

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Métrologie

Mémoire de Master

Optimisation des paramètres de forme d'un méta-matériau dans le domaine de sport

Étudié par :

- Ben amira Soumia

Dirigé Par :

- Dr. Mezache Zinelabiddine
- Dr. Faci Abdelaziz

Devant le jury :

(Président) : Dr. Ourahmoune.

(Examineur) : Dr. Naas.

Soutenue le : 04/ 07 /2023

Sommaire :

Remerciement :	II
Dédicace :	III
Introduction générale :	1
CHAPITRE I : L'état de l'art des métamatériaux mécaniques	2
I.1.Introduction :	2
I. 2 .Les métamatériaux :	2
I. 2.1 Historique des métamatériaux :	2
I. 2.2 définition :	3
I. 2.3 Classification des métamatériaux	4
I. 2.4 Différentes stratégies de réalisation des métamatériaux :	5
I. 2.4.1 Métamatériau à une permittivité négative	5
I. 2.4.2 Métamatériau à une perméabilité négative	5
I.2.4. 3 Métamatériau avec ϵ et μ négatives (doublement négative) :	7
I. 2.5 Phénomènes dus aux métamatériaux :	8
I.3 Métamatériau mécanique :	9
I.3.1 Approches de conception :	10
I.3.2 Métamatériaux mécaniques auxétiques :	11
I.3.3 Métamatériaux inspirés de l'origami/kirigami :	14
I.4 Comportement mécanique des métamatériaux:	15
I.4.1 Déformation :	16
I.4.2 Déformation élastique :	16
I.4.3 Module d'élasticité :	17
I.4.4 Coefficient de Poisson :	17
I.5 Propriétés des métamatériaux mécaniques:	18
I.5.1 Flexibilité :	18
I.5.2 Isolation thermique :	19
I.5.3 Absorption vibro-acoustique :	19
I.6 Quelques applications :	19
I.6.1 Domaine d'architecture :	19
I.6.2 Programmation de robots souples avec des métamatériaux mécaniques flexibles :	20
I.6.3 Domaine du sport (semelle de chaussure) :	22

I.7 Conclusion :	23
CHAPITRE II: La conception d'applications des métamatériaux mécaniques dans le domaine du sport.	24
II.1 Introduction:	24
II.2 Logiciel utilisé pour la simulation :	24
II.2.1 Rhinocéros :	24
II.2.2 L'extension Grasshopper :	26
II.3 Conception de semelle :	27
II.3.1 Exemple d'une semelle unitaire simple :	27
II.3.2 Premier modèle d'une semelle métamatériau simulés par Rhinocéros :	28
II.3.3 Deuxième modèle d'une semelle métamatériau simulés par Rhinocéros et Grasshopper :	29
II.4 Conception de protège :	32
II.4.1 Exemple d'un protège simple :	32
II.4.2 Premier modèle d'un protège métamatériau simulés par Rhinocéros :	33
II.4.3 Deuxième modèle d'un protège métamatériau simulés par Rhinocéros :	33
II.5 Conclusion :	33
Chapitre III: Réalisation des modèles de métamatériaux pour une application dans le domaine du sport.	35
III.1 Objectif du travail :	35
III.2. Matériaux utilisés :	35
III.3. Matériels utilisés :	36
III.3. 1 .Imprimante 3D :	36
III.3. 2. Balance de précision:	36
III.3. 3. Densimètre :	37
III.3 Réalisation :	38
III.3.1. Modèles réalisés	38
III.4 Procédure expérimentale :	41
III.4.1 déroulement des essais mécaniques :	41
III.4.2. Résistance à la traction :	42
III.4.3. Résistance à la compression :	42
III.4.4. Module de Young :	43
III.4.5.Coefficient de Poisson :	43

III.4.6. Mesure de la densité :	44
III.5. Résultats et discussions :	44
III.6 Conclusion :	48
Conclusion générale:	49
Bibliographies	X
Résumé	XII

Liste Des Figures

CHAPITRE I :

Figure I. 1: premier métamatériau (bidimensionnel) à indice négatif dans la gamme micro-onde .Il est constitué de SRR et de fils en cuivre déposés sur un substrat de fibre de verre.	3
Figure I. 2: classification des métamatériaux.	4
Figure I. 3 : les fils métalliques qui donnent la permittivité négative.	5
Figure I. 4: structure Swiss-Role qui donne une perméabilité négative.	6
Figure I. 5: La structure des métamatériaux photoniques de base avec SRR proposés par Pendry utilisés pour le contrôle artificiel de la perméabilité magnétique(en 1999).	7
Figure I. 6: structure proposée par D. Smith qui combine les fils minces et les SRR pour avoir un milieu doublement négatif (métamatériaux).	8
Figure I. 7: Réfraction d'onde électromagnétique dans le milieu à indice négative et dans le milieu à indice positive.	9
Figure I. 8: Exemple d'un métamatériau mécanique.....	10
Figure I. 9: le changement des structures unitaires dans le métamatériau.	11
Figure I. 10: (a) matériau conventionnel(b) métamatériau auxétique.	11
Figure I. 11: structure auxétique Mécanisme ré-entrant.	12
Figure I. 12: structure auxétique alvéolaire.	13
Figure I. 13: (a) Métamatériau mécanique anti-trichiral (b) déferent Métamatériaux mécanique chiral 3D.	13
Figure I. 14: Exemple de métamatériau de type origami kirigami.	14
Figure I. 15: type de métamatériau activables pour contrôler les sens.	20
Figure I. 16: des exemples 3D de Robots mous bioinspirés via des métamatériaux mécaniques adaptatifs.	21
Figure I. 17: exemple 3D métamatériau d'une semelle de chaussure.	22

CHAPITRE II :

figure II 1 : la fenêtre principale de logiciel Rhinocéros.	25
figure II 2: la fenêtre principale de l'extension Grasshopper de logiciel rhino.	27
figure II 3: Modèle de semelle simple crée par le logiciel Rhinocéros.	27
figure II 4: Premier modèle de semelle métamatériau chaussure running crée par Rhinocéros.....	28

Figure II 5: Vues en 2D de semelle obtenu par rhinocéros (a) vue de face (b) vue de dessous (c) vue de droite.	28
Figure II 6: Bases dessins de semelle.....	29
Figure II 7: (a)Fils reliant les plaques inférieures et supérieures de semelle (b) Fonction algorithmique créée par Grasshopper qui contrôle le chargement des fils sur rhino.	29
figure II 8: Chargement des points dans les deux zones de semelle (a) la partie de talon de semelle (b) la partie avant de semelle.	30
Figure II 9: Structure géométrique appliquée pour la semelle.....	30
Figure II 10: Représentation finale du modèle de semelle métamatériau crée par Rhinocéros.....	31
figure II 11: Vues en 2D de semelle obtenu par rhinocéros (a) vue de dessus (b) vue de face (c) vue de droite.	31
Figure II 12: Algorithme GrassHopper d’obtention le deuxième modèle de semelle intermédiaire.....	32
Figure II 13: Modèle d’un simple protège-tibia des joueurs de football crée par le logiciel Rhinocéros.	32
Figure II 14: premier modèle de protège-tibias des joueurs de football à base des structures métamatériaux mécaniques crée par Rhinocéros.....	33
Figure II 15: Deuxième modèle de protège-tibias des joueurs de football à base des structures métamatériaux mécaniques crée par Rhinocéros.....	33

CHAPITRE III :

Figure III. 1: fil du matériau TPU.	36
Figure III. 2: l'imprimante 3D utilisé pour la réalisation.....	36
Figure III. 3: balance de précision(OHAUS).	37
Figure III. 4: machine d’essai utilisée en traction-compression.....	37
Figure III. 5: Densimètre à balance Explorer Semi-micro EX125 d'OHAUS.	38
Figure III. 6: a) matériau brut.....	40
Figure III. 7: b) pièces métamatériaux en nid d’abeille (1) Remplissage 20% (2) Remplissage 50%.....	41
Figure III. 8: c) métamatériau type gyroid (1) Remplissage 20% (2) Remplissage 50%.	41

Figure III. 9: Courbes de traction des protèges métamatériaux.	45
Figure III. 10: courbes de compression pour les protèges métamatériaux.....	46

Introduction générale :

Bien que le métamatériau mécanique ait été inventé au début du XXe siècle, la disponibilité actuelle des techniques de fabrication numérique telles que l'impression 3D facilite la création de ces structures matérielles. Ils ouvrent ainsi de nouvelles possibilités de conception.

Les métamatériaux sont des matériaux artificiels dont les propriétés sont dérivées de leur structure plutôt que de leur composition chimique. Ces matériaux présentent des propriétés uniques qui ne sont pas trouvées dans les matériaux traditionnels, ce qui ouvre des nouvelles possibilités dans des nombreux domaines, y compris le domaine sportif. Ce mémoire se propose d'explorer l'application des métamatériaux dans le domaine sportif, en se concentrant particulièrement sur leur utilisation dans la conception de matériel sportif.

Dans ce sens, l'objectif de ce mémoire est de créer des nouveaux modèles de type métamatériau dans le domaine sportif qui ont des spécifications inhabituelles pour remplacer les modèles traditionnel.

Par la suite concevoir des composants à base des métamatériaux pour la réalisation de plusieurs fonctions des métamatériaux mécaniques. Pour cela l'étude a porté sur l'utilisation du logiciel Rhinocéros (outil modélisation professionnel 3D) qui par sa facilité, nous a permis de bien créer et contrôler la densité de structures géométriques applicables sur le modèle.

Notre travail comporte deux parties principales, elles-mêmes divisées en chapitres. La première partie est consacrée à une étude bibliographique sur le thème, basée essentiellement sur les principaux concepts et théories qui se tendent le fonctionnement des métamatériaux, en mettant l'accent sur leurs propriétés mécaniques, tels que les métamatériaux à indice négatif, les métamatériaux mécaniques, les avancés récentes dans le domaine des métamatériaux mécaniques et leurs applications potentielles dans les domaines sportifs. Le deuxième chapitre est réservé à l'étude et la conception de semelle de chaussure et protège-tibias des footballeurs à l'aide du logiciel Rhinocéros et leur extension Grasshopper.

La deuxième partie est consacrée à la procédure expérimentale, aux différents résultats obtenus et à leur interprétation.

Cette étude s'achève par une conclusion générale et perspectives.

Résumé :

L'avancement des métamatériaux électromagnétiques, entamé il y a trois décennies, a connu une rapide transformation vers les systèmes mécaniques sous forme de matériaux cellulaires possédant des propriétés spécifiques qui n'existent pas dans les matériaux naturels.

Dans ce mémoire, nous avons étudié différentes techniques de conception et de réalisation, notamment l'impression 3D et l'utilisation de matériaux composites, afin d'obtenir des structures mécaniques métamatériaux pour des équipements sportifs. L'étude s'est concentrée sur l'obtention de valeurs inhabituelles pour des paramètres mécaniques courants tels que la densité, le coefficient de Poisson, la compressibilité et le module d'élasticité. Ces paramètres ont été confirmés par des essais mécaniques.

Ce mémoire démontre que l'utilisation de métamatériaux dans la conception d'équipements sportifs, tels que les semelles et les protège-tibias, présente un potentiel prometteur. Les conceptions développées et les modèles réalisés ont montré des améliorations significatives par rapport aux matériaux traditionnels.

Mots clés : métamatériau mécanique, structure géométrique, matériel sportif, conception, réalisation, essais mécaniques.

Abstract:

The advancement of electromagnetic metamaterials, which started three decades ago, has undergone a rapid transformation into mechanical systems manifested as cellular materials with distinct properties not found in any natural material.

In this work, we have investigated various techniques for design and production, with a particular focus on 3D printing and the utilization of composite materials, aiming to achieve mechanical metamaterial structures for sports equipment. The study primarily concentrates on attaining unconventional values for familiar mechanical parameters such as density, Poisson's ratio, compressibility, and modulus of elasticity. To validate these parameters, mechanical tests were conducted.

This work has successfully showcased the promising potential of incorporating metamaterials in the design of sports equipment, such as soles and shin guards. The developed designs and fabricated models have demonstrated significant enhancements compared to traditional materials.

Keywords: mechanical metamaterial, geometric structure, sports equipment, design, production, mechanical tests.

ملخص:

شهد تقدم المواد الخارقة الكهرومغناطيسية، الذي بدأ قبل ثلاثة عقود، تحولاً سريعاً إلى أنظمة ميكانيكية في شكل مواد خلوية بخصائص محددة لا توجد في أي مادة طبيعية.

درسنا في هذه المذكرة التقنيات المختلفة للتصميم والإنتاج، ولا سيما الطباعة ثلاثية الأبعاد واستخدام المواد المركبة للحصول على هياكل المواد الخارقة الميكانيكية في مجال المعدات الرياضية. ركزت الدراسة على الحصول على قيم غير معتادة للمعاملات الميكانيكية المألوفة مثل الكثافة ونسبة بواسون أو قابلية الانضغاط ومعامل المرونة، وقد أكدنا هذه المعلمات بإجراء اختبارات ميكانيكية.

أثبتت هذه المذكرة أن استخدام المواد الخارقة في تصميم المعدات الرياضية، مثل النعال وواقيات الساق، له إمكانات واعدة. أظهرت التصميمات والنماذج المصنوعة تحسينات كبيرة على المواد التقليدية.

الكلمات المفتاحية: المواد الميكانيكية الخارقة، الهيكل الهندسي، المعدات الرياضية، التصميم الإنتاج، الاختبارات الميكانيكية.