

# CARACTERISATION ÉLASTIQUES DES ACIERS CORRODÉS PAR LES MODES DE LAMB

L. MOUNTASSIR<sup>1\*</sup>, T. BASSIDI<sup>1</sup>, H. NOUNAH<sup>1</sup>

1. Laboratoire de métrologie et traitement de l'information, Faculté des sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc

\*mountassir.lahcen8@gmail.com

## Résumé

L'objectif de ce travail est étudié de l'effet de la corrosion sur les paramètres ultrasoniques puis mécaniques de l'acier corrodé. Cette étude a pour but d'analyser l'évolution des processus de corrosion sur différents échantillons d'aciers en fonction du temps d'immersion dans la solution acide (HCl). Ce travail a mis en évidence la fiabilité et la capacité des techniques ultrasonores à montrer l'influence du temps d'immersion dans une solution acide. Tout d'abord, nous commençons par la mise en œuvre de l'assemblage expérimental de la technique ultrasonore de transmission, et nous présentons l'approche expérimentale suivie au cours de ce travail expérimental. Par la suite, nous discutons des mesures expérimentales de différentes vitesses longitudinales et transversales pour récupérer les propriétés mécaniques de chaque échantillon. La corrosion résultante sur l'acier corrodé est analysée par la surveillance des changements des paramètres ultrasoniques.

**Mots clefs :** *Acier, Corrosion, HCl, Transmission, Courbes de dispersion, Ultrasons, Contrôle non destructifs.*

## 1. Introduction

Dans l'industrie, on est souvent contraint de soumettre beaucoup de pièces à des contrôles pour des raisons de sécurité et de coût. La présence d'une fissure ou d'une corrosion aussi infime soit elle peut présenter un risque permanent pouvant provoquer de graves dégâts corporels et matériels. En utilisant le contrôle non destructif par ultrasons, dont le principal avantage est de restituer la pièce contrôlée telle qu'elle était avant le contrôle.

Notre objectif majeur dans cette étude consiste à caractériser d'une manière non destructive des plaques d'acier corrodées par l'utilisation des techniques ultrasonores dédiées essentiellement au contrôle non destructif. En d'autres termes, notre but dans ce travail est de vérifier l'aptitude du contrôle par les ondes ultrasonores à déduire l'effet de la corrosion sur les plaques d'acier au niveau de leurs propriétés mécaniques [1-2].

Le contrôle ultrasonore est basé sur la mesure des paramètres ultrasoniques à savoir les vitesses longitudinale et transversale ainsi l'atténuation

ultrasonore dans les échantillons d'acier corrodés étudiés durant ce travail. Nous avons exploité ce méthode dont le but de déduire les paramètres ultrasoniques des échantillons, le traçage du diagramme des courbes de dispersion correspondant à chaque plaque d'acier corrodée et enfin la mesure expérimentale des propriétés mécaniques correspondant à chaque échantillon.

## 2. Etude expérimentale

### 2.1 La technique ultrasonore par transmission

#### 2.1.1 Présentation des échantillons à caractériser

Le tableau 1 représente les échantillons des plaques d'aciers étudiées pendant ce travail ainsi la durée d'immersion dans la solution corrosive (HCl) utilisée pour déclencher la corrosion dans certaines plaques parmi les échantillons à contrôler.

La plaque	d (mm)	l (cm)	L (cm)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	t
Acier 1	2	7,71	10,01	7471,12	2h
Acier 2	3	9,91	10,33	7268,38	2h
Acier 3	3	7,62	8,78	7059,9	4h
Acier 4	2	7,96	7,98	7419,6	24h
Acier oxydé	3	7,56	9,01	7083,056	-

**Tableau.1** Présentation des échantillons d'aciers à caractériser.

d : épaisseur ; l : largeur ; L : longueur ;  $\rho$  : la densité ; t : Durée d'immersion dans HCl

#### 2.1.1 Description du dispositif expérimental

La figure 1 montre la configuration expérimentale de la méthode de transmission. La conception expérimentale de cette étude est composée principalement de deux mêmes plans transducteurs ultrasoniques pour la fréquence centrale de 5 MHz pour chacun. Le premier transducteur est un émetteur excité en mode pulsé avec un générateur d'impulsions Sofranel Modèle 5052PR. La réponse du capteur suite à cette excitation est réfléchiée par la génération d'ondes ultrasonores qui se propagent dans le premier milieu de couplage (dans notre cas: l'eau) puis elles traversent l'échantillon d'acier. Ils seront capturés après avoir traversé un second milieu de couplage (ici: eau) par le second transducteur qui joue un rôle du récepteur. Ce dernier retourne le signal ultrasonore capté vers le

générateur pour amplifier, puis le signal ultrasonore amplifié sera envoyé à l'oscilloscope HP54600B pour le visualiser. Après une opération de moyenne pour améliorer le signal de rapport signal / bruit visualisé, il sera transmis à l'ordinateur par le port via GPIB IEEE Carte nationale d'acquisition de données Instrument commandé par le logiciel LabView. Nous avons développé une plate-forme avec Labview qui nous permet de manipuler facilement les signaux acquis leur enregistrement et le calcul de la FFT automatiquement pour chaque signal.

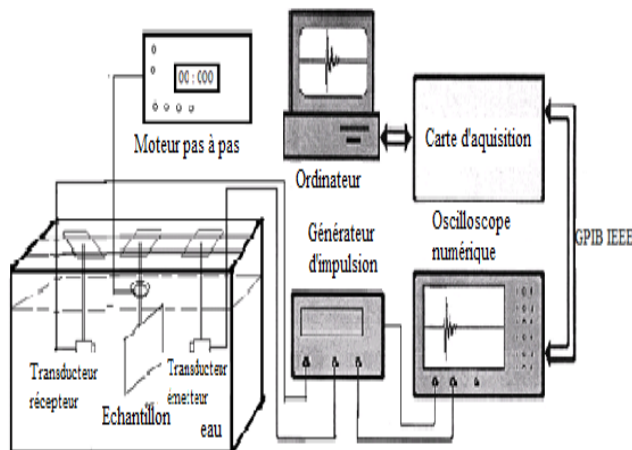


Figure. 1 Schéma du dispositif expérimental

## 2.2 Les résultats

### 2.2.1 Diagramme de courbes de dispersion

Pour tracer le diagramme de chaque échantillon, nous faisons d'abord l'acquisition des signaux temporels transmis à travers chaque échantillon à partir de l'angle d'incidence normale jusqu'à l'angle critique, ensuite nous calculons le spectre correspondant à chaque angle d'incidence, après nous faisons la superposition des spectres calculés dans un fichier sous forme d'une matrice. Enfin, nous représentons cette matrice sous forme d'une image en utilisant le logiciel **Spyglass**. Cette image représente l'évolution des modes qui se propagent à l'intérieur de la plaque d'acier lors de la transmission. Les diagrammes des courbes de dispersion sont représentés en traçant les modes correspondants aux angles d'incidence suivant les fréquences [3-5].

A partir des courbes de dispersion obtenues expérimentalement (la figure 2), nous déduisons l'importance de l'effet de la durée d'immersion dans la solution corrosive sur la corrosion des plaques d'acier étudiés pendant ce travail. En effet nous avons remarqué que la disparition des modes est liée directement à la durée d'immersion dans la solution corrosive. Plus la durée d'immersion est grande plus la disparition des modes est dominante. D'autre part nos résultats montrent cet effet, nous avons remarqué qu'il n'y a pas de différence significative au niveau du nombre des modes pour les deux plaques corrodées pendant 2h et 4h mais dès que la durée d'immersion augmente, on observe immédiatement la disparition des modes. Ce résultat montre clairement l'aptitude de la technique ultrasonore en transmission à détecter la différence entre les plaques d'acier corrodées d'une manière fiable et non destructive.

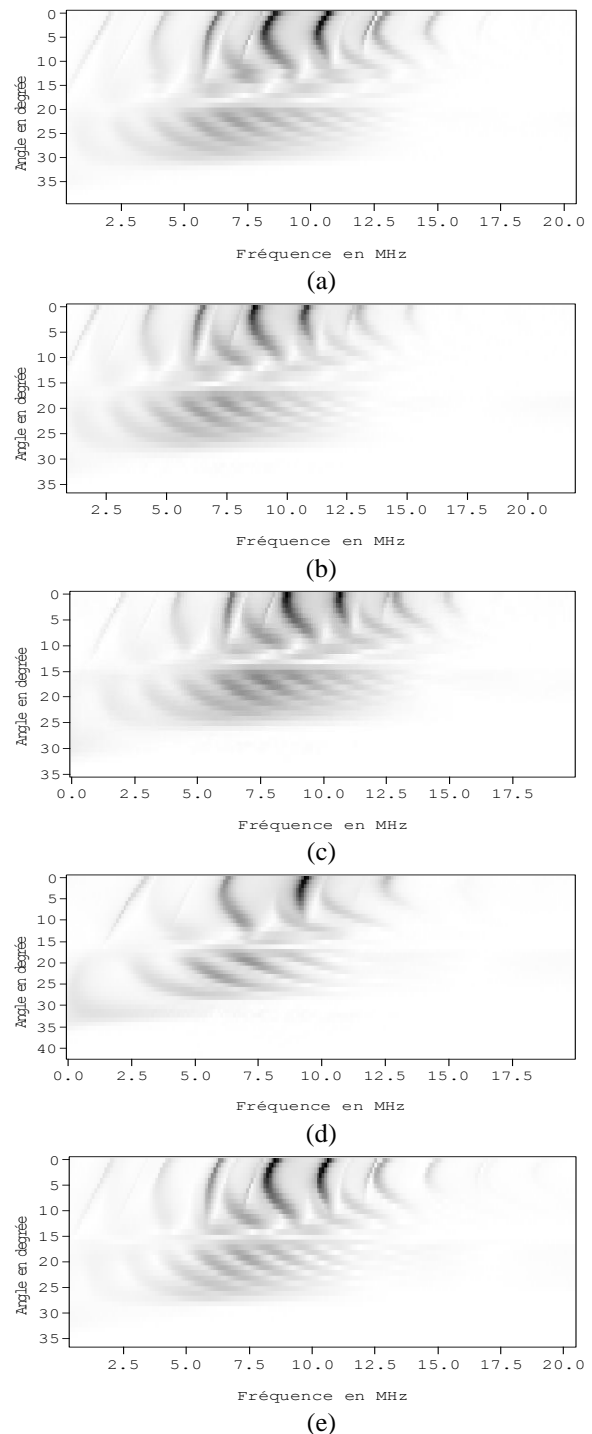


Figure. 2 Diagramme des courbes de dispersion de (a) l'acier 1, (b) l'acier 2, (c) l'acier 3, (d) l'acier 4 et (e) l'acier oxydé.

### 2.2.2 Les propriétés mécaniques

Nous pouvons exploiter les courbes de dispersion trouvées expérimentalement dont le but de mesurer les vitesses longitudinale et transversale. En observant ces courbes de dispersions, nous remarquons la convergence des modes de propagation d'abord vers l'angle critique des ondes longitudinales et ensuite vers l'angle critique des ondes transversales. En connaissant les angles critiques des ondes longitudinales et transversales, nous déduisons les vitesses longitudinale et transversale en appliquant les deux formules suivantes :

$$V_L = \frac{V_e}{\sin(\theta_L)} \quad V_T = \frac{V_e}{\sin(\theta_T)}$$

Avec  $V_e = 1465 \text{ m/s}$  est la vitesse des ultrasons dans l'eau.  $\theta_L$  est l'angle critique de l'onde longitudinale et  $\theta_T$  est l'angle critique de l'onde transversale dans chaque échantillon de plaque d'acier corrodée. Après la mesure des vitesses, nous remontons automatiquement aux propriétés mécaniques de l'échantillon à caractériser en utilisant les relations théoriques suivantes [6]:

$$E = \rho V_T^2 \left( \frac{3V_L^2 - 4V_T^2}{V_L^2 - V_T^2} \right)$$

$$\nu = \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{V_L}{V_T} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_L}{V_T} \right)^2 - 1}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

La plaque	$\theta_L$	$\theta_T$	$V_L$ (m/s)	$V_T$ (m/s)	E (GPa)	$\nu$	G(GPa)
Acier1	17 °	37 °	5010,74	2434,30	119,14	0,345	44,27
Acier 2	14 °	30°	6055,67	2844,4	131,9	0,391	47,38
Acier 3	15 °	31°	5660,32	2930	121,02	0,379	43,85
Acier 4	16°	41 °	5314,9	2233,03	103,06	0,392	36,9
Acier oxydé	17°	37 °	5010,74	2434,30	112,95	0,345	41,97

**Tableau. 2** Valeurs des angles critiques, des vitesses des ondes acoustiques et des constantes élastiques des plaques d'acier corrodées.

Le tableau 2 présente les valeurs des angles critiques, des vitesses ultrasoniques et des constantes élastiques des plaques d'acier corrodées. En analysant les résultats expérimentaux, nous concluons à l'existence d'une relation entre le temps d'immersion de la plaque dans la solution acide et ses propriétés mécaniques, en particulier dans le module de Young. Plus le temps d'immersion de la plaque dans la solution acide est plus grand, plus le module d'Young correspondant à celui-ci est réduit. En outre, les résultats expérimentaux le montrent clairement; On note que le module de Young correspondant à la plaque corrodée 24h est inférieur à la plaque 4h qui à son tour est inférieure à 2h. Ce résultat montre la fiabilité des courbes de dispersion comme une méthode alternative et nouvelle pour mesurer les propriétés mécaniques des plaques d'acier corrodées d'une manière non destructive et adéquate.

### 3. Conclusion

Notre objectif dans ce travail est d'appliquer la méthode ultrasonore par transmission comme une méthode alternative pour caractériser les plaques d'acier corrodées. Cette étude expérimentale a confirmé que la méthode de transmission est fiable et valable pour la caractérisation ultrasonore des échantillons étudiés au cours de ce travail.

La méthode de transmission développée dans cette étude nous a permis de suivre l'évolution des diagrammes de dispersion pour chaque échantillon. Ce résultat nous a permis de vérifier l'existence de deux angles critiques: l'angle critique pour l'onde longitudinale et l'angle critique pour une onde transversale. Le fait d'obtenir ces deux angles nous donne une méthode pour mesurer les

vitesses longitudinales et transversales et le module de Young dans les plaques étudiées. Les diagrammes de dispersion obtenus par cette approche nous fournissent la signature ultrasonore de chaque échantillon. Cette signature nous donne une idée sur les modes de propagation dans les plaques d'acier corrodées.

### Références

- [1] R.W. Revie, H.H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, fourth ed., Wiley-Interscience, Hoboken, N. J, 2008.
- [2] Rajakarhihan, S., S. Kayalvizhy, and K. Gangadevi. *Ultrasonic Investigation on the Effect of Corrosion Inhibitor in Mild Steel*. Journal of Pure Applied and Industrial Physics Vol 2.2, 84-141, 2012.
- [3] Ervin, B.L., Kuchma, D.A., Bernhard, J.T. and Reis, H. *Monitoring corrosion of rebar embedded in mortar using high frequency guided ultrasonic waves*. Journal of Engineering Mechanics, 135(1), 9-19, 2009
- [4] Christophe TITRY. *Détection, par ondes de Lamb, de la corrosion cachée dans les structures aéronautiques en aluminium*, Thèse de Doctorat De l'Université Paris 7, France, 2006
- [5] Kundu, T., Banerjee, S. and Jata, K.V. *An experimental investigation of guided wave propagation in corrugated plates showing stop and pass bands*. Journal of Acoustical Society of America, 120(3), 1217-1226, 2006
- [6] LAMBERT, A. *Non-destructive ultrasonic testing*. Heat treatment, 230, 53-58, 1989