

Facteurs influençant l'échodynamique

d'un défaut obtenue

par traducteur ultrasonore focalisé

Study of effective factors in crack echodynamic with ultrasonic focussed probes

Factors influencing the defect echodynamic obtained by ultrasonic focussed probe



Driss BOUAMI

Équipe Ultrasons, Laboratoire Matériaux, École Centrale des Arts et Manufactures, Grande Voie des Vignes, 92290 CHÂTENAY-MALABRY

Ingénieur de l'École Mohammadia d'Ingénieurs de Rabat (Maroc) en conception et fabrication mécanique. Enseignant à l'École Mohammadia d'Ingénieurs (Physique, matériaux). DEA en Sciences des matériaux. (École Centrale des Arts et Manufactures). Recherche, dans le cadre d'une préparation de thèse ès Sciences (Étude de l'échodynamique de défaut, Suivi de l'évolution de fissures, Théorie de diffraction des ultrasons par le bord de défaut).



Daniel DE VADDER

Équipe Ultrasons, Laboratoire Matériaux, École Centrale des Arts et Manufactures, Grande Voie des Vignes, 92290 CHÂTENAY-MALABRY

Étudie depuis 1971 les méthodes de caractérisation de défauts en CND ultrasonore, en particulier celles qui utilisent la diffraction par les bords de fissures. Application des méthodes de traitement du signal à ces contrôles. Recherches sur la caractérisation des faisceaux, notamment focalisés, ainsi que sur l'imagerie ultrasonore multitransducteurs et le suivi de fissures dans les éprouvettes de fatigue ou déchirure ductile. Docteur ingénieur. Enseignant à l'ECP, l'ISMCM et formation continue.

RÉSUMÉ

Dans un souci de rendre plus précises les méthodes ultrasonores de dimensionnement de défauts basées sur la diffraction par le bord et le relevé d'échodynamique, une étude a été menée qui a permis de caractériser cette échodynamique et d'étudier les paramètres influents sur son allure.

MOTS CLÉS

Contrôle non destructif, ultrasons, traducteur focalisé, échodynamique, dimensionnement de fissure, diffraction de bord.

SUMMARY

In order to make more accurate the ultrasonic methods of sizing of defects based on tip wave diffraction and recording of echodynamic, a study was performed which permits to characterize this echodynamic and to point out the parameters which influence it.

KEY WORDS

Non destructive testing, ultrasonics, focused transducer, echodynamic, crack sizing, tip diffraction.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction

2. Caractéristiques de l'échodynamique

3. Paramètres influants sur l'échodynamique

- 3.1. Procédure expérimentale
- 3.2. Choix de référence

4. Influences de l'orientation

- 4.1. Influence de θ sur A
- 4.2. Influence de θ sur B
- 4.3. Influence de θ sur E
- 4.4. Influence de θ sur C

5. Influence de α , d_6 et λ

- 5.1. Procédure d'étude
- 5.2. Influence de α , d_6 et λ sur A
- 5.3. Influence de α , d_6 et λ sur B

6. Conclusions

Bibliographie

1. Introduction

Il a été observé [1] que lorsqu'un faisceau ultrasonore focalisé balaie la surface d'un défaut plan, il se produit une augmentation d'amplitude du signal recueilli qui atteint un maximum lorsque l'axe coupe le bord de ce même défaut (fig. 1). De Vadder [2] a alors proposé une méthode de dimensionnement basée sur ce phénomène qui résulte de la diffraction par le bord.

2. Caractéristiques de l'échodynamique

Si on considère l'échodynamique donnée par un défaut plan dont le bord est supposé rectiligne (fig. 1 a), on peut la caractériser par les grandeurs A, B, C et E (fig. 1 b).

Pour améliorer la qualité du dimensionnement ou du suivi, il importe d'avoir :

- Une amplitude absolue A la plus grande possible.
- Une coïncidence exacte entre les positions du maximum et celle du bord ($E=0$).
- Une meilleure séparation entre les échos de bord et de plein-défaut (B grande).
- Un pic d'échodynamique le plus aigu possible (C la plus petite possible).

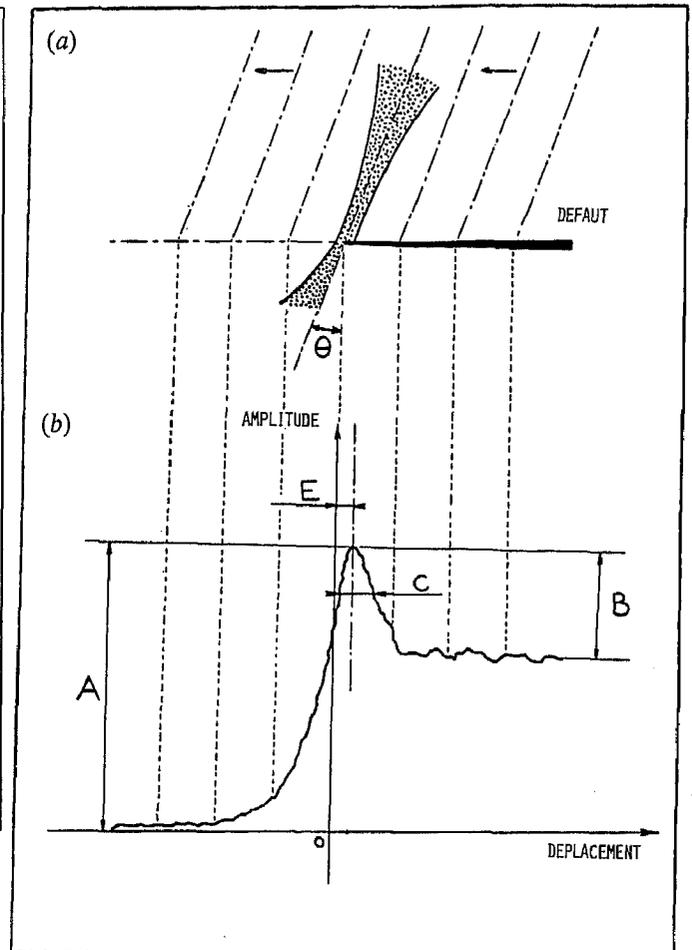


Fig. 1. — Échodynamique de défaut plan.

Aussi, nous proposons-nous d'étudier les facteurs susceptibles d'influer sur l'échodynamique donc sur les grandeurs A, B, C et E.

3. Paramètres influençant l'échodynamique

Considérons qu'un faisceau ultrasonore focalisé balaie la surface d'un défaut, plan, désorienté et de rugosité faible, dans une direction telle que le bord coupé soit perpendiculaire à l'axe du faisceau. Les facteurs susceptibles d'influer sur l'échodynamique sont :

- le diamètre de la tâche focale d_6 (à -6 dB en émission-réception);
- la longueur d'onde λ ;
- l'angle de convergence α du faisceau focalisé;
- l'orientation θ qui est l'angle entre l'axe du faisceau et la normale au défaut.

3.1. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Pour les études que nous avons réalisées, nous avons utilisé une fissure profonde de 18 mm et longue de

120 mm dans un cylindre en acier de diamètre 100 mm. Elle a été produite par fusion par bombardement électronique suivie d'une fragilisation à l'hydrogène. Son bord est relativement rectiligne et est confondu avec l'axe du cylindre. Ainsi lorsque l'axe du faisceau passe par le centre du cylindre, la rotation de celui-ci permet de faire varier continûment l'orientation θ .

3. 2. CHOIX DE LA RÉFÉRENCE

Pour tracer et comparer différentes courbes d'amplitude il est nécessaire de prendre une référence qui est le signal renvoyé par un réflecteur particulier. Plusieurs types de réflecteurs sont utilisés dont nous citerons les plus usités : le plan, le trou à fond plat et le trou cylindrique vu selon une génératrice.

Contrairement aux autres réflecteurs, qui présentent une réflectivité dépendant de leur dimension, le plan a une fonction de transfert constante puisqu'il renvoie vers le traducteur émetteur-récepteur la quasi totalité de l'énergie incidente. Ainsi, en normant les amplitudes, pour chaque traducteur par rapport à celle donnée par ce même traducteur placé en incidence normale par rapport au plan et à une même distance de celui-ci, on ajuste la sensibilité de chacun des traducteurs.

Le plan-référence, que nous avons utilisé, est un plan lisse, usiné dans un cylindre de même matériau et de même diamètre que le cylindre fissuré, et placé de telle façon qu'il contienne l'axe du cylindre.

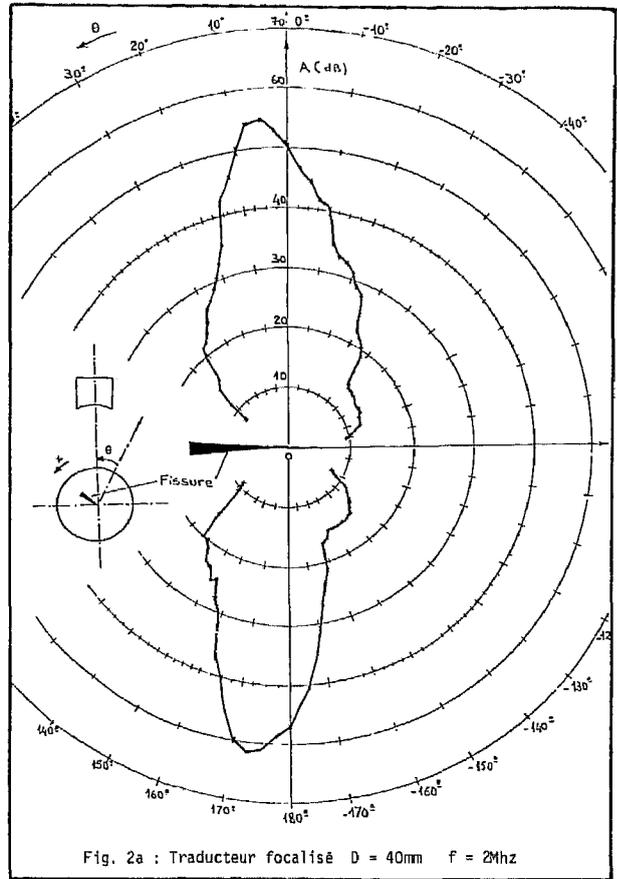


Fig. 2 a : Traducteur focalisé D = 40mm f = 2Mhz

Fig. 2 a. — Traducteur focalisé. D = 40 mm, f = 2 MHz.

4. Influences de l'orientation

4. 1. INFLUENCE DE θ SUR A

La figure 2 a représentant en coordonnées polaires la courbe (amplitude A-orientation θ) montre la répartition de l'amplitude autour du bout de la fissure. On remarque que les maximums de cette courbe ne se situent pas sur la normale de la fissure comme on s'y attendait mais pour une légère désorientation du côté de la fissure.

La même courbe, mais en coordonnées cartésiennes (fig. 2 b), permet de dégager les observations suivantes :

- Cette courbe peut être divisée en deux parties :
- une partie où la décroissance de l'amplitude en fonction de θ est forte. Elle correspond aux orientations pour lesquelles la réflexion est prépondérante;
- une autre où la décroissance est plus douce. Elle correspond au secteur angulaire où la diffraction par le bord, beaucoup moins sensible à l'orientation, est prépondérante.

La transition entre ces deux zones se situe entre 25° et 30°.

— Le signal renvoyé par le bord reste décelable jusqu'à 85° et même 90° pour certains traducteurs. Cela montre l'intérêt de l'utilisation des ondes diffractées

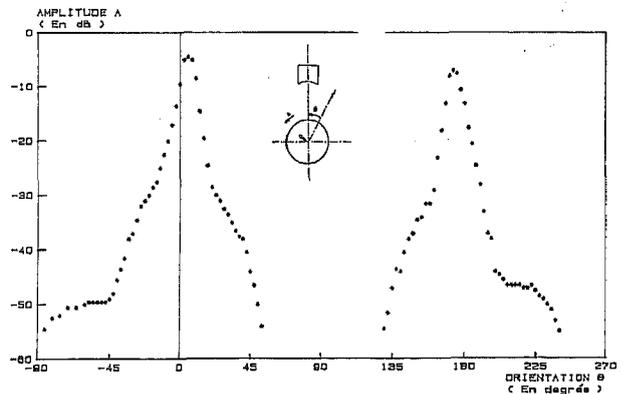


Fig. 2 b. — Amplitude absolue A en fonction de l'orientation θ . Traducteur focalisé D = 40, 2 MHz.

pour le dimensionnement de défauts plans fortement désorientés.

4. 2. INFLUENCE DE θ SUR B

Pour avoir, en fonction de θ , l'amplitude de l'écho réfléchi lorsque la tache focale du faisceau est entièrement interceptée par le défaut (que nous appelons écho de plein-défaut), nous utiliserons le plan qui nous a servi de référence.

La différence entre les échos de plein-défaut et de bord donne la variation de B en fonction de θ (fig. 3). On constate que B croît avec l'orientation θ , qu'il reste négatif jusqu'à un angle θ_1 , relativement petit (réflexion prépondérante) et que au-delà, B devient positif (diffraction prépondérante).

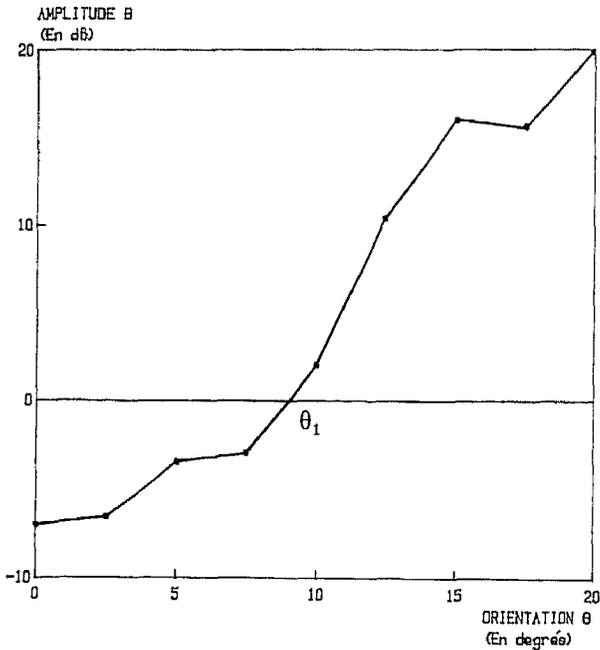


Fig. 3

4. 3. INFLUENCE DE θ SUR E

La figure 4 montre des échodynamiques enregistrées pour différentes orientations θ d'un réflecteur demi-plan immergé dans l'eau. Il en ressort que la position du maximum de l'échodynamique diffère de celle du

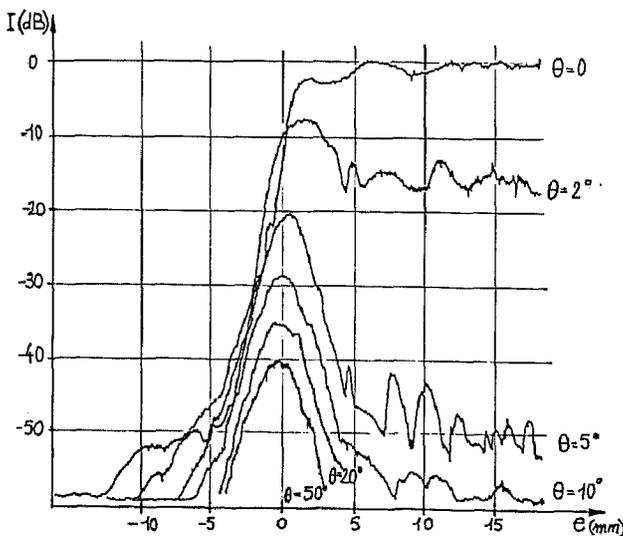


Fig. 4. — Variation de l'écho renvoyé par un demi-plan en fonction de e (lorsque le demi-plan pénètre dans le faisceau); résultats expérimentaux. Transducteur D=6 cm, F=50 cm, v résonance = 4 MHz.

bord ($E \neq 0$) lorsque θ reste faible ($\theta < 10^\circ$). Cela découle du fait que pour les angles faibles la diffraction n'est pas notablement prépondérante, dans une échodynamique qui est toujours une combinaison de réflexion et de diffraction.

La variation de E en fonction de θ est présentée figure 5. E_0 étant l'écart correspondant au cas où la séparation entre les échos de bord et de plein-défaut est relativement nette ($B \approx 2$ dB) et θ_m étant l'angle au-delà duquel, l'écart E est négligeable.

4. 4. INFLUENCE DE θ SUR C

La comparaison des différentes échodynamiques de la figure 4 montre que l'orientation n'a aucune influence sur la grandeur C.

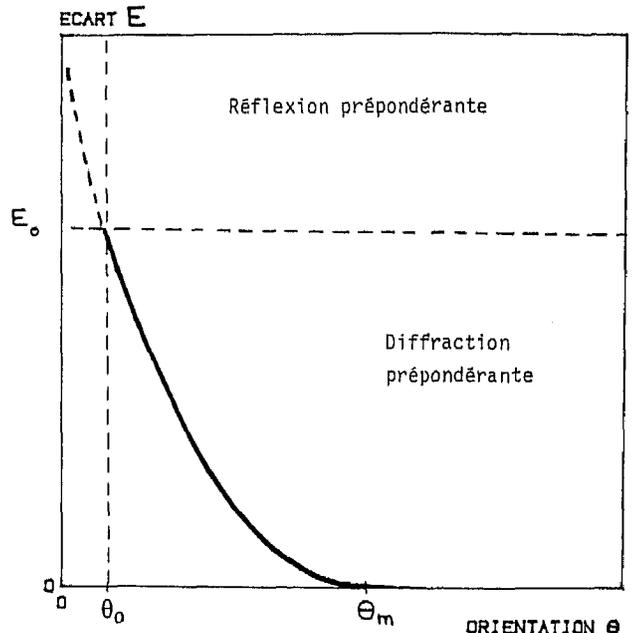


Fig. 5. — Variation de l'écart (E) avec l'orientation (θ).

5. Influence de α , d_6 et λ

5. 1. PROCÉDURE D'ÉTUDE

Les caractéristiques du faisceau focalisé α , d_6 et λ étant reliées par les deux relations $d_6 = \lambda F/D$ et $\text{tg}(\alpha/2) = D/2F$, on a étudié l'influence de la variation de deux facteurs en gardant le troisième constant. Un recouplement des différents cas ainsi dégagés, a permis d'étudier l'influence propre de chaque facteur sur les grandeurs étudiées.

5. 2. Influence de α , d_6 et λ sur A

5. 2. 1. Premier cas : $\lambda = \text{constante}$, α et d_6 varient
 Traducteurs focalisés : tableau I, figure 6 a.

5. 2. 2. Deuxième cas : $d_6 = \text{constante}$, α et λ varient
 Traducteurs focalisés : tableau II, figure 6 b.

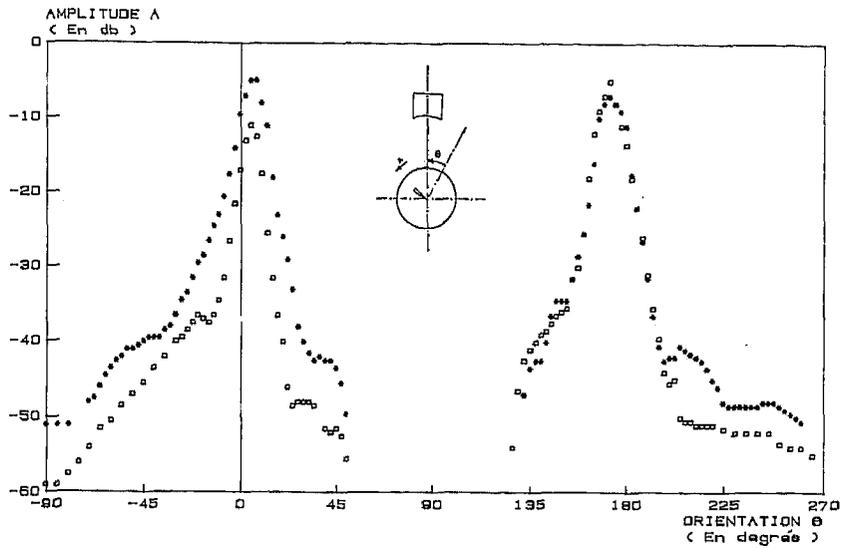


Fig. 6a. — Comparaison des courbes (A- θ). Pour λ =constante, α et d_6 variant. **** traducteur focalisé D=40, 3 MHz; □ □ □ □ traducteur focalisé D=30, 3 MHz.

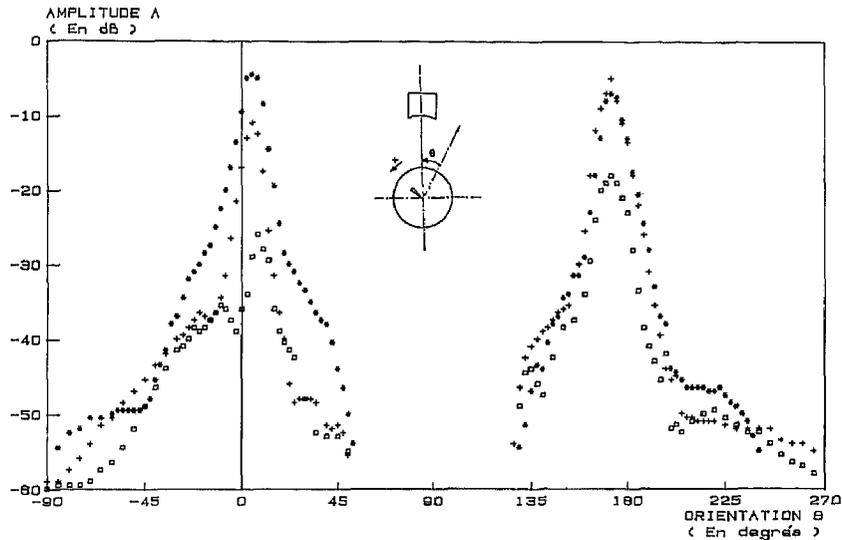


Fig. 6b. — Comparaison des courbes (A- θ). Pour d_6 =constante, λ et α variant. **** traducteur focalisé D=40, 2 MHz; □ □ □ □ traducteur focalisé D=20, 4 MHz; + + + traducteur focalisé D=30, 3 MHz.

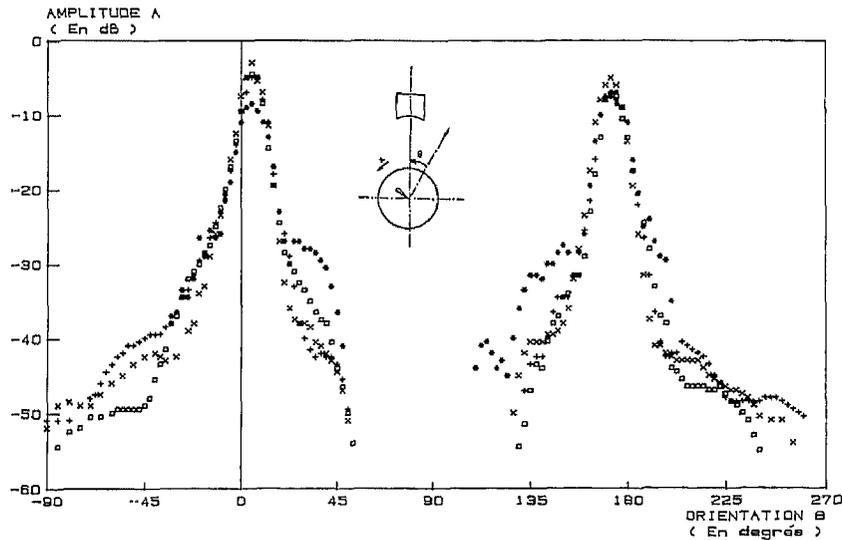


Fig. 6c. — Comparaison des courbes (A- θ). Pour α =constante, λ et d_6 variant. **** traducteur focalisé D=40, 1 MHz; □ □ □ □ traducteur focalisé D=40, 2 MHz; + + + traducteur focalisé D=40, 3 MHz; × × × × traducteur focalisé D=40, 4 MHz.

5.2.3. Troisième cas : $\alpha = \text{constante}$, d_6 et λ variant

Transducteurs focalisés : tableau III, figure 6 c.

TABLEAU I

D (mm)	f (MHz)	d_6 (mm)	D/F	α (°)
40	1	25	0,24	13,4
40	2	12,2	0,24	13,7
40	3	9,2	0,21	12,1
40	4	6,3	0,24	13,3

TABLEAU II

D (mm)	f (MHz)	d_6 (mm)	D/F	α (°)
20	4	11,8	0,13	7,4
30	3	11,4	0,17	9,7
40	2	12,2	0,24	13,7

TABLEAU III

D (mm)	f (MHz)	d_6 (mm)	D/F	α (°)
40	3	9,2	0,21	12,1
30	3	11,4	0,17	9,7
40	4	6,3	0,24	13,3
20	4	11,8	0,13	7,4

5.2.4. Interprétations et conclusions partielles

— Les figures 6 a et 6 b montrent que l'amplitude A croît lorsque l'angle de convergence augmente et le diamètre de la tache focale diminue.

— Sur la figure 6 c, on constate que l'amplitude de l'écho de bord croît avec la convergence et la longueur d'onde.

Ces deux résultats peuvent être expliqués par le fait que lorsque la convergence est plus grande et la fréquence plus basse, le lobe principal du faisceau réémis est moins directif et atteint le transducteur même pour de grandes orientations θ . En outre, une plus grande partie du faisceau diffracté est captée.

— Les écarts entre les différentes courbes de la figure 6 d sont faibles. Aussi, peut-on en déduire que, pour un même degré de focalisation du transducteur, les variations de la fréquence et du diamètre de la tache focale n'ont pas d'influence notable sur l'amplitude de l'écho de bord.

Un recoupement entre les différents résultats obtenus (§ 5.2) montre que l'effet de la convergence est prédominant.

5.3. INFLUENCE DE α , d_6 ET λ SUR B

On a représenté sur les figures 7, les écarts entre les courbes des échos de bord et de plein-défaut après les

avoir normées à un même maximum. Les transducteurs utilisés pour cela sont ceux des tableaux I, II et III.

5.3.1. Premier cas : $\lambda = \text{constante}$, α et d_6 variant

La figure 7 a montre que, pour une même fréquence, l'amplitude B ne change pas notablement lorsque α et d_6 variant.

En effet une augmentation de α entraîne celle de l'amplitude de l'écho de bord mais aussi, une autre de même grandeur qui est celle de l'écho de plein-défaut.

5.3.2. Deuxième cas : $d_6 = \text{constante}$, α et λ variant

Des courbes de la figure 7 b, on peut conclure que l'amplitude B est relativement insensible aux variations de α et λ . Cela découle du fait qu'une augmentation de α et de λ entraîne celle de l'amplitude de l'écho de bord mais aussi celle de l'écho de plein-défaut. Ces deux augmentations ont donc des effets sur B qui se neutralisent.

5.3.3. Troisième cas : $\alpha = \text{constante}$, d_6 et λ variant

L'amplitude de l'écho de bord apparaissant peu influencée par la fréquence (§ 5.2.3) et celle de l'écho de plein-défaut (dû à la réflexion seule) croissant avec la longueur d'onde, on peut conclure que B augmente avec la fréquence, cela est corroboré par la figure 7 c.

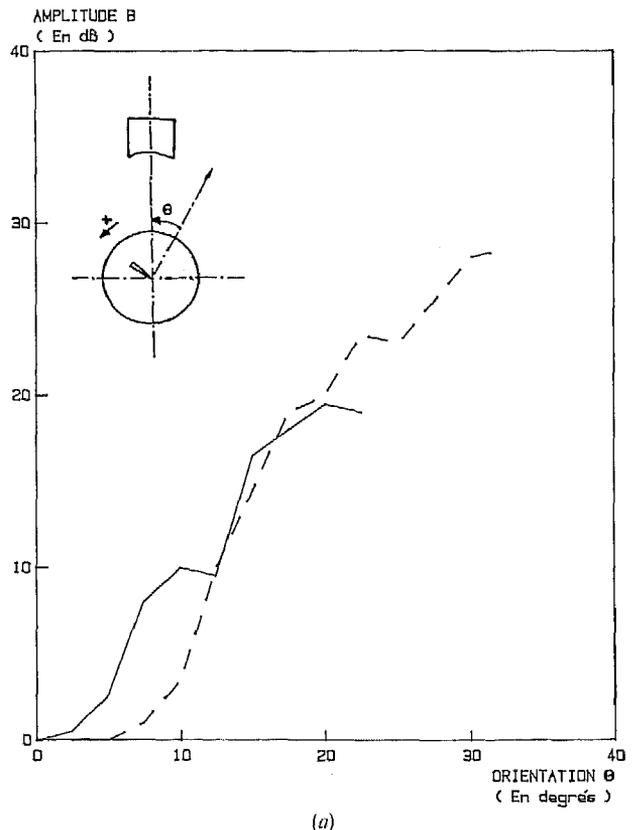
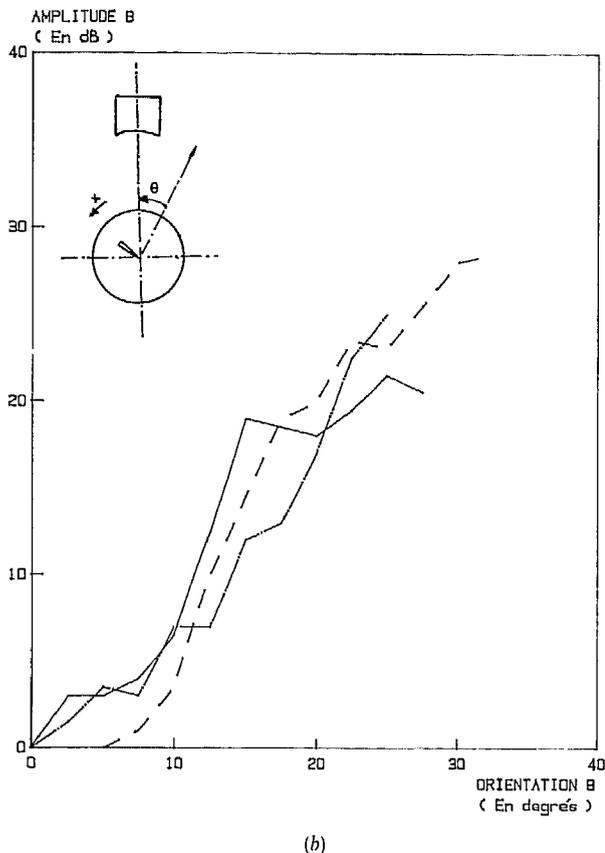
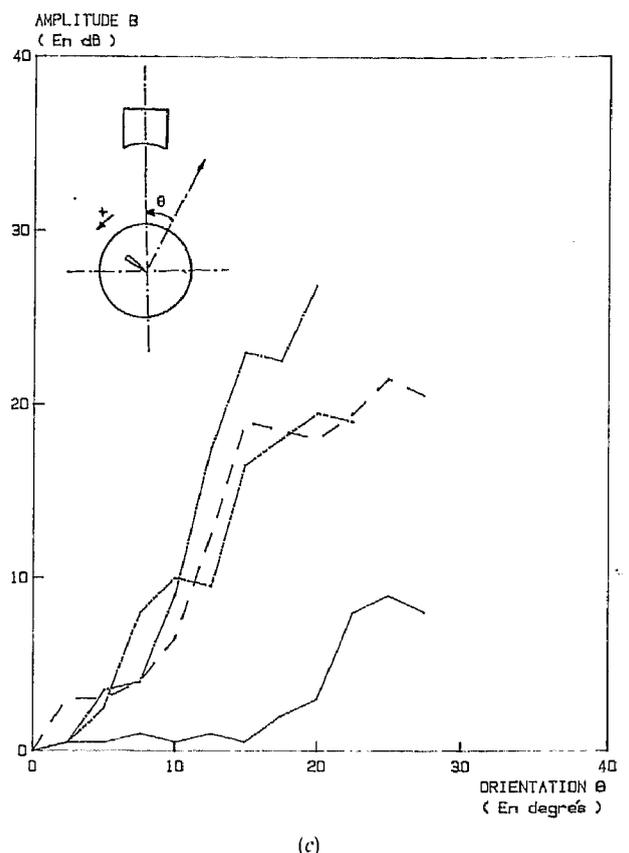


Fig. 7 a. — Comparaison des courbes (B- θ). Pour $\lambda = \text{constante}$, α et d_6 variant. — traducteur focalisé D=40, 4 MHz; - - - traducteur focalisé D=20, 4 MHz.



(b)

Fig. 7 b. — Comparaison des courbes (B-θ). Pour d_0 = constante, α et λ variant. — traducteur focalisé D=40, 2 MHz; - - - traducteur focalisé D=20, 4 MHz; — · — traducteur focalisé D=30, 3 MHz.



(c)

Fig. 7 c. — Comparaison des courbes (B-θ). Pour α = constante, d_0 et λ variant. — traducteur focalisé D=40, 1 MHz; - - - traducteur focalisé D=40, 2 MHz; — · — traducteur focalisé D=40, 3 MHz; · · · traducteur focalisé D=40, 4 MHz.

6. Conclusions

L'étude qui a été réalisée, a permis de caractériser expérimentalement les facteurs influant sur l'échodynamique d'un défaut obtenue par traducteur focalisé. Elle conduit, par le choix adéquat des paramètres, à une précision accrue des méthodes de dimensionnement utilisant la diffraction par le bord. Ce choix découle de compromis car les effets, obtenus par la variation de certains paramètres, sont opposés. D'autres paramètres, susceptibles d'influer sur l'écho de bord, restent à étudier : par exemple, la courbure du bord et la rugosité du défaut.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un contrat entre le Commissariat à l'Énergie Atomique et l'École Centrale des Arts et Manufactures.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. DE VADDER, R. SAGLIO, P. AZOU, P. BASTIEN, Détection des grands défauts plan mal orientés à l'aide de traducteurs focalisés, *VIII^e Conférence Mondiale sur les Essais Non Destructifs*, Cannes, 1976, Article 3 H 5.
- [2] D. DE VADDER, P. AZOU, R. SAGLIO, A. M. BIRAC, Détermination de la dimension et l'orientation de défauts inclinés quasi-plans à l'aide de sondes focalisées, *4^e Colloque International sur les Méthodes de Contrôle Non Destructif*, Grenoble, 1979, p. 19-26.
- [3] R. SAGLIO, Better detection of large poorly oriented plane defects by ultrasonics, *NDT International*, août 1976, p. 193-196.