Etude numérique de l'effet des fissures sur les paramètres modaux, Application sur des barres en Acier

N.MELLEL[1], M.OUALI[2], M.DOUGDAG[1], B.MOHAMMEDI[1]

([1])Centre de Recherche Nucl aire de BIRINE, BP 180 Ain Oussera, Djelfa.

([2]) Laboratoire de Recherche Structures, D partement de M canique,

Facult des sciences pour l ing nieur. Universit Saad Dahlab Blida

RESUME

Dans ce travail, une investigation numérique par ANSYS de l'effet des fissures sur les paramètres modaux (fréquences propres et déformées modales) des barres en acier est menée. Le but de cette investigation est de chercher les paramètres modaux les plus influencés par l'étude de leur sensibilité à la présence des fissures, et cela en vue de les utiliser comme paramètres globaux de détection des dommages par les méthodes de détection basées sur l'analyse modale.

Mots clés : fréquence propres / essai modal numérique /fissure /sensibilité/ déformée modale

I. INTRODUCTION

La pr sence des dommages dans les structures m caniques cause des changements de leurs rigidit s qui impliquent des variations des param tres modaux de ces structures. En cons quence, la d tection des d fauts structurels peut tre obtenir par l observation des changements des fr quences propres et des d form es modales r sultants. La comparaison des param tres mesur s de la structure saine ceux de la structure endommag e peut donner une estimation de la s v rit et de l'endroit des dommages [1]. L objectif de ce travail est d laborer une tude num rique de l effet de la profondeur et de la position de la fissure sur les param tres modaux afin de statuer sur le choix d un param tre indicateur global des dommages dans les structures m caniques.

II. CONCEPT DE BASE DE L'ANALYSE MODALE THEORIQUE

L' quation diff rentielle du mouvement, d'une structure m canique lin aire discr tis e par la m thode des l ments finis en plusieurs degr s de libert , est donn e par [2]:

$$[M]\{\ddot{X}(t)\}+[C]\{\dot{X}(t)\}+[K]\{X(t)\}=\{f(t)\} \quad (1)$$

O [M], [C], [K] , X(t) et f(t) sont respectivement la matrice des masses, des amortissements et des rigidit s, le vecteur d placement et vecteur des forces.

A partir de l quation (1) et en r gime libre (F(t) = 0), il est possible d tablir le probl me aux valeurs propres suivant (solution de type $x = X e^{\lambda t}$

$$(\lambda^2 [M] + \lambda[C] + [K]) \{X\}= 0 \quad (2)$$

Pour d terminer les param tres modaux on fait r soudre le probl me P P associ par l une des m thodes connues (m thode de Ritz, m thode de Lanzos et m thode de Rayleigh, etc.) [2].

III. ETUDE DE L'EFFET DE LA FISSURE SUR LES PARAMETRES MODAUX

III.1 Modèles d'étude et paramètres de modélisation

La barre utilis e est en acier de section carr e (16x16mm) et de longueur 800 mm, elle respecte les conditions d Euler-Bernoulli [3], elle a les propri t s $E = 2x10^{11}$ N/m, ρ = 7800 et le coefficient de Poisson γ gale 0,33. Elle est sollicit e dans les conditions encastr e libre (fig.1).

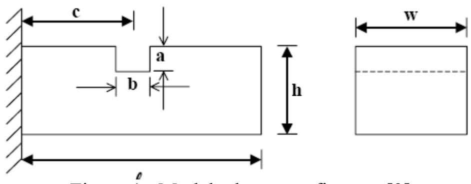


Figure 1 : Mod le de poutre fissur e [3]

L'analyse modale num rique par l ments finis de la poutre tudi e a t effectu e en assument qu une seule fissure existe et qu elle reste ouverte pendant les vibrations, cette hypoth se a t faite pour viter les complexit s qui r sultent de la pr sence des caract ristiques non lin aires en pr sence des fissures de respiration. Dans ce calcul, on a utilis deux types de mod les, le premier mod le est de type tridimensionnel (l ment SOLID186) et le deuxi me est de type poutre (beam4).

Tous les deux mod les sont corrig s par les r sultats exp rimentaux tablis dans un autre travail [4], la comparaison par exemple pour le deuxi me mod le des fr quences propres num riques avec les fr quences mesur es montre une bonne concordance (Tableau 1) [4].

Tableau 1 : Comparaison des fr quences mesur es et des fr quences calcul es [4]

Taille	f_1 [Hz]		f_2 [Hz]		f_3 [Hz]	
a [mm]	numérique	expérimental	numérique	expérimental	numérique	expérimental
0	20.45	24.98	127.92	112.8	357.10	337.61
2	20.34	18.95	127.77	112.17	357.10	331.41
4	20.07	17.99	127.36	112.11	357.10	331.30
6	19.56	17.83	126.65	111.77	357.08	330.24
8	18.65	17.65	125.44	110.00	357.03	330.00
10	17.04	17.79	123.53	125.72	356.94	124.00
12	13.91	22.81	120.50	128.39	356.79	322.43
14	8.65	17.00	117.06	123.50	356.55	310.26

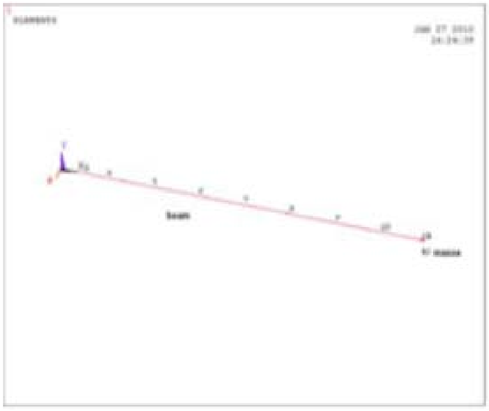


Figure 2 : Mod le poutre (beam4)

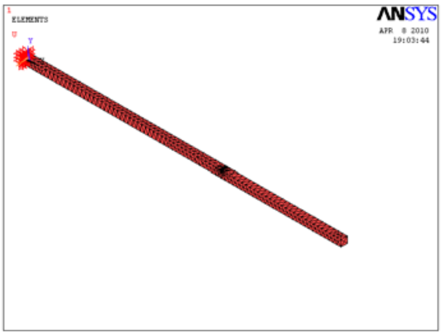


Figure 3 : Mod le solide de poutre fissur e discr tis
(8840   l ment Solid 186, 16074 n   uds)

III.2 Etude de l'effet de la profondeur de la fissure sur les paramètres modaux

Dans cette   tude, on r alise la discr tisation de la barre par   l ment poutre (beam4), la figure 2 illustre la mod lisation num rique d une poutre (encastr e-libre) en pr sence   d une   fissure   localis e   50mm   de l encastrement, la poutre est subdivis e en 12 n   uds et 12   l ments beam4 et mass 21 plac e   l endroit du capteur. La fissure est mod lis e par un   l ment de maillage (beam4) avec une rigidit   faible, cet   l ment a une longueur de 1mm et la diminution de la rigidit   de flexion de l   l ment est introduite en agissant sur le module de YOUNG de l   l ment choisi (puisque la rigidit   est proportionnelle au module E).

III.2.1 Etude du changement des fr quences modales

Les r sultats obtenus pour plusieurs   tats de fissures sont repr sent s sur la Figure 4. Cette derni re figure montre que la variation par exemple pour la fr quence du premier mode est presque invariable jusqu $0.5x10^{11}$ pour E   l   tat sain de $2x10^{11}$. Une fois, ce seuil d pass , la variation des fr quences devient rapide jusqu   la valeur de E $=1x10^{6}$. Apr s ce seuil la variation devient tr s lente.
D autre part, la figure 5 montre que l effet de pr sence de fissure est d autant plus visible lorsqu on avance dans l ordre des modes.

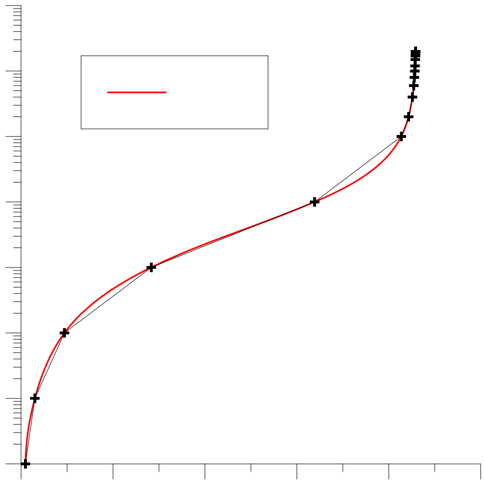


Figure 4 :   ariation de la fr quence du mode 1

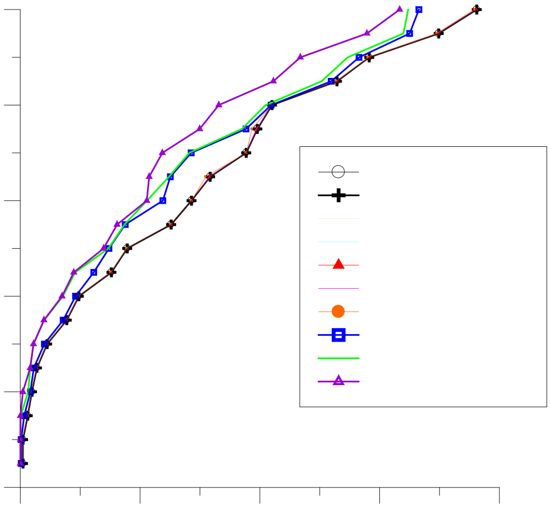


Figure 5 : D calage des fr quences

Un d calage visible des fr quences est observ , ce qui signifie que des modifications structurales ont eu lieu au cours du temps (d tection) (figure 5 et Tableau 1).
La variation des fr quences est faiblement sensible aux petites modifications du module de Young. Les fr quences sont affect es pour une variation importante de E. Les moyens et hauts modes sont les plus sensibles aux changements des propri t s m caniques locales de l   l ment qui simule la section fissur e.

III.2.2 Etude des variations des d form es modales

A partir des d placements x, y et z obtenus du mod le num rique poutre et ce pour diff rentes profondeurs de fissures, on a pu   tablir les d form es modales de la poutre selon les deux plans zx et xy. Les Figures 6 et 7 montrent que les changements survenus sur les d form es ne sont devenu perceptibles qu   partir de $E=0.2\ 10^{11}$ (contre $E=2\ 10^{11}$) ; ce qui correspond   une modification des d form s de 0.6%.

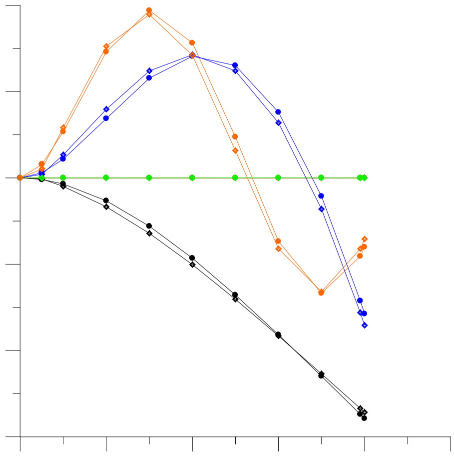


Figure 6 : ariation des trois d form es (plan zx)
(Modes 1,2 et 3)

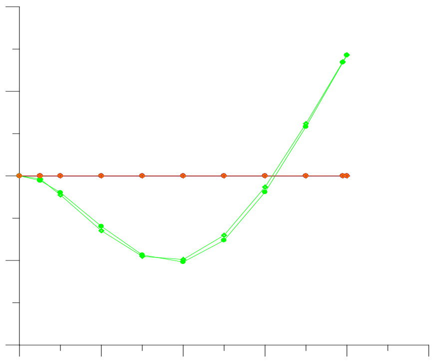


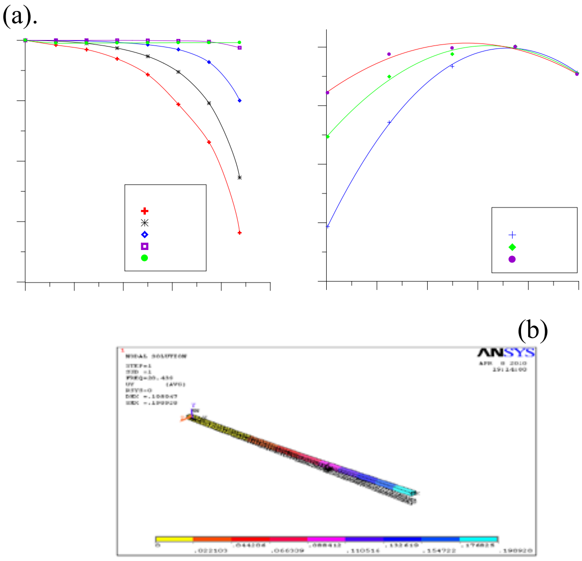
Figure 7 : ariation de la d form e modale
Mode 2 (plan yx)

III.3 Effet de la position de la fissure sur les fréquences propres

Dans cette tude, l effet de la pr sence de la fissure est r alis sur le mod le tridimensionnel par soustraction d un volume parall l pip dique d paisseur 1mm (**Figure 3**). Le calcul modal a t effectu pour chaque mod le de la poutre saine et fissur e en consid rant qu elle encastr e libre. Dans ce calcul, on a consid r les profondeurs de la fissure varient de 1 4mm avec un pas de 1mm et de 6 8 mm avec un pas de 2mm. Les positions de la fissure sont choisies comme suit : 50mm, 200mm, 400mm, 600mm et 750mm partir de l extr mit encastr e.

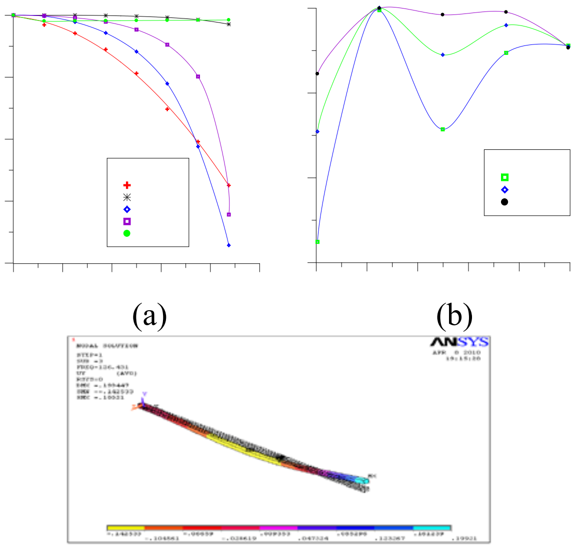
Les fr quences propres normalis es [5] des cas du barres fissur es sont obtenues pour des fissures situ es la distance normalis e c/l de l'encastrement avec une profondeur normalis e a/h. Les trois fr quences propres et normalis es f_{n1}, f_{n2}, f_{n3} sont d finies respectivement comme tant le rapport de la fr quence de la poutre fissur e f_i sur la fr quence propre de la poutre saine f_{i0} du premier, du deuxi me et du troisi me mode.

Les variations fr quences f_{n1}, f_{n2} et f_{n3} en fonction des rapports (a/h) pour diff rents rapports (c/l) sont respectivement pr sent s dans les figures 8, 9 et 10 (a).



(b)

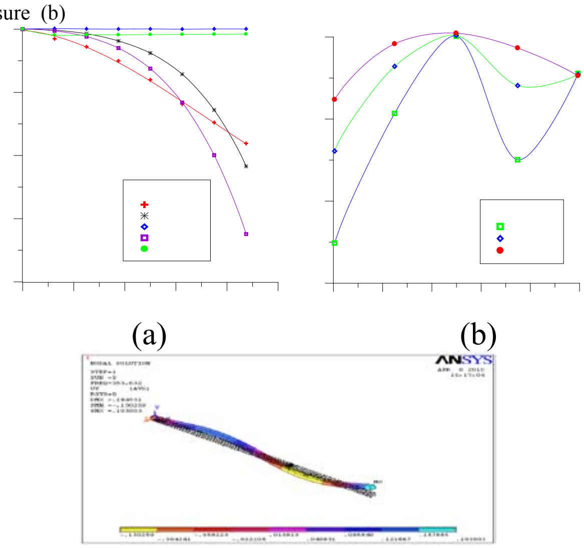
Figure 8 : ariation du rapport des fr quences (1 r mode) avec le rapport de profondeurs de la fissure (a) et avec le rapport de position de fissure (b)



(a) (b)

(c)

Figure 9 : ariation du rapport des fr quences (2 me mode) avec le rapport de profondeurs de la fissure (a) et avec le rapport de position de fissure (b)



(a) (b)

(c)

Figure 10 : ariation du rapport des fr quences (3 me mode) avec le rapport de profondeurs de la fissure (a) et avec le rapport de position de fissure (b)

III.3.1 Discussion des résultats

En observant les figures 8(a) et 8(b), on remarque que le taux de d croissance de la fr quence du premier mode est maximum pour c/l =0,0625 et c/l = 0.25. La fr quence normalis e d munie rapidement quand c/l augmente de c/l =0.25 c/l=0.75, et elle reste invariable pour les fissures situ es aux alentours de l extr mit libre (c/l=0.9375).

Dans la figure 9 (a et b), on observe que la diminution du taux de d croissance de f_2 est un peu significative quand l entaille est localis e proche des points c=800mm (c l=0.9375). Quand l entaille est localis e pr s de l'extr mit encastr e (c l=0.0625), la fr quence f_2 devient plus sensible et la diminution est plus significative, ce qui est confirm par la litt rature [5]. L'effet de l entaille sur le mode 2 est plus significatif c/l =0.5; cela est d au fait que le n ud du deuxi me mode est situ au point (c/l =0.783) et le ventre de la d form e modale est situ au point c/l =0.5.
L'effet de l entaille est maximum au premier mode et dans la position c/l= 0.0625. Ainsi, on peut conclure que le 1 r mode est le plus sensible.

La diminution de la fr quence fondamentale est importante quand la fissure est situ e pr s de l encastrement (effet du moment de flexion).
A partir des r sultats trouv s, on peut conclure que la diminution des fr quences est plus importante quand l entaille est localis e dans les positions des ventres des d form es modales (figures 8(c), 9(c) et 10(c)). L ampleur de ces changements de fr quences propres d pend de la position de la fissure par rapport l endroit des n uds modaux.
Le mode 3 est moins affect , il est presque insensible l existence de l entaille au milieu de la poutre et l extr mit libre, il change rapidement quand la fissure est situ e aux alentours de 250mm et beaucoup plus aux environs de 640mm comme il est montr dans les Figures 10 (a) et 10 (b).
A partir des observations pr c dentes, on peut conclure que l'emplacement et la profondeur de l entaille ont une influence sur les fr quences de la poutre fissur e. Ainsi une certaine fr quence peut correspondre diff rentes profondeurs et diff rents endroits de fissure.

CONCLUSION

L investigation num rique de la variation des param tres des fr quences modales et des d form es modales suite la pr sence des fissures montre que la variation des fr quences propres suite la pr sence des fissures est plus stable et plus r v lateur de l effet de fissuration, le param tre de la d form e modale est plus difficile acqu rir, sa variation suite la fissuration a montr moins de performance.

REFERENCES

[1] J. Morlier, M thodes d analyse des d form s modales par traitement de signal pour le diagnostique in situ des structures, Th se, Universit de Bordeaux, 2005.

[2] Genevaux, Dynamique des structures, m thodes approch es, cin matiques; analyse Modale; Recalage de Mod le, , Ensim, 2008.

A. K. Batabya, Crack detection in cantilever beam using vibration response, , Haldia Institute of Technology, ibration Problems ICO P, India, 2007.

[4] N. Mellal, Identification des Dommages dans les Barres d Acier en Employant des Indices Bas s sur l Analyse Modale Exp rimentale et Num rique, , M moire de Magist re, Universit de Blida, 2010.

[5] G.M. Owolabi, Crack detection in beams using changes in frequencies and amplitudes of frequency response functions , Journal of sound and vibration, 2002.