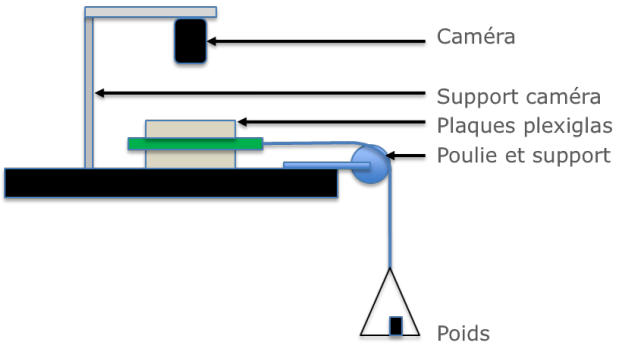
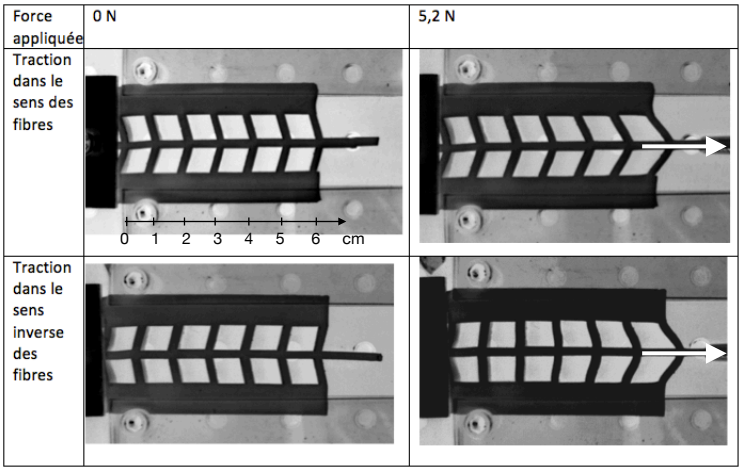
Figure 1 - Étude de la non réciprocité statique d'un matériau

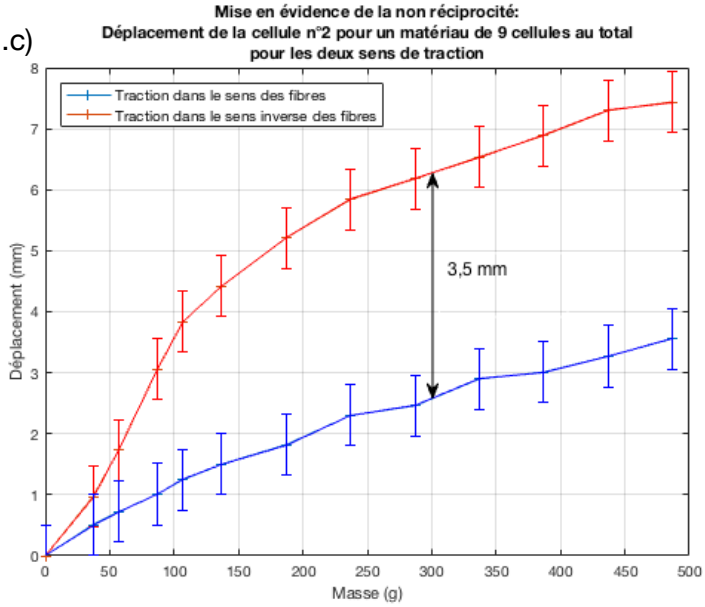
(1.a)



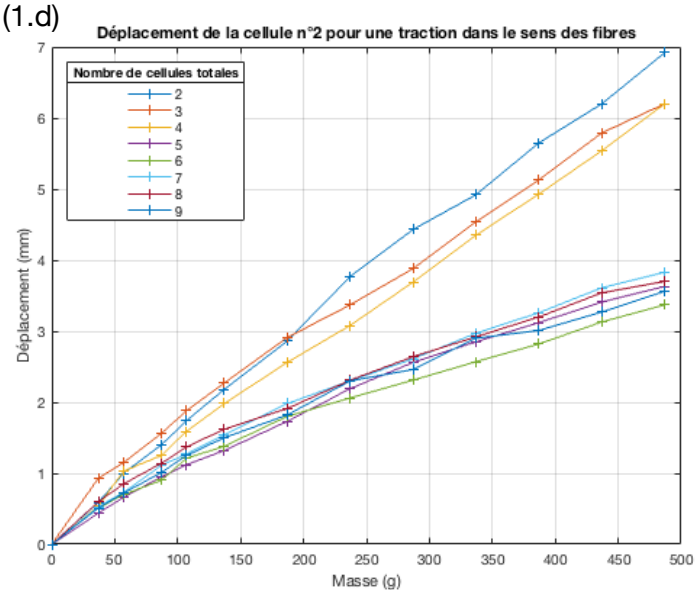
(1.b)



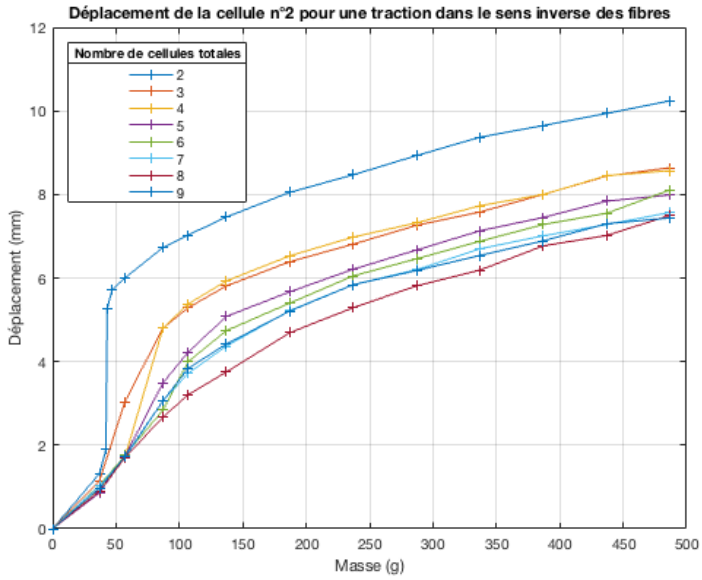
(1.c)



(1.d)



(1.e)



Légende

(1.a) Schéma du montage. Le matériau est fixé de part et d'autre par deux mords qui le surélèvent afin d'éviter le contact avec le support et les frottements qui en résultent lors d'une traction.

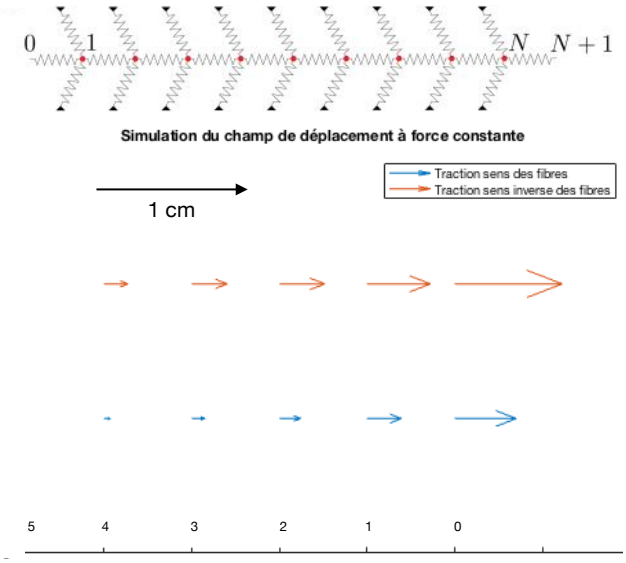
(1.b) Photographies du montage. Matériau de 6 cellules (1cm/cellule) au repos et lors d'une traction dans le sens des fibres et dans le sens inverse des fibres pour une force de 5,2N. Ces photographies sont ensuite traités avec ImageJ pour mesurer le déplacement des cellules.

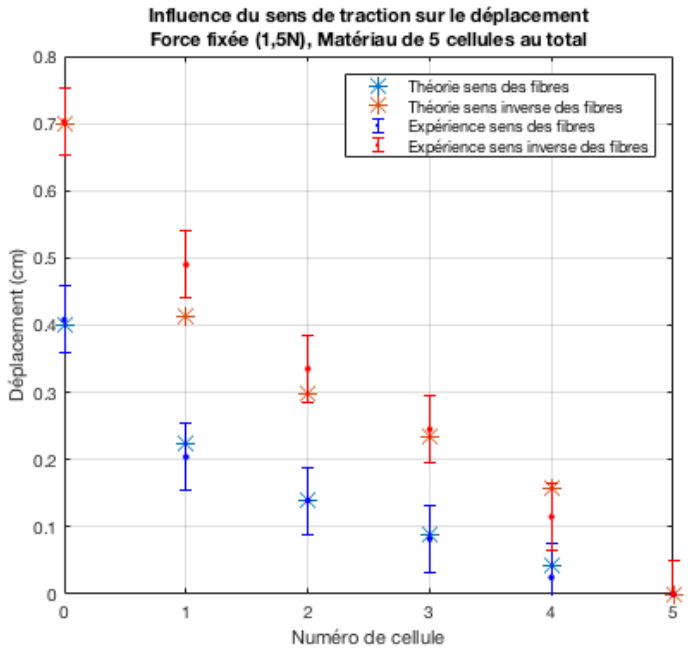
(1.c) Déplacement de la deuxième cellule (troisième noeud en partant de la droite) par rapport au repos en fonction de la masse. Les tractions sont réalisés dans le sens des fibres (bleu) et dans le sens inverse des fibres (rouge). Dans le sens des fibres, on interprète cette courbe comme celle d'un matériau classique (loi de Hooke $F = -kx$). Dans le sens inverse des fibres, on observe deux régimes de déplacement: - le premier, observé pour des masses inférieures à 100 grammes, correspond à la rotation des arrêtes autour des points d'accroches fixes ; cela laisse au matériau un certain degré de liberté suivant la direction et le sens de la traction. - le deuxième, observé pour des masses supérieures à 200 grammes, correspond au même régime que celui de la traction dans le sens des fibres. La non réciprocité est de 3,5 mm.

(1.d-e) Déplacement de la deuxième cellule à partir du point de traction (premier noeud en partant de la droite) en fonction de la masse pour plusieurs nombres de cellules totales dans le matériau. Essai de tractions réalisés dans le sens des fibres (1.d) et dans le sens inverse des fibres (1.e). Pour les deux sens de traction, on observe globalement que le déplacement de la deuxième cellule diminue lorsque le nombre de cellules augmente car les cellules en amont retiennent en partie les cellules sur lesquelles on tire.

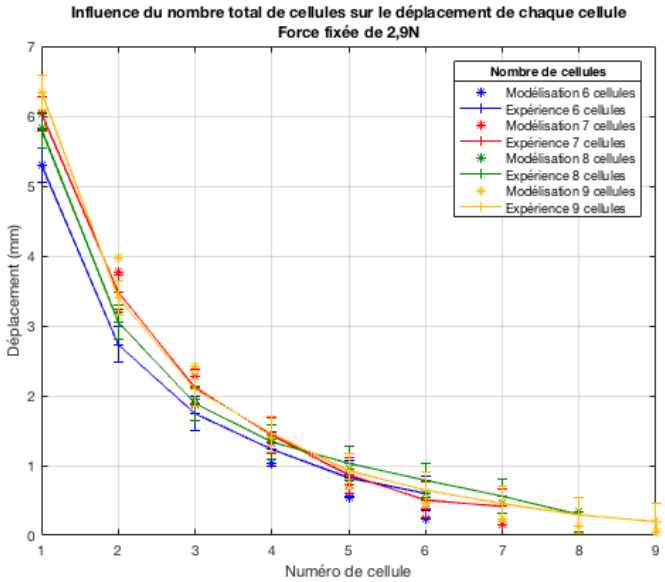
Figure 2 - Modélisation numérique du métamatériau

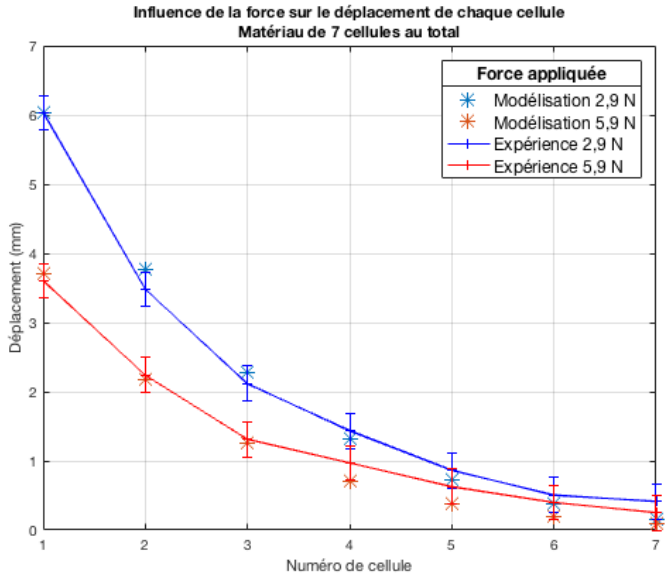
(2.a)





(2.b)



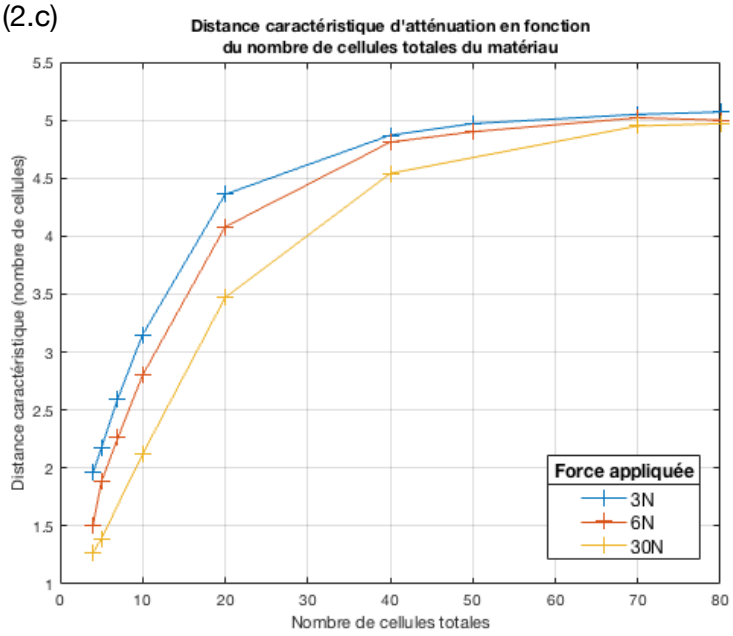


Légende

(2.a) Modélisation du matériau avec des ressorts. La simulation est réalisée sur MATLAB pour les deux sens de traction, avec un matériau de 5 cellules fixé en son bout. Le graphique montre la non-réciprocité du matériau. Les déplacements des cellules lors d'une traction dans le sens inverse des fibres sont plus élevés que lors d'une traction dans le sens des fibres.

(2.b) La simulation est réalisée sur Python et uniquement pour une traction dans le sens des fibres. Le premier graphique montre qu'à force fixée, la modélisation reflète les résultats expérimentaux concernant le déplacement de chaque cellule du matériau, et ce pour des matériau de tailles différentes (6, 7, 8 et 9 cellules). Le deuxième graphique montre que pour un matériau avec un nombre de cellules totales fixé, la modélisation reflète les résultats expérimentaux concernant le déplacement de chaque cellule du matériau, et ce pour des forces de traction différentes (2,9N et 5,9N). Ces deux graphiques permettent de valider la modélisation pour des tractions dans le sens des fibres.

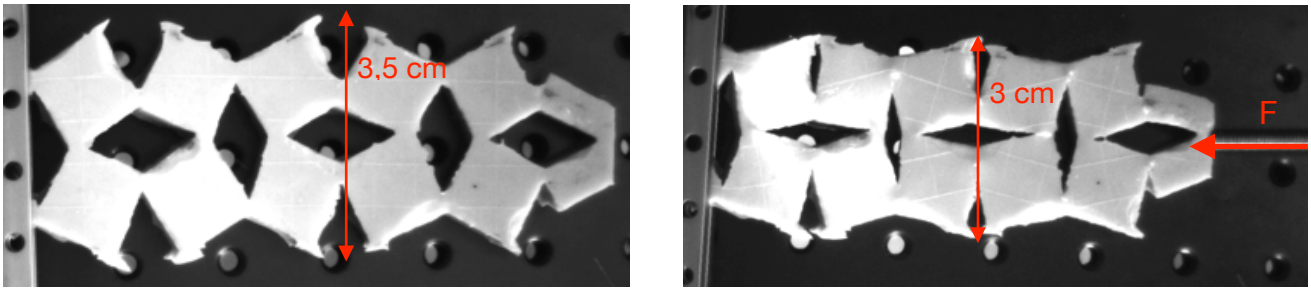
(2.c)



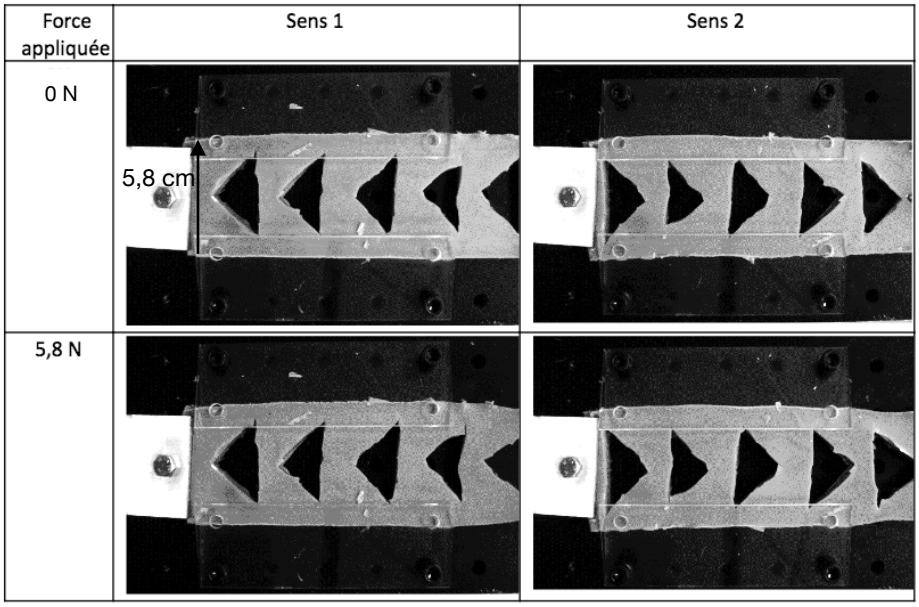
(2.c) Ce graphique montre l'évolution de la distance caractéristique d'atténuation de la force de traction (dans le sens des fibres) en fonction du nombre totale de cellules dans le matériau, et ce pour différentes forces appliquées. Cette distance L (en nombre de cellules) est calculée en approchant les courbes de déplacement en fonction du numéro de cellules (2.b) par $A\exp(-n/L)$ avec n le numéro de cellule. Le graphique permet d'affirmer qu'au delà de 5 cellules, le nombre de cellules du matériau n'a plus aucune influence sur ses propriétés d'absorption mécanique.

Figure 3 - Vers de nouveaux matériaux

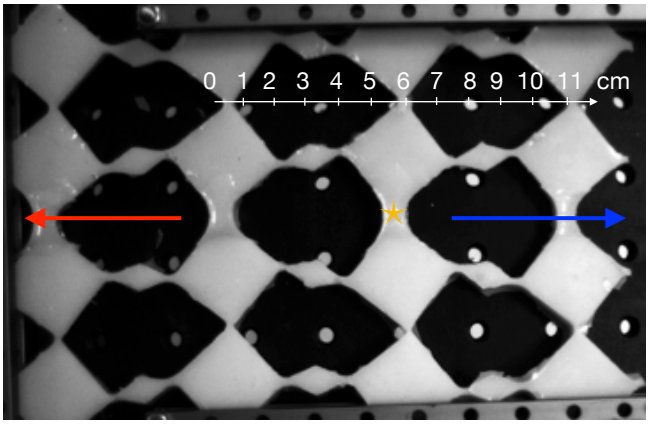
(3.a)

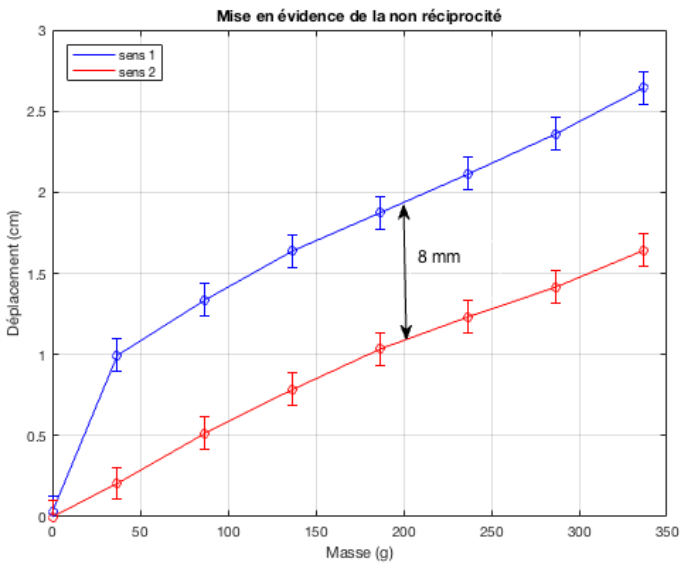


(3.b)



(3.c)





Légende

(3.a) Matériau qui ne vérifie pas la non-réciprocité car symétrique par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de la force. Cependant, ce matériau est auxétique, c'est à dire que son coefficient de Poisson est négatif : lors d'une compression longitudinale, le matériau se compresse transversalement.

(3.b) Matériau non symétrique mais avec une mauvaise transmission des forces. Comme nous pouvons le voir sur les images, la non-réciprocité n'est pas détectable. Quantitativement, on ne détecte pas un déplacement suffisant au dessus de la première cellule.

(3.c) Le graphique montre le déplacement de la cellule par rapport au repos en fonction de la masse appliquée, et ce pour les deux sens de traction (rouge et bleu). Ce graphique est réalisé sur le déplacement de la deuxième cellule (étoile jaune), celle qui subit le plus fort déplacement. Il permet d'observer distinctement une non-réciprocité du matériau. On obtient le même type de graphique pour les cellules suivantes mais le déplacement est plus faible. Il subit une décroissance exponentielle le long du gradient de force : $A\ \exp(-n/1{,}05)$ avec n le numéro de cellule. La distance caractéristique d'atténuation est de 1,05 cellules.