

ANALYSE VIBRATOIRE D'UN IMPACT ENTRE UNE PLAQUE EN COMPOSITE DE TYPE VERRE/POLYESTER ET UN PROJECTILE EN ACIER

A. BAKHTI

Département de Génie Mécanique, Laboratoire des Matériaux de Hydrologie, Université de Sidi Bel-Abbès, BP 89, Cité Ben M'hidi, Sidi Bel-Abbès, 22000, Algérie + bakhti.amine@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser les réponses vibratoires d'un impact entre un projectile en acier et une plaque composite de type verre/polyester soumise aux conditions hygrothermique avec différents niveaux d'énergies. Grâce à un système d'acquisition, un traitement du signal de la force de contact et de l'accélération de l'impacteur est effectué dans le but de déduire les oscillations des réponses analysées. Celles-ci sont dues aux vibrations du système impacteur/structure. L'analyse des vibrations par le calcul de la transformée de fourier appliquée aux oscillations de la force de contact permet de définir les fréquences de résonance de la plaque pour les différents niveaux d'énergies dans le but de déterminer leurs influences sur la fréquence. Le calcul de la FRF (fonction de réponse fréquentielle) à partir des réponses obtenues permet de déduire l'amortissement du matériau composite impacté.

Mots clefs : *Composites, impact, vibrations, fréquence.*

1. Introduction

En mécanique, le choc correspond à l'application d'une force importante durant un temps court, généralement accompagné d'un brusque changement de vitesse [1]. Un impact peut être défini comme le cas particulier d'un choc d'un projectile sur une surface. Les impacts à fortes énergies entraînent des perforations causant des dégâts graves. Néanmoins, il ne faut pas négliger les impacts à faible énergie qui provoquent des fissures et des endommagements à l'intérieur des composites.

Durant ces dernières années, plusieurs travaux de recherches [2], [3] et [4] ont été menés pour analyser le comportement des matériaux composites soumis aux impacts. Le but étant d'une part, de construire des structures plus tolérantes aux dommages et d'autre part de minimiser l'effet de ce type de sollicitation.

S. Abrate [1] est utilisé des modèles mathématiques pour faire une analyse dynamique de phénomène d'impact dynamique entre un projectile et une structure composite.

2. Essais d'impact

2.1 Le matériau

Les éprouvettes d'impact sont découpées dans des plaques en verre/polyester élaborée avec la séquence d'empilement suivante $[0_3/90]_s$. Leurs dimensions sont les suivantes : $150 \times 100 \times 4,5$ mm³. Elles sont posées sur des appuis simples le long de la largeur à distance de 15mm des bords.

2.2 Dispositif d'impact

Les essais d'impact sont effectués sur un tour de chute [5]. Ce dispositif est constitué d'une masse tombante de 1.852 Kg (impacteur), guidée par deux colonnes parallèles. L'extrémité de la masse de l'impacteur est constituée d'un embout hémisphérique en acier de 16mm de diamètre. Le dispositif permet d'utiliser des hauteurs de chute paramétrables. Un capteur d'effort piézoélectrique et un accéléromètre fixés sur l'impacteur permettent respectivement de mesurer l'effort généré pendant l'essai d'impact et l'accélération de l'impacteur.

3. Résultats

Les essais d'impact ont été effectués avec deux niveaux d'énergies. La même masse tombante ($M=1,852$ Kg) est utilisée mais avec deux hauteurs différentes: 09,08 joules (correspondant à une hauteur de 0,50m) et 13,62 joules (correspondant à une hauteur de 0,75m).

3.1 Réponse vibratoire de la force de contact

Un capteur de force piézoélectrique fixé juste au-dessus de l'impacteur permet de mesurer directement la force de contact grâce à un système d'acquisition approprié. La figure 1 montre l'évolution de la force de contact en fonction du temps pour deux niveaux d'énergie d'impact.

Lors de la montée en charge (phase de chargement) l'augmentation d'énergie d'impact entraîne l'augmentation de la force d'impact. Lors du déchargement, une chute importante de la force de contact est observée. Elle correspond à la perte de contact. Il est remarquable d'une présence des oscillations, ces oscillations sont dues à la mise en vibration de la plaque lors d'essai d'impact.

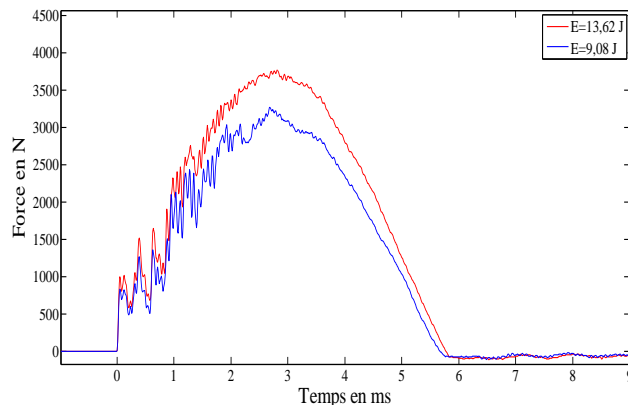


Figure 1. Evolution temporelle de la force de contact pour deux niveaux d'énergie d'impact.

3.2 Analyse des oscillations de la force d'impact

Après le filtrage des signaux des forces brutes, on extraites les oscillations de ces réponses pour les deux niveaux d'énergies d'impact utilisées. Ces oscillations sont les amplitudes par rapport à la force filtrée. La figure 3 récapitule les deux résultats correspondant aux oscillations de la force de contact.

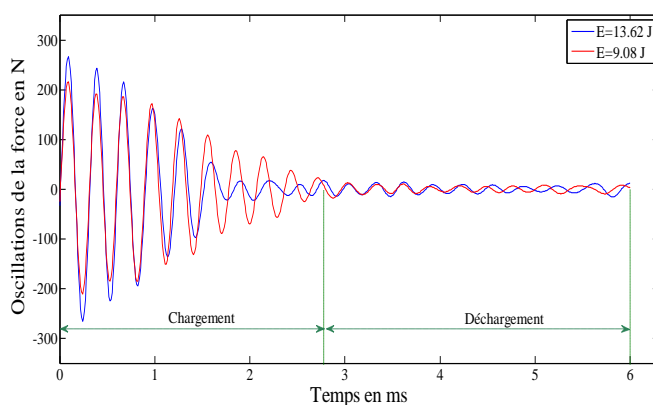


Figure 3. Oscillations de la force d'impact pour les deux niveaux d'énergie d'impact.

Les amplitudes des oscillations de la force de contact sont dues aux vibrations du système impacteur/structure. Leurs amplitudes sont différentes d'un essai à un autre et dépendent du niveau d'énergie appliquée. La figure 3

montre que les amplitudes des oscillations de la force de contact sont proportionnelles au niveau d'énergie.

3.3 Analyse des oscillations de l'accélération

La figure 4 représente les oscillations de l'accélération obtenues après un filtrage du signal de l'accélération. Le niveau d'énergie d'impact influe sur l'amplitude des oscillations de l'accélération en entraînant l'accroissement de sa valeur maximale.

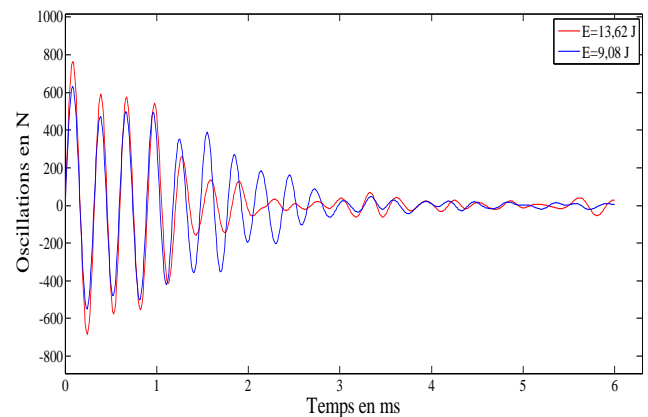


Figure 4. Oscillations de l'accélération pour les deux niveaux d'énergie d'impact.

4. Détermination expérimentale des fréquences propres

L'analyse des vibrations par le calcul de la transformée de Fourier (FFT: Fast Fourier Transform) appliquée aux oscillations de la force de contact permet de définir les fréquences de résonance propres de la plaque. La figure 5 représente la réponse en vibration de l'impact en fonction de la fréquence de la plaque en composite sollicitée au deux niveau d'énergie (deux hauteurs de chutes). Les pics présentés sur les spectres de la figure 5 correspondent aux fréquences de résonance de la plaque composite impactée. Les courbes montrent une réduction des fréquences de résonance avec l'augmentation du niveau d'énergie. Le tableau 1 montre que les niveaux d'énergies et les fréquences de résonances sont proportionnellement inverses. Ceci s'explique par une perte de rigidité de la plaque composite engendrée par l'effet d'endommagement de la structure.

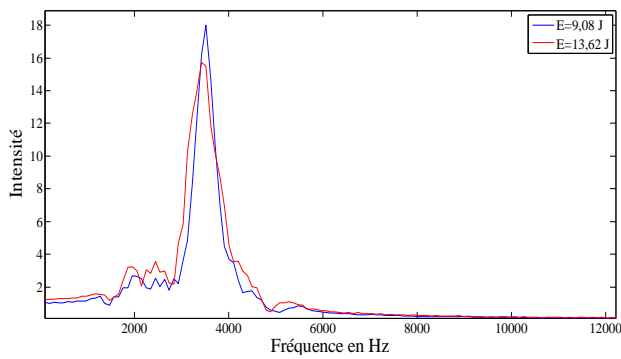


Figure 5. Transformation de Fourier des oscillations de la force pour les deux niveaux d'énergie d'impact.

Niveau d'énergie (J)	13.62	9.08
Fréquence de résonance (Hz)	3418	3515

Tableau 1. Variation des fréquences propres en fonction de niveau d'énergie.

5. Fonction de réponse fréquentielle

Cette fonction est souvent utilisée dans les problèmes dynamiques tels que les phénomènes d'impact à basse énergie. C'est une mesure de la quantité de déplacement, de vitesse, ou d'accélération de la structure en sortie, par unité de force d'excitation en entrée. D'autres références [6] définissent la FRF comme étant le rapport de la transformée de Fourier d'une réponse en sortie $X(\omega)$ divisée par la transformée de Fourier de la force d'entrée $F(\omega)$ (Figure 6).

Par un essai d'impact, on peut obtenir la FRF à partir des réponses mesurées (déplacement, déformation, accélération et la force de contact) en utilisant la transformée de Fourier. La FRF de la force d'impact et de l'accélération de l'impacteur a été calculé en utilisant des résultats expérimentaux de la littérature [5]. Le calcul d'une FRF est représentée par l'évolution de son amplitude en fonction des fréquences (Figure 7) à travers de la méthode impulsionnelle [7]. Le tableau 2 compare les valeurs de l'amortissement calculé en fonction du niveau d'énergie. L'amortissement est calculé à partir du graphe de la FRF à l'aide de la méthode dite de la demi-puissance ou largeur de bande à -3dB (méthode impulsionnelle). D'après les résultats obtenus, la valeur de l'amortissement est proportionnelle au niveau d'énergie.

Niveau d'énergie (J)	9.08	13.62
Facteur de perte (%)	0.10	0.14

Tableau 2. Valeurs de l'amortissement pour les deux niveaux d'énergie.

6. Conclusion

Les résultats expérimentaux [4] sont utilisés dans le but de déduire les oscillations des forces d'impact et ainsi les accélérations. Les amplitudes maximales des oscillations sont proportionnelles au niveau d'énergie. L'application de la transformée de Fourier aux oscillations a permis d'obtenir les fréquences de résonance de la plaque pour deux niveau d'énergie. Ces fréquences sont proportionnellement inverses au niveau d'énergie. Ceci s'explique par une perte de rigidité de la plaque composite engendrée par l'endommagement de la structure. Le calcul de FRF a permis de calculer les valeurs des amortissements. Ceux-ci diminuent lorsque le niveau d'énergie augmente.

REFERENCES

- [1] Brossard J.P., *Mécanique générale - Dynamique : théorie classique du choc*, Techniques de l'ingénieur.
- [2] Serge Abrate, *Modeling of impacts on composite structures*, department of technology, college of engineering, Southern Illinois university, Carbondale, IL 62901-6603, USA, *composite structures* 51 (2001): 129-138.
- [3] Andreas P. Christoforou, Ahmet S. Yigit, *Scaling of low-velocity impact response in composite structures*, Department of Mechanical Engineering, Kuwait University, P.O. Box 5969, Safat 13060, Kuwait, *Composite Structures* 91 (2009): 358-365.
- [4] Ik Hyeon Choi, Cheol Ho Lim, *Low-velocity impact analysis of composite laminates using linearized contact law*, Smart UAV Development Center, Korea Aerospace Research Institute, 45 Eoeundong, Yuseong-gu, Daejeon 305-333 South Korea, *Composite Structures* 66 (2004): 125-132.
- [5] Boukhoulda F.B & all, *Aging-impact coupling based analysis upon glass/polyester composite material in hygrothermal*, Journal of materials and design, Vol. 32 (2011), pp.4080-4087.
- [6] B. J. Schwartz and M. H. Richardson, *Experimental modal analysis*, CSI Reliability week, Orlando, FL, Octobre 1999.
- [7] Crane R. M. et J. W. Gillespie Jr. *Characterization of the vibration damping loss factor of glass and graphite fiber composite*". Composites Science and Technology, 40, pp 355-375.