

2

AMELIORATIONS RECENTES EN CONTROLE NON DESTRUCTIF

M. ASTY

CEA - DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE - SACLAY

1. - INTRODUCTION

Rares sont les techniques dont le développement n'est pas déjà profondément touché par le formidable essor de la micro-électronique et de la micro-informatique. Les Contrôles Non Destructifs et plus spécialement les Contrôles par Ultrasons et par Courants de Foucault, n'échappent pas à la règle générale.

A l'aide de quelques exemples, nous mettons en évidence le potentiel du traitement numérique du signal.

2. - TRAITEMENT DU SIGNAL ET ULTRASONS

2.1. - Amélioration de la dynamique des signaux

Le contrôle ultrasonore des aciers inoxydables est rendu difficile par la structure métallurgique à gros grains (dendrites) que présentent particulièrement les zones soudées. Outre une anisotropie dans la propagation des ultrasons, cette structure dendritique provoque des signaux parasites, un bruit de structure, qui limitent les performances du contrôle. Un moyennage spatial réduit sensiblement le bruit de fond (figure 1) : on fait l'acquisition numérique des signaux d'un défaut pour des positions très proches les unes des autres et calcule la moyenne. Ce traitement numérique présente la particularité importante d'éliminer le bruit dû à la structure de la pièce (bruit reproductible pour un trajet acoustique donné) aussi bien que le bruit aléatoire (lié à l'amplification). Dans le cas de la figure 1, le niveau du bruit est abaissé de près de 10dB en effectuant la moyenne de 9 signaux. Notons que cette moyenne doit être effectuée sur le signal haute fréquence et non sur le signal "vidéo" habituellement présenté sur les écrans des appareils de contrôle.

2.2. - Caractérisation des défauts plans

Des études récentes ont permis de mettre en évidence des propriétés intéressantes que présentent les signaux ultrasonores réémis par des défauts plans.

Il a été constaté [1] que la réflectivité des défauts plans obliques est maximale non pas lorsque le faisceau ultrasonore intercepte la totalité du défaut mais quand l'axe du faisceau coïncide avec le bord du défaut. Ce phénomène est d'autant plus prononcé que le faisceau ultrasonore est plus étroit ; les traducteurs focalisés le mettent particulièrement bien en évidence, comme le montre la figure 2 sur laquelle on a représenté l'amplitude maximale de l'écho de défaut en fonction du déplacement du traducteur ultrasonore. De plus en mesurant le temps d'arrivée des échos, on en déduit l'inclinaison du défaut : c'est ce que montre la figure 3 dans le cas d'un faisceau ultrasonore en incidence normale. La figure 4 montre le résultat d'un traitement par intercorrélation dans le cas d'une fissure sous revêtement: la représentation graphique tridimensionnelle est une aide précieuse à l'interprétation.

Lorsqu'on s'intéresse aux signaux haute fréquence, on constate [2] l'effet d'inversion de polarité entre les signaux réémis par les deux bords du défaut plan (figure 5): suivant qu'il s'agit du bord proche ("haut" de fissure) ou du bord lointain ("bas" de fissure), le premier extremum est négatif ou positif.

En résumé, on dispose de plusieurs critères pour reconnaître les signaux réémis par des défauts plans :

- surintensité des bords du défaut due à un phénomène de diffraction
- inversion de polarité des signaux provenant des bords proche ou lointain de la fissure
- détermination de l'orientation du défaut en suivant l'évolution du temps d'arrivée des échos.

2.3. - Discrimination par analyse spectrale, des signaux se superposant

Lorsqu'on s'intéresse à la détection de défauts proches de la surface, et c'est le cas des fissures sous revêtement, il est possible que l'écho d'un défaut se superpose à l'écho de surface. Sur la figure 6, sont représentés l'écho de surface (a), le signal avec défaut (b) dont l'enveloppe est représentée en (c) ; la différence d'amplitude entre l'écho de surface et l'écho de défaut interdit la mesure du temps d'arrivée de ce dernier, donc interdit de positionner le haut de la fissure par rapport à la surface. L'utilisation de l'opérateur cepstre d'énergie [3] permet de résoudre ce problème. Sans entrer dans les détails, disons que l'opérateur cepstre correspond à la transformée de Fourier inverse du logarithme de la densité spectrale. Ainsi, l'application de cet opérateur au signal de défaut permet de faire apparaître un pic (figure 6d) dont la position dans le temps correspond à celle du défaut par rapport à l'écho de surface (ici 2,2µs).

Si l'on remplace l'écho de défaut par l'écho de fond de la pièce, on dispose d'un moyen pour mesurer de faibles épaisseurs.

3. - TRAITEMENT DU SIGNAL ET CONTROLE PAR COURANTS DE FOUCAULT

Dire qu'il faut optimiser un contrôle par courants de Foucault en fonction du type de défaut que l'on cherche à détecter, est une évidence. C'est ce qui conditionne la géométrie du capteur et son sens de déplacement devant le produit à contrôler. Il en résulte parfois la nécessité d'utiliser plusieurs capteurs et de réaliser des acquisitions multiples lorsque l'on cherche à détecter des défauts différents, ce qui augmente inévitablement le temps d'intervention.

Des études récentes menées au Commissariat à l'Energie Atomique ont permis de mettre en évidence le potentiel de la simulation par ordinateur : on sait déterminer la réponse d'un capteur de géométrie donnée à un défaut déterminé. Ainsi, on sait prendre en compte :

- la dimension d'un enroulement de mesure
- la disposition des enroulements dans un capteur : ceci permet de calculer la réponse d'un capteur différentiel, double différentiel...
- le sens de déplacement d'un capteur sur la pièce à contrôler
- l'orientation d'un capteur à plusieurs enroulements par rapport à la direction de déplacement.

Cette simulation se fait à partir de la réponse d'une spire élémentaire, qui est équivalente à un capteur ponctuel absolu.

Réciproquement, à partir d'une acquisition unique faite par un capteur ponctuel absolu, c'est-à-dire à partir des mesures issues d'un seul contrôle, on sait calculer la réponse d'un capteur qui aurait été optimisé pour la détection d'un défaut déterminé.

Les exemples ci-dessous illustrent la puissance de cette méthode.

3.1. - Acquisition linéaire

C'est le cas d'une sonde globale que l'on déplace dans un tube.

Sur la figure 7, on a simulé la réponse de deux sondes annulaires absolues à un amincissement du tube sur une longueur de 20mm. Partant d'une sonde étroite (figure 7a), on simule une "dilatation" du capteur jusqu'à obtenir une réponse convenable à ce type de défaut ; la forme en cloche de la voie X sur la figure 7b en atteste.

Partant des signaux représentés sur la figure 7a, on simule (figure 8a) un capteur différentiel dont les enroulements sont distants de 5mm. Il fournit, toujours sur le même défaut, un signal qui présente, spécialement sur la voie X, un point d'inflexion révélateur du fait que le capteur n'est pas optimisé pour ce type de défaut. Par contre en simulant un capteur différentiel à partir du bobinage long ayant donné les signaux de la figure 7b, on obtient ceux de la figure 8b : le capteur différentiel ainsi simulé est optimisé pour ce défaut.

Enfin, pour montrer l'importance de la géométrie du capteur face au défaut, on a simulé, à partir d'une même acquisition absolue, trois "mauvais" capteurs différentiels.

Sur la figure 9a, le capteur comporte des enroulements trop étroits et pas assez écartés. La figure de Lissajous est déformée au voisinage de l'origine car les signaux $X(t)$ et $Y(t)$ présentent des points d'inflexion. En écartant les enroulements (figure 9b), la voie Y devient correcte. Par contre la longueur des bobinages a été mal simulée. Enfin (figure 9c), les signaux se dégradent encore si on écarte ces mêmes bobinages.

3.2. - Acquisition à deux dimensions

Le premier exemple concerne le contrôle du revêtement en acier inoxydable dans les tubulures de cuves des REP. Des capteurs à courants de Foucault ont été étudiés pour la détection spécifique de ces défauts et des essais d'implantation de ces capteurs sur l'outillage "tubulure" de la MIS (Machine d'Inspection en Service des cuves) ont été réalisés. Sur cet outillage, le balayage des capteurs se fait parallèlement à l'axe de la tubulure et donc parallèlement aux éventuelles fissures à détecter : cette situation est très défavorable pour les courants de Foucault. On réalise donc une acquisition selon les mouvements qu'autorise la MIS et relit la matrice des mesures en simulant un trajet orthogonal qui reconstruit les signaux caractéristiques des défauts (figure 10).

De la même façon, le contrôle d'un tube par une sonde ponctuelle tournante favorise la détection des défauts longitudinaux. Selon ce mode d'acquisition, une fissure circumférentielle peut échapper à l'interprétation, et d'autant plus facilement que le filtrage réalisé par une sonde différentielle tend à effacer les variations lentes. Par contre, la simulation d'une translation du capteur selon la génératrice d'un tube (figure 11) met très bien en évidence ce type de défaut.

4. - CONCLUSION

L'introduction de l'informatique dans le domaine du Contrôle Non Destructif revêt un double aspect. Le traitement du signal ajoute une nouvelle dimension aux contrôles. C'est ce que nous avons voulu montrer au travers de quelques exemples, tant dans le domaine des ultrasons que celui des courants de Foucault, bien que chaque technique ait sa spécificité.

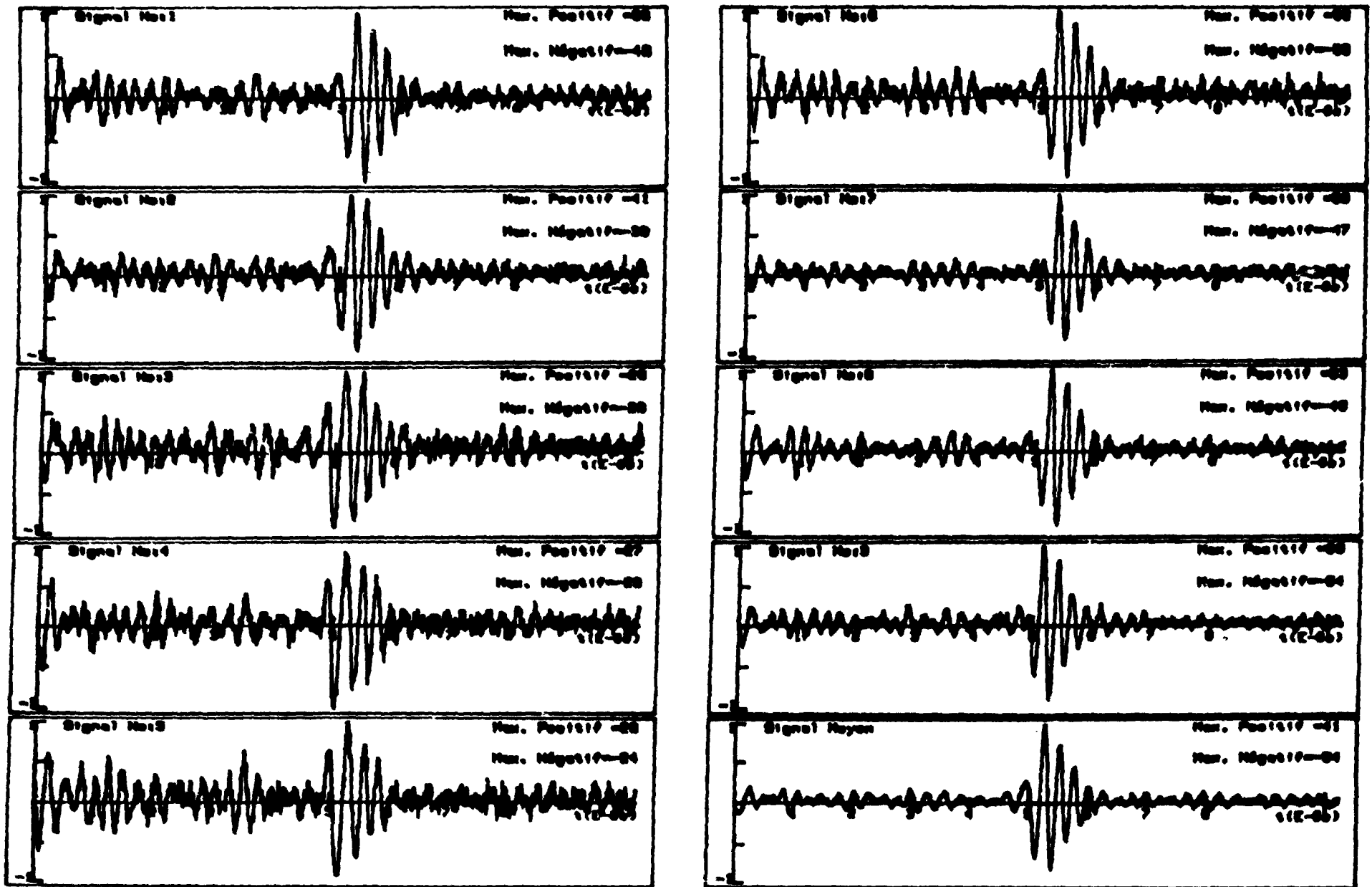
Un autre volet concerne l'utilisation de l'informatique comme aide à l'interprétation des résultats.

Le point commun de ces deux applications est à l'évidence d'augmenter la fiabilité et la vitesse des contrôles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DE VADDER, AZOU, BASTIEN, SAGLIO
Detection of plane, poorly oriented flaws using focused transducers.
8th World Conference on Non Destructive Testing,
Sept 1976, paper 3H5
- [2] DE VADDER, AZOU, SAGLIO
Determination of orientation and size of badly oriented defects by means of focused probes.
First International Symposium on Ultrasonic Material Characterization, Juin 1978
- [3] L. PARADIS
Developpement de méthodes et d'un dispositif de traitement du signal, adaptés au contrôle non destructif par ultrasons.
Thèse - Université de Grenoble - INP Grenoble (Nov. 1983)

FIG. 1: ESSAI DE MOYENNAGE SPATIAL SUR 9 ACQUISITIONS
 (PAS DE LA MAILLE DE MOYENNAGE = $0,608\text{mm} = \frac{\lambda}{10}$)



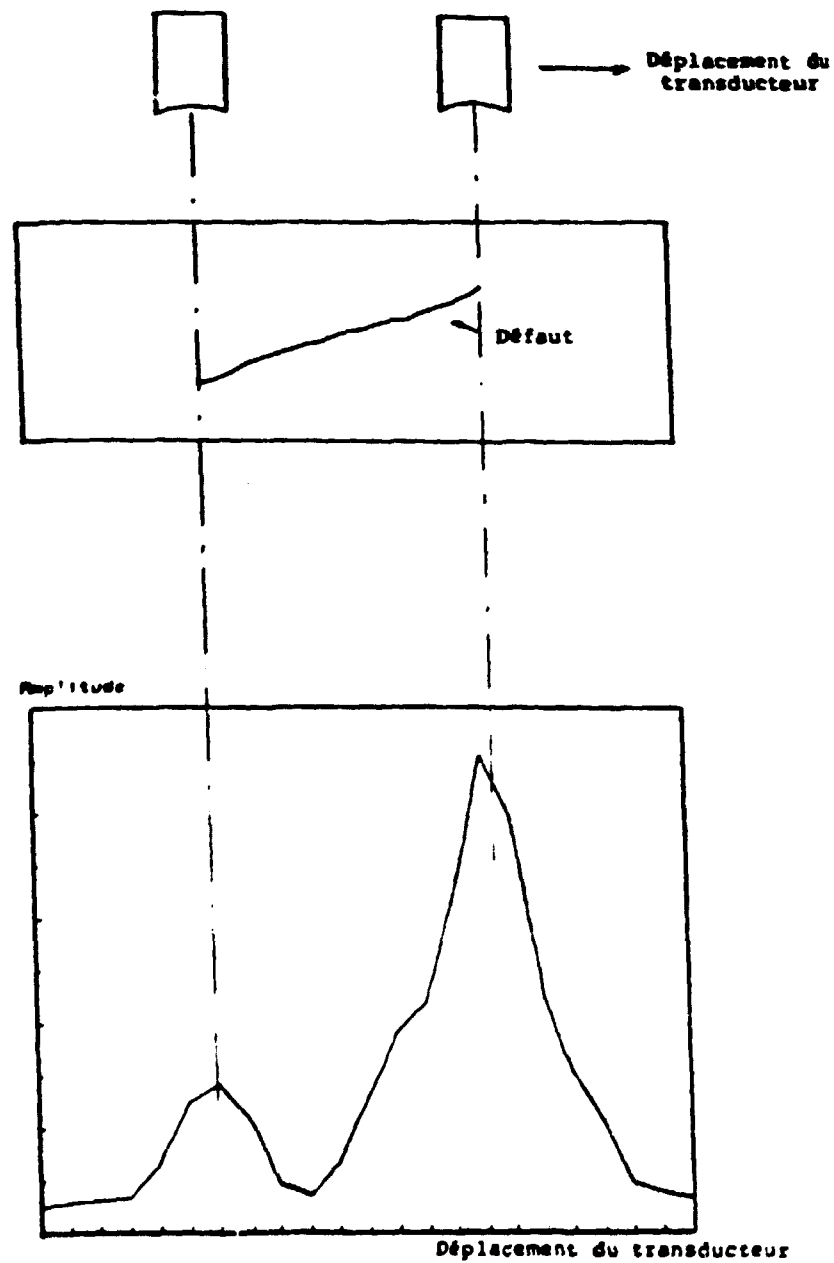


FIG. 2 : EFFET DE BORD

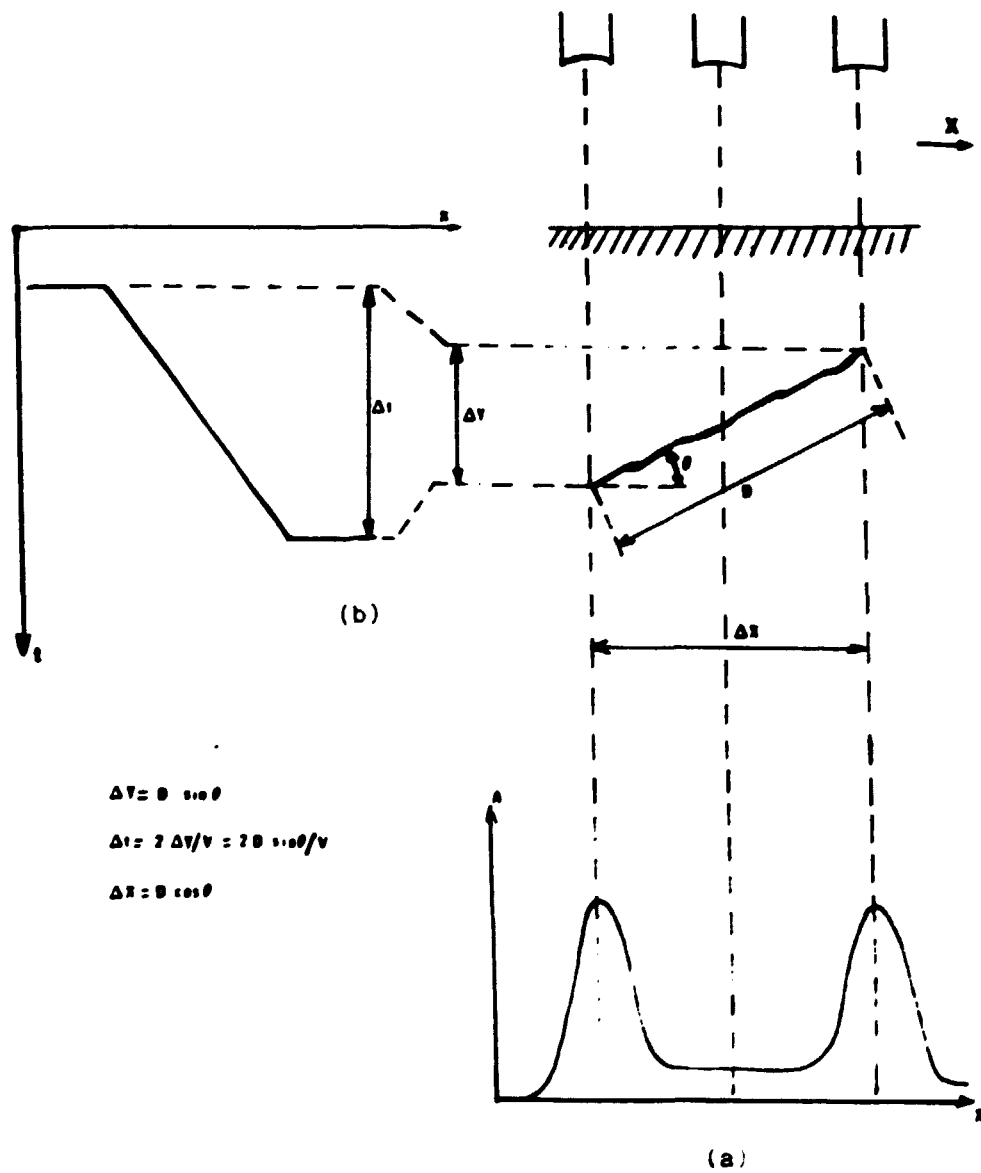


FIG. 3 : Dimensionnement d'une fissure au moyen des critères de surintensité (a) et de temps d'arrivée (b)

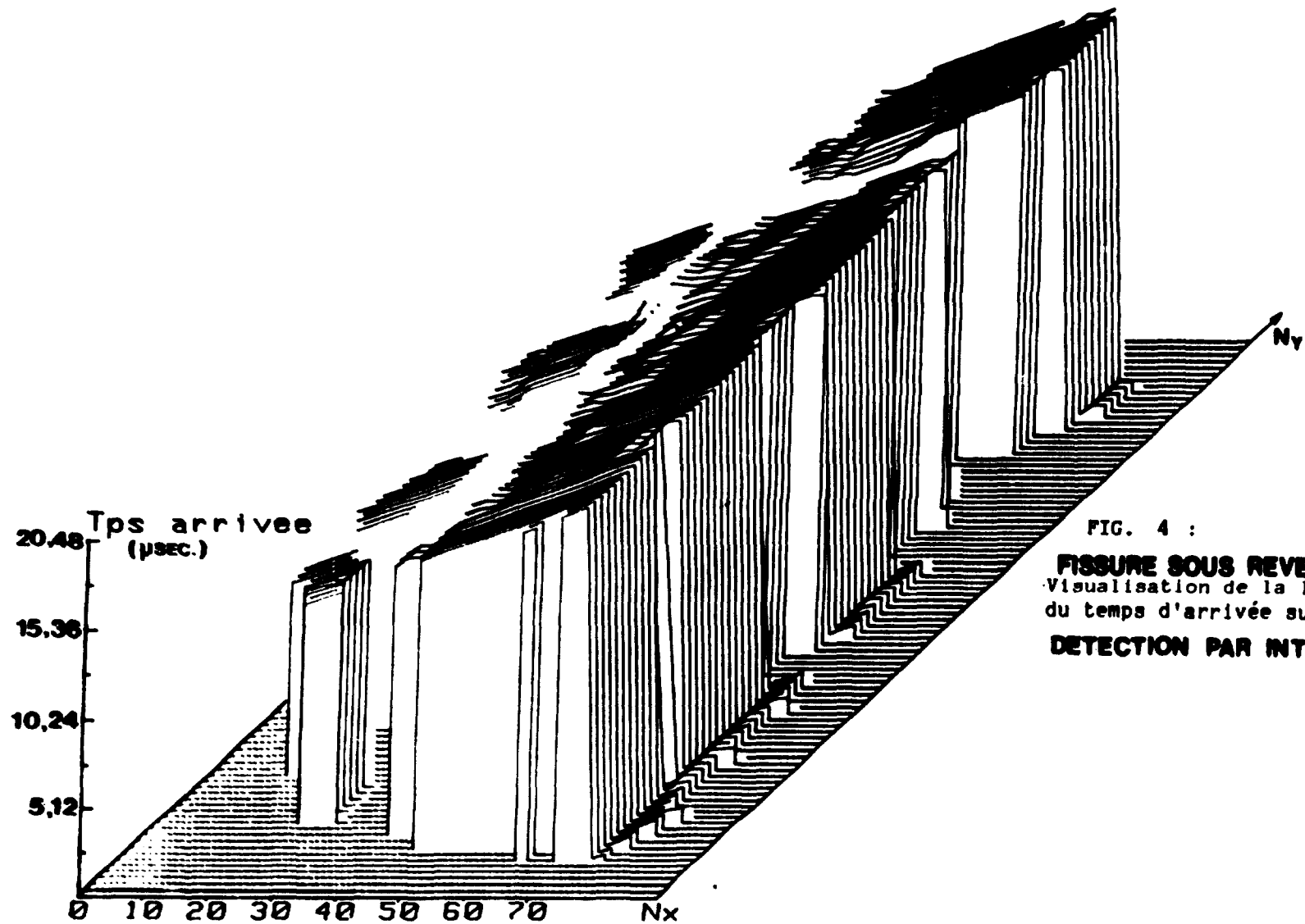
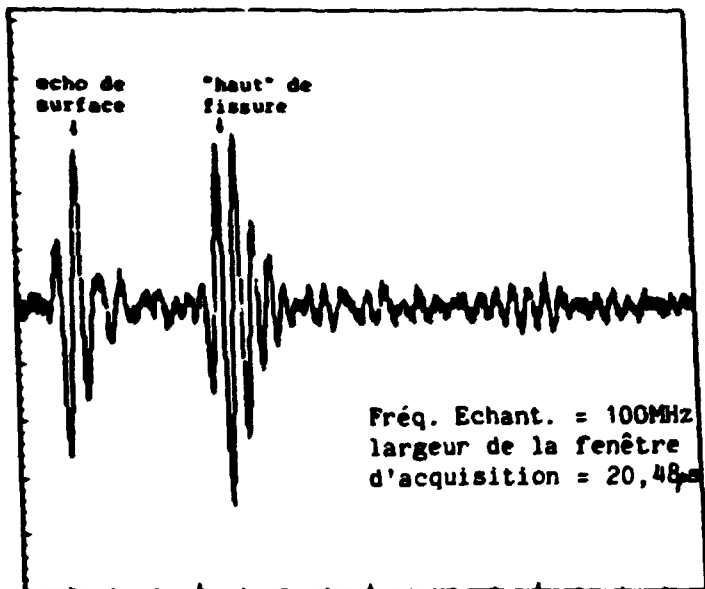


FIG. 4 :

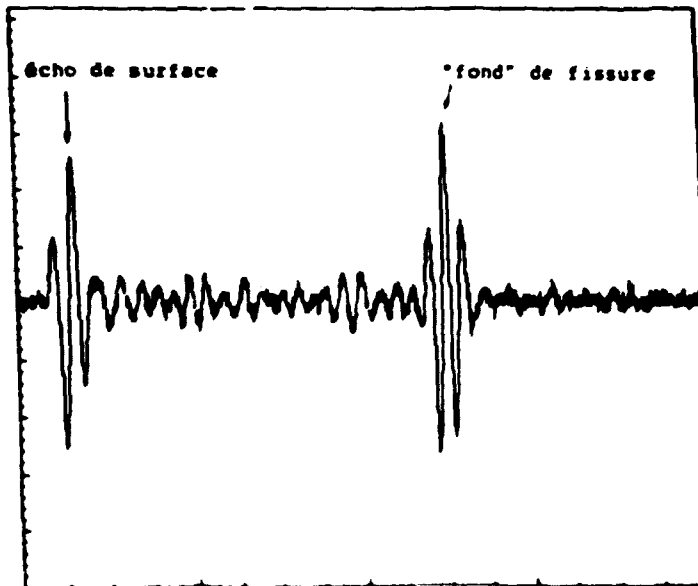
FISSURE SOUS REVETEMENT.
 Visualisation de la linéarité
 du temps d'arrivée sur les bords
DETECTION PAR INTERCORRELATION

Amplitude



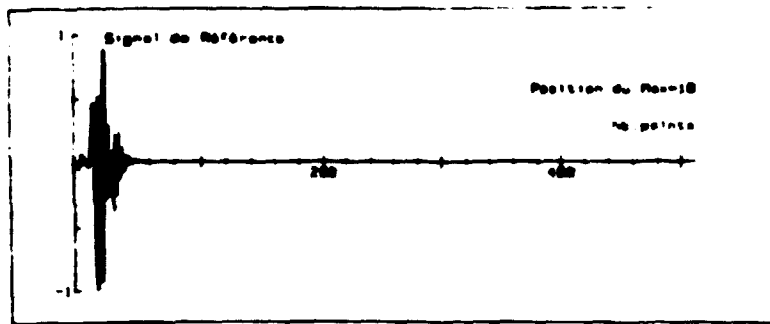
Tps

Amplitude

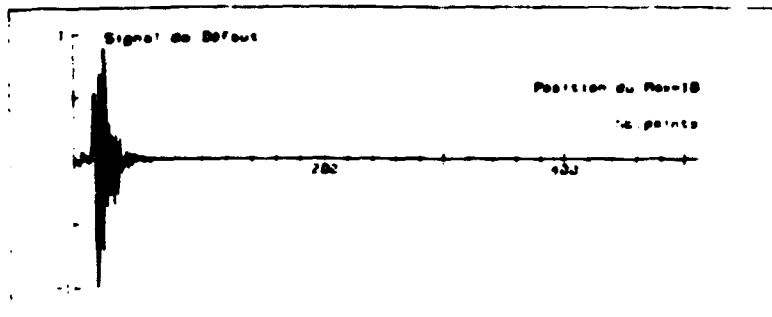


Tps

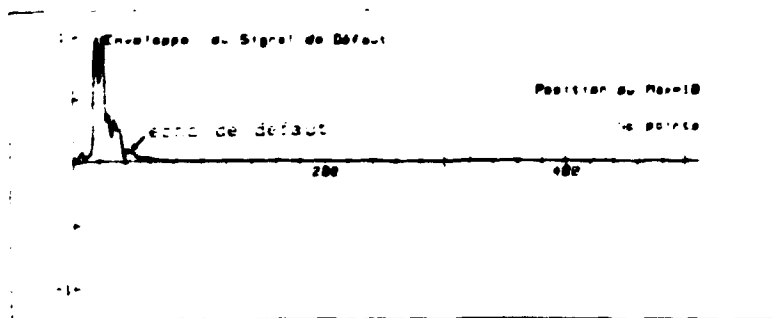
FIG. 5 : Inversion de polarité entre les deux bords d'une fissure



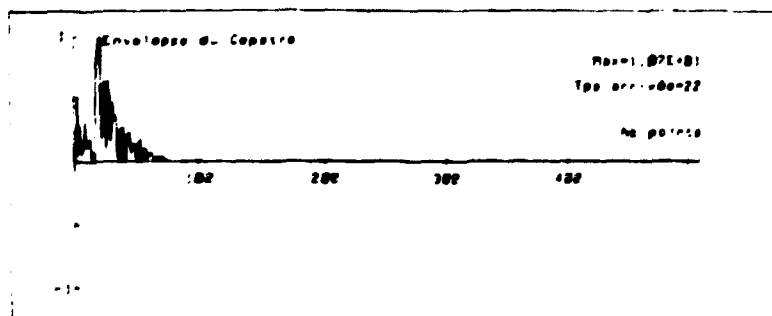
(a) SIGNAL DE RÉFÉRENCE
ÉCHO DE SURFACE



(b) SIGNAL TRAITÉ
 $(I(t) = S(t) + \alpha S(t - \tau))$

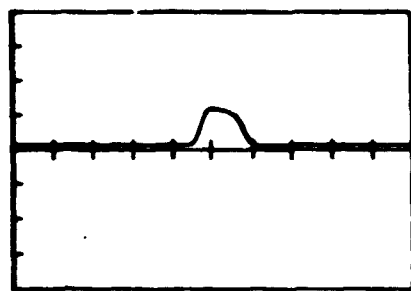


(c) ENVELOPPE DU SIGNAL
TRAITÉ

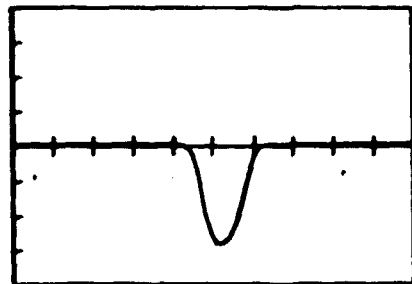


(d) ENVELOPPE DE LA SUITE
CEPSTRE ASSOCIÉE A LA
STRUCTURE D'ÉCHOS
TEMPS D'ARRIVÉE MESURE = 2,24 =

FIG. 6 : Défaut proche de la surface. Le signal de surface (a) et le signal à traiter (b) sont tels que l'écho de défaut est presque invisible (c). Après déconvolution du signal par l'opérateur Cepstre, on obtient le temps d'arrivée du signal de défaut (d).

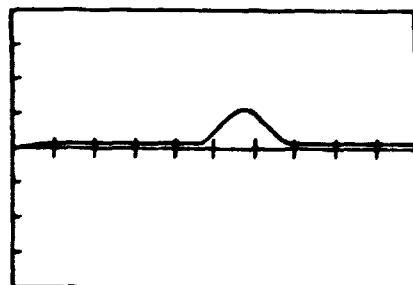


VOIE X

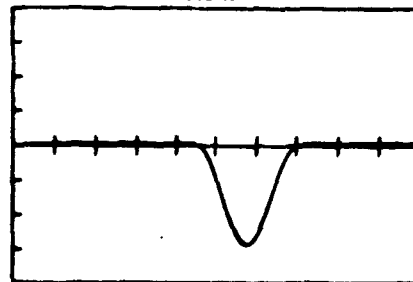


VOIE Y

(a)



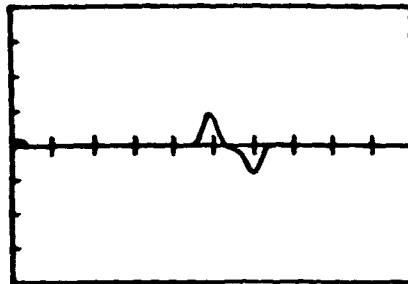
VOIE X



VOIE Y

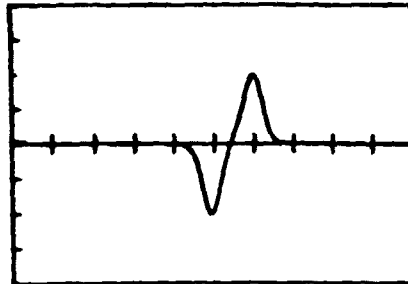
(b)

FIG. 7 : REPONSE D'UN CAPTEUR ABSOLU A L'AMINCISSEMENT D'UN TUBE SUR 20MM (a). SIMULATION D'UNE SONDE "DILATEE" (b).

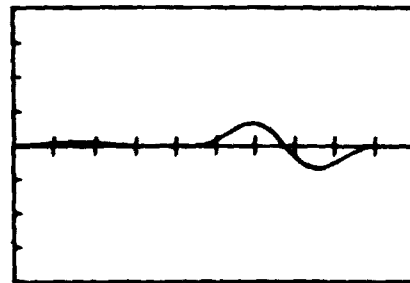


VOIE X

(a)

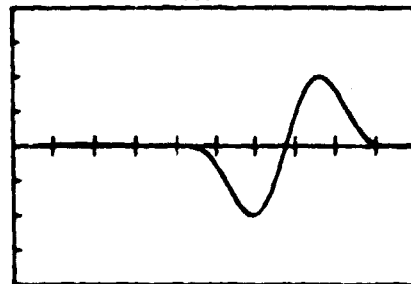


VOIE Y



VOIE X

(b)



VOIE Y

FIG. 8 : SIMULATION D'UN CAPTEUR DIFFERENTIEL

a : Enroulements trop rapprochés

b : Enroulements adaptés au défaut recherché
(amincissement d'un tube sur 20mm)

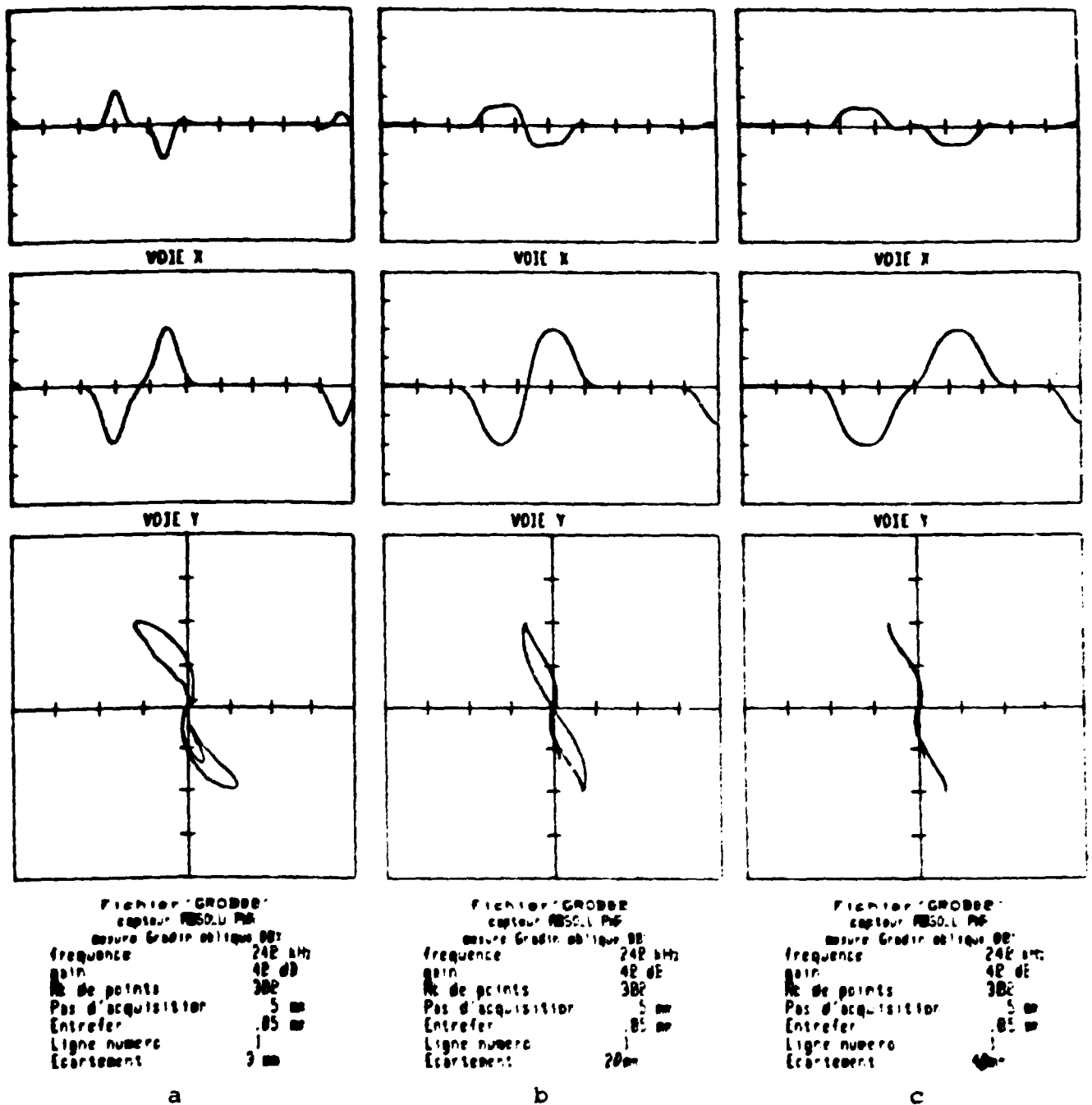
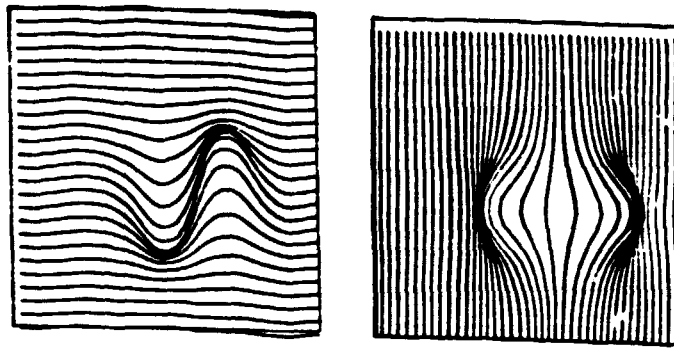
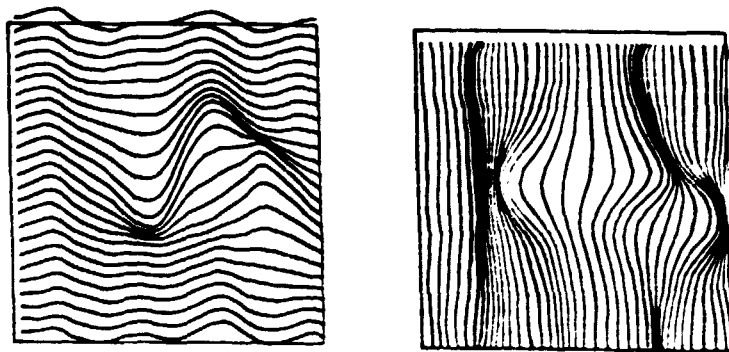


FIG. 9 : SIMULATION DE TROIS CAPTEURS DIFFERENTIELS

- a : Enroulements trop étroits et trop rapprochés
- b : Enroulements trop longs et correctement écartés
- c : Enroulements trop longs et trop écartés



a



b

FIG. 10 : Détection par courants de Foucault de fissures dans le revêtement des tubulures REP.

a : A gauche, signaux détectés selon le sens de balayage de la MIS

A droite, reconstitution par ordinateur d'un balayage orthogonal

Le défaut est perpendiculaire au plan de la feuille
Sa trace passe par les extrema des courbes en cloche
(vue de droite)

b : Cas de deux défauts proches

A gauche signaux détectés selon le sens de balayage de la MIS

A droite reconstitution par ordinateur d'un balayage orthogonal

Fichier 'BIC000'

Captur ABSOLU 0.0 mm
Mesure Fente 000 (BIFAC)

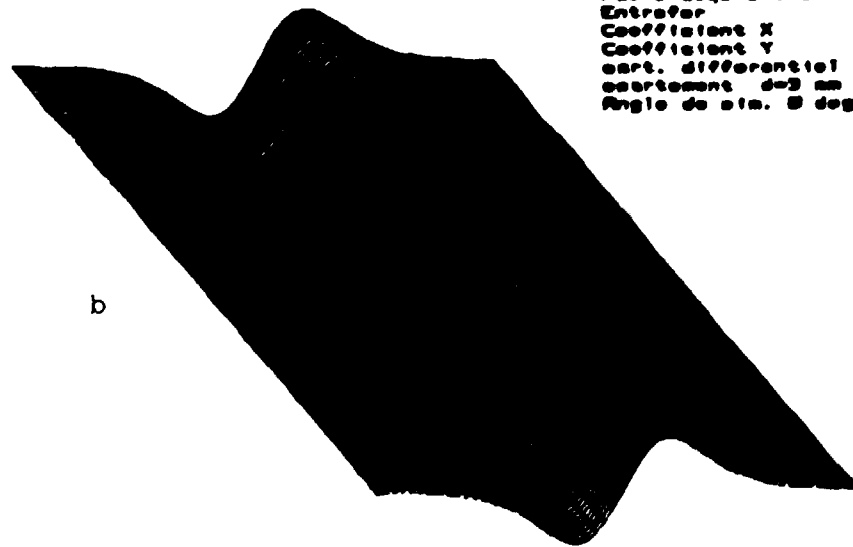
Frequence	100 kHz
Gain	50 dB
Nb de points	120 x 60
Pas d'acquisition	.5 mm
Entrefer	0 mm
Coefficient X	.1
Coefficient Y	2.5
cart. différentiel	
cartement d=3 mm	
Angle de aim. 90 deg	



Fichier 'BIC000'

Captur ABSOLU 0.0 mm
Mesure Fente 000 (BIFAC)

Frequence	100 kHz
Gain	50 dB
Nb de points	120 x 60
Pas d'acquisition	.5 mm
Entrefer	0 mm
Coefficient X	.1
Coefficient Y	2.5
cart. différentiel	
cartement d=3 mm	
Angle de aim. 0 deg.	



000 CER/STR edition automatique de cartographies 000

FIG. 11 : Détection d'une fente circonférentielle dans un tube de générateur de vapeur.

A partir du signal délivré par une sonde absolue, simulation par ordinateur d'une sonde différentielle.

a : orientée et se déplaçant selon le sens d'enregistrement
b : orientée et se déplaçant selon une direction perpendiculaire à l'enregistrement original.