

Réparation d'un jouet à la lumière de l'impression 3D.



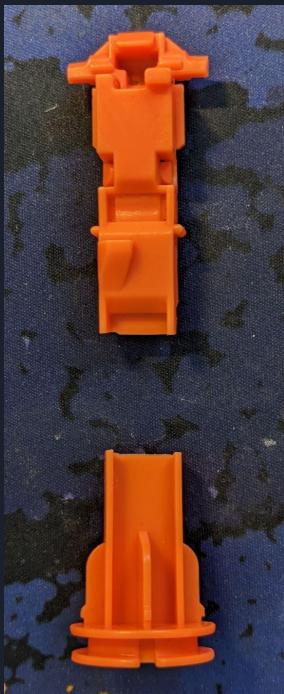
Marc Fuschino

36438

Positionnement thématique

Objets / jouets:

- **moins** chers
- **moins** réparables
- **plus** fragiles



(Piston de compression sectionné net)

Problème:

- **Impossible** d'acheter des pièces détachées
- **Force** le consommateur à acheter **neuf**

Solution:

Impression 3D utilisé dans le **prototypage** en tout genre. (sport haut niveau jusqu'au hobby)

- Méthode de manufacture **rapide** et **peu coûteuse**, contrairement à l'injection.
- **Accessible** aux particuliers + modèles 3D disponibles sur internet **gratuitement**

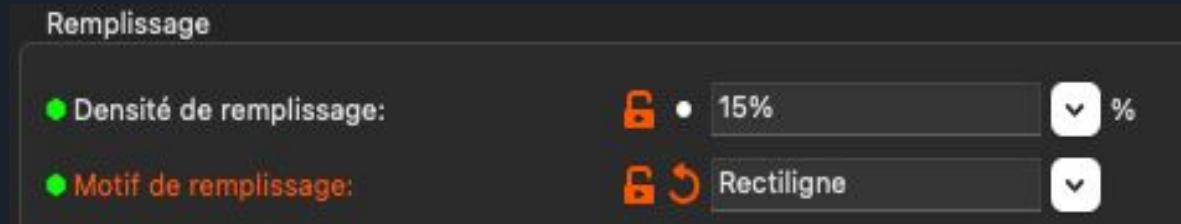
Problématique et plan

Quels paramètres de remplissage utiliser lors de l'impression 3D d'une pièce en PLA? Application à une réparation de jouet.

- Caractéristiques du remplissage
- Outils théoriques
- Modélisation de l'éprouvette
- Impression des éprouvettes
- Essais sur banc de traction
- Détermination expérimentale des paramètres
- Impression d'une pièce de rechange et réparation

Caractéristique du remplissage

Le **remplissage** définit la **forme** et la **densité** de matière qui doit remplir une pièce.



(PrusaSlicer infill presets: extrait du logiciel PrusaSlicer)

Il est configuré directement depuis le **SLICER**, logiciel permettant de générer les fichiers qui sont lus par l'imprimante.

2 caractéristiques **principales**:

- Le **motif** de remplissage
- La **densité** de remplissage

Motifs et densité de remplissage

Dans cette étude, nous étudierons les motifs suivants:

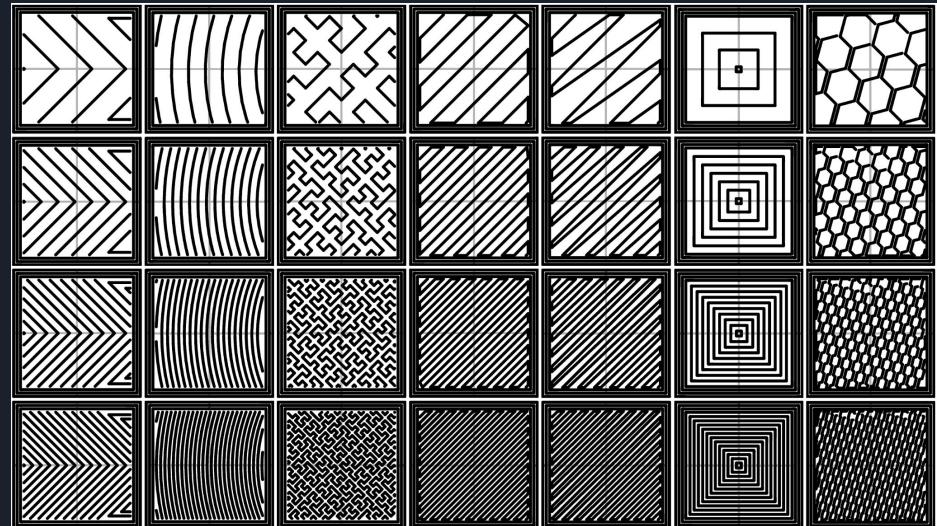
Une fois le motif optimal retenu, nous l'étudierons sous plusieurs densités

Motifs: à 20%

- Ligne
- Rectiligne aligné
- Triangles
- Etoiles
- Grille
- Cubique
- Nid d'abeille
- Gyroïde

Densités:

- 10%
- 15%
- 20%
- 25%
- 30%
- 40%
- 50%



(Effects of infill pattern on material strength)

Nous devons nous limiter à une densité relativement faible à cause du diamètre de la buse:
0,4 mm



Outils théoriques

Modèle:

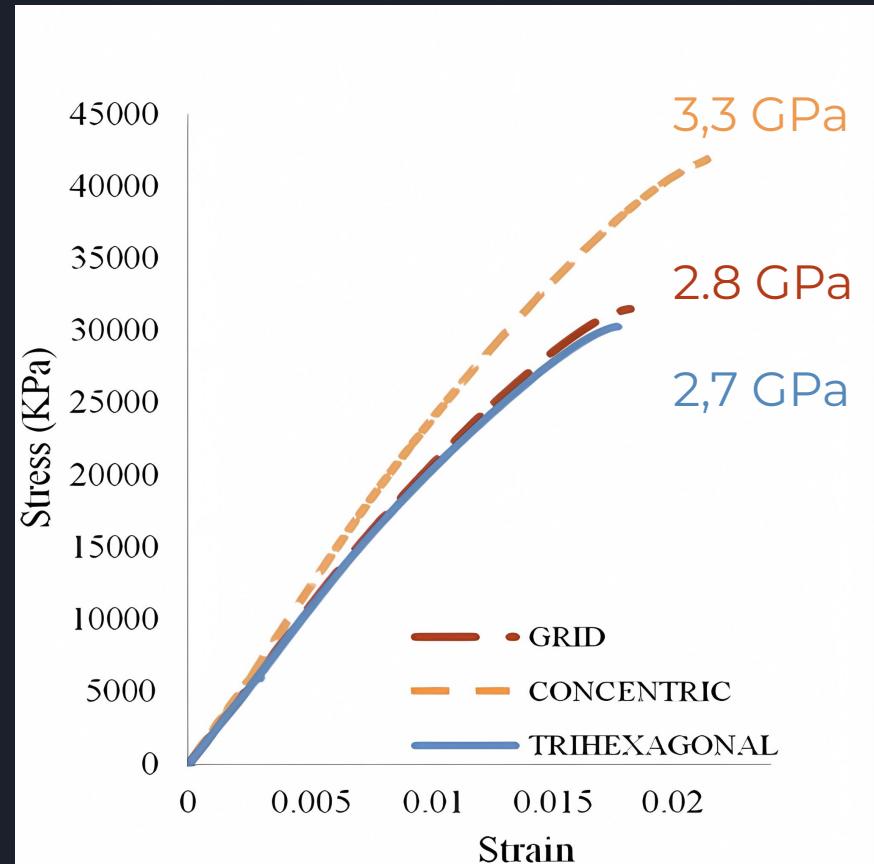
Loi de Hooke: modélise le comportement des solides élastiques soumis à des contraintes.

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Hypothèses:

- Module de Young (E) dépend du remplissage et non du type de matière considéré (que nous prouverons)

- La surface S de section reste constante malgré le remplissage

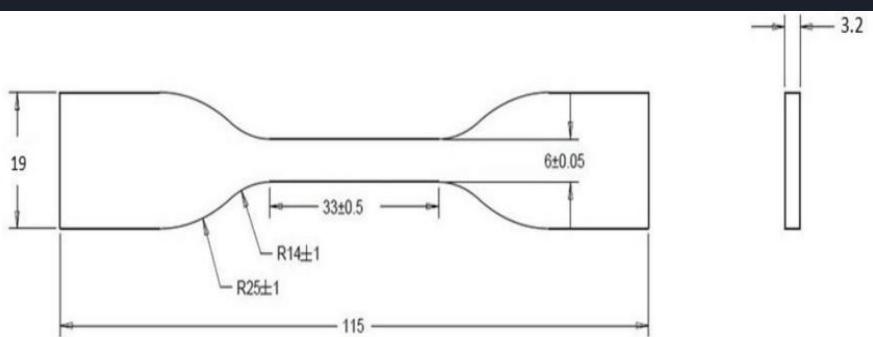


(Infill pattern and density effects on the tensile properties of 3D printed PLA material – Journal of Physics: Conference Series)

Choix de l'éprouvette

L'éprouvette doit respecter des standards précis.

On s'interessera ici à la norme **ASTM D638** → J'ai initialement fait le choix:
- Éprouvette Type IV

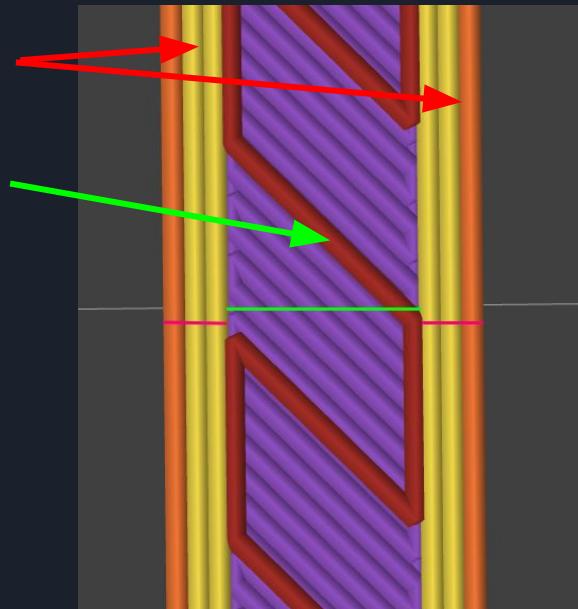


(ASTM D638 Type 1 test specimen specifications)

Murs (plein)

Remplissage

Les murs représentent **40%** de la structure de l'éprouvette.



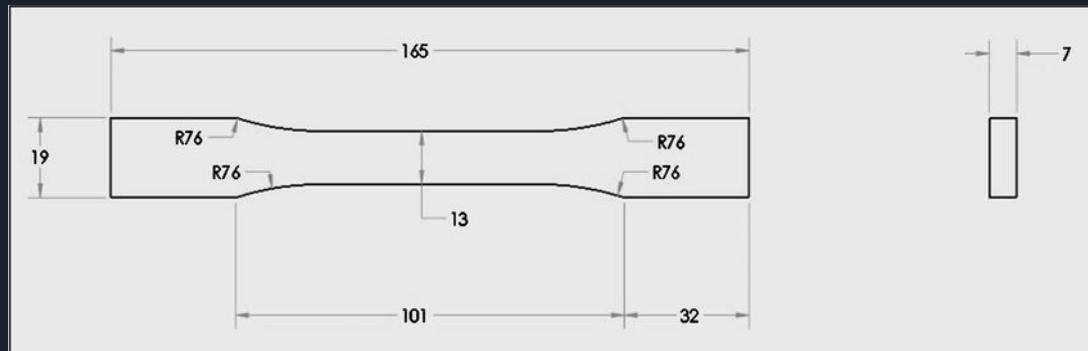
$$\%_{mur} = \frac{l_{mur}}{L} = \frac{0.4 \cdot 6}{6} = 40\%$$

→ On n'étudie pas assez le motif avec cette éprouvette.

Choix de l'éprouvette (partie 2)

Ainsi, nous utiliserons l'éprouvette Type I.

Dans cette configuration, les murs représentent **moins de 20%** de la structure.



Nous utiliserons du **PLA**:

- Peu coûteux
- Facile à imprimer (190-210°C)
- Plus résistant que l'ABS.

Paramètres d'impression:

- Buse: 207°C
- Plateau: 60°C
- Plastique: PLA



(Bobine de PLA)



Impression: Génération du GCODE

Une fois l'éprouvette choisie, il faut générer le **GCODE** qui sera lu par l'imprimante.

Nombre important d'
éprouvettes
→ Il faut automatiser

[Code en ANNEXE]

Code → Génère un fichier pour chaque remplissage

Problème!

- Temps restreint
- Plateau chaud → impossible de décoller l'éprouvette
- Temps important de chauffe et de refroidissement.
- **4h30** impression + maintenance

Solution:

- Imprimer les éprouvettes en même temps
- Objet par Objet ≠ couche par couche
- Permet d'éviter les problèmes d'adhérences
- → Meilleure qualité de l'éprouvette
- **2h30** impression

Mise en place d'un protocole de test

3 éprouvettes pour chaque motif:

(évite)

- Glissements des pinces
- Problèmes de soudure inter-couches

Mise en forme des résultats

- Rapport contrainte/masse
- Sélection du motif gagnant à 20%
- Sélection de la densité du motif retenu

Mesure des données:

- Pesée des éprouvettes
- Mesure au banc de traction du module de Young et de la contrainte à la rupture

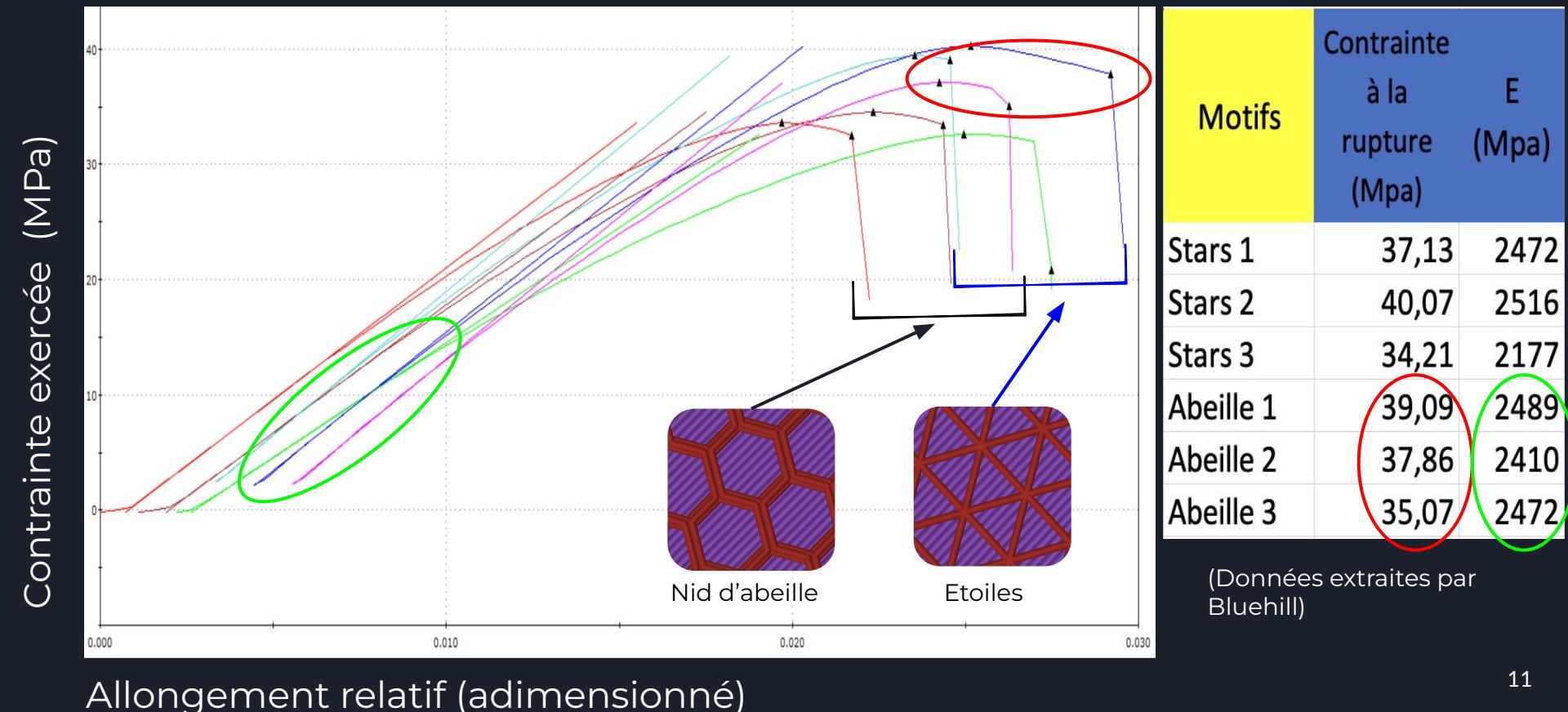


Banc de traction: (Essai réalisé au lycée Jean Perrin, filière BTS plasturgie)

Résultats préliminaires

Grâce au **graphe** de déformation

→ **Module de Young (Pente) + contrainte à la rupture** propre à chaque motif



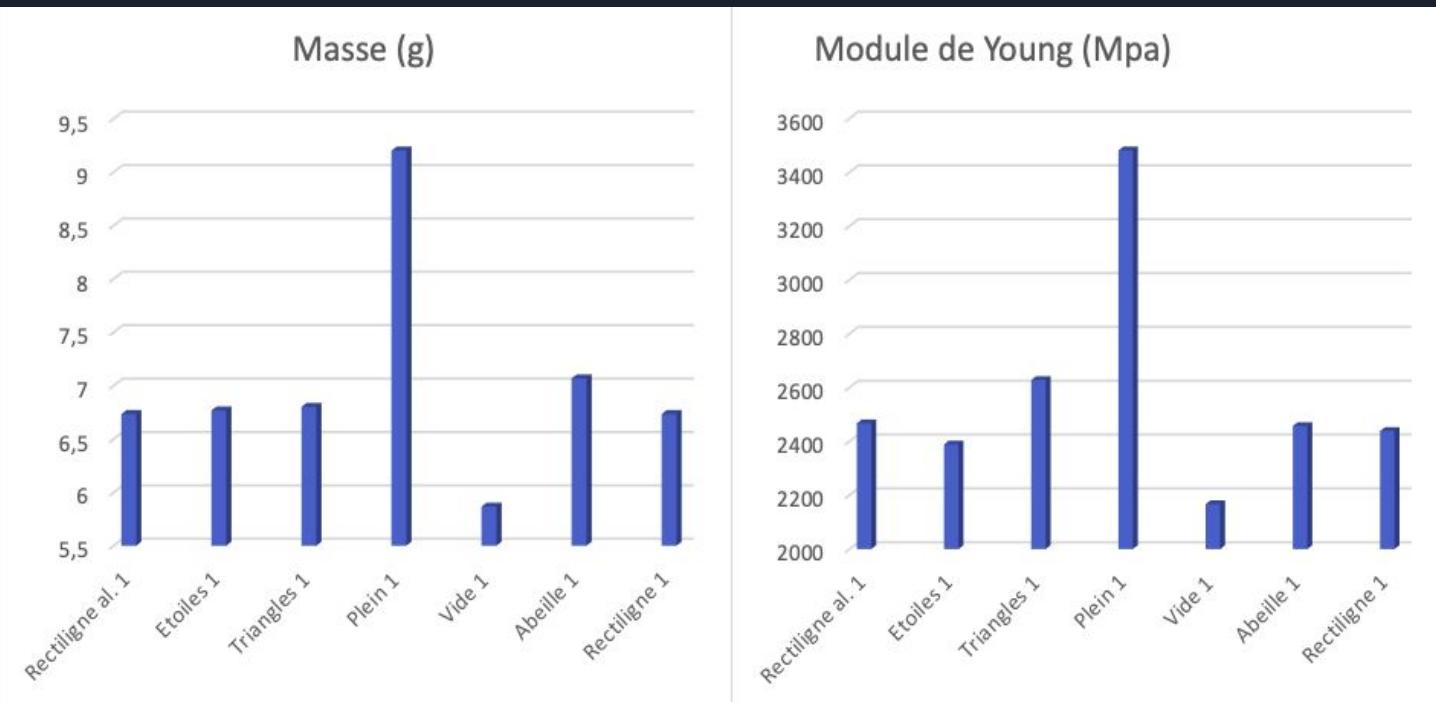
Premiers résultats: Choix du motif (partie 1)

Remarques:

→ **5,8g** de l'éprouvette vide représentent uniquement la structure externe

→ Cohérence des résultats:
+ matière → + résistant et similaires aux études préexistantes

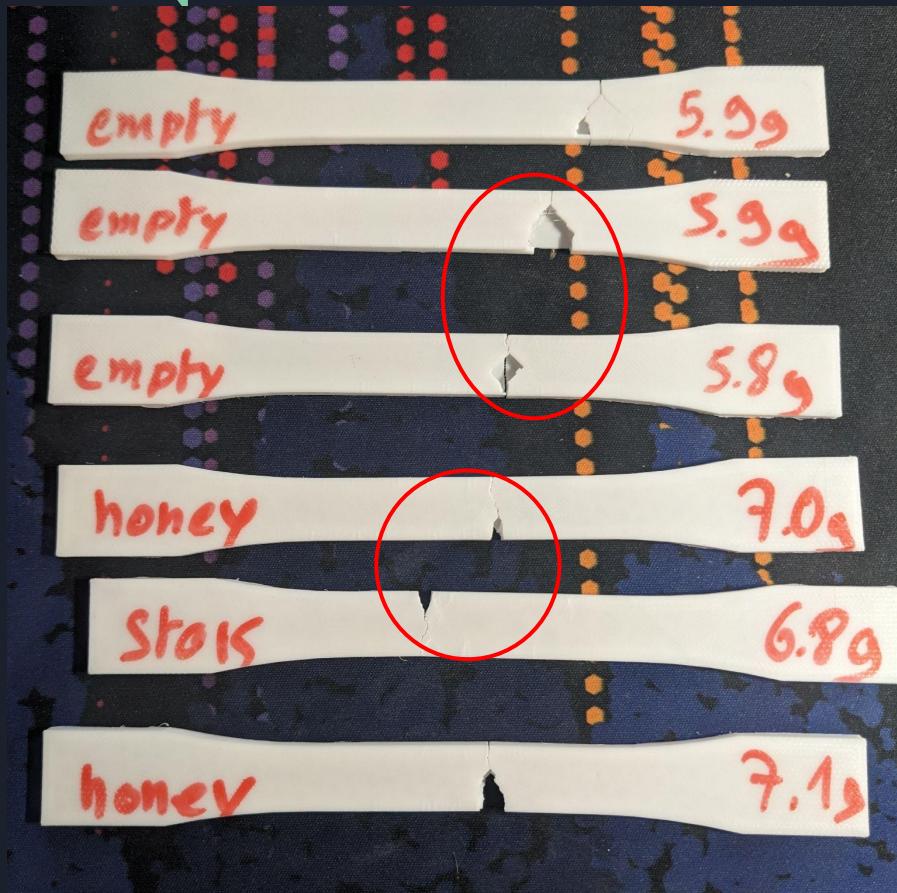
→ **OR:** Abeille vs Triangle:
+ matière → - résistant
→ Existe une relation entre le motif et la résistance en traction



Éprouvette pleine:
Référence plastique injecté (si fusion idéale)

Éprouvette vide:
Structure extérieure uniquement

Premiers résultats: Analyse visuelle



(Éprouvettes vides et nid d'abeille cassées)

Après essais de traction:

- Vide + Nid d'abeille
- Se cassent en plusieurs morceaux

Problème:

- Non présent sur les autres éprouvettes
- + de problème dans un système

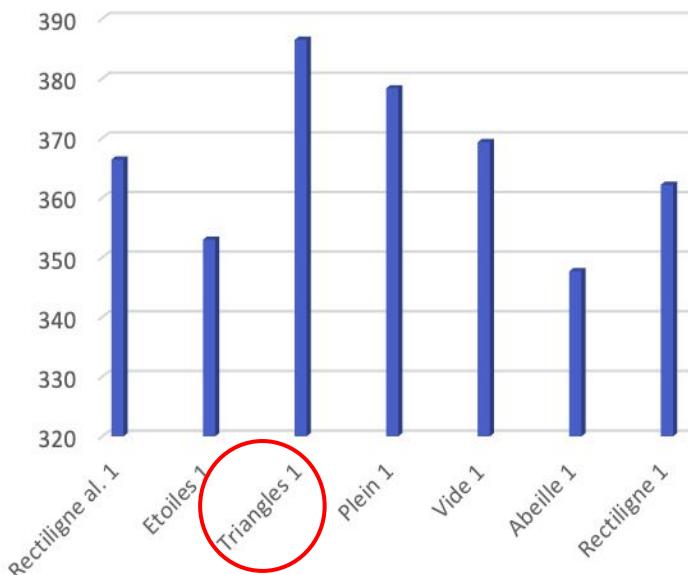
On s'attend donc:

- Résistance inférieure aux autres motifs étudiés

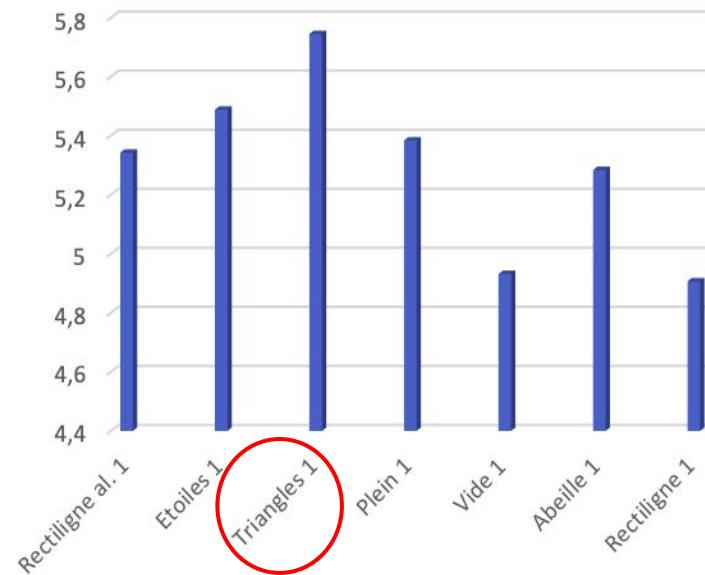
Premiers résultats: Choix du motif

Motif retenu à 20%: → Triangle

Rapport module de Young sur masse
(Mpa/g)



Rapport contrainte rupture sur masse
(Mpa/g)



Conclusion:

→ Inutile de tout remplir
→ Inutile de faire le vide

→ Le motif à donc bien une influence sur la “résistance” pour une même quantité de matière.

Module de Young / masse: 386 MPa/g

Contrainte à la rupture / masse: 5.75 MPa/g

Résultats expérimentaux: Choix de la densité

Densité retenue:

- **20%** Contrainte à la rupture
- **25%** Module de Young

Rapport module de young sur masse
(Mpa/g)



Rapport contrainte à la rupture sur masse
(Mpa/g)



Conclusion:

- Différents paramètres trouvés
- Re-évolution du ratio jusqu'à atteindre celui de l'éprouvette pleine

Module de Young / masse: 388 MPa/g

Contrainte à la rupture / masse: 5.75 MPa/g

Impression pièce de rechange



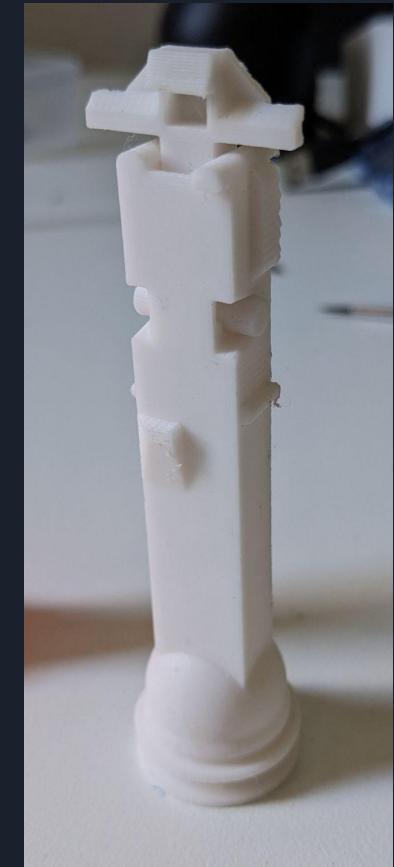
(Piston à changer
modélisé sur Fusion
360)

Modélisation & impression:

- Piston modélisé sur Fusion 360
- Contrainte à la rupture n'est **pas un problème**
- **Attention:** Travail du plastique sur le long terme
 - Nécessite module de Young **important**
Ainsi on prends le motif **Triangle** à **25%**

Mesures après impression:

- **Ancien** piston: 8,8g
- **Nouveau** piston: 7,9g
- Réduction de masse de ~10%



(Piston imprimé en
PLA blanc)

Conclusion

Quel remplissage utiliser lors de l'impression de pièces en 3D?

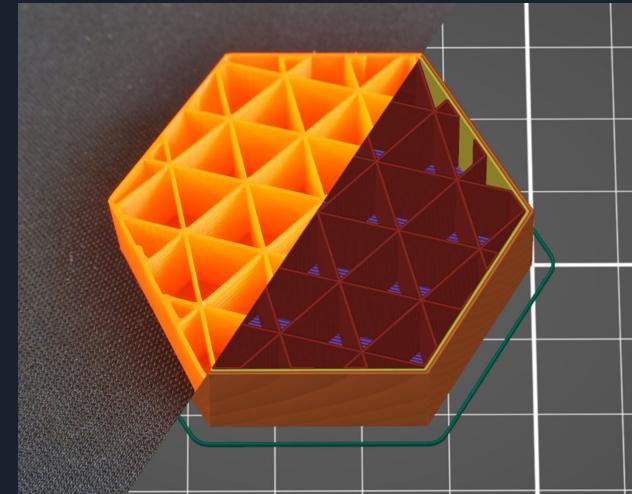
Afin d'optimiser le ratio module de young / masse

→ Motif **Triangle** à **25%**

Afin d'optimiser le ratio contrainte à la rupture / masse

→ Motif **Triangle** à **20%**

Au total: ~ **50** éprouvettes testées



(Triangles preset help.prusa3d.com)

Quelles amélioration à apporter ?

- Classification des échantillons en fonction du rapport:
module de Young / temps d'impression
- D'autres efforts existent (torsion, flexion...) et peuvent être étudiés
- Étudier les performances du jouet réparé (comparer à l'original)

ANNEXE

```
#!/bin/zsh
slicerpath=/Applications/Original\ Drivers/PrusaSlicer.app/Contents/MacOS/PrusaSlicer
outdir=output/
declare -a infills=("rectilinear" "alignedrectilinear" "concentric" "grid" "honeycomb" "stars" "gyroid" "triangles")
rm $outdir*.gcode
rm stl/*.gcode
rm 1
echo "filename;time;infill_density;infill_pattern" > output.csv

if [[ $1 == "" ]]; then
    filldensity="20%"
    echo "Filling density will default to 20%"
else
    filldensity="${1}%"
    echo "Filling density is set to:" $filldensity
fi

for stl in stl/*.stl; do
    filename=$(echo $stl | cut -d '.' -f 1 | cut -d '/' -f 2)
    for infill in ${infills[@]}; do
        echo "Slicing" $filename "at" $filldensity "of" $infill
        $slicerpath \
            --load ./config.ini \
            --printer-technology FFF \
            --fill-pattern $infill \
            --fill-density $filldensity \
            --top-fill-pattern monotonic \
            --bottom-fill-pattern monotonic \
            --slice \
            -g \
            $stl \
            >/dev/null 2>&1

        time=$(echo stl/*.gcode | cut -d '_' -f 2)
        mv stl/*.gcode $outdir${filename}_${time}_${filldensity}_${infill}.gcode
        echo "$filename;$time;$filldensity;$infill" >> output.csv
    done
done
```

Script bash permettant la génération automatisée du **GCODE** utilisé.

Initialisation
(Variables &
répertoire de
travail)

Demande à
l'utilisateur la
densité
souhaitée

Boucle: pour
tous les motifs:

Génération du
GCODE

Exportation des
données au
format CSV