

# Effet de la durée d'impulsion et la forme sur flambage dynamique des panneaux raidis sous compression axiale

O. MOUHAT<sup>a</sup>, A. KHAMLI<sup>a</sup>, A. EL GOULBZOURI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departement de physique, Faculté des Sciences, M'Hannech 93002, Tétouan, Maroc.

<sup>b</sup>Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Al Hoceima, BP: 03, Ajdir - Al Hoceima, au Maroc.

## Résumé :

*Ce papier présente le flambage dynamique des panneaux raidis est analysé numériquement grâce à une formulation incrémentale non linéaire utilisant la procédure d'intégration explicite en temps sous la logiciel Abaqus. Fixation la durée d'impulsion et l'ampleur de la déviation initiale ainsi que le rapport de la dégradation des matériaux dans la zone affectée par la chaleur, la charge de flambage dynamique a été identifiée pour chaque configuration donnée. Ce processus a permis la dérivation d'un modèle de surface de réponse qui a été utilisé avec la méthode de Monte Carlo pour déterminer la fiabilité du panneau raidi en ce qui concerne l'état de flambage dynamique.*

*Le critère de flambement Budiansky et Roth a été utilisé pour prédire l'instabilité sous une donnée modèle de charge dynamique. Différents profils y compris rectangulaire, triangulaire, double-triangulaire et demi-sinus ont été examinées. Les résultats obtenus ont montré que tant la durée d'impulsion et la forme d'impulsion ont un effet drastique sur la force de flambage. Pour la limite considérée conditions, des impulsions ayant des périodes qui sont comparables à deux fois la période de la première mode propre de vibrations ont été trouvés pour réduire la résistance à la déformation à 67% du statique flambage valeur dans le régime en plastique élastique et 44% dans le régime élastique.*

## Abstract:

*This paper present the dynamic buckling of stiffened panels is analyzed numerically through a nonlinear incremental formulation using explicit time integration procedure in Abaqus software. Attaching the pulse duration and the extent of the initial deflection and the report of the degradation of materials in the area affected by the heat, the dynamic buckling load was identified for each given configuration. This process allowed the derivation of a response surface model which has been used with the Monte Carlo method to determine the reliability of the stiffened panel as regards the state of dynamic buckling. Buckling criterion Budiansky and Roth was used to predict the instability under a given dynamic load model. Different profiles including rectangular, triangular, double-triangular, half-sine were examined. The results showed that both the pulse duration and the pulse shape have a drastic effect on the buckling force. For the limit considered conditions, pulses having periods that are comparable to twice the period of the first own vibration mode have been found to reduce the resistance to deformation to 67% of the value of static buckling in the elastic plastic regime 44% in the elastic regime.*

**Mots clefs : Flambage dynamique, panneau raidi, durée d'impulsion, forme d'impulsion, imperfections géométrique.**

## 1 Introduction

La Stabilité des panneaux raidis est une préoccupation majeure dans les nombreuses applications d'ingénierie tels que marine et de l'aéronautique [1,2]. Comme les structures modernes sont de plus en plus conçus pour être légers et ayant à paroi mince forme, les risques flambage constitue un réel problème d'entreprendre tout la gestion d'augmenter le rapport résistance-poids. Panneaux raidis sont des structures qui permettent amélioration de la résistance pour un poids donné. Mais, ils sont soumis en service la vie à divers conditions de chargement statiques ou dynamiques et peuvent souffrir de diverses modifications résultant de la dégradation des matériaux ou les imperfections géométriques initiales.

Flambement statique a été étudié de façon approfondie de différents types de structures qui sont susceptible de subir des instabilités sous la charge appliquée en service et est maintenant relativement bon sujet compris [3]. Flambement des structures sous l'action des charges dynamiques que sont soudainement appliquée n'a pas encore reçu la même quantité d'attention, même si dans la pratique ce type de chargement se produit très fréquemment, en particulier pour les navires et avions [4,5].

Dans la littérature les différentes approches ont été présentées par divers auteurs pour décrire comment la charge de flambage dynamique peut être évaluée. Simitses [6] a classé les différents concepts utilisées pour l'estimation des conditions critiques pour les systèmes élastiques soudainement chargés dans deux approches principales: équations de méthodes basées sur le mouvement et les méthodes de l'énergie sur la base.

L'approche énergétique est applicable principalement aux systèmes conservateurs ayant un faible nombre de degrés de liberté, alors que l'approche utilisant les équations du mouvement [7] semble être plus adaptée aux structures continues comme les panneaux raidis qui se caractérisent par un grand nombre d'intervenir degrés de liberté. Dans cette dernière approche, les équations régissant le problème d'instabilité sont résolues pour les différentes valeurs de paramètres définissant le chargement pour obtenir la réponse du système.

Le paramètre de charge au cours de laquelle un grand changement se produit dans la est appelé réponse critique. Cette approche est devenue importante dans le domaine du dynamique flambage en raison de sa capacité à être facilement adapté à des méthodes de calcul tel que les méthodes générales basées sur la modélisation par éléments finis.

Considérant le cas d'un faisceau impact Wooseok et Waas [8] ont montré que, contrairement à la cas statique, flambage dynamique entraîné localisées non uniformes formes de mode de boucle en raison de les interactions entre l'en-plan et hors du plan des réponses de déformation. Les auteurs a conclu que flambage dynamique ne peut pas être résolu en considérant uniquement flambage statique analyse comme flambage se est révélée être plus sévère. Flambage.

## 2. Modélisation raidit panneaux sous flambage dynamique

### 2.1 Géométrie et imperfections

Les imperfections géométriques initiales sont prises en compte dans la modélisation réelle de chargé dynamiquement du panneau raidi. On utilise la méthode des éléments finis. Un détaillée Description en ce qui concerne la formulation des éléments finis approprié à être utilisé pour le numérique modèle de problèmes enveloppe de flambement peut être trouvée dans [11]. Dans ce qui suit, l'élément de

coque S4R présenté dans le logiciel Abaqus est utilisé [12]. Cet élément a quatre nœuds avec six degrés de liberté à chaque nœud (les nœuds de translations  $x$ ,  $y$  et  $z$  directions et nodale rotations autour de ces axes).

Les contraintes résiduelles en développement après soudage processus induit des distorsions qui ont les principaux effets ci-dessous: retrait dans la direction transversale à la ligne de soudure, le retrait longitudinal parallèle à la ligne de soudure et de la rotation autour de la ligne de soudure. La forme ultime et l'ampleur de soudage induit des distorsions dépendent des paramètres réels de soudage, les matériaux utilisés, la conception géométrique du panneau étant assemblé et aussi sur les restrictions préventives appliqué pendant le soudage.

Afin de déterminant la répartition de l'imperfection géométrique initiale Qui est réellement impliqué, Mesures de distorsion Sont nécessaires versé les samplers suffisamment représentatifs du panneau. Ces données peuvent Être utilisées dans l'analyse par des éléments finis versé évalué l'effet de la formation initiale distorsions sur la résistance au flambage. Lillemäe et al. [13] Ont Mesuré ces imperfections géométriques Initiales, pour les deux panneaux assemble par soudure.

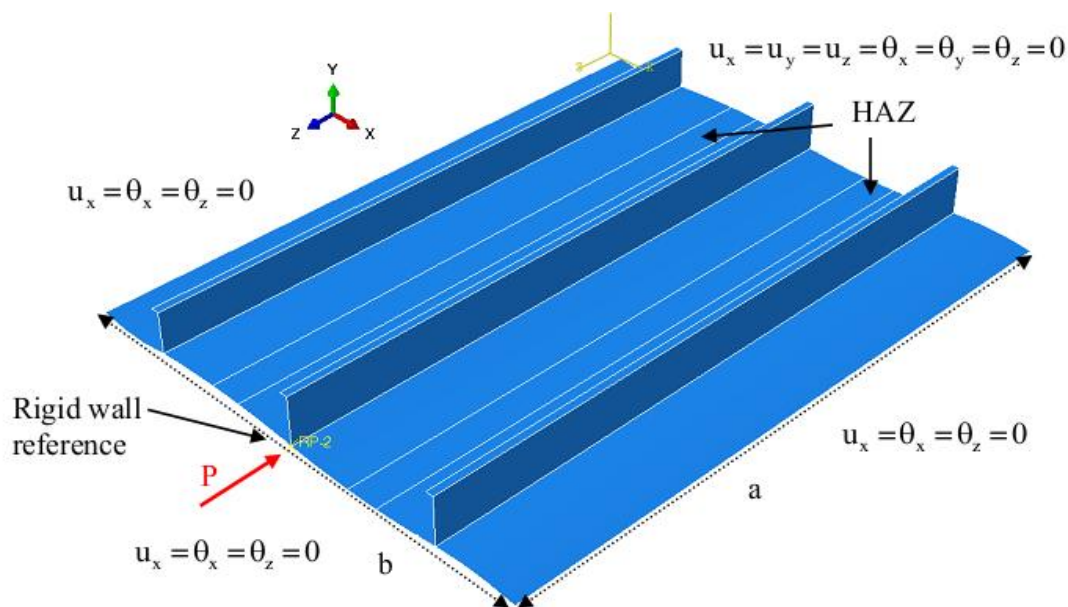


Figure 1: Configuration géométrique du panneau raidi et la limite considérée conditions

En désignant  $u_{\square}$  et  $\theta_{\square}$  les composantes de déplacement et les rotations, les conditions aux limites considérées dans les simulations numériques sont les suivantes. Les bords latéraux ont les conditions aux limites suivantes  $u_x = \theta_x = \theta_z = 0$ . Le bord  $z=0$  est supposé être parfaitement ancrée  $u_x = u_y = u_z = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$ , tandis qu'une charge uniforme appliqué  $P_z$  de bord  $z = a$  distribué sur le bord avec les conditions aux limites de la paroi rigide  $u_x = \theta_x = \theta_z = 0$ .

Les conditions aux limites considérées sont intermédiaires entre les deux cas limites: bords latéraux complètement fixes et ces bords entièrement fixer. Ainsi, la charge de flambage statique devrait être supérieure à celle des bords libres et inférieure à celle de bords fixes, tandis que cette instruction ne peut pas être extrapolée a priori pour le cas de flambage dynamique.

Dans ce qui suit, les imperfections résultant le soudage dans la direction transversale sont prises en compte et la déformation longitudinale est supposée être négligeable. Le panneau raidi imparfait considéré présente la configuration géométrique montrée dans la figure 1.

La longueur totale de la plaque de base est  $a=958\text{mm}$  et sa largeur est  $b=757.5\text{mm}$ . Le HAZ correspond à la bande centrale de chaque segment, qui est délimitée par deux lignes droites. Les matériaux en plaques et HAZ ont les mêmes épaisseurs qui sont  $t=4.9\text{mm}$  supposée être uniforme. Les raidisseurs sont des bandes en forme de L et avoir l'épaisseur constante  $t_w=2.95\text{mm}$ , la hauteur est  $h_w=64\text{mm}$ , l'épaisseur de la bride  $t_f=4.3\text{mm}$  et la hauteur de la bride  $b_f=12\text{mm}$ , voir la figure 2.

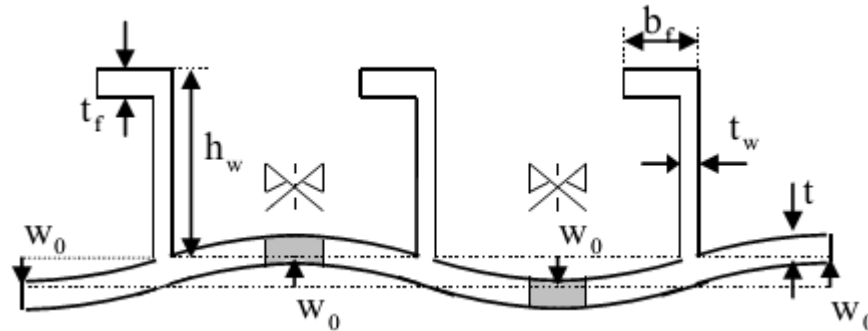


Figure 2: Les caractéristiques de la déformation initiale dans la direction transversale du panneau et les paramètres géométriques des raidisseurs

La peau de la plaque est supposée avoir une distorsion initiale en raison de soudage. Cette distorsion est censée être représentée par une courbure constante dans le sens transversal et qui est symétrique autour de la ligne de soudage. L'imperfection géométrique initiale résultant de processus de soudage est modélisée comme représenté sur la figure 2.  $w_0$  L'amplitude de cette imperfection est fixée à la valeur  $6\text{mm}$ . Cette valeur est du même ordre que l'épaisseur de la plaque de la peau. Il a été volontairement fixé comme ceci pour ce panneau raidi notamment afin de souligner phénomène de flambage dynamique. Pour amplitudes  $w_0$  qui sont plus petits que  $5\text{mm}$ , flambage dynamique sera en fait marginal comme il se produira toujours avec les charges critiques qui sont plus élevés que ceux statiques. Cette remarque est tout à fait générale dans le domaine de flambage dynamique touchant la plaque comme des structures, car il serait significatif que dans la présence de suffisamment grandes imperfections géométriques initiales [14].

### 3. Critère de flambage dynamique

Dans la divers littérature les critères ont été proposés pour évaluer la stabilité dynamique de flambage. Le plus utilisé est cependant le critère de Budiansky-Roth [7]. Dans ce critère, il est supposé que l'instabilité se produit lorsque la vitesse de déplacement est la plus élevée pour une force fixe incrémenter. Cela peut également être identifié en tant que la charge la plus basse à laquelle il existe un grand brusque changé dans la réponse transitoire. La valeur critique de la charge dynamique correspondant à la perte de la stabilité peut être trouvée en dessinant des courbes paramétriques donnant le fin raccourcissement comme une fonction du temps pour différents paramètres de charge.

Dans la suite, les conditions critiques pour le flambage dynamique sont estimées selon Budiansky et Roth jugement.

Pour comparer la charge de flambage dynamique et la charge de flambement statique, la charge dynamique est divisée par la charge statique plus faible, calculé au moyen de la méthode non linéaire incrémentiel fournies par la procédure standard statique / Riks de logiciel ABAQUS. Le même modèle est utilisé comme dans le problème dynamique en ce qui concerne la géométrie, les matériaux et les conditions aux limites, la charge statique flambage de bifurcation est  $P^{\text{stat}} = 875\text{kN}$ .

## 4. Résultats et conclusions

La procédure ABAQUS / Explicit du logiciel Abaqus est utilisée pour résoudre les équations du mouvement avec l'activation de l'option automatique d'incrémentation. La réponse dynamique en termes de fin raccourcissement est alors obtenue pour toute forme de paramètre de charge  $P_0$  et l'impulsion de chargement dynamique. La durée d'impulsion a été modifiée entre  $0.25T_0$  et  $2T_0$  avec  $T_0 = 9.575\text{ ms}$ . Avec DLF est le rapport de la charge statique sur la charge dynamique.

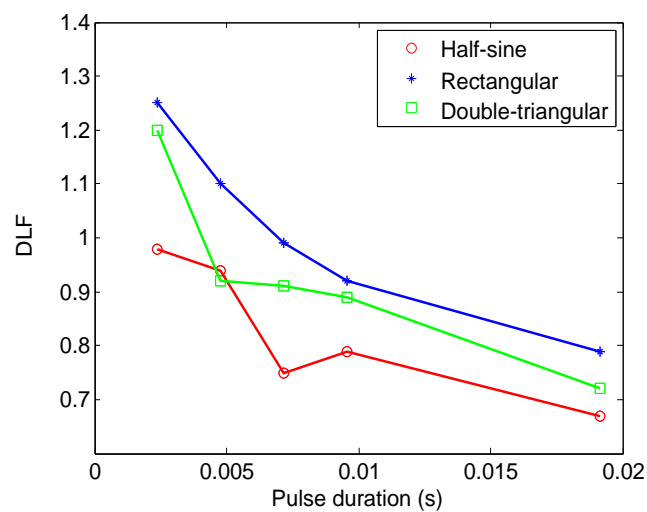


Figure 3: Analyse élastique-plastique; la DLF en fonction de la durée d'impulsion pour les formes d'impulsions considérées

Les résultats obtenus en termes de la DLF sont donnés dans la figure 3 pour l'analyse et la figure 4 élastique-plastique pour le cas élastique.

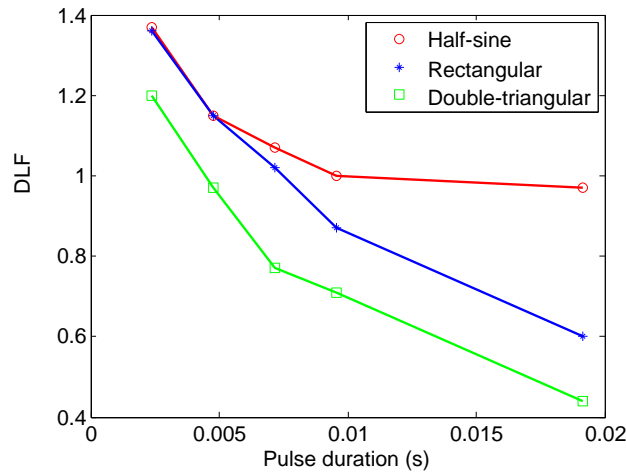


Figure 4: analyse purement élastique; DLF en fonction de la durée d'impulsion pour les formes d'impulsions considérées

Les figures 3 et 4 montrent qu'il existe des intervalles de la durée de l'impulsion pour laquelle le DLF est inférieure à 1, donc la charge de flambage dynamique est plus sévère que la charge de flambement statique. Cela se produit pour des périodes qui sont proches de la période de vibration libre fondamentale du panneau raidi lorsque  $T_0 = 0.009575$  s. La forme d'impulsion triangulaire ne semble pas comme il a toujours donné une charge de flambage dynamique avec une DLF qui était supérieure à 2. Les autres formes d'impulsion ont donné énorme réduction de la charge de flambement statique.

La figure 3 montre, dans le cas de l'analyse élastique-plastique, que l'impulsion demi-sinusoïdale offre une réduction plus forte de la charge de flambement. Elle est suivie par la forme triangulaire à double impulsion, puis l'impulsion rectangulaire. La réduction a atteint 67% pour la demi-impulsion sinusoïdale; 79% pour l'impulsion rectangulaire et 72% pour l'impulsion double triangulaire.

La figure 4 montre, dans le cas de l'analyse élastique, que la double impulsion triangulaire est une critique. La réduction a atteint 97% pour la demi-impulsion sinusoïdale; 60% pour l'impulsion rectangulaire et seulement 44% pour l'impulsion double triangulaire.

Ces résultats montrent que l'approximation de la charge dynamique par une forme d'impulsion rectangulaire ne donne pas toujours la plus grande réduction de la force de flambage. D'autre part, le comportement des matériaux affecte largement les résultats de charge de flambement. Plasticité apparaît à modérer la réduction de la charge de flambage lorsqu'elle passe de 44% à 67%.

## 5. Conclusions

Dans ce travail, flambage dynamique d'un panneau raidi longitudinalement a été analysée pour les deux comportements élastiques et élastique-plastique non linéaire en utilisant la modélisation par éléments finis. Le panneau raidi a été supposé être soumis à la compression dans le plan axial qui est produit par une impulsion courte appliqué sur un bord transversal du panneau raidi. Le bord opposé est encasté et les trois autres ont été assignés symétrie par rapport à la direction transversale de la peau du plaque. Appliquer divers chargement dynamique ayant demi-sinus, des formes triangulaires

rectangulaires, triangulaires ou doubles, et avec les divers durée d'impulsion a permis d'évaluer la force dynamique flambage considérées du panneau raidi. Ceci a été réalisé au moyen de ce critère de stabilité Budiansky et Roth. Les résultats obtenus ont montré que le cas de flambage dynamique la plus grave se produit lorsque la durée d'impulsion est proche de deux fois la période du premier mode propre de vibrations. Le facteur de charge dynamique a été jugé comme étant moins que 44% pour le régime élastique et environ 67% pour le régime élasto-plastique de déformations. Par conséquent, flambage dynamique peut être catastrophique pour les plaques raidies. Ce phénomène ne peut être entreprise par le biais de l'analyse statique, ou en fixant une forme d'impulsion ou de la durée d'impulsion priori. Études paramétriques approfondies devraient être considérées pour atténuer ce risque et garantir l'intégrité structurelle.

## Références

- [1] L.Ronning, A.Aalberg, PK.Larsen, An experimental study of ultimate compressive strength of transversely stiffened aluminium panels, *Thin Walled Structures* 48 (2010) 357-472.
- [2] Z.Sadovsky, AP.Teixeira, C.Guedes Soares, Degradation of the compressive strength of rectangular plates due to initial deflection, *Thin-Walled Structures* 43 (2005) 65-82.
- [3] J.Singer, J.Arbocz, T.Weller, Buckling experiments, experimental methods in buckling of thin walled structures, Shells, built-up structures, composites and additional topics, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2 (2002).
- [4] HE.Lindberg, AL.Florence, *Dynamic Pulse Buckling: Theory and Experiment*, M. Nijhoff, Boston, 1987.
- [5] C.Bisagni, Dynamic buckling of fiber composite shells under impulsive axial compression, *Thin-Walled Structures* 43 (2005) 499-514.
- [6] GJ.Simitses, *Dynamic stability of suddenly loaded structures*, Springer-Verlag, New York, 1990.
- [7] B.Budiansky, RS.Roth, Axisymmetric dynamic buckling of clamped shallow spherical shells, *Collected Papers on Instability of Shell Structures*, NASA TN-D-1510 (1962) 597-606.
- [8] J.Wooseok, AM.Waas, Dynamic bifurcation buckling of an impacted column, *International Journal of Engineering Science* 46 (2008) 958-967.
- [9] T.Weller, H.Abramovich, R. Yaffe, Dynamic buckling of beams and plates subjected to axial impact, *Computers & Structures* 32 (1989) 835-851.
- [10] H.Abramovich, A.Grunwald, Stability of axially impacted composite plates, *Composites Structures* 32 (1995) 151-158.
- [11] RMF.Paulo, F.Teixeira-Dias, RAF.Valente, Numerical simulation of aluminium stiffened panels subjected to axial compression: Sensitivity analyses to initial geometrical imperfections and material properties, *Thin-Walled Structures* 62 (2013) 65-74.
- [12] Anonymous. Abaqus/Standard user's manual, ver. 6.10. Hibbitt, Karlsson and Sorensen, 2010.
- [13] I.Lillemäe, H.Remes, J.Romanoff, Influence of initial distortion on the structural stress in 3 mm thick stiffened panels, *Thin-Walled Structures* 72 (2013) 121-127.
- [14] T. Kubiak, Dynamic buckling of thin-walled composite plates with varying width wise material properties, *Int J Solids Struct* 45 (2005) 5555-5567.