

Issue d'une séance de Travaux Pratiques de première année Sciences de l'ingénieur à l'ENS Paris-Saclay, cette ressource contient les éléments nécessaires à la mise en place de TP (fichiers pièces, courbes, valeurs...) et suggère des questions possibles.



Figure 1 : Éprouvettes sur les plateaux d'impression

La ressource « Impression 3D : présentation générale » [1] présente le procédé de fabrication additive.

Vous ne disposez pas du matériel nécessaire aux manipulations :

Des encarts le long de ce document indiquent des liens où trouver les résultats, des annexes ou les adaptations possibles.

1 – Contexte - objectifs

Le TP proposé concerne l'étude du procédé de fabrication additive par extrusion de polymères. Les objectifs du TP proposé portent sur tout ou partie des points suivants :

- Caractériser le procédé de fabrication additive de pièces plastiques, sa potentialité, et ses limites, afin de pouvoir l'intégrer dans un processus industriel ;
- Appréhender le processus global qui mène du fil à la pièce finie ;
- Identifier et caractériser les défauts géométriques d'une machine ;
- Analyser l'influence des paramètres procédés sur les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles des pièces obtenues.

2 – Moyens à disposition

- Une machine M200 de chez Zortrax et son logiciel de préparation d'impression Z-Suite. Ce type de machine permet d'imprimer des pièces par extrusion d'un fil ABS¹, PLA² ou autres (Principe FDM). Ces machines sont bien adaptées à la fabrication de pièces prototypes ou fonctionnelles en polymères ;
- Une machine d'essai universelle INSTRON 3369 et son logiciel de pilotage Bluehill 3 afin de réaliser un essai de traction et du matériel classique de métrologie.
- Une feuille d'analyse de plans d'expériences L9 (Annexe TP fabrication additive : Table Taguchi [2]).

Vous ne disposez pas du matériel nécessaire aux manipulations :

Plan d'expérience : on peut se reporter aux lectures suivantes :

- [Les plans d'expériences, L. Gendre, A. Savary, B. Soulier \[3\]](#)
- [Les plans d'expériences par la méthode de TAGUCHI, M. Pillet \[4\]](#)

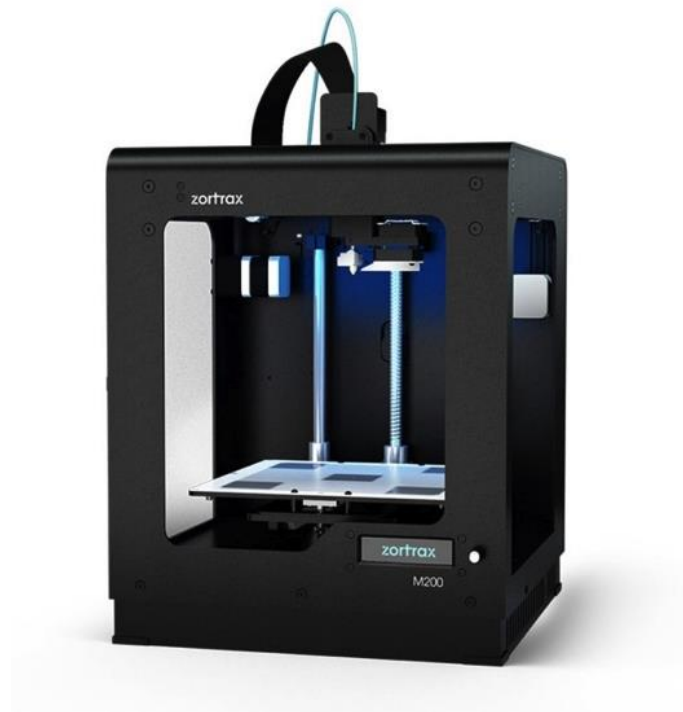


Figure 2 : Zortrax M200

3 – Analyse de l'ensemble mécanique, étude des défauts géométriques

Cette première étape concerne l'étude de la machine d'impression 3D (ici la Zortrax M200).

3.1 - Proposition de questions pré-impression

- Après avoir pris connaissance des diagrammes SysML fournis (paragraphe 5), repérer les principaux constituants du système et leurs fonctions.

¹ ABS : Acrylonitrile-butadiène-styrène. C'est un copolymère.

² PLA : L'acide polylactique est un homopolymère d'acide lactique. Il s'agit en réalité d'un polymère de type polyester. Le PLA est un bioplastique compostable.

- Identifier les différents principes d'entraînement de la table et de la tête d'impression.
- Avantages et inconvénients de chacune des solutions employées.
- Proposer un schéma cinématique de la machine.
- Quels sont les différents défauts géométriques dans le plan X,Y de ce type de structure ?
- Comment les identifier et les minimiser ?
- Afin de caractériser les défauts géométriques de ce type de structure, on se propose d'imprimer la pièce suivante :

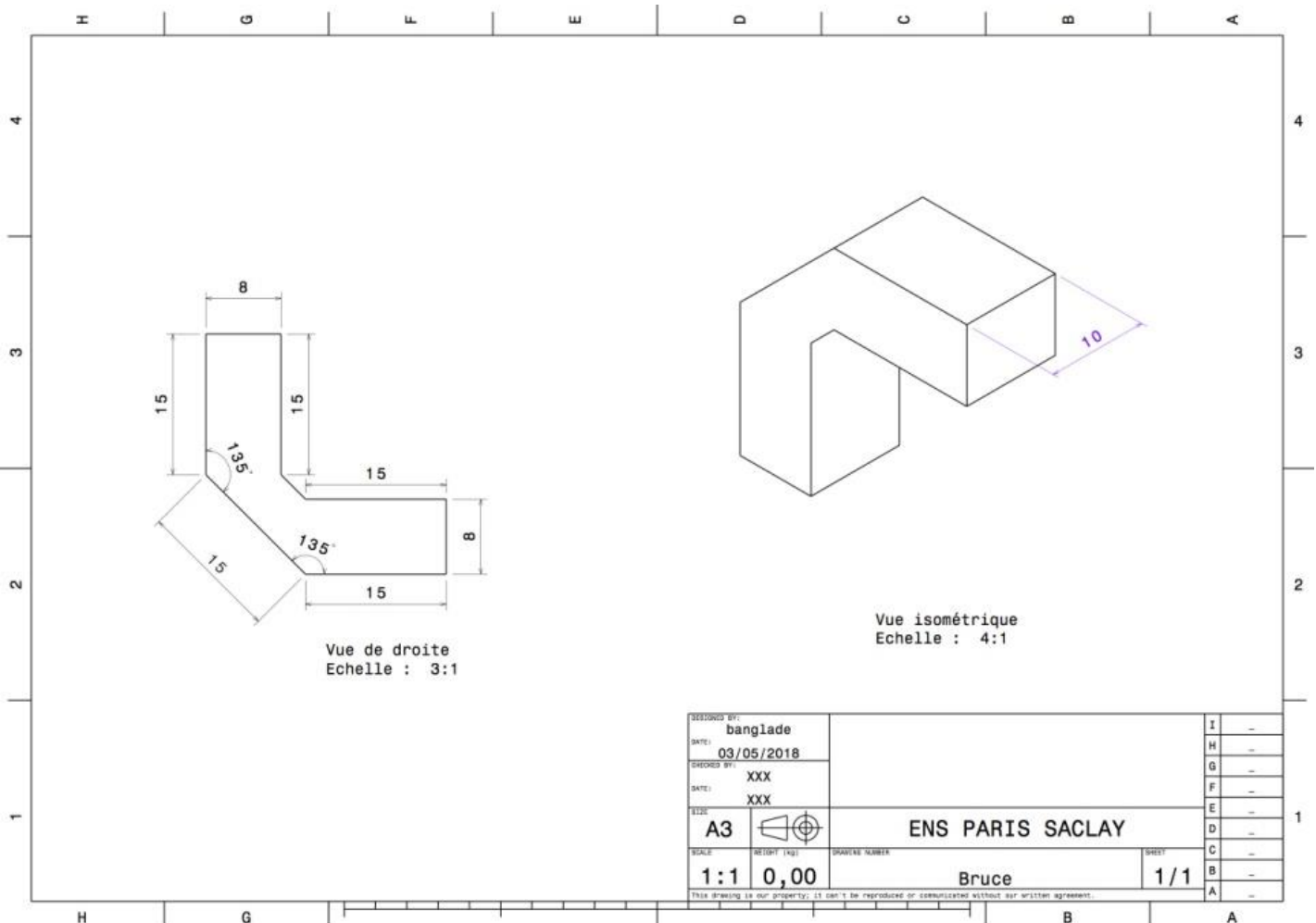


Figure 3 : Plan de la pièce test à imprimer

3.2 - Manipulation : Impression 3D

Préparer et lancer une impression de quatre exemplaires de cette pièce répartis en carré, espacés de 100 mm sur le plateau.

- Importer le fichier à imprimer, voir l'annexe « TP Fabrication additive : Pièce test » [2] (le zip contient le fichier stl ainsi que les lignes de code pour l'impression que la Zortrax M200) ;
- À l'aide des différentes fonctions proposées dans le menu, préparer l'impression :

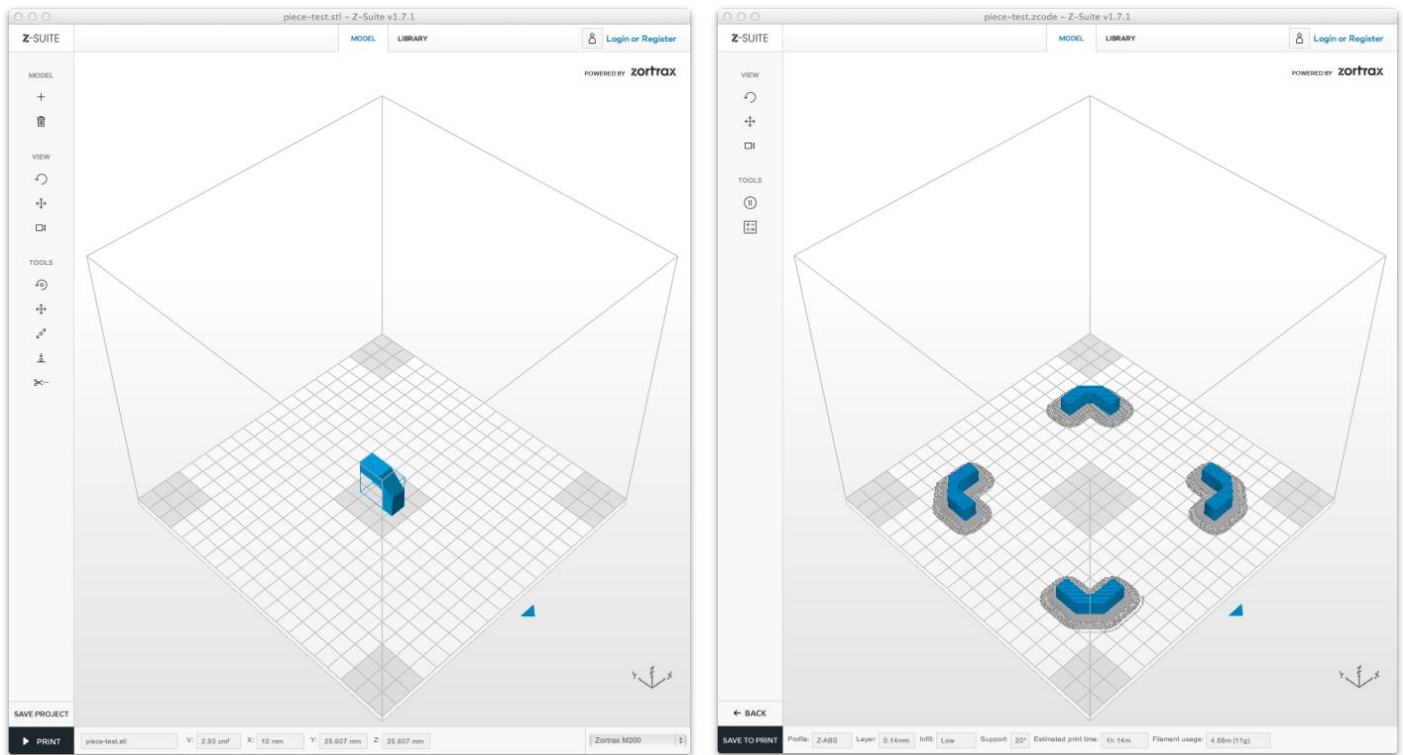
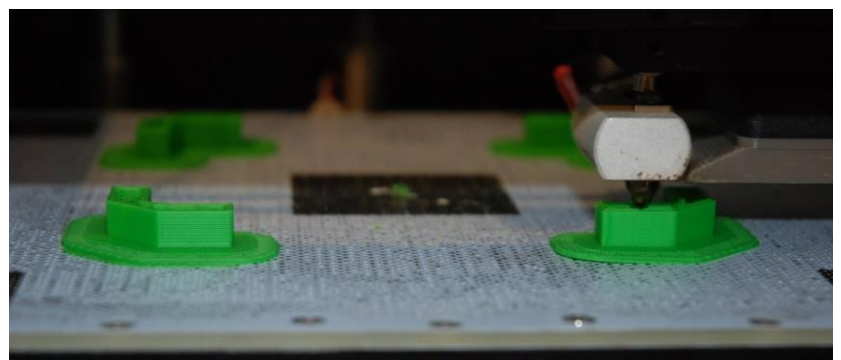
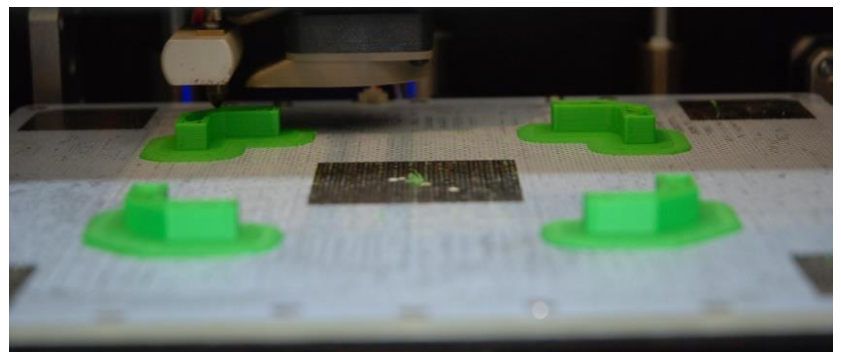
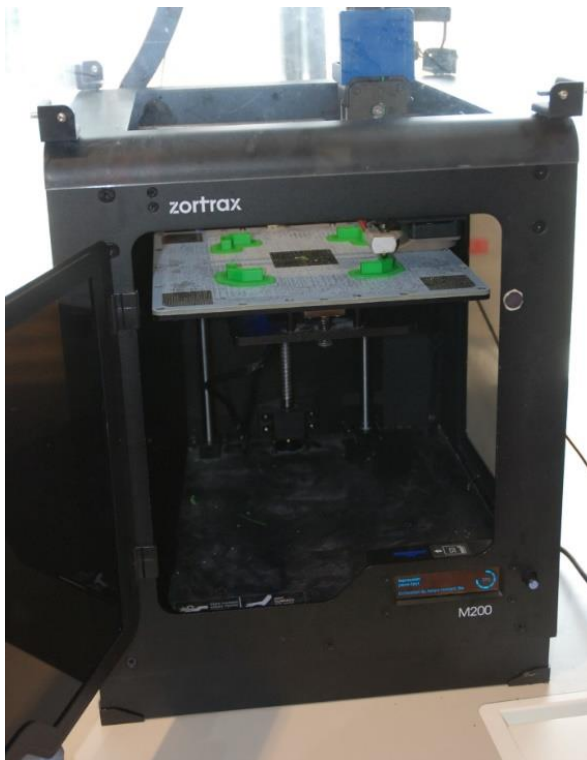
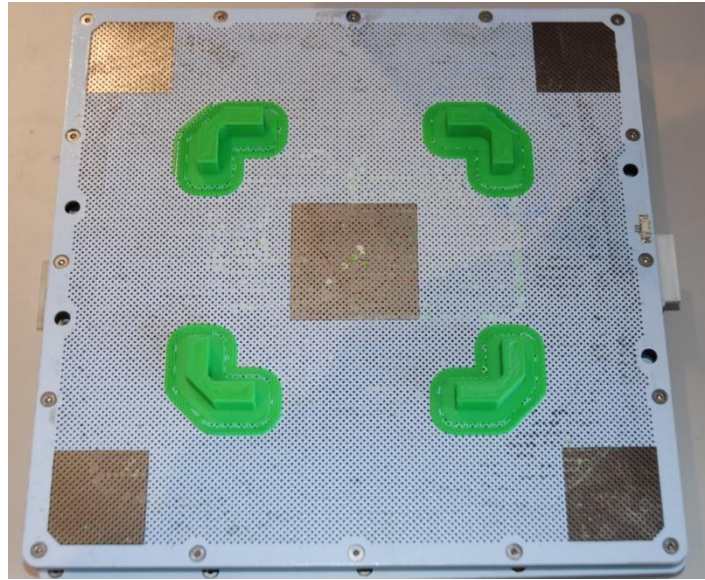
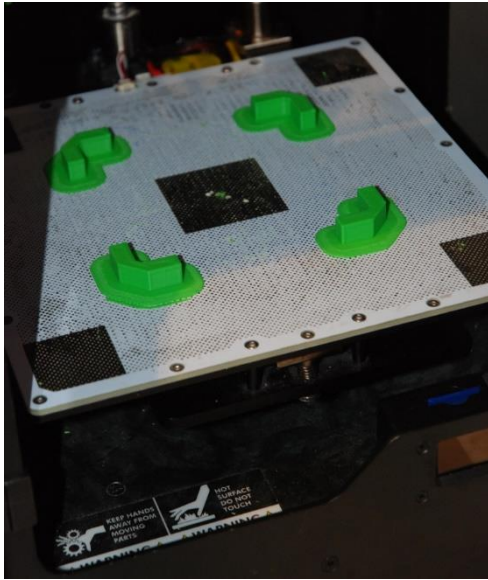


Figure 4 : Exemple de fenêtres d'impression sur la Zortrax M200 (Z-suite)

- Lancer l'impression.



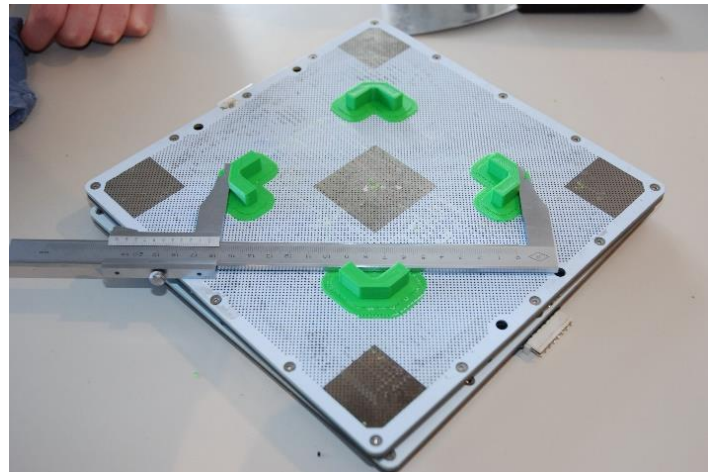
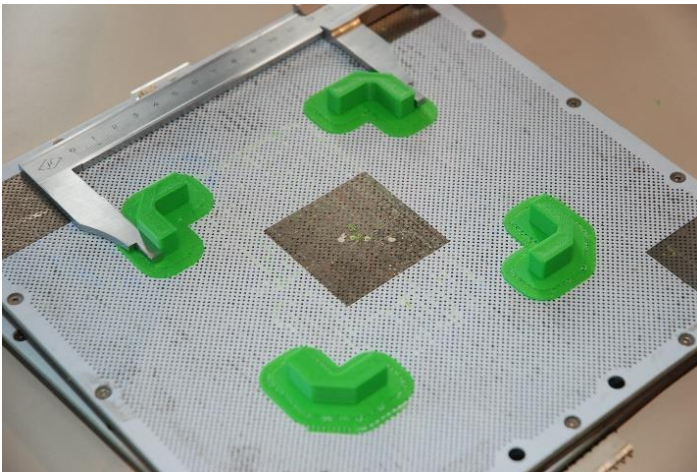
Zortrax M200 en cours d'impression



Fin d'impression

3.3 - Proposition de questions post-impression

- Décrire le principe de la prise d'origine sur le plateau.
- Quel est l'intérêt de cette prise d'origine ?
- Décrire les différents éléments constituant la tête d'extrusion du fil.
- Préciser la fonction de ces éléments.
- Le plateau de construction des pièces est constitué d'une plaque chauffante, quel en est l'intérêt ?
- Une fois l'impression terminée, récupérer le plateau d'impression sans décoller les pièces.
- À l'aide du matériel de mesure proposé, déterminer les valeurs des défauts géométriques.



- Conclure sur la pertinence des résultats.

Vous ne disposez pas du matériel nécessaire aux manipulations :

La vidéo « T.P. Fabrication additive : Impression sur Zortrax M200 » [5] permet de visualiser les premières couches d'impression sur la pièce test, le relevé des erreurs est fourni dans l'annexe « TP Fabrication additive : Valeurs-Défauts » [2].

4 – Caractéristiques du matériau employé et des paramètres procédés

Cette étape concerne l'étude de la stratégie d'impression utilisée.

La méthode Ishikawa classe les différentes causes d'un problème en cinq grandes familles :

- **Matière** : les différents consommables utilisés, matières premières, ...
- **Milieu** : le lieu de travail, son aspect, son organisation physique, ...
- **Méthodes** : les procédures, le flux d'information, ...
- **Matériel** : les équipements, machines, outillages, pièces de rechange, ...
- **Main d'œuvre** : les ressources humaines, les qualifications du personnel, ...

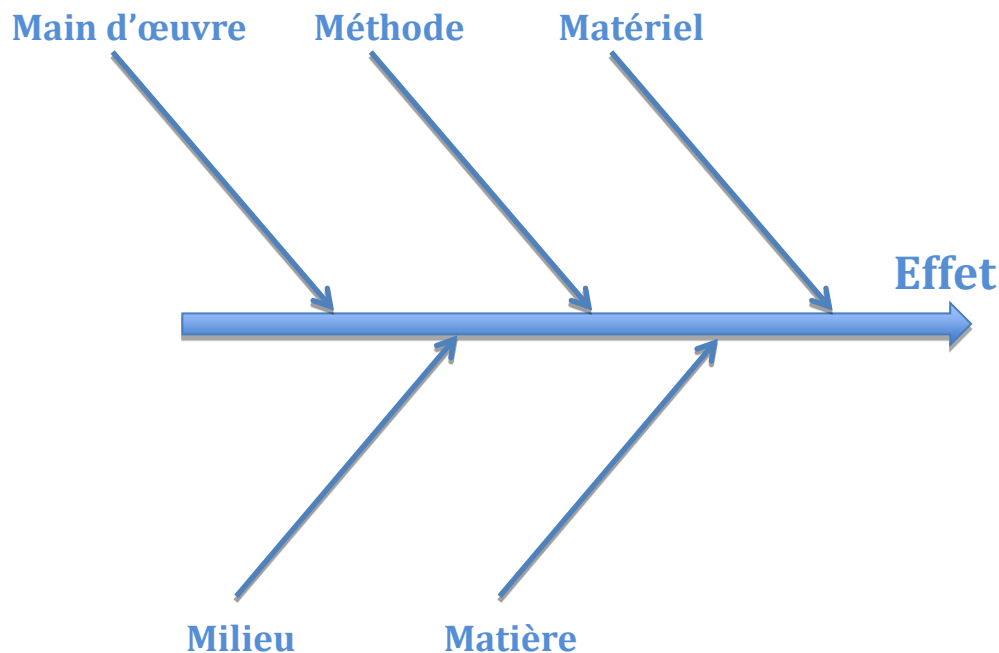


Figure 5 : Diagramme causes-effet

4.1 - Proposition de question pré-manipulation

- À l'aide de cette méthode et du diagramme causes-effet associé, identifier les paramètres qui vous paraissent influents sur les caractéristiques mécaniques des pièces obtenues.

Afin d'optimiser le temps d'impression, on ne s'est intéressé qu'aux paramètres suivants :

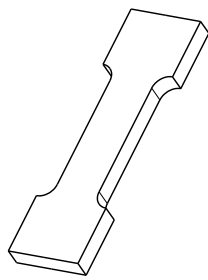
- **Pas d'impression** : 0,13 - 0,18 - 0,25 mm (suivant Z)
- **Densité** : 40 - 60 - 80 %
- **Angle d'orientation dans le plan X,Y** : 0° (0° // à X) - 22,5° - 45°

Nous allons déterminer les caractéristiques mécaniques des pièces obtenues en fonction de ces trois paramètres, pour cela nous allons mettre en place un plan d'expérience 3^3 (3 facteurs à 3 niveaux) afin d'identifier l'influence de chacun de ces paramètres.

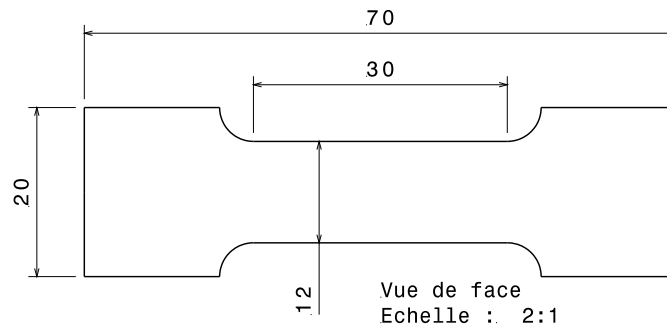
Définition des facteurs et niveau du modèle

Facteur n°	Nom	Valeur		
		niveau 1	niveau 2	niveau 3
1	Pas d'impression	0,13	0,18	0,25
2	Densité	40	60	80
3	Angle d'orientation	0°	22,5°	45°

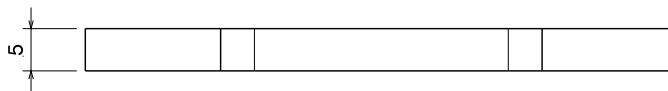
L'éprouvette, qui nous permettra d'effectuer nos essais, a les caractéristiques suivantes :



Vue isométrique
Echelle : 1:1



Vue de face
Echelle : 2:1

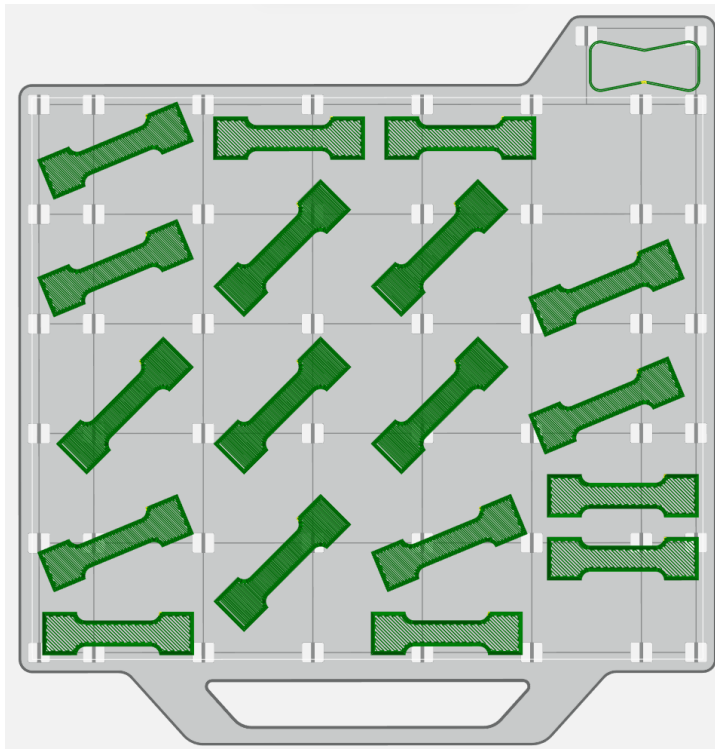


Vue de dessus
Echelle : 2:1

Eprouvette de traction en ABS



Figure 6 : Éprouvette d'essai



Style de remplissage : Clairsemé



Épaisseur des peaux : 1,524 mm

Un plateau d'impression correspond à un pas d'impression.

Figure 7 : Plateau d'impression

4.2 - Manipulation : essais de traction

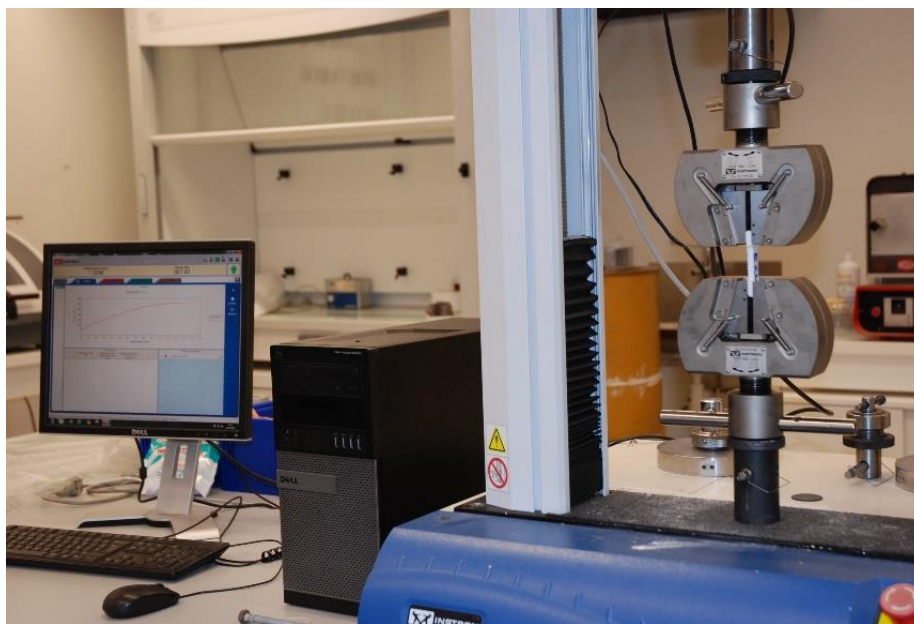


Figure 8 : Machine de traction INSTRON 3369 et logiciel de pilotage Bluehill 3

À l'aide d'une machine de traction effectuer un essai de traction sur chacune des neuf éprouvettes proposées afin de déterminer sa résistance maxi à la traction, son allongement maxi et son module de Young (trois réponses).

Effectuer également un essai de traction sur l'éprouvette découpée dans une plaque obtenue par extrusion.

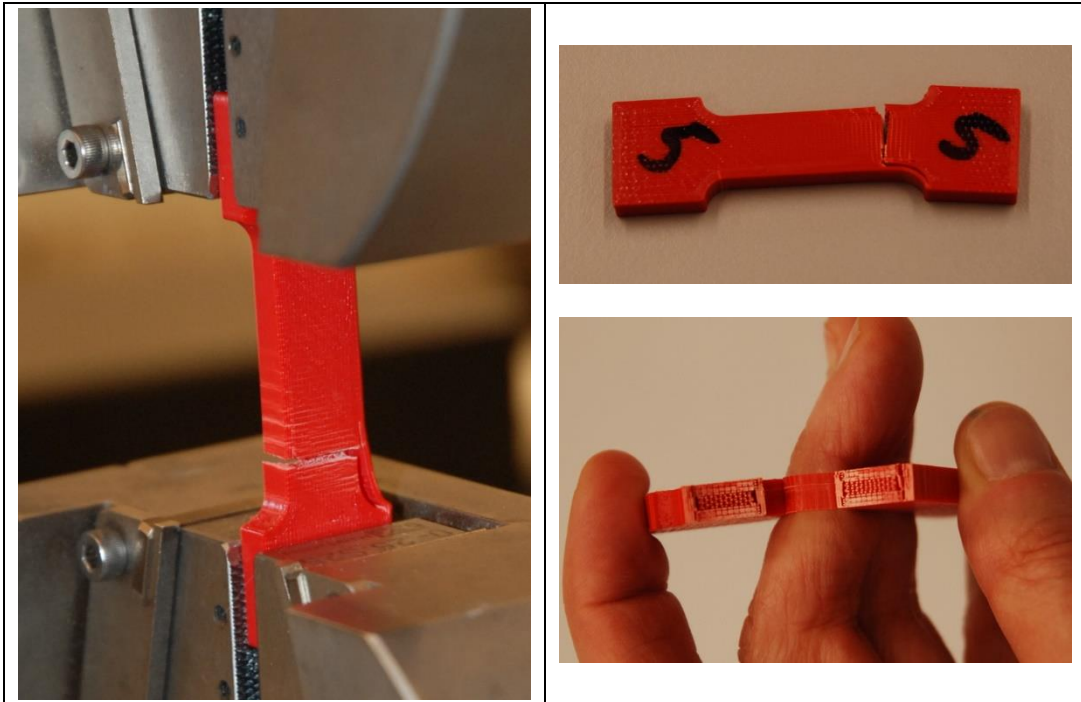


Figure 9 : Exemple pendant un des essais et à la fin. Tous les visuels des essais sont regroupés dans l'annexe « TP Fabrication additive : Les essais » [2]

4.3 - Propositions de questions post-manipulation

- En fonction des valeurs relevées, compléter les tables L9 associées au plan proposé. Les N° des pièces correspondent aux N° des essais.
- Conclure sur l'influence des paramètres.

Vous ne disposez pas du matériel nécessaire aux manipulations :

Les fichiers des valeurs relevées pour chacun des essais sont fournis en annexe « TP Fabrication additive : Résultats essais traction » [2], elle contient dix fichiers Excel et un pdf des courbes obtenues.

5 – Diagramme SysML

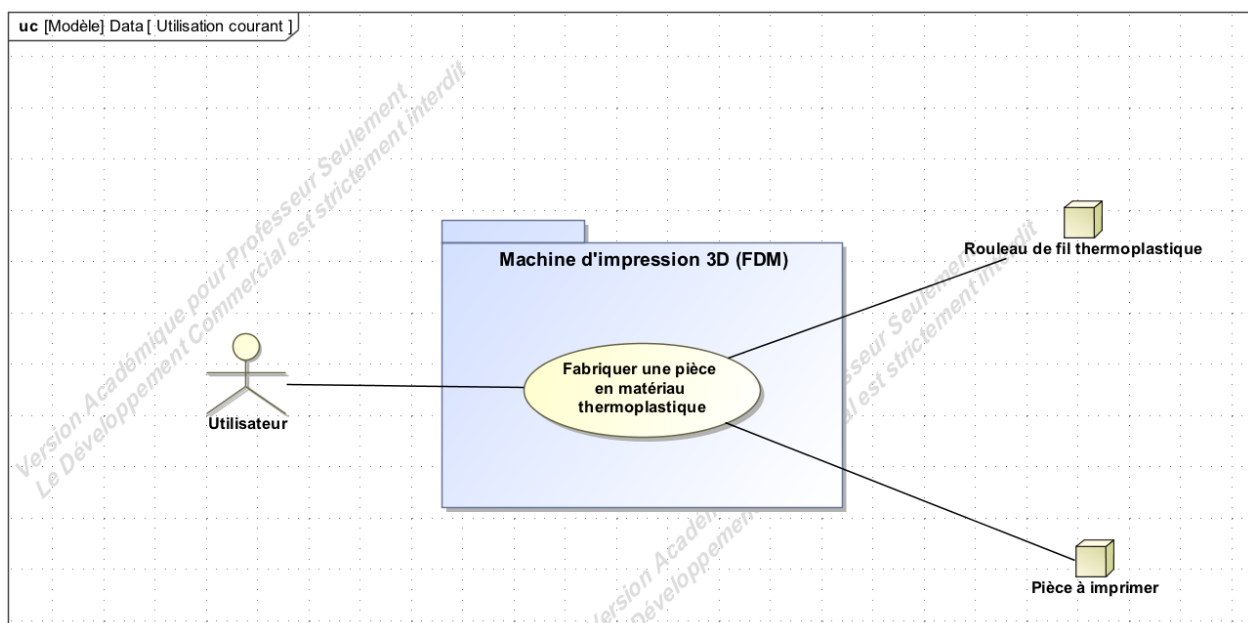


Diagramme de cas d'utilisation

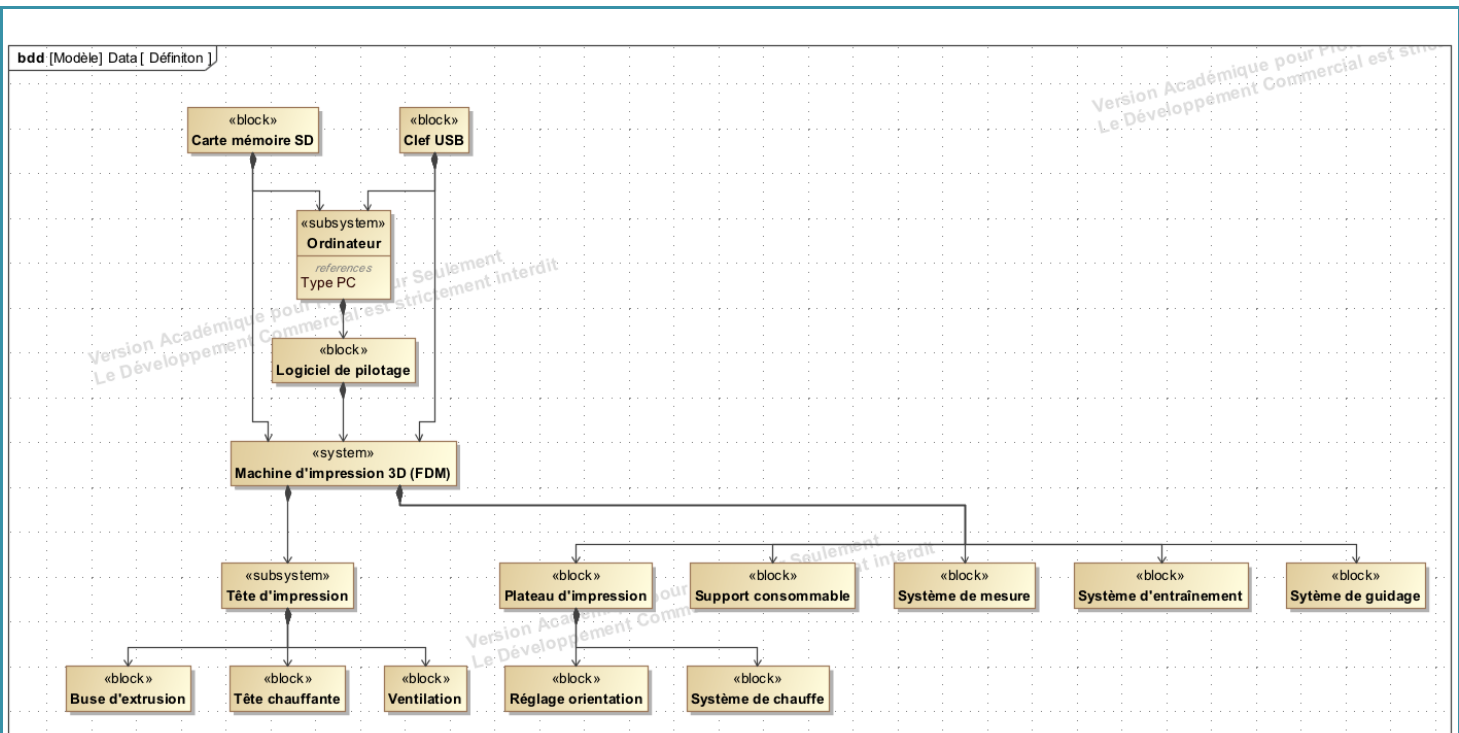


Diagramme de blocs

Références :

[1]: Impression générale : présentation additive, B. Anglade, D. Comberton, décembre 2018, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/impression-3d-presentation-generale

[2]: Annexes T.P. Fabrication additive :

- Table Taguchi
- Valeurs-Défauts
- Les essais
- Résultats essais traction

B. Anglade, P. Mella, Y. Quinsat, H. Horsin Molinaro, Culture Sciences de l'Ingénieur, janvier 2022, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/tp-estampage-matricage-mise-en-evidence-des-relations-produit-procede

[3]: Les plans d'expérience, L. Gendre, A. Savary, B. soulier, Culture Sciences de l'Ingénieur, juillet 2015, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/ressources_pedagogiques/les-plans-d-experiences

[4]: Les plans d'expériences par la méthode de Taguchi, M. Pillet, Ellistat, <https://ellistat.com/Les-plans-d-experiences-par-la-methode-Taguchi.pdf>

[5] : T.P. Fabrication additive : Impression sur Zortrax M200, B. Anglade, Culture Sciences de l'Ingénieur, janvier 2022, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/tp-fabrication-additive-impression-sur-zortrax-m200

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>