



Numerical Modeling of the Compression of a Hexagonal and Star Structure

Kaoutar Bouakka, Ahmed Abbadi, Julien Capelle and Mohammed Abbadi

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

February 16, 2024

Modélisation numérique de la compression d'une structure hexagonale et étoile dans le plan.

K. Bouakka¹, A. Abbadi¹, J. Capelle², M. Abbadi¹

1. ENSA, Laboratoire des sciences de l'ingénieur, équipe Lean Manufacturing & Mechanical Modeling, Université Mohamed 1, BP 696, Oujda, Maroc, kaoutar.bouakka@ump.ac.ma.
2. Laboratoire de Biomécanique, Polymère et structures (LaBPS), Université de Lorraine –Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz, 57070, France.

Résumé :

La performance de la structure aéronautique a été améliorée au fil des années grâce à l'optimisation de sa légèreté, sa résistance, son excellente absorption d'énergie et sa rigidité par compression dans le plan. Ce travail consiste à modéliser deux structures en nid d'abeilles hexagonales et étoiles en utilisant le logiciel par éléments finis Abaqus pour obtenir une description détaillée du mécanisme de déformation. La validation du modèle numérique développé a été basée sur un essai expérimental. La stabilité de la déformation de la structure en nids d'abeilles habituels est mise en évidence par l'ajustement des ligaments de la structure.

Mot clés :

Nid d'abeilles hexagonale, étoile, mécanisme de déformation, ligament.

1. Introduction :

La recherche dans différents domaines en particulier l'automobile, l'aérospatial, l'aéronautique, la construction maritime et les bâtiments et le génie civil met l'accent sur la conception innovante des structures. La conception hexagonale en nid d'abeilles représente la première vision de plusieurs structures, notamment celles en flèche, auxétiques ré-entrantes, en chiraux, triangle, carrée, auxétique chirale 3D, biomorphie de bambou (Ufodike et coll) ainsi que celles inspirées de la nature...

Différents paramètres structuraux et matériaux ont un effet majeur sur la résistance au flambement et à l'écrasement local ainsi que sur la zone d'application de la force dans différente direction que ce soit dans le plan ou hors plan [1]. En outre, ces paramètres peuvent avoir un effet significatif sur l'absorption d'énergie, la grande limite élastique, l'emplacement des ligaments, les longueurs de parois...

Une structure en nid d'abeilles, en forme d'étoile et de losange, a été proposée pour améliorer le module élastique et la capacité d'absorption tout en préservant les propriétés aérodynamiques (Li et coll) [2].

Usta et al ont proposé une compression sur les bords de nouveaux matériaux en nid d'abeilles à cellules unitaires hexagonales hiérarchiques et asymétriques, ce qui a permis d'obtenir une résistance et rigidité remarquable, une absorption d'énergie ainsi qu'une stabilité de déformation.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du ligament et la direction de force sur la résistance de l'écrasement et la stabilité de déformation de nid d'abeille en étoile.

2. Géométrie d'une structure en nid d'abeilles hexagonale et étoile :

2.1. Conception de la structure:

Les paramètres géométriques de la structure de nid d'abeille hexagonal (a) et étoile (b) sont illustrés sur la figure 1. Les longueurs de parois inclinées et non inclinées, les deux angles d'inclinaison, l'épaisseur de parois inclinées et verticales dans la cellule en nid d'abeilles sont notés $c_1, h_1, h_2, \theta_1, \theta_2, t_1$ et t_2 respectivement. La cellule étoile en nid d'abeilles est également constituée de 4 paramètres identiques à ceux de la cellule en nid d'abeilles hexagonal. Quatre autres paramètres représentant les parois inclinées, verticales, horizontales et l'épaisseur de parois sont respectivement notés c_2, d_1, d_2 et t_3 .

Tableau 1 : Paramètre géométrique de structure nid d'abeille hexagonal et étoile.

$c_1 = h_1 = h_2$	c_2	d_1	d_2	$\theta_1 = \frac{\theta_2}{2}$
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)
1.833087	2.116667	1.058333	0.916544	30

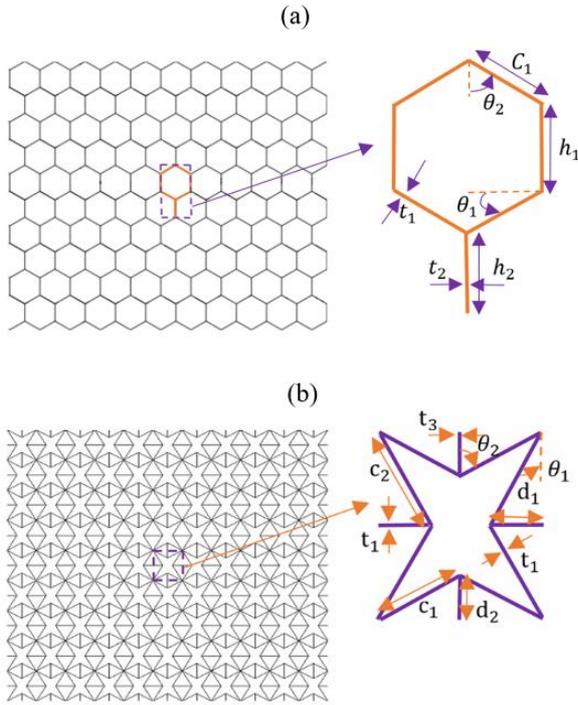


Fig. 1. Structure géométrique : (a) structure hexagonale, (b) structure en étoile.

En adoptant le modèle développé par Wei et al. 2021 [3], on a exprimé la densité relative, à partir de la description des paramètres en nid d'abeilles hexagonal et étoile indiquée sur la fig. 1(a) et (b), de la manière suivante :

$$\rho_{SHH} = \frac{(2c_1 + h_1)t_1 + \frac{h_2}{2}t_2}{c_1 \cos \theta_1 (h_1 + h_2 + c_1(\sin \theta_1 + \cos \theta_2))}$$

$$\rho_{SHS} = \frac{(c_1 + c_2 + \frac{d_1}{2})t_1 + \frac{d_2}{2}t_3}{(\cos \theta_1 - \sin \theta_2)(d_1c_2 + c_1d_2) + c_1c_2(\sin \theta_2)^2}$$

2.2. Modélisation numérique :

Le comportement de déformation de la structure de nid d'abeille hexagonal est systématiquement validé par le modèle numérique développé à l'aide d'un test expérimental effectué par une machine d'essai de compression.

2.3. Validation du modèle :

Dans le modèle numérique, le SHH et le SHS sont positionnés entre les deux plaques supérieures et inférieures dans le plan.

La plaque inférieure rigide est immobile tandis que la plaque supérieure rigide est écrasée verticalement avec un déplacement constant.

Afin de vérifier la validité du modèle, une étude de maillage a été réalisée sur le nid d'abeilles hexagonal. On peut constater que le maillage converge avec un nombre total d'éléments égal à 344514 et de nœuds correspondant à 331772 comme indiqué sur le diagramme ci-dessous :

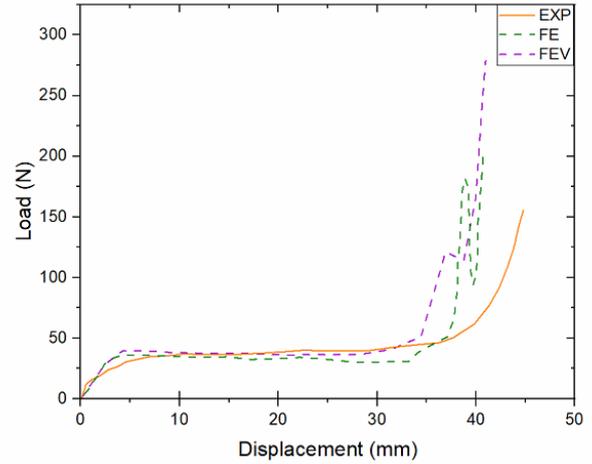


Fig. 2. Courbe de force déplacement expérimental, numérique et validation pour le SHH dans la direction dans le plan.

Les propriétés et les conditions aux limites sont restées inchangées, excepté la configuration qui a été modifiée.

On peut observer sur la fig.3 et fig.4 respectivement, la courbe de réponse charge-déplacement ainsi que le processus de déformation des cellules en étoile qui sont divisées en plusieurs points.

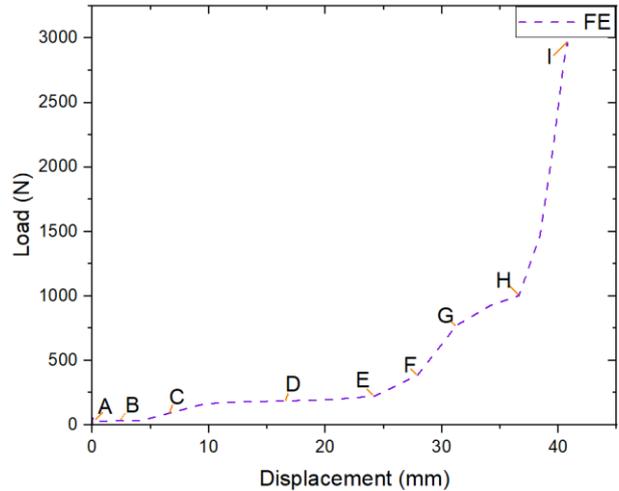


Fig. 3. Courbe force-déplacement pour le SSH dans le plan

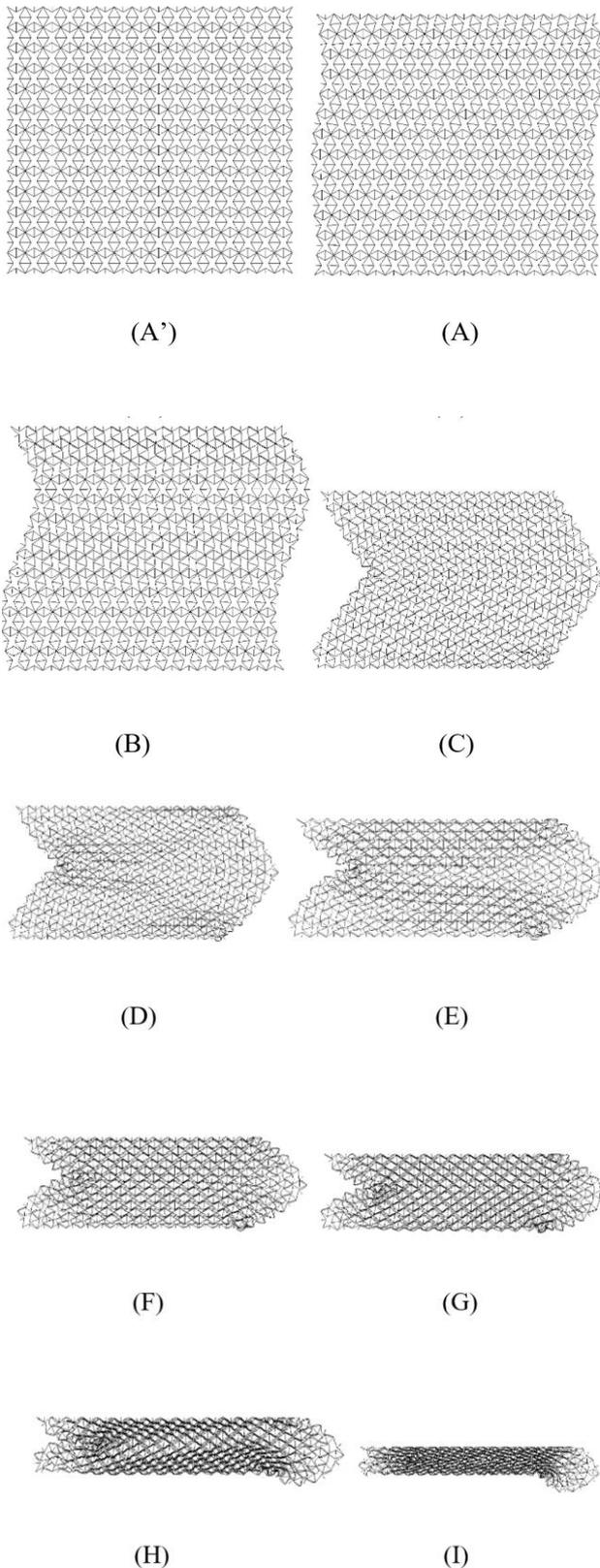


Fig.4. Processus de déformation de la cellule étoile en nid d'abeille.

On peut constater le mode de déformation lors de la phase de compression initiale (A), lorsque la déformation des lignes se produit en raison d'une rotation des parois horizontales. Après, la progression de la rotation des parois horizontales et l'initialisation du tournement de la paroi inclinée au point (B) donnent une configuration similaire à la fig. 5.

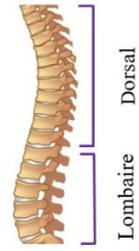


Fig.5. Représentation de la colonne vertébrale.

Par la suite (C), à l'extrême, on peut observer une forme de $[>]$, À l'intérieur, la paroi est inclinée vers la gauche au niveau supérieur et un petit $[>]$ est placé au centre tandis qu'une autre paroi est inclinée vers la droite. Au (D), le flambement et la grille elliptique des parois inclinées commencent à se former, en gardant la forme de $[>]$ sur les extrémité, (E) la progression de la paroi elliptique sur les bords supérieurs et inférieurs. Sur l'ensemble de la structure (F), on retrouve régulièrement la forme elliptique, avec une continuité d'écrasement sur la configuration (G), les lignes commencent à s'effondrer jusqu'à atteindre leur maximum (H-I).

3. Conclusion :

Dans cette étude le processus d'écrasement de la structure de nid d'abeille en étoile a montré une bonne résistance dans le plan. Afin d'améliorer la performance des structures étudiées, il est nécessaire de réaliser des études approfondies sur chaque étape de déformation en utilisant la simulation par éléments finis. La présence d'un ligament sur la structure renforce sa résistance, sa stabilité de déformation et sa capacité d'absorption d'énergie.

References:

- [1] I. Ivañez, L. M. Fernandez-Cañadas, and S. Sanchez-Saez, "Compressive deformation and energy-absorption capability of aluminium honeycomb core," *Compos. Struct.*, vol. 174, pp. 123–133, 2017.
- [2] L. Wei, X. Zhao, Q. Yu, and G. Zhu, "A novel star auxetic honeycomb with enhanced in-plane crushing strength," *Thin-Walled Struct.*, vol. 149, no. September 2019, p. 106623, 2020.
- [3] L. Wei, X. Zhao, Q. Yu, W. Zhang, and G. Zhu, "In-plane compression behaviors of the auxetic star honeycomb: Experimental and numerical simulation," *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 115, p. 106797, 2021.