

Oscillations parasites sous sollicitation rapide, illustration par le schéma de Tchamwa-Wielgosz et le Bulge test rapide

V. Grolleau¹, G. Rio¹, L. Mahéo²⁻³, B. Galpin², A. Penin¹

¹ LIMATB, Université de Bretagne Sud, France, {vincent.grolleau,gerard.rio}@univ-ubs.fr

² LMM, École Spéciales Militaires de Saint Cyr Coëtquidan, France, bertrand.galpin@st-cyr.terre.defense.gouv.fr

³ LAMEFIP, École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Bordeaux, France, laurent.maheo@lamef.bordeaux.ensam.fr

Résumé — L'application d'un chargement rapide provoque l'apparition d'oscillations des grandeurs mécaniques mesurées. En simulation numérique, le schéma des différences finies centrées peut être remplacé par un schéma amortissant comme celui proposé par Tchamwa et Wielgosz. Un nouvel essai de bulge test dynamique, réalisé aux barres de Hopkinson, est présenté et illustre les stratégies qui peuvent être mises en place pour ne pas subordonner la qualité des mesures aux oscillations parasites engendrées par la trop rapide évolution du chargement.

Mots clés — schéma explicite, bulge test, barres de Hopkinson.

1 Introduction

L'étude du comportement des structures et des matériaux aux hautes vitesses de déformation, le comportement dynamique également dénommé comportement sous sollicitation rapide, est celui de l'étude des impacts, du crash de structures, de la mise en forme rapide, de l'usinage... Une sollicitation mécanique est qualifiée de rapide dès lors que ses temps caractéristiques d'évolution sont de l'ordre de grandeur des temps de propagation des ondes dans la structure soumise au chargement. Cette définition fixe d'emblée un lien fort entre phénomènes de propagation et sollicitation rapide.

Pour des structures métalliques en acier ou en aluminium, de dimension caractéristique l de $10 \cdot 10^{-3}$ pour un échantillon à $10^0 m$ pour une structure, ces temps de propagation sont $l/\sqrt{E/\rho}$, sous l'hypothèse d'un milieu 1D élastique de module d'Young E et de masse volumique ρ , soit respectivement de l'ordre de 20 et $2000 \mu s$. Dans le cas d'un échantillon, il apparaît que la période d'échantillonnage des acquisitions est nécessairement de l'ordre de la μs pour être à même de mesurer sa réponse transitoire, et la fréquence excitée par la propagation de l'ordre de $25 kHz$. Cette fréquence rend impossible l'utilisation des cellules de force classiques dont la fréquence de résonance est généralement située entre 10 et $100 kHz$. Dans le cas de structures, le temps de propagation ne semble pas limitant, mais le temps caractéristique d'évolution du chargement pourra lui être très inférieur. Par exemple, dans le choc élastique de deux barres coaxiales, le temps d'établissement de la contrainte est de l'ordre de $10 \mu s$, soit sous les hypothèses précédentes une longueur d'onde de $50 \cdot 10^{-3} m$ ce qui conduit aux mêmes conclusions que précédemment. L'étude de la réponse de structures métalliques sous sollicitations rapide nécessitera donc des temps d'échantillonnage de l'ordre de la μs et une discrétisation spatiale à même de décrire des gradients forts sur des distances caractéristiques de l'ordre de $10^{-2} m$.

1.1 Schéma d'intégration temporelle explicite

Au niveau numérique, ces considérations conduisent le plus souvent à choisir un schéma d'intégration temporelle explicite, celui des différences finies centrée CFD, associé à une discrétisation par éléments finis. L'apparition de hautes fréquences parasites dans les signaux calculés conduit à ajouter une viscosité numérique à l'équation d'équilibre de manière à atténuer les effets de ces oscillations parasites. Basée sur les travaux de Von Neuman [1] et al. et Landshoff [2], cette méthode consiste à ajouter une pression numérique fonction linéaire et quadratique de la trace du taux de déformation. Cette méthode approuvée dans le milieu industriel est utilisée par défaut par de nombreux codes de calculs. Elle connaît toutefois des limites d'utilisation lorsque le champ de déformation n'est pas isochore, notamment dans

les cas de torsion ; et son efficacité amortissante est fonction des paramètres élastiques employés pour décrire le matériau. De plus, les conditions d'apparitions des oscillations parasites ne sont pas clairement établies.

Nous proposons dans cet exposé d'illustrer les conditions d'apparitions des oscillations parasites et de présenter les caractéristiques essentielles du schéma d'intégration temporelle explicite amortissant proposé par Tchamwa et Wielgosz [3]. L'efficacité amortissante de ce schéma est pilotée par l'unique paramètre φ , et son écriture au pas de temps n , pour un pas de temps Δt , tel que $t = n\Delta t$, avec q le degré de liberté en déplacement conduit à :

$$\begin{aligned}\dot{q}_{n+1} &= \dot{q}_n + \Delta t \ddot{q}_n \\ q_{n+1} &= q_n + \Delta t \dot{q}_n + \varphi (\Delta t)^2 \ddot{q}_n\end{aligned}\quad (1)$$

1.2 Essai de bulge test rapide

Sur un plan expérimental, l'exploitation de la propagation d'une unique onde élastique le long d'une barre élançée permet dans le montage des barres dites de Hopkinson de se prémunir de l'utilisation de capteurs de force et de déplacement. Mais son exploitation directe demeure limitée à l'emploi de géométries d'échantillons très simples comme des pions cylindriques de compression. Par ailleurs, les sollicitations rencontrées en mise en forme ou au cours de crash sont souvent multiaxiales et s'appliquent à des structures fines, alors qu'aucun essais rapide classique ne permet ce type de sollicitation. En 2008, Grolleau et al. [4] ont proposé un montage de bulge test rapide présenté Figure 1 intégré au sein d'un jeu de barres viscoélastiques de Hopkinson permettant une sollicitation en expansion biaxiale de tôles fines jusqu'à des vitesses de déformation équivalentes de $800s^{-1}$. L'exploitation de ces essais recourt à une identification paramétrique du comportement de la tôle via une simulation numérique de l'essai.

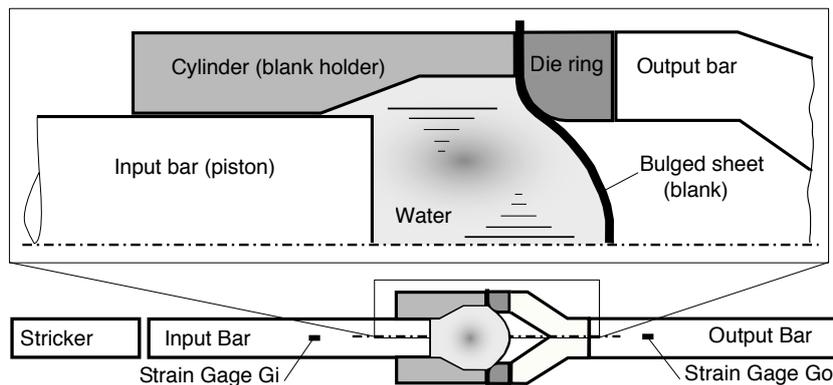


FIGURE 1 – Essai de bulge test rapide. La cellule est placée entre la barre d'entrée et la barre de sortie d'un banc de compression de Hopkinson.

Après un rappel des avantages et limitations essentiels de cet essai, nous montrerons son utilisation pratique et la mise en place du dialogue entre l'essai et la simulation dans ce cas particulier d'essai rapide.

Références

- [1] Von Neuman, J. and Richtmeyer, R.D. *A method for numerical calculation of hydrodynamic shocks*, Journal of Applied Physics, 232-237, 1950.
- [2] Landshoff, R.. *A numerical method for treating fluid flow in the presence of shocks*, technical report, Los Alamos National Laboratory , 1955.
- [3] Rio, G. and Soive, A. and Grolleau, V. *Comparative study of numerical explicit time integration algorithms*, Advances in Engineering Software, 252-265, 2005.
- [4] Grolleau, V. and Gary, G. and Mohr, D. *Biaxial Testing of Sheet Materials at High Strain Rates Using Viscoelastic Bars*, Experimental Mechanics ,293–306 , 2008.