
Identification des caractéristiques dynamiques d'un modèle réduit par la technique « input-output »

HAMDAOUI Karim^{1*}, BOUMECHRA Nadir¹ et AYAD Mohammed¹

¹ Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, B.P. 230, Chetouane, Tlemcen, Algérie, *karim@univ.tlemcen.dz

RÉSUMÉ. Cette contribution résume une application expérimentale basée sur la détection de la signature vibratoire d'un portique en acier par la technique d'identification appelée « input-output ». Pour cela, un test sur table vibrante est réalisé sur la structure réduite sous une excitation dynamique harmonique. La réponse dynamique est mesurée par des accéléromètres uni-axiaux répartis sur le portique étudié. L'analyse des résultats, par le logiciel MATLAB, a permis l'identification des caractéristiques dynamiques (périodes, fréquences et modes propres de vibration) de la structure. Un modèle tridimensionnel en éléments finis est ensuite construit et calibré en fonction des caractéristiques dynamiques préalablement identifiées. La comparaison entre le résultat expérimentalement détecté et celui numériquement construit a permis la validation de la technique d'identification proposée.

ABSTRACT. This contribution summarizes an experimental application based on the detection of the vibratory signature of a steel frame using the so-called "input-output" identification technique. For this, a shaking table test is performed on the reduced structure under a harmonic dynamic excitation. The dynamic response is measured by uni-axial accelerometers distributed over the studied frame. The results analysis, by the MATLAB software, allowed the identification of the dynamic characteristics (periods, frequencies and mode shapes) of the structure. A three-dimensional finite element model is then constructed and calibrated according to the previously identified dynamic characteristics. The comparison between the experimentally detected result and those numerically constructed allowed the validation of the proposed identification technique.

MOTS-CLÉS : vibration, identification, input-output, table vibrante.

KEY WORDS: vibration, identification, input-output, shaking table.

1. Introduction

L'identification des systèmes (IS) [LJU 87] est le domaine qui traite le problème de la construction des modèles mathématiques des systèmes dynamiques en se basant sur des données observées à partir des systèmes étudiés. L'IS est une technique qui permet à l'ingénieur de détecter les caractéristiques dynamiques réelles d'une structure et de contrôler par la suite l'état de sa « santé » ainsi que son niveau d'endommagement. Le contrôle de la santé de la structure n'est que la comparaison des résultats de l'identification de la structure durant le cycle de vie de l'édifice.

A travers cette contribution, l'identification des caractéristiques dynamiques (fréquences, périodes et modes propres) d'un portique en acier réalisé au laboratoire, est présentée lorsqu'il est testé sur une table vibrante. La signature vibratoire ainsi définie servira comme base pour la construction et la calibration d'un modèle en éléments finis. La concordance entre les résultats numériquement trouvés et ceux du test expérimental permettra de valider la technique de l'identification des systèmes dite « input-output » (input : excitations dynamique, output : réponse enregistrée).

2. Identification d'un modèle

Basées sur la nature du type de l'excitation de la structure, les techniques d'identification du système peuvent être classées en deux approches principales ; « input-output » et « output-only ». L'approche « input-output » nécessite l'utilisation d'une chaîne d'instrumentation pour l'excitation de la structure afin de mesurer la vibration, acquérir les données et traiter le signal [FRI 07]. Pour exciter les structures de génie civil, on fait appel fréquemment aux tests comme « le marteau d'imputions », « l'agitateur électrodynamique », « le vibreur à masse excentrique » ou « la table vibrante ». La deuxième approche « output-only » est utilisée lorsque l'information sur l'excitation de la structure n'est pas disponible. Dans ce cas, on utilise l'algorithme de calcul inverse pour déterminer ses caractéristiques dynamiques (fréquences, périodes et modes propres). Dans notre travail, la première approche (input-output) est utilisée.

2.1. Description de la structure

La technique d'identification « input-output » est proposée pour extraire les caractéristiques dynamiques d'un portique métallique composé de trois niveaux, testé sur une table vibrante. Ce système avait un poteau du premier niveau supposé endommagé et ceci en libérant volontairement son ancrage horizontal à la base (figure1) [AYA 12]. Ce modèle réduit à une hauteur de 38cm pour chacun niveau. Les niveaux sont séparés par des plaques en acier qui jouent le rôle de planchers d'une section de 30x60cm², une épaisseur de 3cm et un poids de 50kg. Le poids total de la structure est de 150kg. Un accéléromètre est fixé sur chaque plaque, de plus, un quatrième est positionné sur la table vibrante afin de suivre le signal de l'excitation. Il est à noter que lors du test, les barres de contreventement montrées sur la figure ci-dessous (figure 1a) ont été éliminées et ceci dans le but de pouvoir détecter clairement les différents modes de vibration.



(a)



(b)

Figure 1. Le portique en acier monté sur la table vibrante (a) et son modèle en éléments finis (b).

2.2. Procédure du test et acquisition des données

Le test expérimental a été effectué sur une table vibrante d'une dimension de 1x1m² au laboratoire de mécanique structurelle de l'université de Pavie en Italie. Le modèle réduit a été sollicité par une excitation sinusoïdale avec trois différentes amplitudes (0,5; 1 et 2m/s²). La réponse du modèle a été enregistrée en utilisant les trois accéléromètres uni-axiaux de type Episensor ES-U2 placés sur chaque niveau du modèle. Les données ont été échantillonnées à 250 enregistrements par seconde, soit un intervalle de 0,004 secondes. Ceci nous a permis de recueillir un maximum de données pour une identification précise des signaux modaux. La réponse, en accélérations uni-axiales suivant le sens de l'excitation, a été enregistrée sur une durée totale de 17 minutes. La

figure 2 montre le signal d'entrée (input, à gauche) selon l'accéléromètre positionné sur la table vibrante ainsi que les signaux de sortie (output, à droite) détectés par les trois accéléromètres sur les planchers.

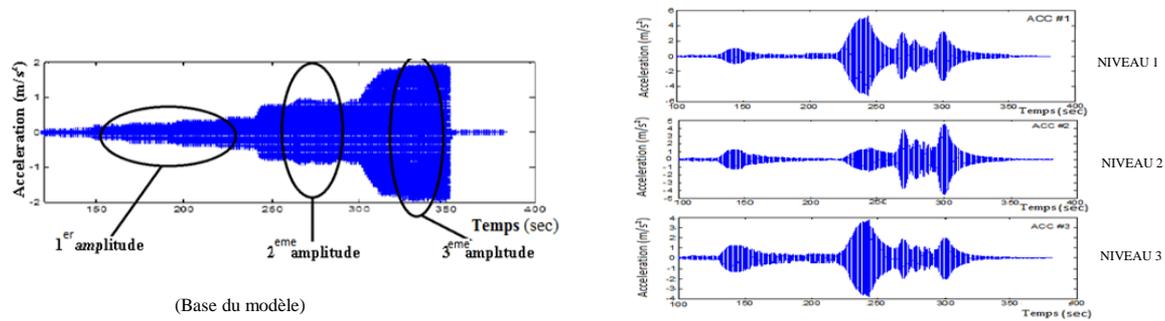


Figure 2. Signaux (accélérations) détectés par les 4 accéléromètres.

2.3. Résultats de l'identification

Le logiciel MATLAB a été utilisé pour l'extraction des différentes fréquences propres du modèle étudié à partir du signal enregistré (output). Les pics dans la figure 3 représentent les fréquences détectées pour chacun des 3 enregistrements par les 3 accéléromètres. Le tableau 1 résume les 5 premières fréquences et modes propres expérimentalement détectés et donne une estimation de leurs valeurs moyennes.

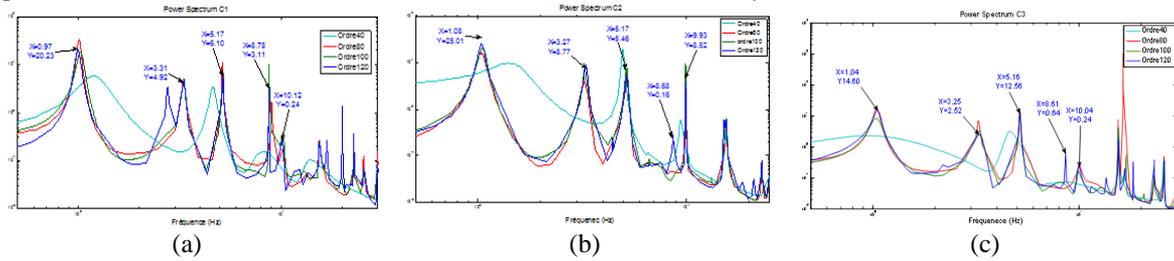


Figure 3. Fréquences détectées par (a) l'accéléromètre 1, (b) l'accéléromètre 2 et (c) l'accéléromètre 3.

Tableau 1. Les 5 premières fréquences et modes propres expérimentalement détectés.

Mode	Accéléromètre 1		Accéléromètre 2		Accéléromètre 3		Moyenne	
	Fréquence (Hz)	Période (Sec)	Fréquence (Hz)	Période (Sec)	Fréquence (Hz)	Période (Sec)	Fréquence (Hz)	Période (Sec)
1	0,97	1,03	1,08	0,93	1,04	0,96	1,03	0,97
2	3,31	0,30	3,27	0,31	3,25	0,31	3,28	0,31
3	5,17	0,19	5,17	0,19	5,16	0,19	5,17	0,19
4	8,78	0,11	8,68	0,12	8,61	0,11	8,69	0,12
5	10,12	0,10	9,93	0,10	10,17	0,10	10,07	0,10

2.4. Construction du modèle en éléments finis

Dans cette phase, un modèle tridimensionnel en éléments finis de la structure a été construit en utilisant le logiciel SAP2000. Ses paramètres ont été calibrés, par la modification du module d'élasticité des barres, de manière à correspondre aux résultats déterminés par le test expérimental sur la table vibrante. La figure 4 montre les 5 premiers modes propres de vibration de la structure et le tableau 2 regroupe les fréquences et périodes des modes déterminés numériquement.

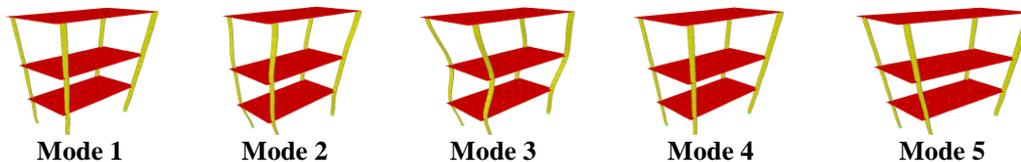


Figure 4. Modes de vibrations de la structure.

Tableau 2. Résultats des fréquences et des périodes propres numériquement obtenus.

Mode	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
Fréquence (Hz)	1,04	3,28	5,43	9,94	13,05
Période (sec)	0,95	0,30	0,18	0,10	0,07

2.5 Comparaison entre les résultats mesurés et numériques

La comparaison entre les fréquences et périodes propres expérimentalement identifiées ou mesurées et celles numériquement évaluées pour les 5 premiers modes de vibration est indiquée dans le tableau 3. La même comparaison est donnée sous forme d'histogramme dans la figure 5.

Tableau 3. Comparaison des fréquences et périodes mesurées et numérique des 5 premiers modes.

Mode	Fréquence (Hz)		Période (Sec)		Erreur
	Mesurée	M.E.F.	Mesurée	M.E.F.	
1	1,03	1,04	0,97	0,97	0%
2	3,28	3,28	0,30	0,30	0%
3	5,17	5,43	0,19	0,18	5%
4	8,69	9,94	0,12	0,10	14%
5	10,07	13,05	0,10	0,08	29%

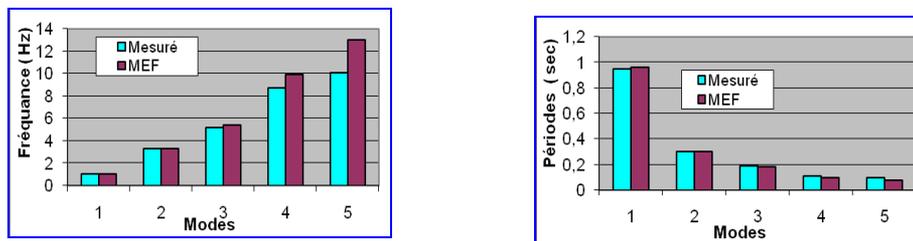


Figure 5. Comparaison des fréquences et périodes propres mesurées et numérique des 5 premiers modes.

2.6. Discussion des résultats

Une bonne concordance est clairement remarquée entre les valeurs numériquement trouvées et celles expérimentalement identifiées vu que l'erreur maximale aperçue est assez faible. Pour le 5^{ème} mode, la différence atteint 29%. Ceci est dû au fait que la structure est en acier et aussi probablement causée par l'effet des assemblages des éléments structurels entre éléments et au niveau des appuis. Il est à noter aussi que la participation de la masse sur les trois premiers modes dépasse les 90% de la masse de la structure, ceci nous permet de conclure que le modèle en éléments finis construit peut être validé par les résultats des essais sur la table vibrante développée par la technique « input-output ».

3. Conclusion

Cette étude expérimentale a permis la détection de la signature vibratoire d'un portique en acier de trois niveaux ayant un endommagement dans l'un de ses poteaux. Par l'application de l'excitation dynamique sinusoïdale (qui servait comme un signal « input »), les périodes, fréquences et modes propres de vibration ont pu être déterminés en analysant la réponse (qui servait comme signal « output ») mesurées par les trois accéléromètres uni-axiaux. Le modèle en éléments finis a été construit en se basant sur le résultat expérimentalement détecté pour un calage modal. Le taux d'erreur relevé était assez faible. Ce travail est introductif à d'autres travaux dans le domaine du contrôle de la santé des structures réelles ainsi que dans celui de la détection des changements ou endommagements dans les éléments structuraux.

4. Bibliographie

- [AYA 12] AYAD M., « Contrôle de santé d'une structure excitée par des vibrations ambiantes », Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2012.
- [FRI 07] FRISWEL M.I., « Damage identification using inverse methods », *Phil. Trans. R. Soc. A*, 2007, vol. 365, p. 393-410.
- [KUL 03] KULLA J., « On-line structural health monitoring », *Proceedings of the 3rd World Conference on Structural Control*, Como, Italy; 2003, vol. 3, p. 133-138.
- [LJU 87] LJUNGL., « System identification : theory for the user », New Jersey, Prentice Hall. Englewood Cliffs, 1987.