

1. International symposium on ultrasonic materials  
characterization. Gaithersburg, Md. USA. 1978  
7-9 june

CEA-CONF-4350

OPTIMISATION DU CONTROLE DES TUBES PAR ULTRA SONS AVEC UN MONTAGE ANNULAIRE  
OPTIMIZATION OF ULTRASONIC TUBE TESTING WITH CONCENTRIC TRANSDUCERS

Dufayet Jean-Pierre ; Gambin Raymond

RESUME : Le contrôle de santé des tubes par ultra sons peut s'effectuer sans rotation par l'utilisation de traducteurs encerclants, avec des miroirs coniques et hélicoïdaux pour la détection des défauts transversaux et longitudinaux. Ce principe a déjà été exposé dans plusieurs publications, notamment à la 8ème Conférence Mondiale sur les Essais Non Destructifs <sup>1.2.</sup>

Des études complémentaires ont permis d'améliorer la conception du montage, de façon à aboutir à la mise au point d'une cuve parfaitement opérationnelle

On discute en particulier des avantages respectifs apportés par un système à caches tournants, ou par la réalisation de traducteurs à secteurs.

ABSTRACT : In order to test tubes by ultrasonics without rotation, we can use concentric transducers with conical mirrors to detect transverse defects and with helical shaped mirrors to detect longitudinal defects.

An application of this principle has already been presented in various publications, among others on occasion of the Eighth World Conference on Nondestructive Testing (Cannes 1976) <sup>1. 2.</sup>

Further optimization studies have been carried out in order to bring the system highly operational.

We discuss in detail the respective advantages brought by the rotating screen or by our especially designed sectorial transducers.

M. Dufayet J.P. - DDEC/SDEEC/GET - C.E.N. Cadarache, B.P. N°1 -13115 St Paul lez Durance

FRANCE

## 1 - INTRODUCTION : BUT DE L'APPAREIL

Une des méthodes les plus classiques de détection des défauts de santé dans une pièce est le contrôle par ultra sons qui met particulièrement en évidence la présence de fissures éventuelles (discontinuités de surface favorisant la réflexion des ondes ultrasonores). Pour augmenter la sensibilité de la mesure, on utilise généralement des transducteurs focalisés ; il est alors nécessaire de mettre la pièce en mouvement, de façon à l'explorer totalement.

Dans le cas de produits cylindriques (tubes, barres), l'examen se fait habituellement en hélice. Deux solutions sont alors possibles : soit les transducteurs sont fixes et la pièce défile d'un mouvement hélicoïdal (avance accompagnée d'une rotation), soit les transducteurs sont mobiles en rotation (tête tournante) et la pièce effectue une translation. D'une manière comme de l'autre, l'existence d'un mouvement de rotation, à grande vitesse si l'on veut obtenir une cadence de contrôle suffisante, entraîne une mécanique complexe et lourde.

L'évolution des techniques ultrasonores a permis d'apporter une solution élégante à ces différents problèmes. Le montage annulaire, grâce à sa symétrie de révolution, conduit à l'examen complet du produit sans mise en rotation, et réunit à la fois les avantages d'une grande simplicité mécanique et la possibilité de travailler avec des vitesses de translation très élevées, pouvant atteindre le mètre par seconde.

Il est composé essentiellement de traducteurs annulaires qui émettent un faisceau ultrasonore homogène parallèlement à l'axe de la pièce, associés à des miroirs concentriques qui réfléchissent ce faisceau suivant une incidence donnée et constante dans tous les azimuts ; il existe deux miroirs, l'un de forme conique pour la détection des défauts transversaux, l'autre à surface de vis (dit hélicoïdal) pour la détection des défauts longitudinaux. Le produit défile en translation au centre du montage. Le montage annulaire est bien entendu implanté dans une cuve à eau qui assure la propagation des ultra sons. Chaque traducteur doit être relié à une électronique de mesure.

## 2 - PRINCIPE DE CONTROLE (FIG. 1)

### 2.1 DETECTION DES DEFAUTS TRANSVERSAUX

Les défauts transversaux offrent une surface réfléchissante maximale aux ondes progressant le long des génératrices. Les plans d'incidence doivent donc être méridiens. On voit facilement que, pour obtenir une incidence  $i$  constante le long des génératrices, le miroir à interposer doit être conique. Son angle au sommet est :

$$2 \delta = \pi/2 + i$$

La zone "éclairée" à un instant donné est un tronçon de tube de longueur :

$$b = 0,5 (D - d) (\operatorname{tg} i + \operatorname{cotg} \delta)$$

en désignant par D et d les diamètres extérieur et intérieur du faisceau émis par le traducteur. La concordance de phase entre onde incidente et onde réfractée est donc obtenue le long d'une génératrice sur une longueur b. Le défaut donnera un écho maximal lorsqu'il se trouvera sur la directrice correspondant à la fin de cette mise en phase.

## 2.2 DETECTION DES DEFAUTS LONGITUDINAUX

Les défauts longitudinaux offrent une surface réfléchissante maximale aux ondes le long des directrices (rayon R).

Les plans d'incidence doivent donc être équatoriaux. On montre que, pour obtenir une incidence i constante le long des directrices, les sections équatoriales du miroir à interposer doivent être des développantes du cercle de rayon  $a = R \sin i$ . La surface du miroir a pour équation en coordonnées cylindriques :

$$z = \sqrt{p^2 - a^2} + \theta a$$

Elle est engendrée par une droite tangente à une hélice circulaire de rayon a et de pas  $p = 2 \pi a$  ; elle est donc réalisable par fraisage.

La zone "éclairée" à un instant donné est un parallélogramme curviligne délimité par deux arcs de directrices et par deux spires complètes d'hélices de pas p. La distance entre ces deux spires le long d'une génératrice est :

$$c = 0,5 (\sqrt{D^2 - 4a^2} - \sqrt{d^2 - 4a^2})$$

et la concordance de phase entre onde incidente et onde réfractée est obtenue le long d'une directrice sur une longueur  $c/\sin i$ . Le défaut donnera un écho maximal lorsqu'il se trouvera sur la spire d'hélice correspondant à la fin de cette mise en phase. On peut obtenir un phénomène de résonance cyclique pour  $c = p$  : le défaut est alors vu sur plusieurs tours avec une grande intensité.

La durée de mise en phase est ainsi bien supérieure à celle obtenue avec les traducteurs classiques à focalisation linéaire : plusieurs dizaines de périodes au lieu de quelques unes, ce qui compense la perte de sensibilité due à l'agrandissement de la pastille émettrice. De plus, on n'est gêné par aucun écho parasite.

### 3 - CONSTITUTION DU MONTAGE

Plusieurs IMPÉRATIFS sont à prendre en considération :

- en premier lieu, la QUALITÉ DES TRADUCTEURS : parallélisme du faisceau et homogénéité circonférentielle du champ ultra sonore ;
- ensuite, la QUALITÉ DES MIROIRS : conformité de la surface réelle par rapport à la surface théorique, coaxialité de cette surface avec le produit à contrôler.

Le montage a donc été conçu dans son ensemble pour répondre le plus parfaitement possible à ces besoins. La figure 2 donne une vue schématique du dispositif. Dans la partie centrale de la cuve se trouvent les miroirs à deux faces

(conique et hélicoïdal) ; de part et d'autre sont disposés les traducteurs annulaires. Si l'on veut augmenter la sensibilité de détection (rapport signal sur bruit de fond), il est possible d'y adjoindre un système à cache tournant qui, grâce à une fenêtre de forme adaptée, ne prélève qu'une partie du faisceau ultrasonore ; il est alors nécessaire, pour analyser la totalité de la surface du produit, de mettre ce cache en rotation.

Une autre façon de réaliser cette rotation d'une partie du faisceau ultrasonore consiste simplement à exciter successivement plusieurs secteurs angulaires de traducteurs à ultra sons par commutation électronique.

Le montage comprend donc les éléments suivants :

### 3.1 CUVE

La cuve est destinée à recevoir le liquide de couplage. Elle est du type fuyarde à trois compartiments, à niveau constant <sup>3</sup>. Le compartiment central est le compartiment de contrôle, les compartiments latéraux, ceux d'évacuation et de récupération de l'eau.

Deux tiges traversent la cuve longitudinalement. Elles servent à l'alignement de sous ensembles.

### 3.2 BLOC TRADUCTEUR (fig. 3)

Il se compose du traducteur <sup>4</sup> et du porte traducteur ; les deux blocs font face respectivement aux miroirs.

Le porte traducteur permet un réglage précis du traducteur. On assure la coïncidence de l'axe optique du faisceau ultrasonore avec l'axe géométrique du montage à l'aide d'une rotule dans laquelle vient se loger le traducteur.

Des bagues d'alignement, indépendantes de la rotule, définissent avec précision l'axe de défilement. Les traducteurs sont facilement démontables.

### 3.3 BLOC MIROIRS

Il se compose des miroirs <sup>4</sup> et du porte miroirs. Les deux miroirs sont indépendants, ils sont montés en opposition l'un dans l'autre par un ajustement cylindrique, et comportent un guide de centrage.

### 3.4 CACHES TOURNANTS

Par suite de l'importance des surfaces réfléchissantes dans le montage annulaire, il existe un bruit de fond ultrasonore d'origine purement géométrique qui se révèle gênant quand on recherche une grande sensibilité de détection. Cet inconvénient peut être compensé par l'emploi d'un cache <sup>5</sup> qui intercepte une partie du faisceau, et accroît par conséquent le rapport signal/bruit ; de manière à conserver l'exploration cylindrique, il devient alors indispensable d'entraîner le cache en rotation, à une vitesse qui dépend de la forme du cache et de la vitesse de défilement en translation du produit en cours de contrôle.

Le système comprend deux types d'écrans (fig. 4), l'un pour la détection des défauts transversaux et l'autre pour la détection des défauts longitudinaux. Couplés aux miroirs

correspondants, ils sont montés respectivement sur deux roulements à billes et entraînés en rotation par un moteur à vitesse constante (de l'ordre de 1 500 tr/min au maximum) à l'aide de courroies crantées.

Les écrans contiennent des fenêtres dont la forme dépend du type de détection. Pour les défauts transversaux, le cache comporte un ou plusieurs secteurs ouverts (en général trois à 120 °) ; dans le cas des défauts longitudinaux, l'ouverture est en hélice, elle est simplement constituée par deux portions de développante de cercle décalées de 180 ° et limitées par les deux cercles concentriques du traducteur annulaire.

### 3.5 TRADUCTEURS A SECTEURS <sup>5</sup>.

La pastille annulaire du traducteur est découpée en plusieurs secteurs dont le nombre et la forme dépendent, comme dans le cas de la fenêtre du cache tournant, du type de détection.

Pour les défauts transversaux - On obtient de très bons résultats avec 3 secteurs décalés de 120 ° (voir fig. 5)

Pour les défauts longitudinaux 2 secteurs décalés de 180 ° suffisent généralement (voir fig. 5).

*Remarque = en observant la figure 5, on s'aperçoit que les zones actives des secteurs se recouvrent circonférentiellement. C'est pourquoi ces secteurs sont découpés sur des anneaux concentriques. Les résultats qui vont suivre montrent en effet qu'un tel recouvrement est nécessaire pour homogénéiser la sensibilité circonférentielle de détection des défauts.*



## 4 - RESULTATS

Les performances de l'appareil dépendent de ses conditions d'utilisation, c'est à dire :

- sans cache tournant
- avec cache tournant
- sans cache tournant avec traducteur à secteurs

Pour situer le problème, les résultats obtenus sur des tubes en acier inoxydable de diamètre 8,65 mm et d'épaisseur 0,575 mm sont exposés dans la suite ; la gamme de défauts étalons étudiée comporte des fentes longitudinales et transversales, externes et internes, de longueur 0,75 mm et dont la profondeur varie entre 15 et 60  $\mu$

### 4.1 EFFET DU CACHE TOURNANT

Les figures 6 et 7 représentent l'homogénéité circonférentielle de l'amplitude du signal (défaut transversal et longitudinal) sans cache tournant et avec cache tournant pour un même traducteur et un même miroir.

Les observations sont les suivantes :

#### Défauts transversaux :

. sans cache : on observe des fluctuations d'amplitude assez importantes, de l'ordre de  $\pm 20$  %. Le rapport signal sur bruit de fond est en moyenne de l'ordre de 2 pour un défaut de profondeur 60  $\mu$  ; un défaut de profondeur 30  $\mu$  est donc considéré comme confondu avec le bruit de fond ;

. avec cache : les variations d'amplitude tombent à  $\pm 5 \%$  .  
Le gain en rapport signal sur bruit de fond est égal à 5 ;  
le défaut de 15  $\mu$  de profondeur est nettement détectable.

Les oscillogrammes de la figure 8 montrent la différence de réponse à un défaut avec cache et sans cache.

#### Défauts longitudinaux :

. sans cache : l'amplitude varie de  $\pm 45 \%$  par rapport à la moyenne.  
Le rapport moyen du signal sur bruit de fond est de 4 ;  
donc la limite de détection pratique serait au mieux celle d'un défaut de 15  $\mu$  de profondeur. En améliorant la qualité d'usinage des miroirs, les fluctuations peuvent atteindre  $\pm 20 \%$  ;

. avec cache : comme sur la voie transversale, on constate une amélioration sensible de l'homogénéité (écarts de  $\pm 5 \%$ ) ;  
il apparaît aussi que le cache fait gagner environ un facteur 2 sur le rapport signal/bruit.

*Remarque = les résultats sur l'homogénéité d'amplitude du signal ont été obtenus avec une vitesse de rotation très lente du cache. La dispersion augmente d'une façon notable à grande vitesse.*

#### 4.2 UTILISATION DES TRADUCTEURS A SECTEURS

Défauts transversaux - Avec la configuration de découpage à 3 secteurs, on obtient le diagramme de la figure 9. On voit que l'amplitude du signal reste à peu près constante sur une partie importante du secteur et diminue quand on s'approche des bords. Il apparaît bien que le recouvrement des secteurs de 50 ° est nécessaire pour éviter un creux de réponse trop important. On constate aussi que le rapport signal sur bruit est satisfaisant. Il est amélioré d'un rapport 3 environ par rapport au même traducteur non sectorisé.

Il y a donc un progrès certain. De plus on dispose d'un réglage supplémentaire car il est possible, si cela est nécessaire, d'équilibrer la sensibilité des secteurs en jouant sur le gain du circuit électronique qui lui correspond.

Défauts longitudinaux - Le découpage suivant la configuration à 2 secteurs permet de réaliser le diagramme de la figure 9. Le gain par rapport au traducteur non sectorisé est analogue à celui obtenu pour la voie transversale.

#### 4.3 BILAN DES RESULTATS

Le dispositif à caches tournants entraîne un gain considérable en homogénéité de détection et en sensibilité, surtout sur la voie transversale. Cet avantage est contrebalancé par une diminution de la cadence d'examen. Pour une rotation du cache de 1 500 tr/min, on peut atteindre avec une dispersion de  $\pm 20\%$  ( $\pm 2$  db environ) une vitesse de défilement de l'ordre de 15 cm/s. Ce dispositif n'est nécessaire que pour la détection de microdéfauts ; dans des conditions courantes, le montage annulaire simplifié est suffisant pour assurer un bon contrôle à des vitesses pouvant dépasser le mètre par seconde.

Enfin la sectorisation des traducteurs peut fournir une très bonne sensibilité et une faible dispersion en conservant des vitesses de défilement qui dépendent de la vitesse de commutation électronique et que l'on peut raisonnablement situer entre 0,25 et 0,5 m/s

## 5 - CONCLUSION

Pour optimiser les performances du montage annulaire, il est nécessaire avant tout de réaliser une mécanique très soignée comportant un certain nombre de réglages : traducteur monté sur rotule, guidage du tube ajustable.

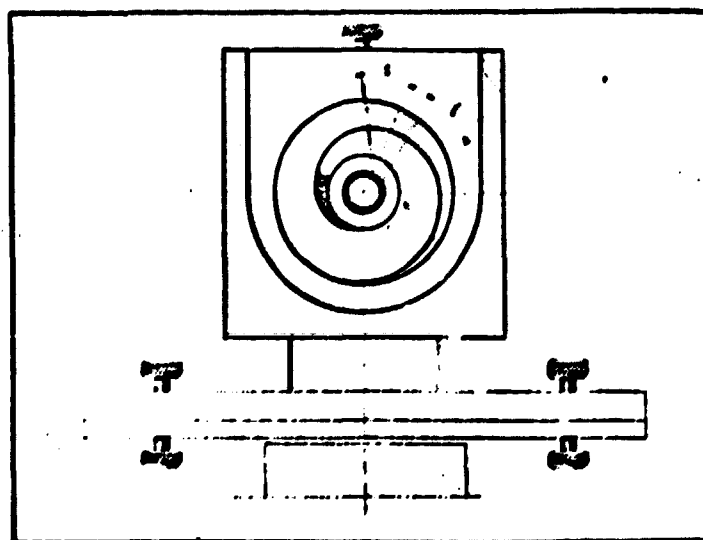
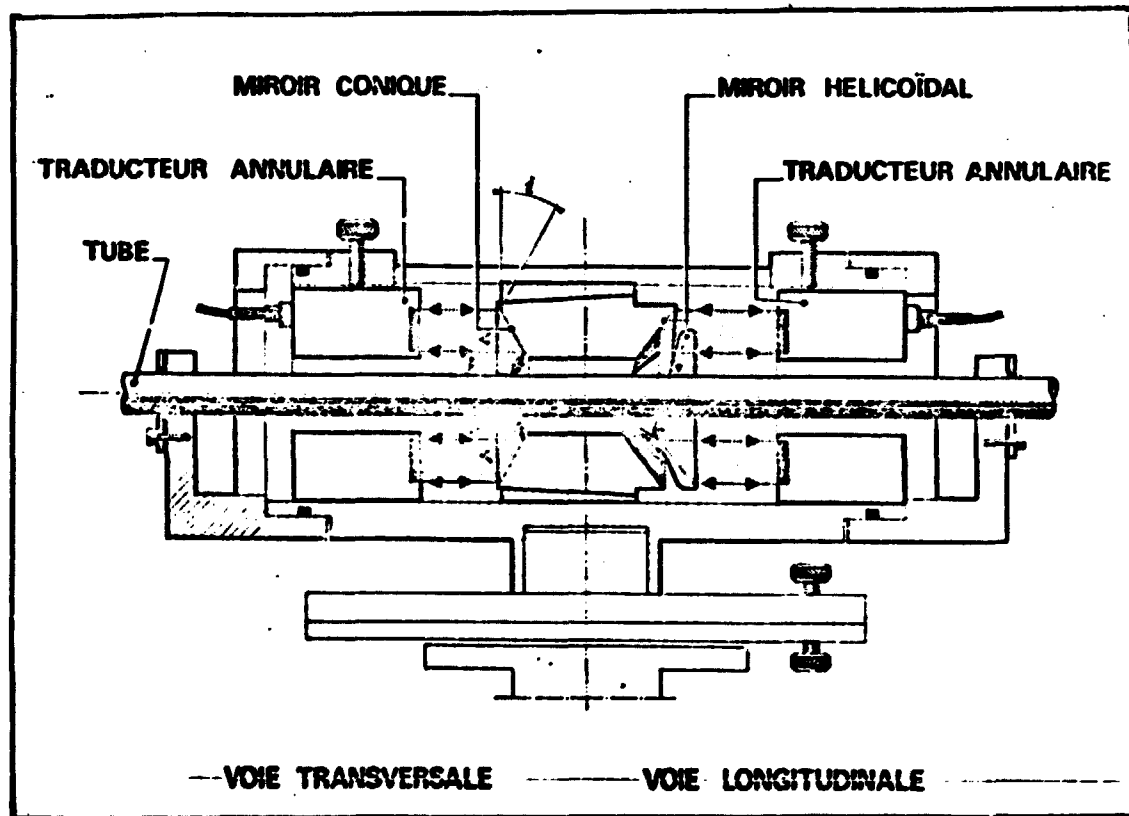
Pour obtenir une faible dispersion dans le contrôle et une grande sensibilité aux défauts, deux solutions apparaissent. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients : le cache tournant permet, sans modifier l'électronique ni les traducteurs, d'obtenir les meilleures performances possibles. Mais on retrouve certaines limitations inhérentes aux machines tournantes : mécanique compliquée, contraintes dans la vitesse de défilement.

Avec le découpage du traducteur en 2 ou 3 secteurs, on conserve la solution mécanique la plus simple, sans pièce tournante, et des vitesses de contrôle élevées. Par contre il en résulte une complication de l'électronique car il faut un canal de mesure par secteur et une fabrication spéciale de traducteurs.

## RÉFÉRENCES

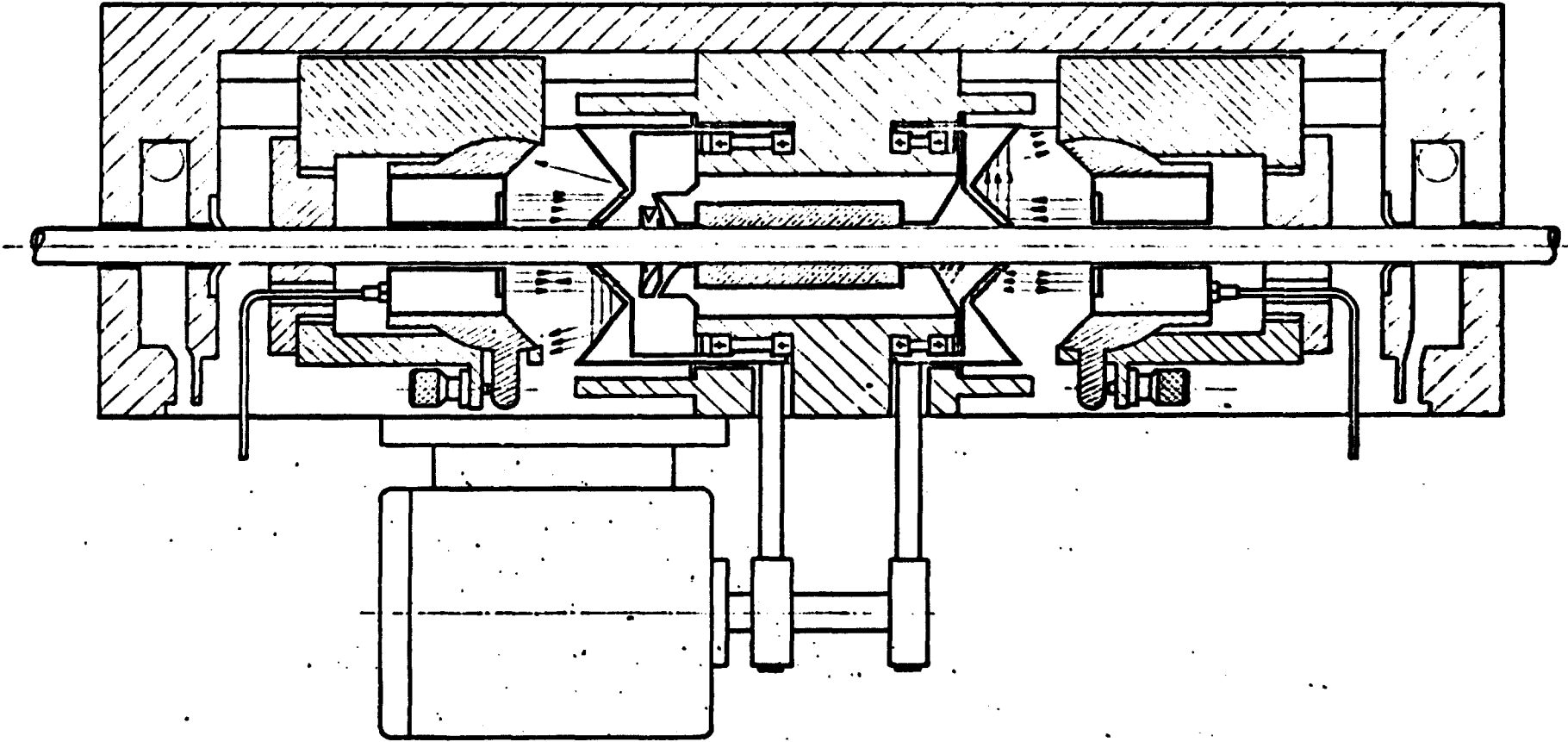
1. Perdijon, J. "Le contrôle des tubes par ultra sons sans mise en rotation," revue Métallurgie - janvier 1976  
  
- Communication IC9 présentée à la 8ème Conférence Mondiale sur les Essais Non Destructifs à Cannes - Septembre 1976.  
  
- Revue Physique Appliquée - Septembre 1974
  
2. Dufayet, JP. ; Perdijon, J. ; Dacosta, D :  
Communication ID12 présentée à la 8ème Conférence Mondiale sur les Essais Non Destructifs à Cannes - Septembre 1976
  
3. Brevet Commissariat à l'Energie Atomique n° 70.160.42 du 30.04.70
  
4. Brevets Commissariat à l'Energie Atomique n° D 6117 du 26.12.73  
n° 391675 du 04.11.75
  
5. Brevet Commissariat à l'Energie Atomique n° 78.03854 du 10.02.78

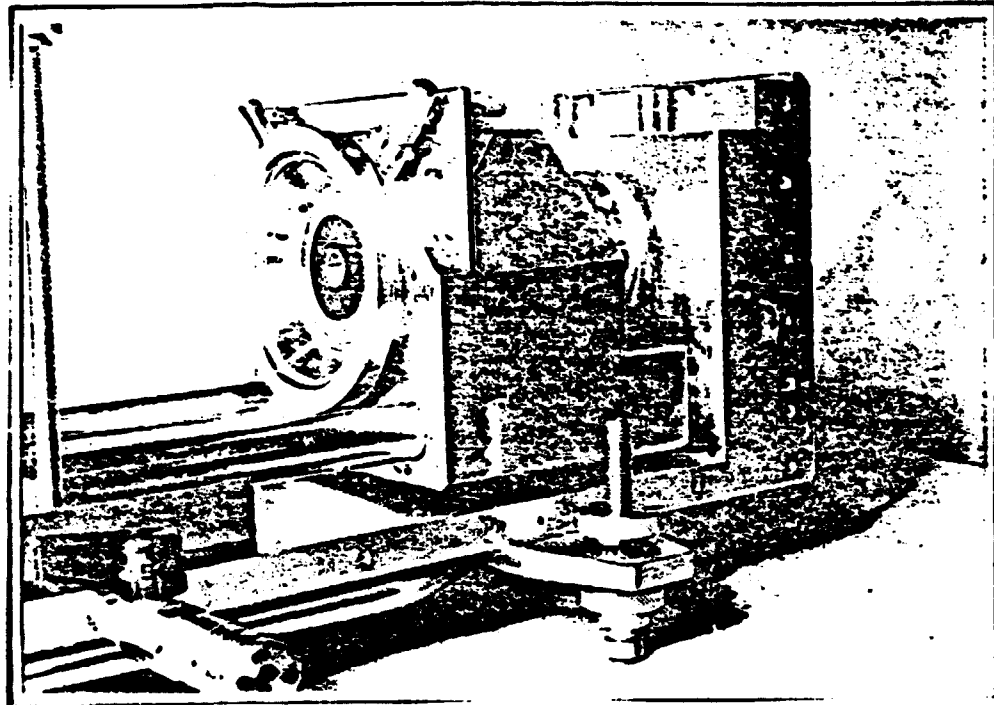
**CONTROLE DE SANTE PAR ULTRA-SONS**  
**Matériaux cylindriques**  
**Vue en coupe de la cuve de contrôle**



**FIGURE 1 PRINCIPE**

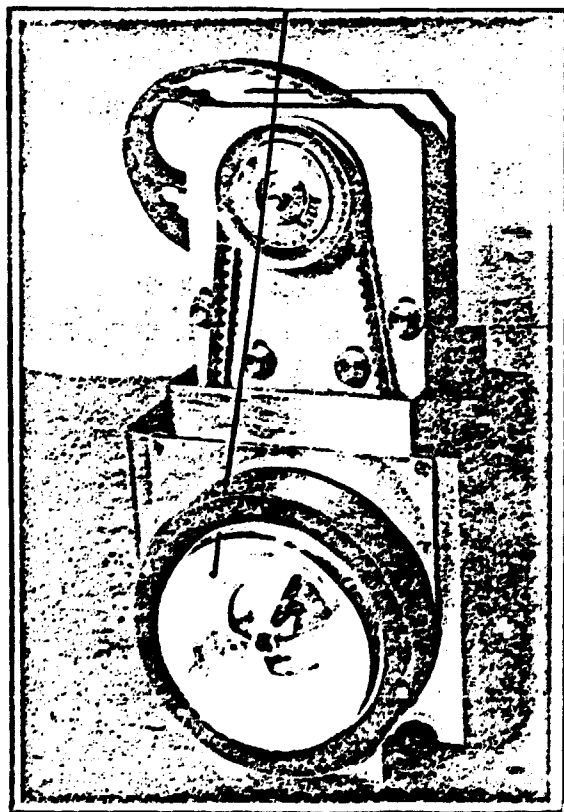
FIG 2



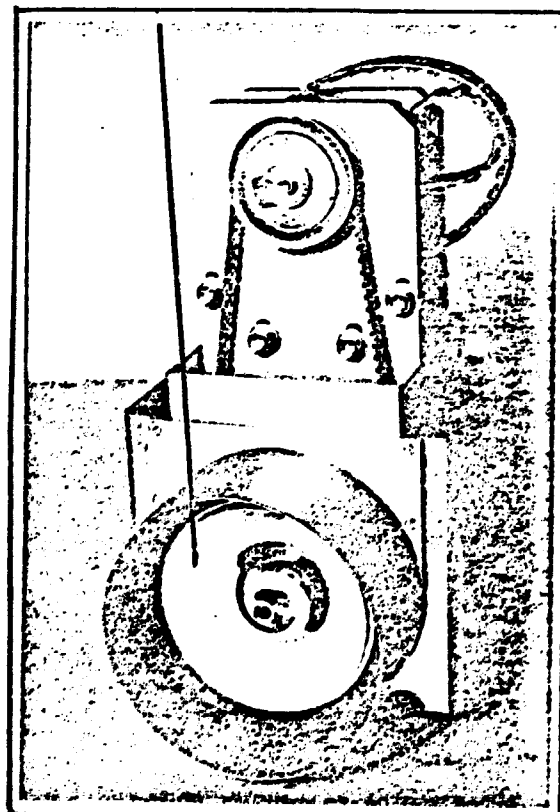


BLOC TRADUCTEUR.

FIG 3



CÔTÉ CONIQUE



CÔTÉ HELICOÏDAL.

CACHES TOURNANTS

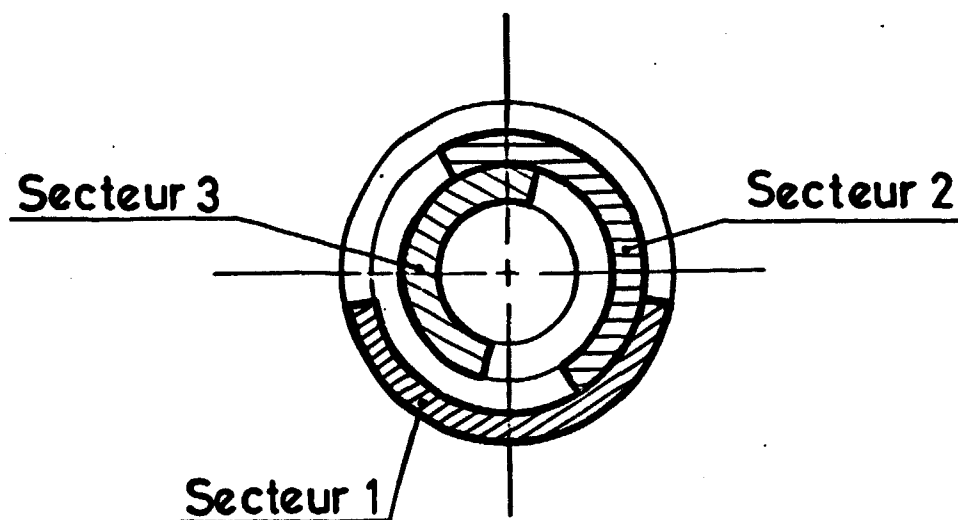
FIG 4



# TRADUCTEUR A SECTEURS

## DEFAUTS TRANSVERSAUX

3 secteurs de  $170^\circ$  avec recouvrement de  $50^\circ$ .



## DEFAUTS LONGITUDINAUX

2 secteurs décalés de  $180^\circ$ .

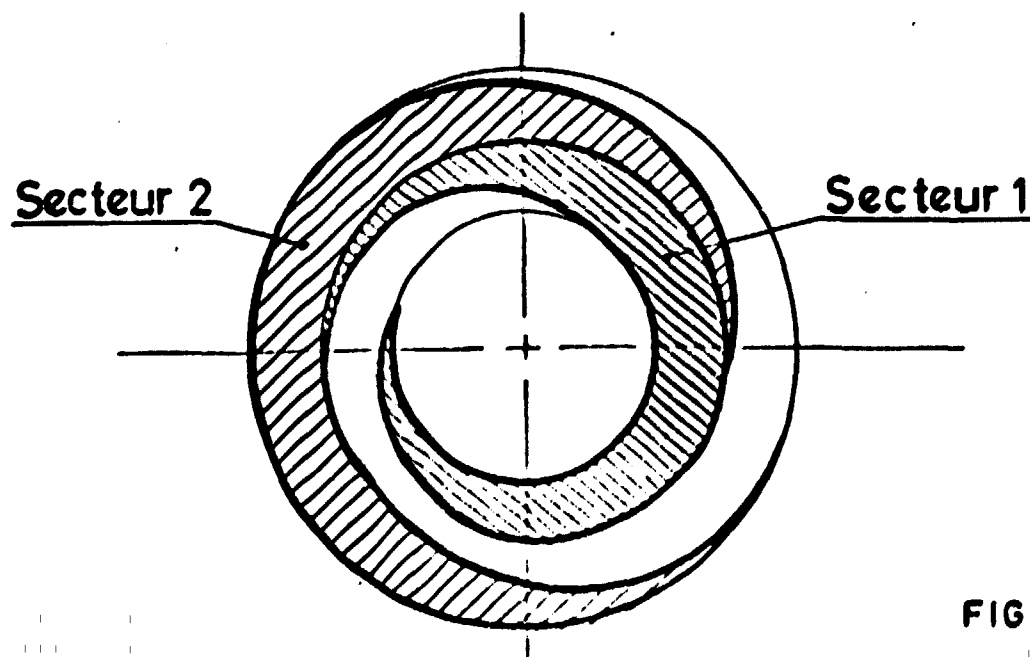


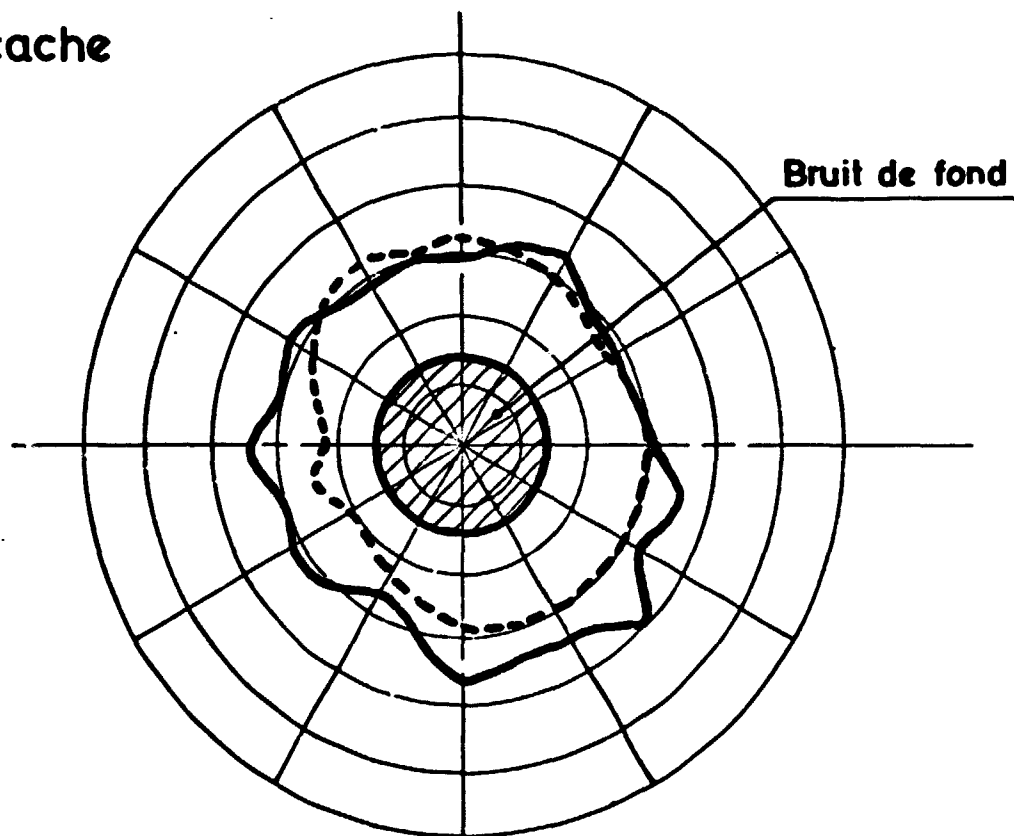
FIG 5

# HOMOGENÉITÉ CIRCONFÉRENTIELLE

DEFAUT TRANSVERSAL EXTERNE — p:57 microns

INTERNE - - - - p:60 microns

Sans cache



Avec cache

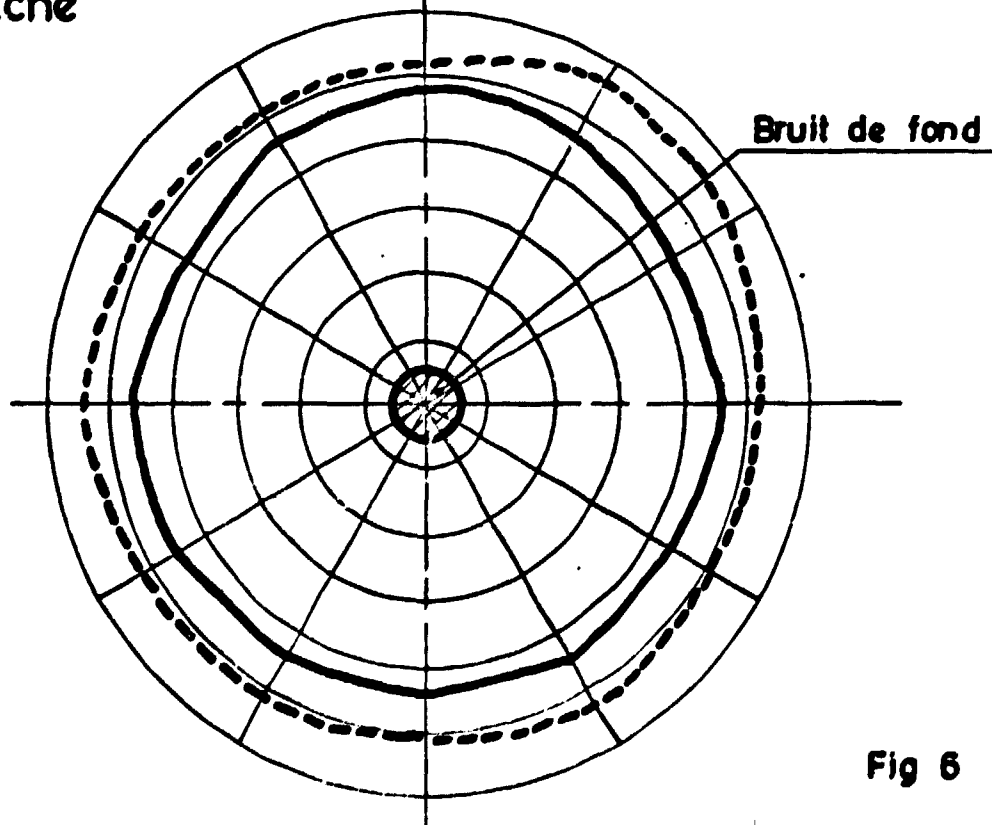
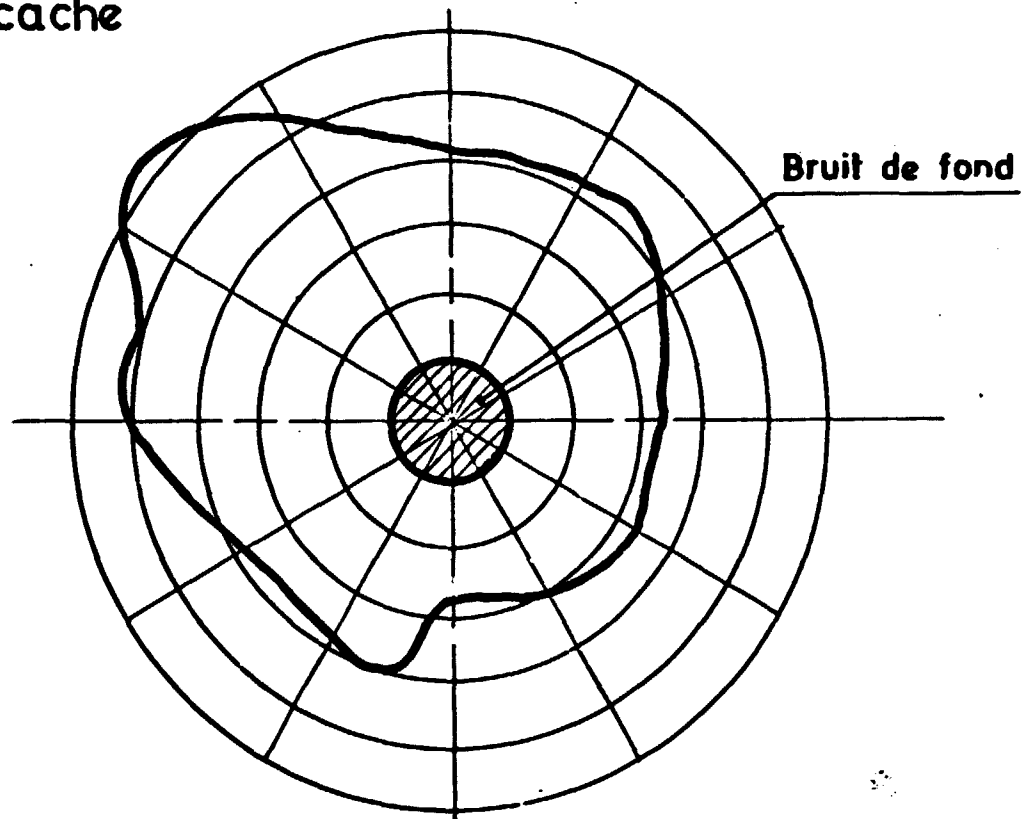


Fig 6

# HOMOGÉNÉITÉ CIRCONFÉRENTIELLE

DEFAUT LONGITUDINAL EXTERNE p:60 microns

Sans cache



Avec cache

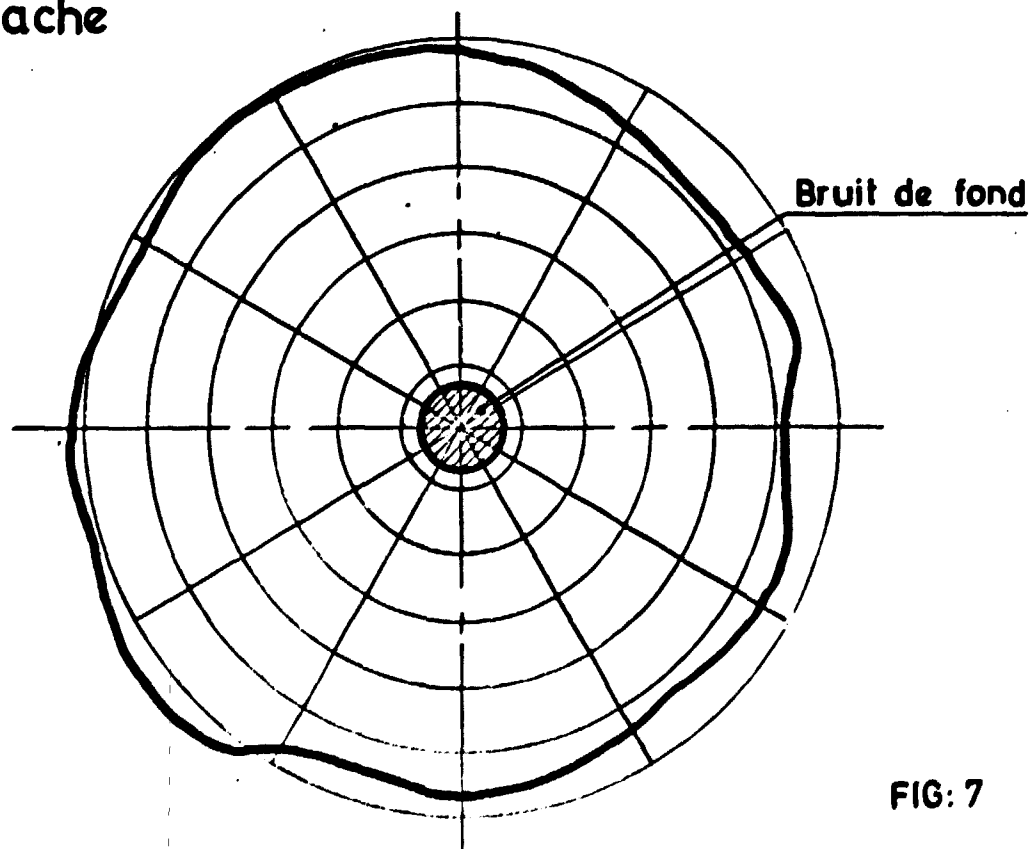
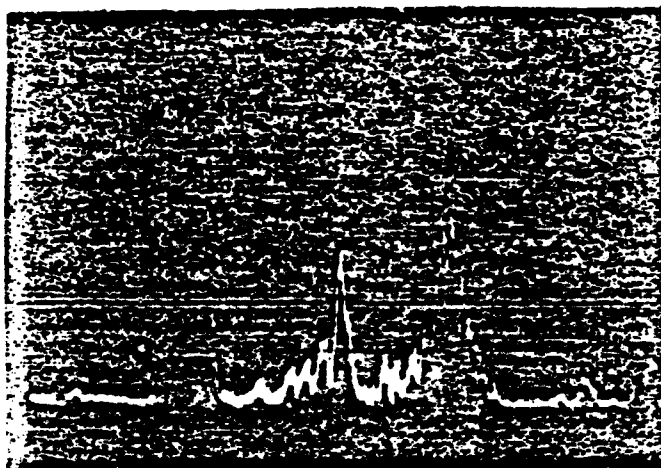


FIG: 7

DEFAULT TRANSVERSAL.

$L = 0,75 \text{ m/m}$   $P = 0,057 \text{ m/m}$ .

SANS CACHE



AVEC CACHE.

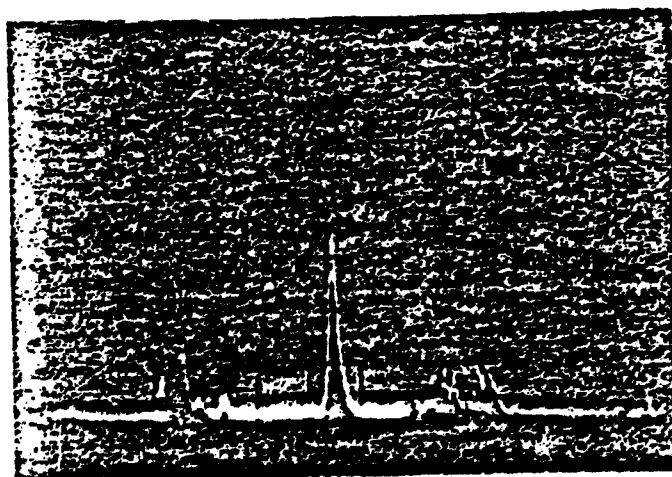
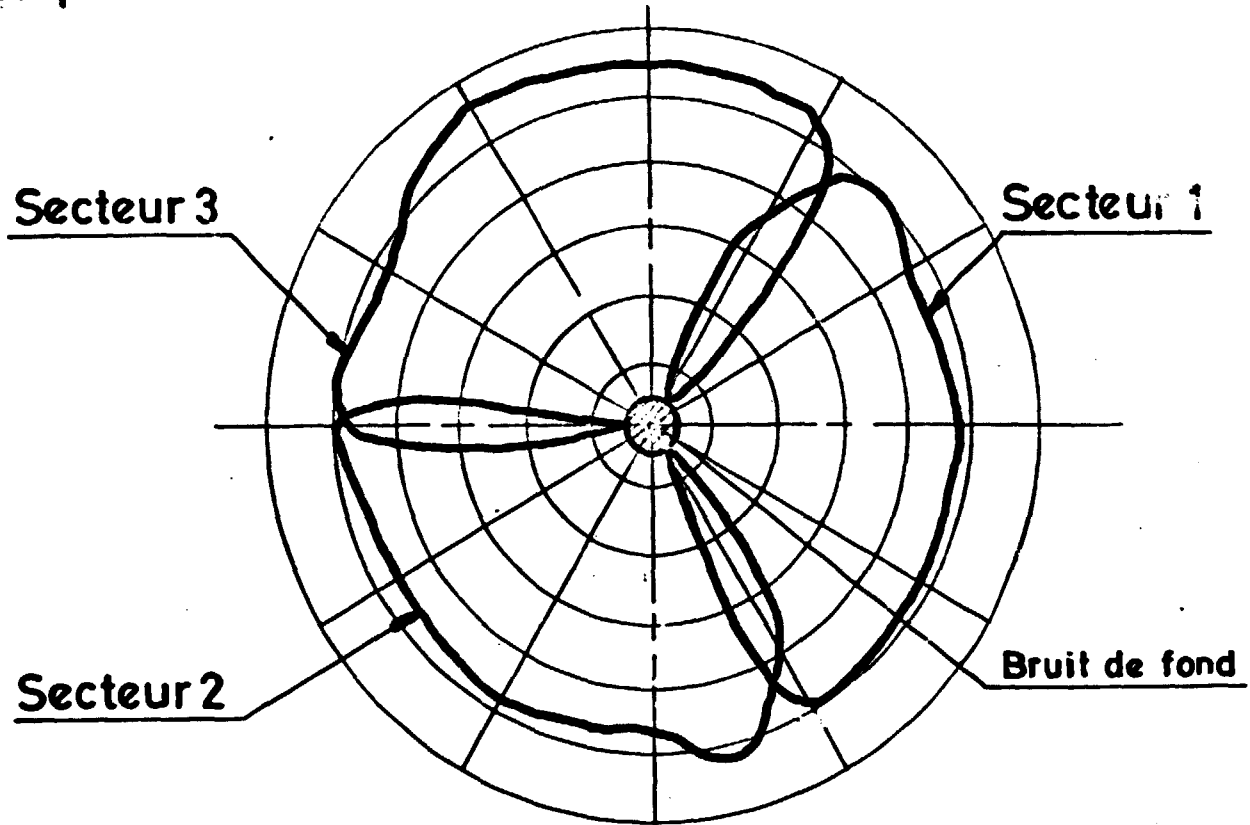


FIG 8

**DECOUPAGE DE LA PASTILLE EN 3 SECTEURS**  
**Reponse d'un defaut transversal**



**DECOUPAGE DE LA PASTILLE EN 2 SECTEURS**  
**Reponse d'un defaut longitudinal**

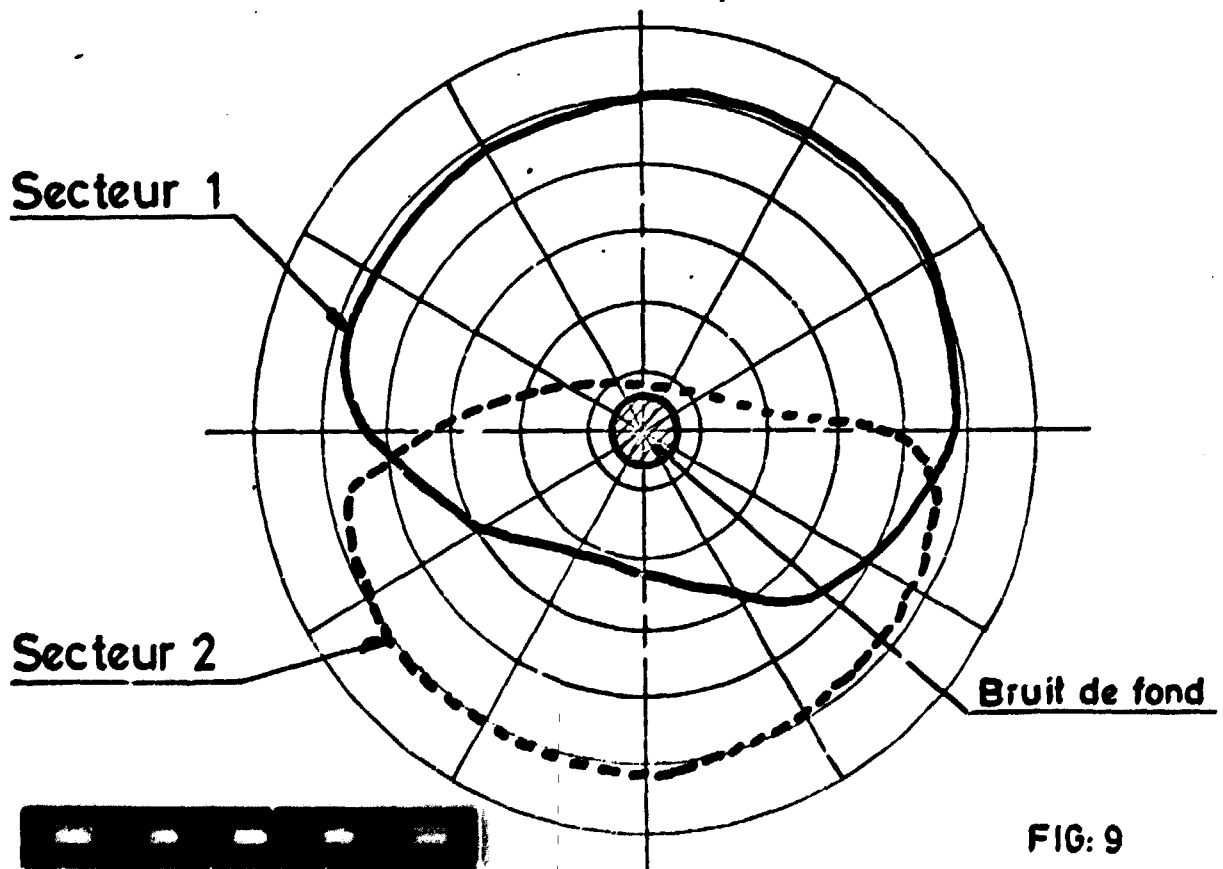


FIG: 9