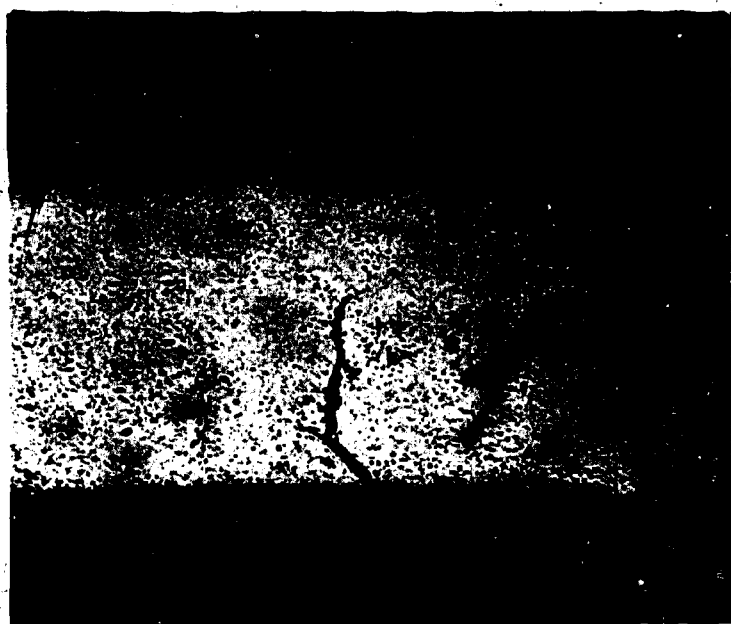
62 db



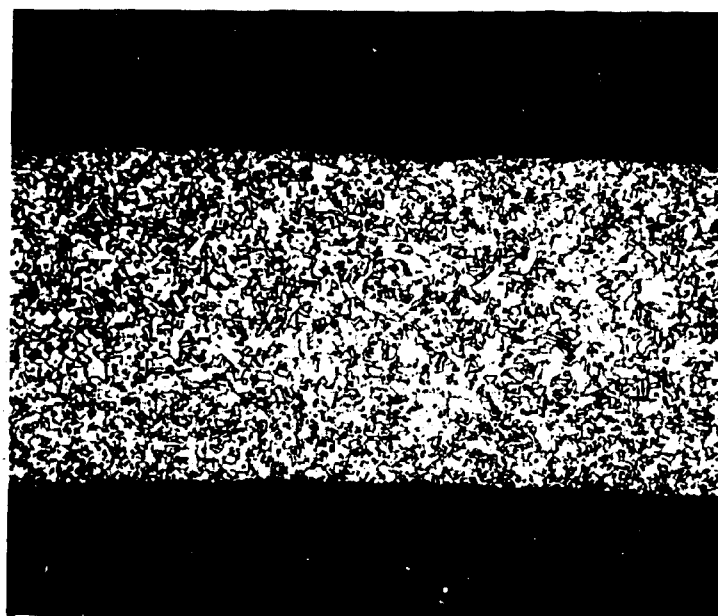
62 db

TACm 50

22075

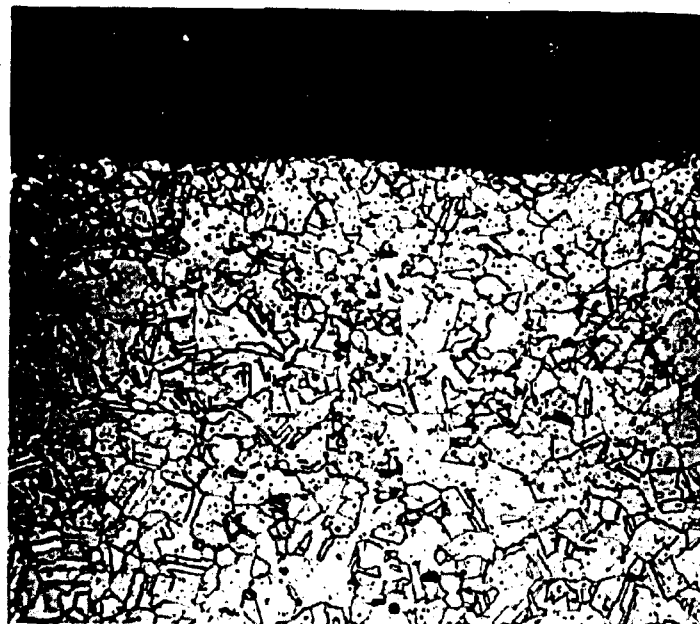


x150



x150

TACm 51

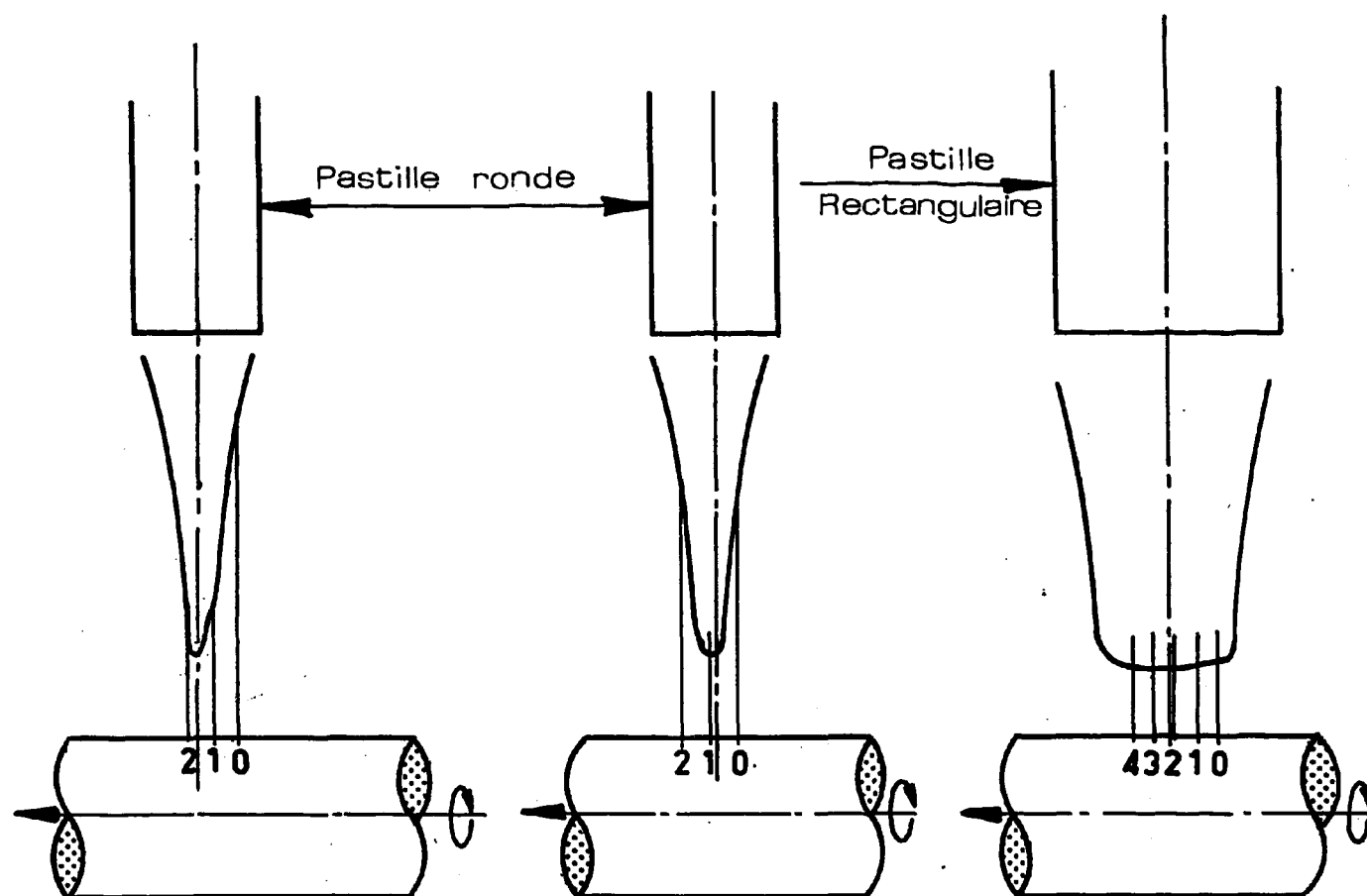


x450

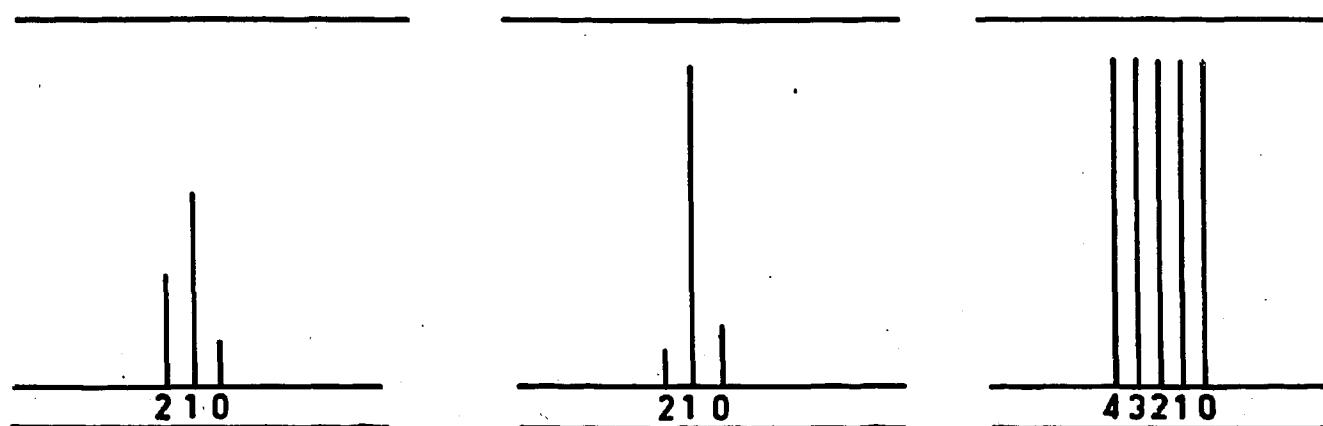
FIG II -1 GAF24 [interieur]

FIG II -2 Rayure detirage (exterieur)

TRADUCTEURS



TUBE CONTROLE EN HELICE



ENREGISTREMENTS

0, 1, 2, 3, 4 ; Positions successives d'un défaut

FIG 12 Influence de la forme du traducteur et du pas

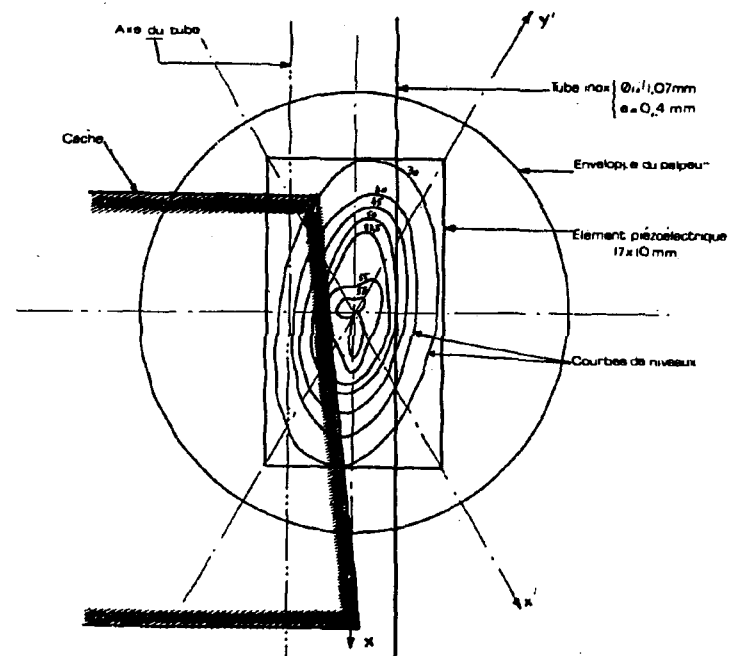


FIG. 13a Position relative du tube, du palpeur et du cache

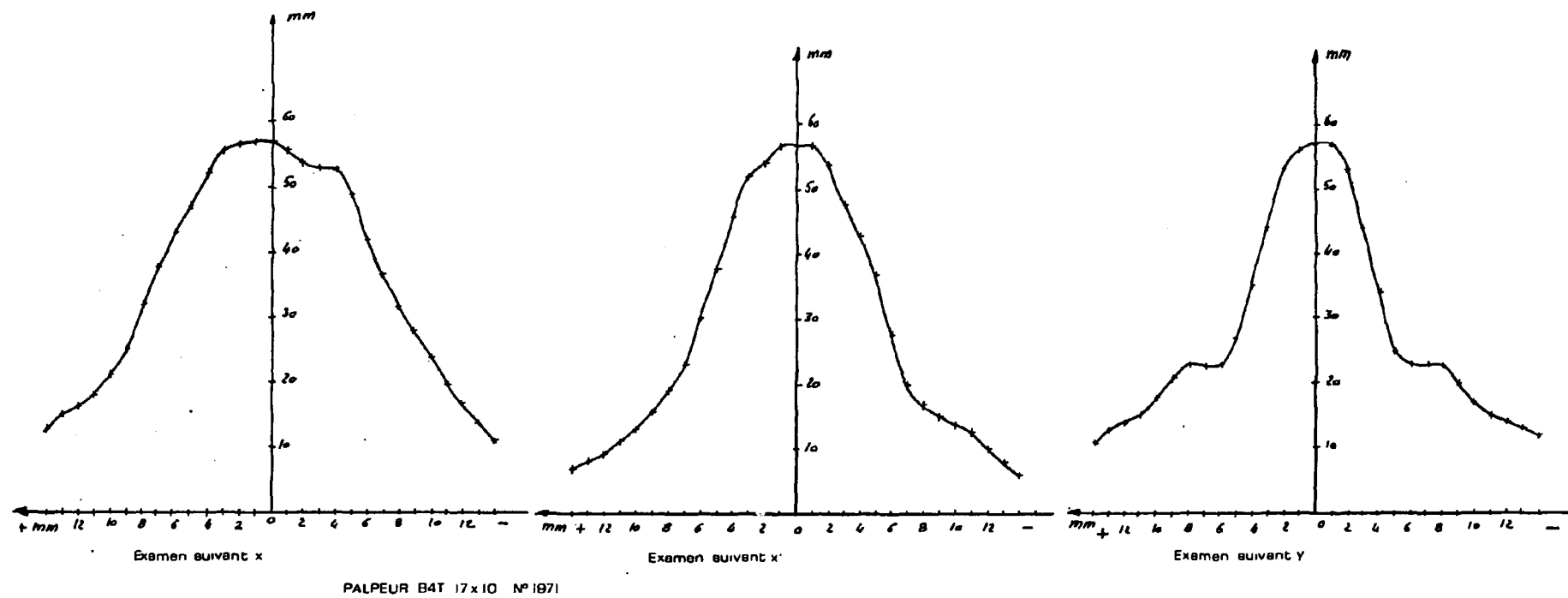
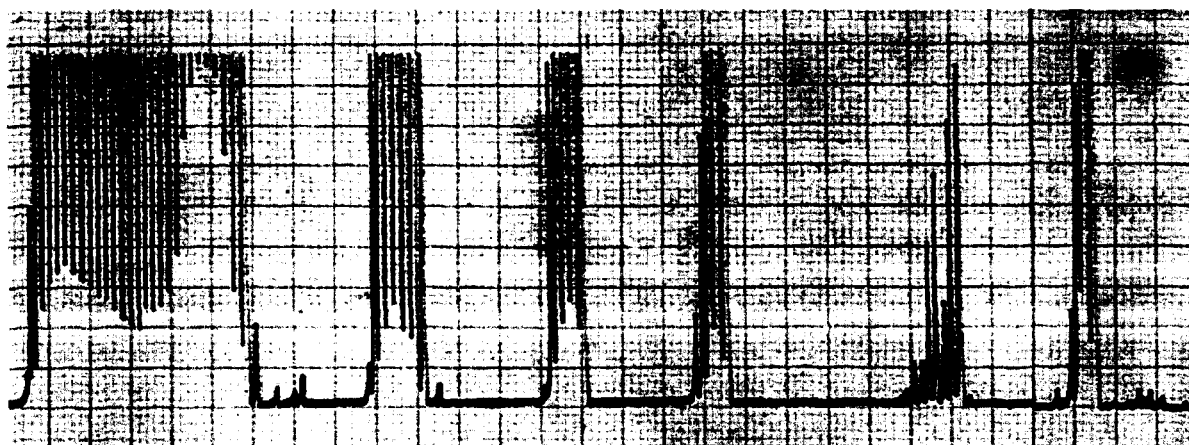
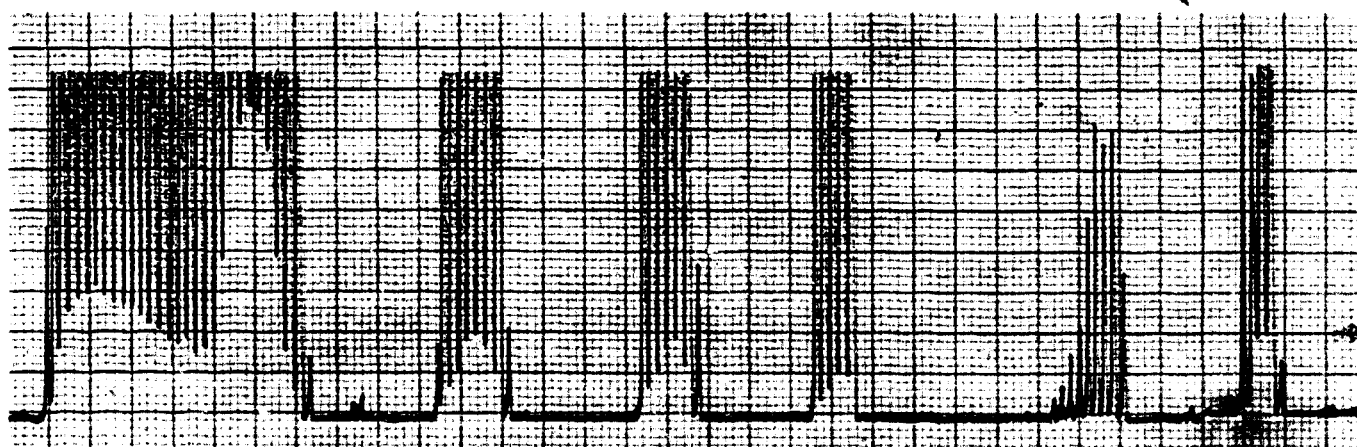


FIG 13b Tracé du champ



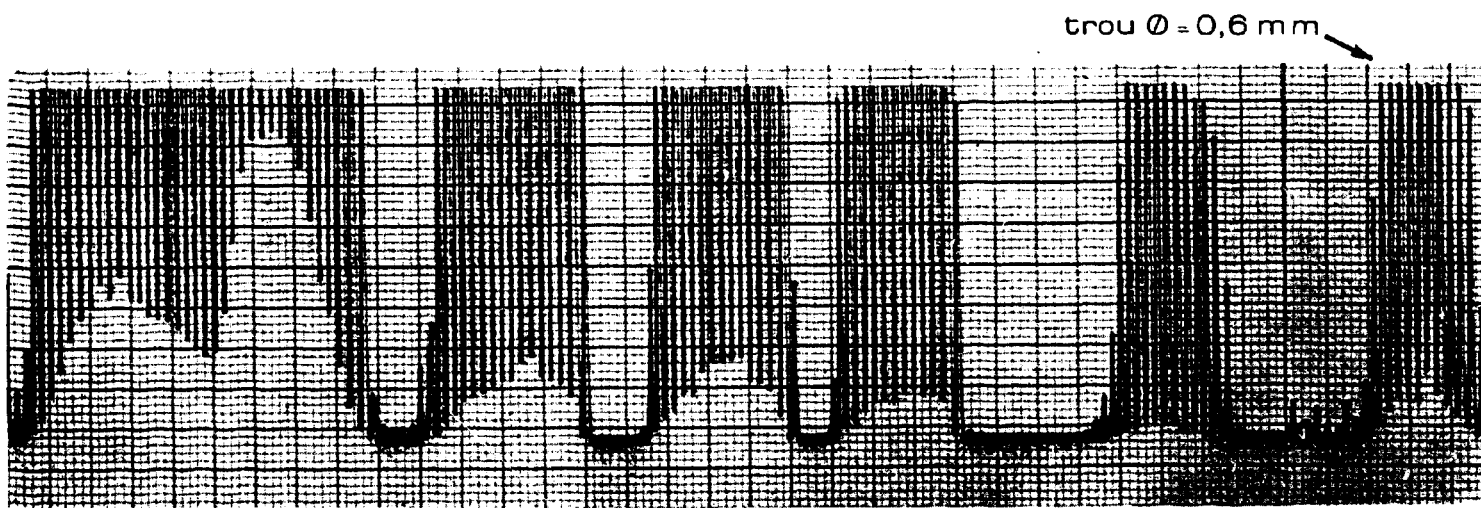
Position 1

trou $\varnothing = 0,6$ mm



Position 2

FIG 14-1 Palpeur 4 MHz $\varnothing = 10$ mm



trou $\varnothing = 0,6$ mm

FIG 14-2 Palpeur 4 MHz 17 x 10 mm

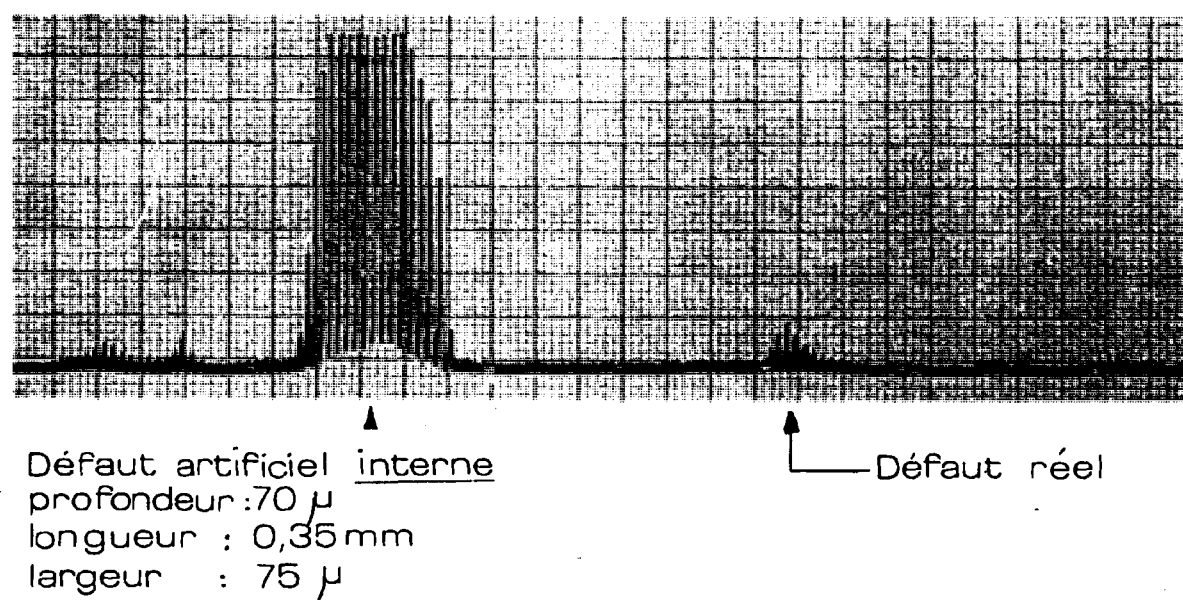
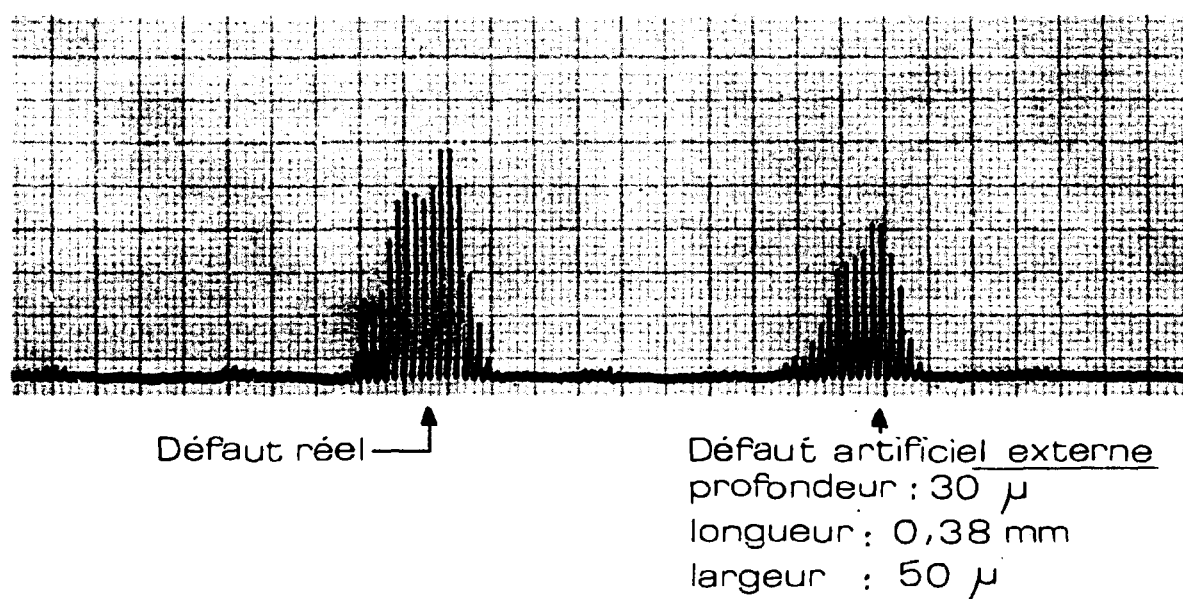
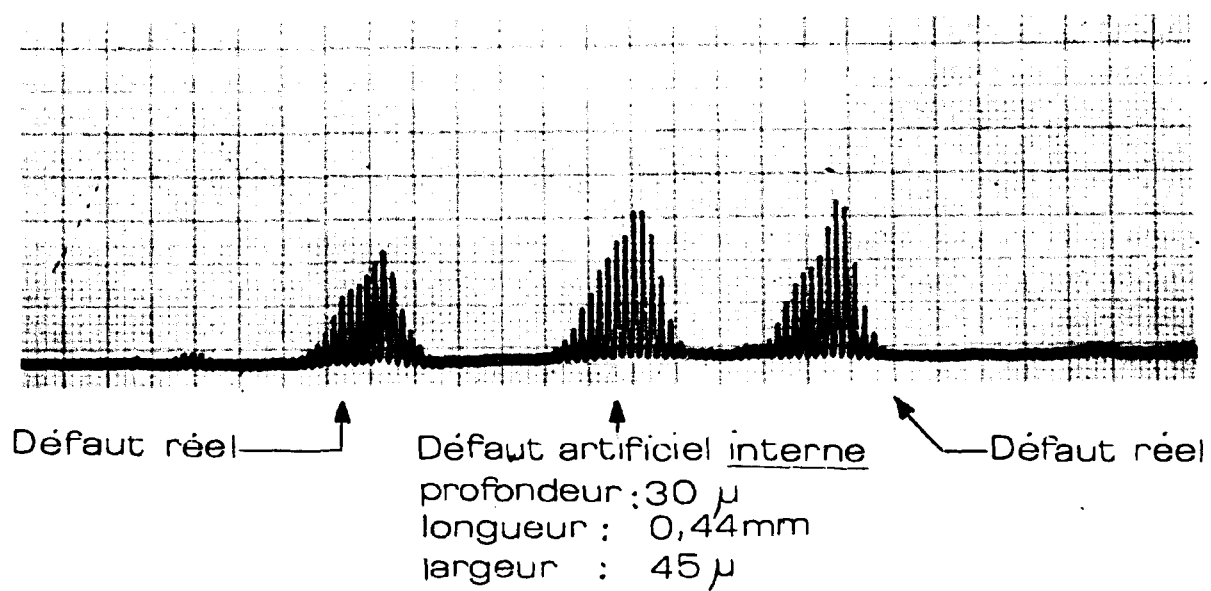
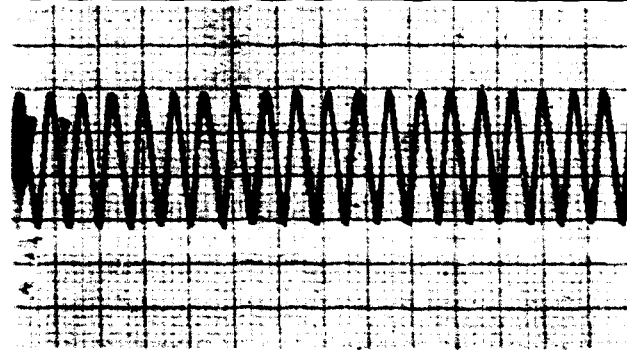
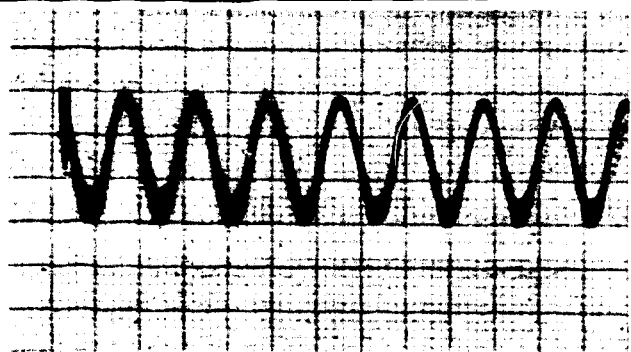


FIG .15. Défauts transversaux _ Enregistrements types

Vitesse du tube : 30%

Vitesse du tube : 50%

Niveau de référence

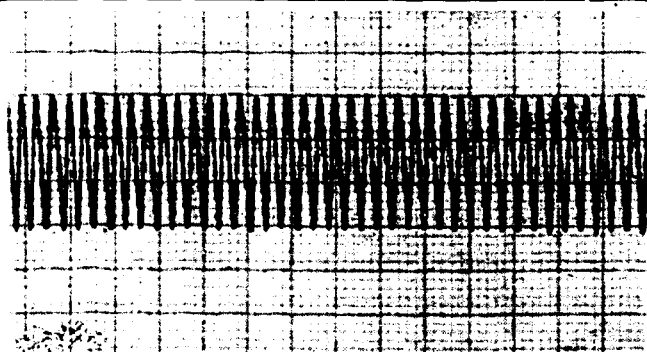


V. papier : 0,5 cm/s

Vitesse du tube : 80%

Vitesse du tube : 115%

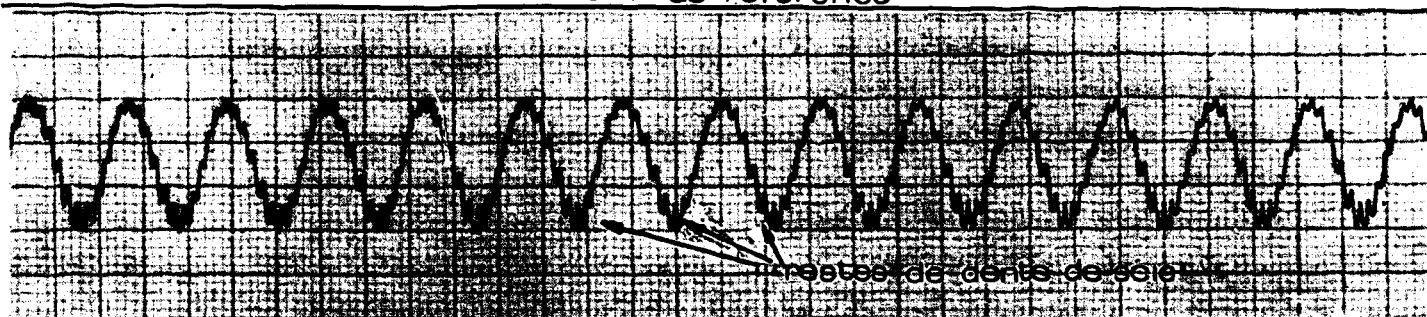
Niveau de référence



V. papier : 0,5 cm/s

Vitesse du tube : 115%

Niveau de référence

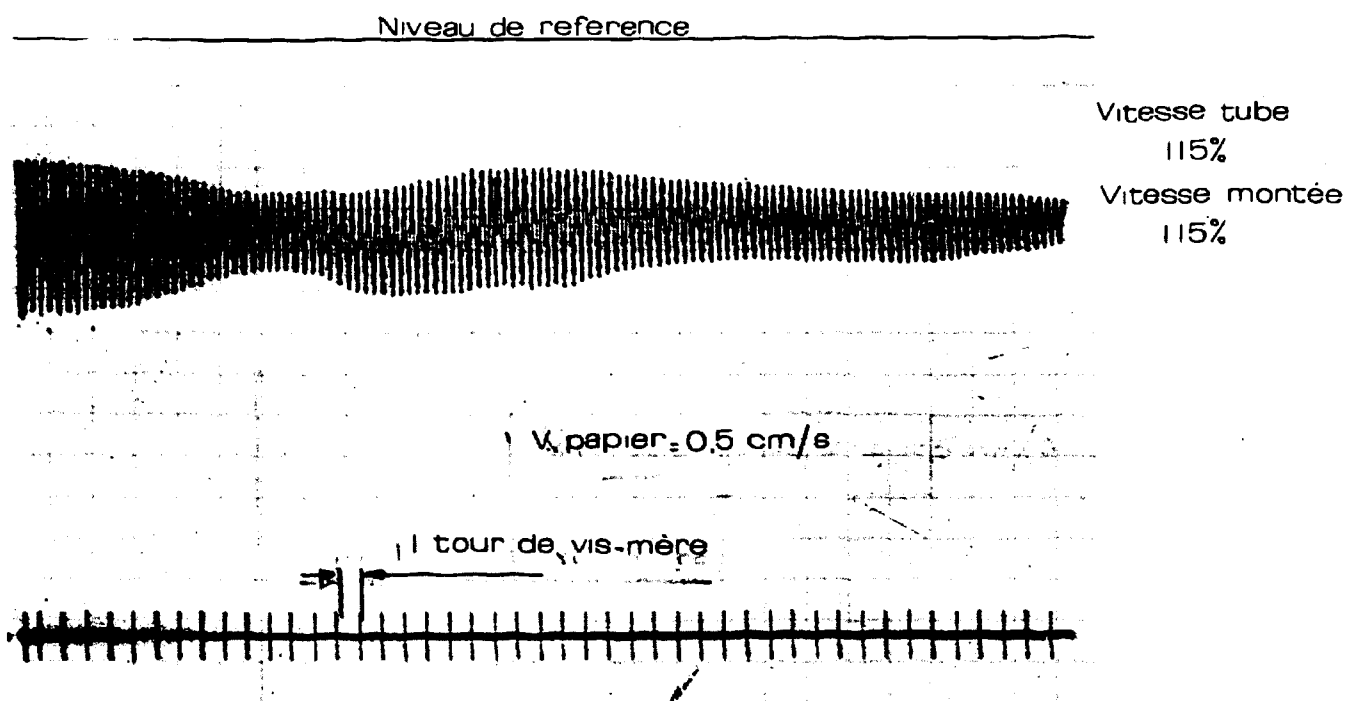


V papier 5 cm/s

Nota : Il s'agit de l'enregistrement d'une section qui se reproduit à chaque tour.

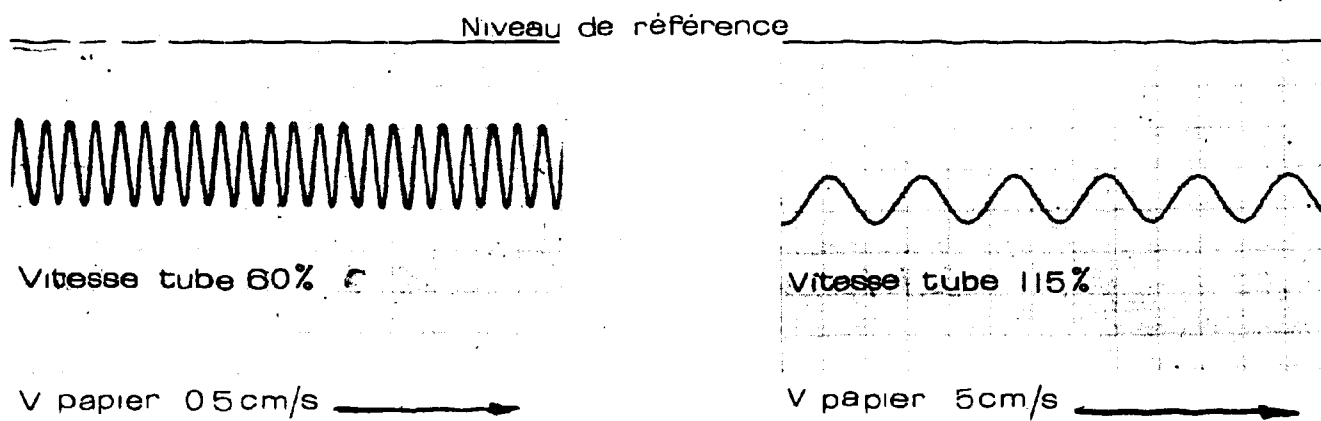
FIG 16 Essais sur un tube de 9/10 d'épaisseur

CONTROLE SUR TOUTE LA LONGUEUR DU TUBE (filtre avec RC 5ms)



Filtre avec RC 60ms

Filtre avec RC 60ms



COMPARAISON DES DEUX MODES D'ENREGISTREMENT

Courbe enveloppe avec RC 60ms

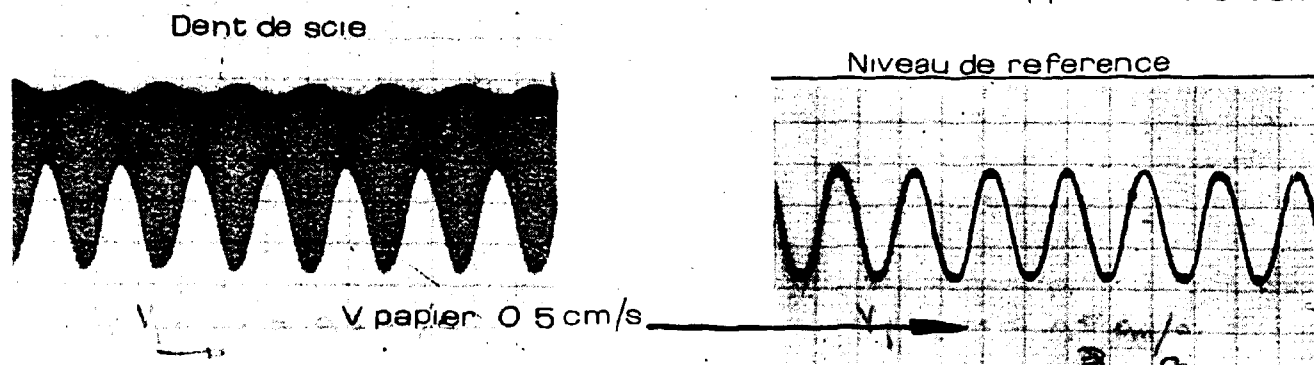
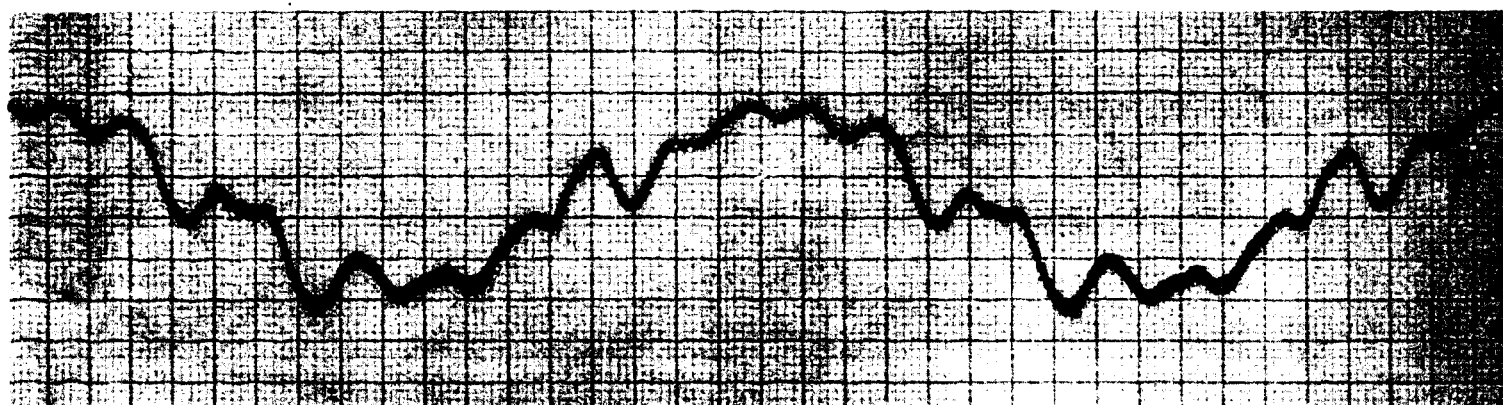
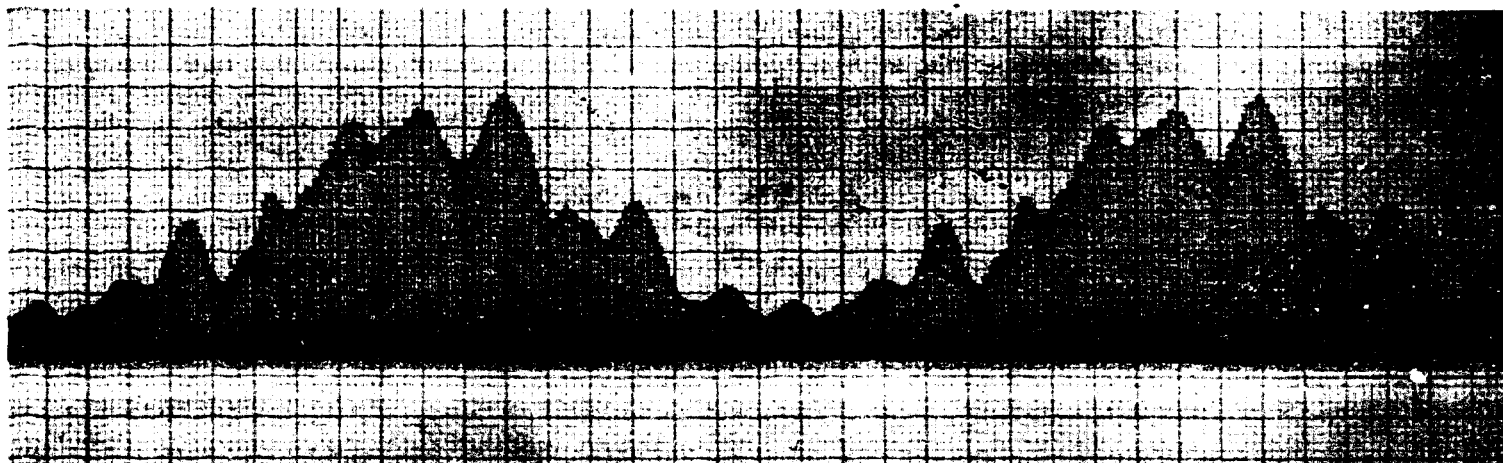


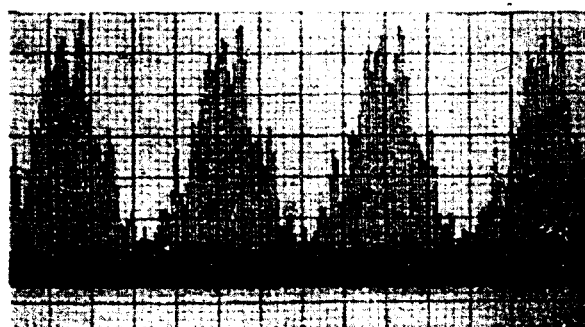
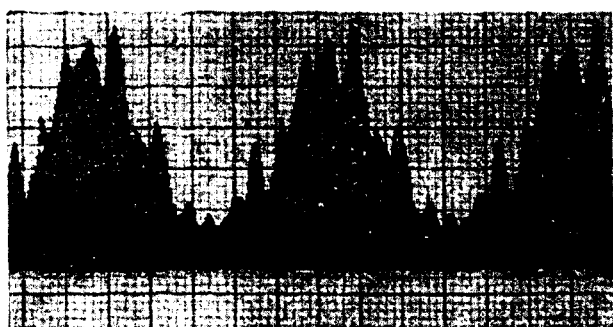
FIG 17

Vitesse tube 30%



$V_{\text{rotation}} = 7 \text{ t/mn}$

$V_{\text{enregistreur}} = 2 \text{ cm/sec}$



$V_r = 20 \text{ t/mn}$

$V_e = 1 \text{ cm/sec}$

$V_r = 66 \text{ t/mn}$

$V_e = 2 \text{ cm/sec}$

FIG. 18 . Tube $\varnothing_{\text{int}} = 11,07 \text{ mm}$ $\text{ép}^r = 0,4 \text{ mm}$

FIN