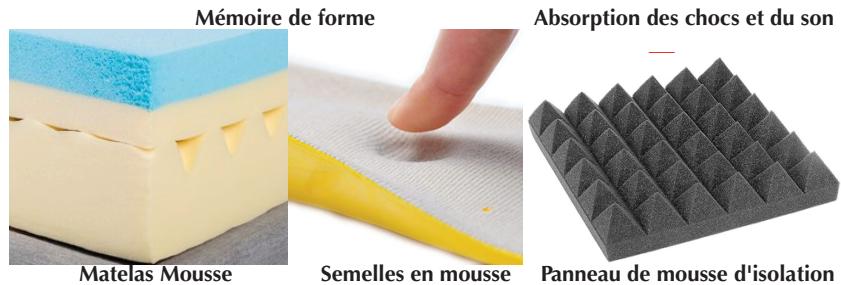


TP Matériaux cellulaires (mousses solides)

On utilise des mousses solides dans les matelas et pour absorber les chocs.
Pourquoi ?

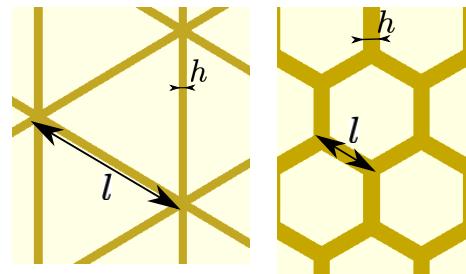


Dans ce TP on veut comprendre la compressibilité des mousses solides en fonction de leur caractéristiques géométriques (type de motif, tailles), et en particulier de leur densité ρ^* , qui est la caractéristique principale qui semble déterminer la fermeté de la mousse quand on veut en acheter.

!! Attention : ne pas laisser les échantillons au soleil—les impression 3D peuvent se déformer. **Et ne pas les comprimer trop fortement**—elles se détériorent à terme si on comprime très au-delà du plateau. !!

1. Géométrie de mousses modèles régulières (triangles / nid d'abeille)

On commence par étudier des matériaux 2D parfaitement réguliers : avec des côtés de longueur l et d'épaisseur h (extrudés sur une largeur w). On s'intéresse à deux types de mousse—réseau triangulaire et réseau nid d'abeille—dont on veut comprendre la réponse mécanique.



- Comment la densité effective ρ^* des réseaux est-elle reliée à la géométrie du motif ?

Montrer qu'en loi d'échelle, pour ces matériaux 2D,

$$\frac{\rho^*}{\rho} = C \frac{h}{l},$$

où ρ est la densité du matériau plein et C est une constante qui ne dépend de la géométrie du motif. Pouvez-vous montrer que $C_h = 2/\sqrt{3}$ dans le réseau nid d'abeille, et $C_t = 2\sqrt{3}$ pour le réseau triangulaire ? Pouvez-vous tester cette relation expérimentalement sur des échantillons qui le permettent simplement (effets de bords) ?

Mesurer avec une balance le rapport de densité ρ^*/ρ . La densité du matériau plein ρ correspondant peut être mesurée avec l'éprouvette en matériau plein. Mesurer directement l'élancement l/h des structures sur une image prise avec la loupe USB (logiciel xploview + traitement ImageJ).

Est-ce que tous les échantillons suivent la loi attendue ?

2. Mécanique des composants élémentaires—les poutres

Les matériaux cellulaires (mousses solides) sont composées de ligaments connectés entre eux qui vont se déformer lorsqu'on comprime le matériaux.

Deux scenarios sont possibles pour les déformations d'une poutre de longueur l , épaisseur h , largeur w , et module d'Young E :

- Des déformations de **traction/compression** : montrer qu'une force axiale appliquée a son extrémité conduit à déplacement de cette extrémité de l'ordre de $\delta \sim \frac{Fl}{Ehw}$.
- Des déformations de **flexion** : Dans ce cas, une force F orientée perpendiculairement à son extrémité provoque alors un déplacement de l'ordre $\delta \sim \frac{Fl^3}{Eh^3w}$.

!! ATTENTION, COMMENCER CETTE ETAPE UNIQUEMENT EN PRESENCE D'UN(E) ENSEIGNANT(E). RISQUE DE CASSE !!

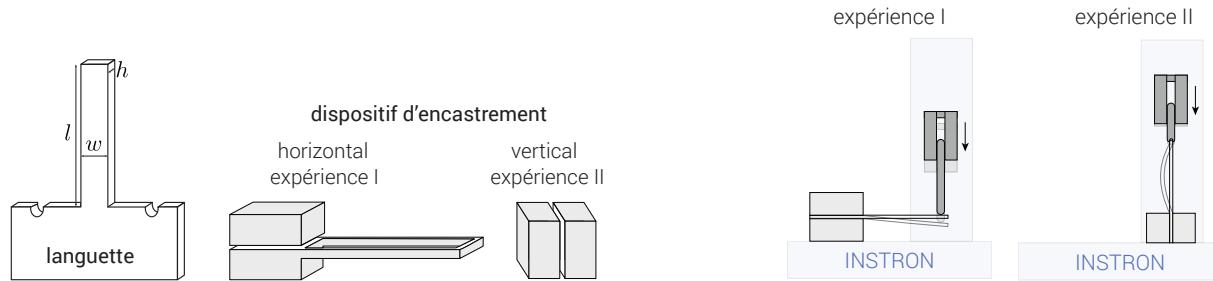


Figure 1. (à gauche) Matériel, (à droite) Deux types d'expériences.)

Pour piloter la machine INSTRON, utiliser le logiciel Bluehill : selectionner "éssais" avec la "méthode compression". Traiter les données (fichier texte csv) avec python sur **Google Colab** (utiliser les exemples de notebook sur le **moodle.psl.eu**).

- Mesurer la rigidité k de languettes élastique en flexion avec la machine INSTRON. Utiliser le dispositif d'encastrement horizontal en plexiglas (voir figure ci-dessus). *Trouve-t-on la dépendance attendue en fonction de l'épaisseur, de la longueur des languettes ?*
!! Attention: pour ne pas casser il ne faut pas appliquer un trop grande déflexion surtout pour les languettes courtes !!

L'instabilité de flambage d'une poutre (longueur l , épaisseur h , largeur w , et module d'Young E , voir figure ci-dessus), se produit pour une force typiquement $F \sim Eh^3w/l^2$. *Pouvez-vous retrouver cette valeur par un argument en loi d'échelle ?*

- Faites des expériences de compression axiale avec les languettes élastique considérées. *Quelles caractéristiques sont associées au flambage ? Est-ce que le seuil de flambage suit la loi attendue ?*
!! Attention: pour ne pas casser, il ne faut pas trop dépasser le seuil !!

3. Compression de mousses 2D (triangles/nid d'abeille)

On va maintenant mesurer le comportement mécanique des mousses modèles 2D lors de leur compression (force en fonction de la réduction de longueur). *Pourquoi si on veut comparer les mousses entre elles, doit-on transformer ces données (force, déplacement) en (contrainte, déformation) ?*

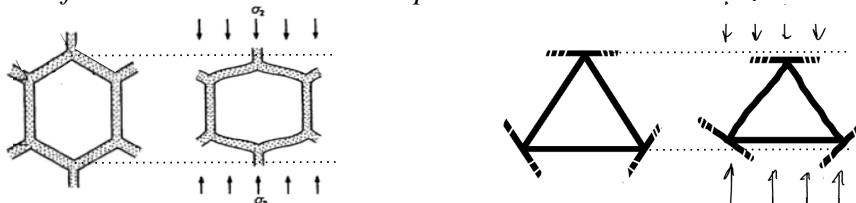
Conseil important : Pour la suite, commencer par quelques échantillons bien choisis avec même type de réseau, et extraire les données complètement avant de faire une campagne plus complète.

Conseil traitement de données : dédier une cellule à chaque traitement de fichier INSTRON (le notebook va comporter une liste de ces cellules très similaires, mais c'est fait pour ça). Chaque cellule importe les données, on les renomme pour que ce soit facile à relire (par exemple variables d, F pour le déplacement et la force), présente un ou des graphes, et explicite les mesures extraites (par exemple avec print).

- Mesurer les réponses mécaniques des différents échantillons sur la machine de traction (utiliser **Bluehill** : sélectionner "éssais" avec la "méthode" compression). Quand c'est possible, tester la réponse dans différentes directions du réseau. Traiter les données (fichier texte csv) avec python sur **Google Colab** (utiliser les exemples de notebook sur le **moodle.psl.eu**) pour quantifier le module d'Young effectif E^* . Déterminer également la contrainte plateau σ^* .
- En traçant E^* en fonction de ρ^* , chercher une loi expérimentale pour le matériau blanc, en considérant deux types de motifs, sous la forme de loi de puissance de type:

$$\frac{E^*}{E} \propto \left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)^p \quad \frac{\sigma^*}{E} \propto \left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)^q.$$

On cherche à relier ces grandeurs normalisées à la rigidité naturelle du matériau constitutif (module d'Young E à mesurer en utilisant les éprouvettes en matériau plein). *Est-ce que les exposants p, q dépendent du motif? Peut-on proposer des explications en loi d'échelle pour ces exposants?*



Observer les deux schéma et se rappeler les deux types de déformations des poutres vus plus haut. *Qu'est-ce qui différencie la géométrie des matériaux cellulaires avec des exposants différents ? Ou posé autrement : dans quel cas la flexion est-elle possible sans entraîner de changement de longueur des poutres ? Proposer deux exposants p différents selon les deux types de réponse.*

- En revenant au flambage des poutres, déduire une estimation de la contrainte plateau σ^* et de l'exposant q pour les deux types de mousse. *Est-ce compatible avec vos mesures ?*

4. Conclusion

Finalement, pourquoi est-ce que les mousses sont utilisées pour faire des matelas ? Si vous voulez dormir confortablement sur un matelas cette nuit, quelle densité de mousse choisir ? Quelle épaisseur de mousse choisir ? Pourquoi un enfant peut-il dormir sur un matelas plus fin qu'un adulte ?

Pourquoi les mousses sont-elles utilisées pour amortir les chocs ? Quelles caractéristiques sont importantes dans ce cas ?