INFLUENCE DU MOTIF SUR LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX ARCHITECTURES QUASI-PERIODIQUES

Audrey SOMERA [a], Martin PONCELET [b], Nicolas AUFFRAY [c], Julien RÉTHORÉ [a]
[a] Research Institute in Civil Engineering and Mechanics (GeM), Centrale Nantes, Université de Nantes, CNRS, UMR 6183, 44321 Nantes, France, audrey.somera@ec-nantes.fr, julien.rethore@ec-nantes.fr ;
[b] Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, LMT - Laboratoire de Mécanique et Technologie, France, martin.poncelet@ens-paris-saclay.fr ;
[c] MSME, Univ Gustave Eiffel, CNRS UMR 8208, F-77474 Marne-la-Vallée, France, nicolas.auffray@univ-eiffel.fr

Mots-clés : Matériaux architecturés quasi-périodiques, Comportement élastique, FEMU, Milieu de Cosserat.

Résumé

Les matériaux architecturés quasi-périodiques semblent regrouper les avantages des mousses et des lattices périodiques. Cependant la démocratisation de leur utilisation passe par la capacité à identifier les propriétés d'un matériau homogène équivalent. Des simulations numériques utilisant un modèle mésoscopique ont donc été réalisées pour différents motifs afin d'identifier les propriétés élastiques des modèles de Cauchy et de Cosserat via une méthode FEMU. Il en ressort qu'un modèle de type Cauchy semble plus adapté aux motifs à traction dominante, tandis qu'un modèle de Cosserat convient à ceux à flexion dominante.

1 Introduction

Grâce au développement de nouvelles méthodes de fabrication, telle que la fabrication additive, les matériaux architecturés ont suscité un intérêt croissant au fil des années, notamment en permettant d'atteindre de nouvelles zones des diagrammes d'Ashby. Deux catégories ont été largement étudiées : les matériaux aléatoires comme les mousses, et les matériaux périodiques comme les nids d'abeilles. Les mousses sont faciles à produire et possèdent des propriétés isotropes, mais qui peuvent varier d'un spécimen à l'autre. Au contraire, les structures périodiques sont déterministes et leur étude peut être menée sur une cellule élémentaire. Cependant elles ont tendance à avoir un comportement plus anisotrope et une faible ténacité. Les matériaux architecturés quasi-périodiques semblent combiner les avantages de ces deux catégories : il s'agit de structures déterministes [1], leur comportement est isotrope et ils ont une meilleure tenacité que ceux périodiques[2]. Afin de pouvoir généraliser l'utilisation de ce type de matériau, il est nécessaire de réussir à identifier un matériau homogène équivalent, c'est-à-dire un matériau fictif ayant le même comportement macroscopique que le matériau hétérogène. Il est donc nécessaire de choisir un modèle de comportement adapté. Or il a été montré que pour certains réseaux une loi classique de type Cauchy pouvait être insuffisante [3]. Le but de cette étude est donc d'identifier les paramètres matériaux élastiques apparent de Cauchy et de Cosserat pour différents motifs quasi-périodiques, et de déterminer quel modèle est le plus adapté.

2 Méthode

Trois pavages de Penrose différents ayant chacun une dominance énergétique différente sont considérés [4]. Pour chaque motif et pour des élancements allant de 10 à 150, des simulations d'un essai brésilien trois points roulant sur un anneau sont réalisées (cf. Fig.1). L'effort F_y est imposé de tel sorte que le déplacement vertical en ce point soit égal à 1 mm. Un modèle mésoscopique utilisant des poutres d'Euler-Bernoulli est choisi. Cela permet de diminuer le temps de calcul et d'obtenir directement les champs de rotation aux nœuds nécessaires pour l'identification du modèle de Cosserat. Le matériau est supposé fragile et en PMMA. Afin de lisser les variations locales dues à la structure interne des matériaux 199 simulations sont réalisées pour différentes orientations angulaires θ. Elles permettent d'obtenir un champ de référence moyen.

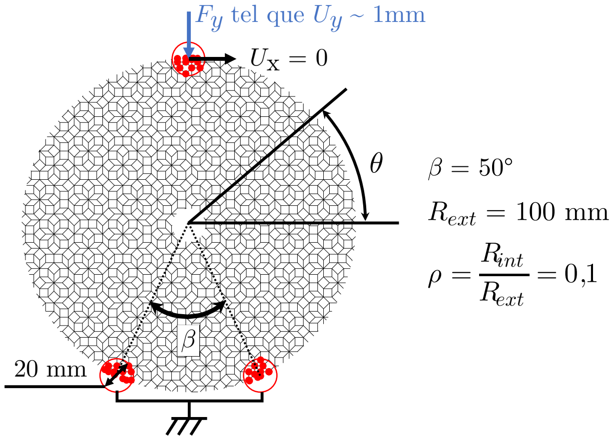


FIGURE 1 – Essai simulé (points d'application des conditions aux limites en rouge)

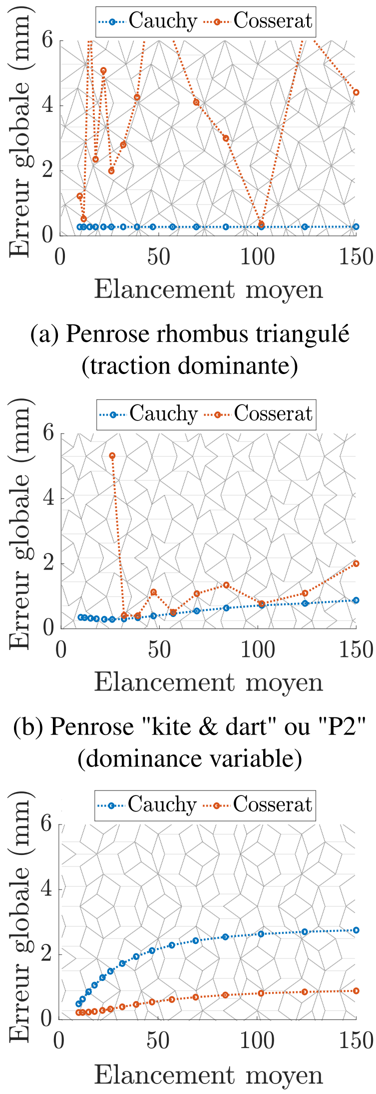
Ce dernier est alors utilisé pour identifier les paramètres matériaux élastiques des modèles de Cauchy et de Cosserat apparents par la méthode "Finite Element Model Updating" (FEMU). Le maillage surfacique est obtenu en réalisant une triangulation de Delaunay à partir des nœuds physiques du réseau, ce qui permet une comparaison directe des champs issus de l'échelle mésoscopique et simulés à l'échelle macroscopique.

3 Résultats

La figure 2 donne l'erreur globale E sur la norme des champs de déplacement de Cauchy et de Cosserat identifiés en fonction de l'élancement moyen des poutres composant les motifs. Elle est calculée de la façon suivante :

$$E = \sqrt{\sum_{i \in noeuds} \left\| \underline{u_{i,sim}} - \underline{u_{i,ref}} \right\|_2^2} \tag{1}$$

Avec $\underline{u_{i,sim}}$ le vecteur déplacement au nœud i du champ macroscopique simulé et $\underline{u_{i,ref}}$ celui du champ issus de l'échelle mésoscopique. La figure 2a correspond aux résultats pour le motif à traction dominante complète. L'identification du modèle de Cauchy converge rapidement et mène à de faibles erreurs sur les champs identifiés quel que soit l'élancement considéré. La convergence vers une solution avec le modèle de Cosserat est quant à elle beaucoup plus difficile, et les erreurs sur les champs identifiés sont au mieux égales mais souvent plus élevées qu'avec Cauchy pour ce motif. Les mêmes conclusions peuvent être faites pour le motif à dominance variable (Fig.2b). Il y a même non convergence pour les faibles élancements. Quel que soit le résultat, pour ce motif des précautions sont toutefois à prendre pour de grands élancements. En effet, les différences entre le champ de référence moyen et celui simulé pour un angle θ bien défini sont particulièrement notables et beaucoup plus élevées que pour les deux autres réseaux. Enfin, concernant le motif à flexion dominante complète, l'identification est réussie pour les deux modèles, cependant le modèle de Cosserat mène à une erreur globale au minimum deux fois plus faible quel que soit l'élancement considéré (Fig.2c). Ainsi un modèle de type Cauchy semble plus adapté aux motifs à traction dominante et à dominance variable, et un modèle de type Cosserat aux motifs à flexion dominante.



(a) Penrose rhombus triangulé (traction dominante)

(b) Penrose "kite & dart" ou "P2" (dominance variable)

(c) Penrose "rhombus" ou "P3" (flexion dominante)

FIGURE 2 – Erreur globale E pour différents motifs en fonction de l'élancement moyen de leurs poutres (cas non-convergés et cas avec $E > 6\ mm$ non représentés).

4 Conclusion

Les paramètres matériaux de loi de comportements de type Cauchy et Cosserat ont été identifiés par FEMU pour différents motifs quasi-pérodiques. Il a ainsi été montré que le type de motif d'un matériau quasi-périodique à une forte influence sur son comportement global, et doit donc être pris en compte. Le modèle à choisir semble notamment être dépendant du type de dominance du motif.

Références

[1] D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias and J. W. Cahn. Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry *Physical Review Letters*, 53 (1984) 1951–1953.

[2] A. Glacet, J. Réthoré, A. Tanguy and F. Morestin. On the failure resistance of quasi-periodic lattices *Scripta Materialia*, 156 (2018) 23–26.

[3] M. Poncelet, A. Somera, C. Morel, C. Jailin, N. Auffray An experimental evidence of the failure of Cauchy elasticity for the overall modeling of a non-centro-symmetric lattice under static loading *IJSS*, 147 (2018) 223–237.

[4] A. Somera, M. Poncelet, N. Auffray and J. Réthoré Quasi-periodic lattices : Pattern matters too *Scripta Materialia*, 209 (2022) 114378.