

COMPOSITION DE SCIENCES DE L'INGENIEUR (DS1)

Evaluation des cycles :

- **Cy1 : Réaliser l'analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes asservis**

Support :

- **Système d'impression 3D**



AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE

INSTRUMENT DE CALCUL AUTORISE

Consignes :

*Il est fortement conseillé de **lire la totalité du sujet** avant de démarrer votre travail.*

*L'utilisation du crayon papier est **interdite** sur la copie.*

*La rédaction des réponses sera **la plus concise possible** : on évitera de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.*

Chaque réponse ne pourra se limiter à une suite d'expressions mathématiques ou françaises sans justification.

On encadrera obligatoirement les résultats.

Le non-respect de ces consignes entraînera des points de pénalisation.

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Ce document comprend un Dossier Technique (p2 à 7) et un Dossier de Travail à Faire (p7 à 11).



La page 9 sera à rendre avec votre copie

Dossier Technique

Diagramme de Contenu 0 - Expression du besoin initial [Expression du Besoin initial]

Expression du besoin initial

L'impression 3D pour l'industrie et l'ingénierie

L'utilisation de l'impression 3D dans le secteur industriel est sans conteste la plus développée parmi les applications professionnelles. Ce procédé de fabrication additive se positionne comme un outil précieux dans les phases de développement d'un projet. Que ce soit pour les phases d'innovation et/ou de conception, une imprimante 3D industrielle offre à son utilisateur de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles.

Les atouts qu'offrent l'impression 3D lorsqu'elle est intégrée dans le processus industriel sont multiples. Elle permet de répondre à de nombreux besoins et offre de nouvelles perspectives.

Les avantages de l'impression 3D pour l'industrie et l'ingénierie

D'un point de vue général, l'impression 3D vient bouleverser les méthodes de prototypage et de production. Considérée comme une révolution industrielle à part entière, et qualifiée de technologie de rupture, l'impression 3D offre en effet de nombreux avantages très significatifs, en terme :

- de coût ;
- de flexibilité ;
- de rapidité ;
- et de liberté de formes.

Réduction des délais de prototypage grâce une imprimante 3D

Il est capital de réduire le temps de mise sur le marché du produit pour éviter d'être devancé par la concurrence ; et de supprimer certaines étapes d'un processus de prototypage traditionnel (notamment en ayant recours à un seul outil, une seule machine, un seul technicien).

Liberté des formes et optimisation topologique

L'impression 3D offre la possibilité d'imprimer des formes très complexes et intriquées.

Mission de l'imprimante 3D :

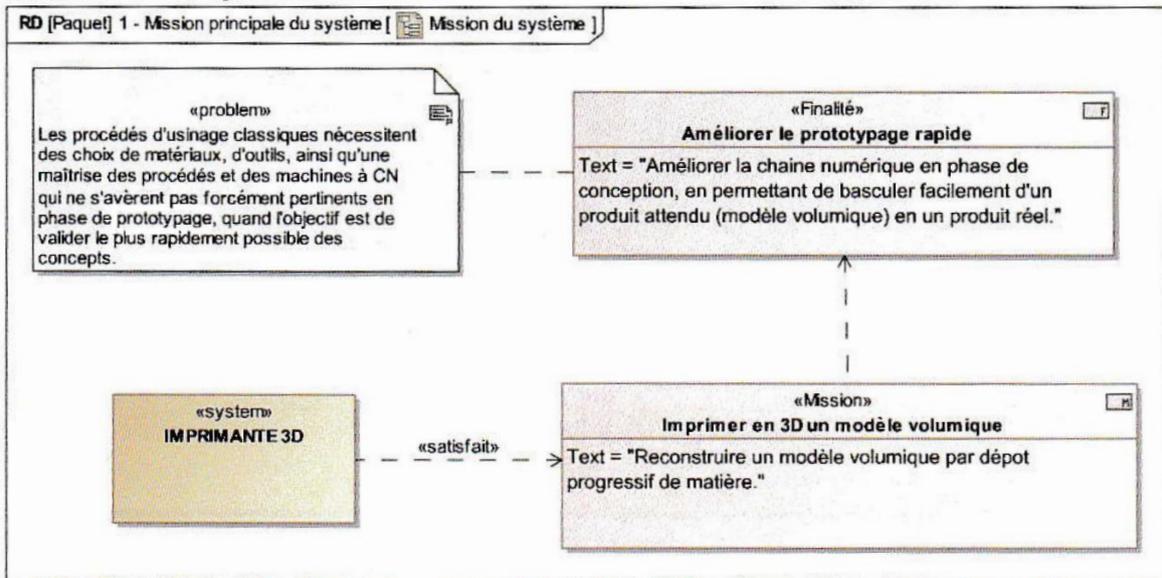
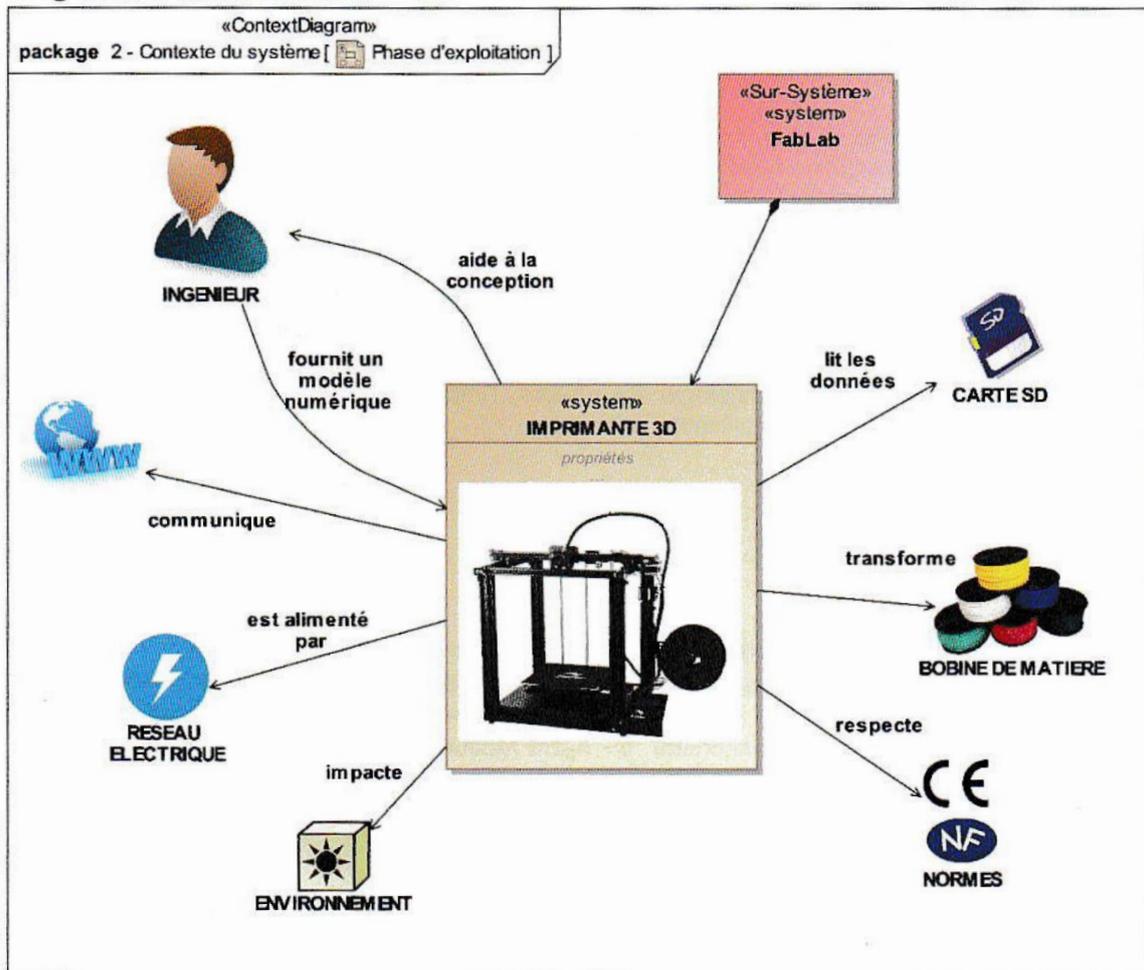
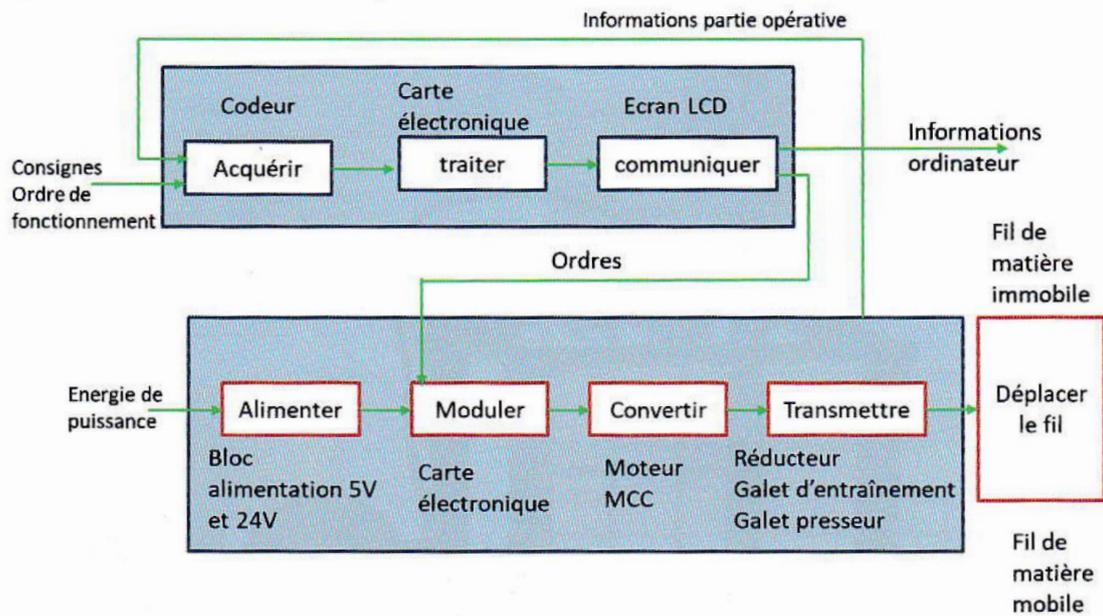


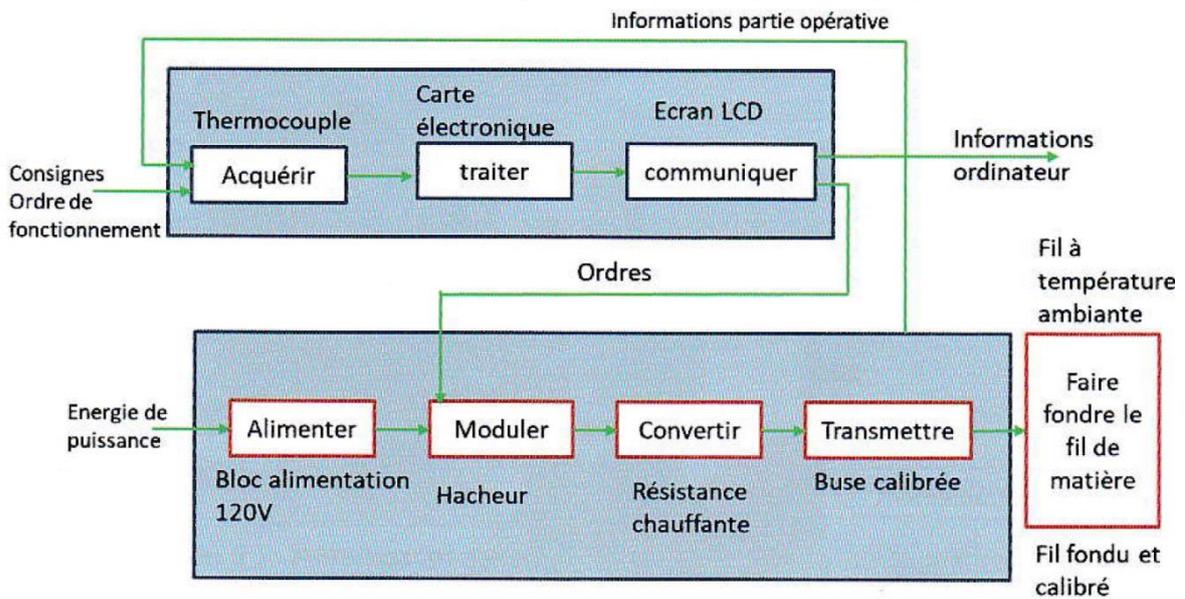
Diagramme de contexte :



Chaîne fonctionnelle de dépôt de matière de l'imprimante 3D :



Chaîne fonctionnelle de la tête d'impression de l'imprimante 3D :



✪ Caractéristiques du moteur de l'extrudeuse :

MOTEUR À COURANT CONTINU MAXON

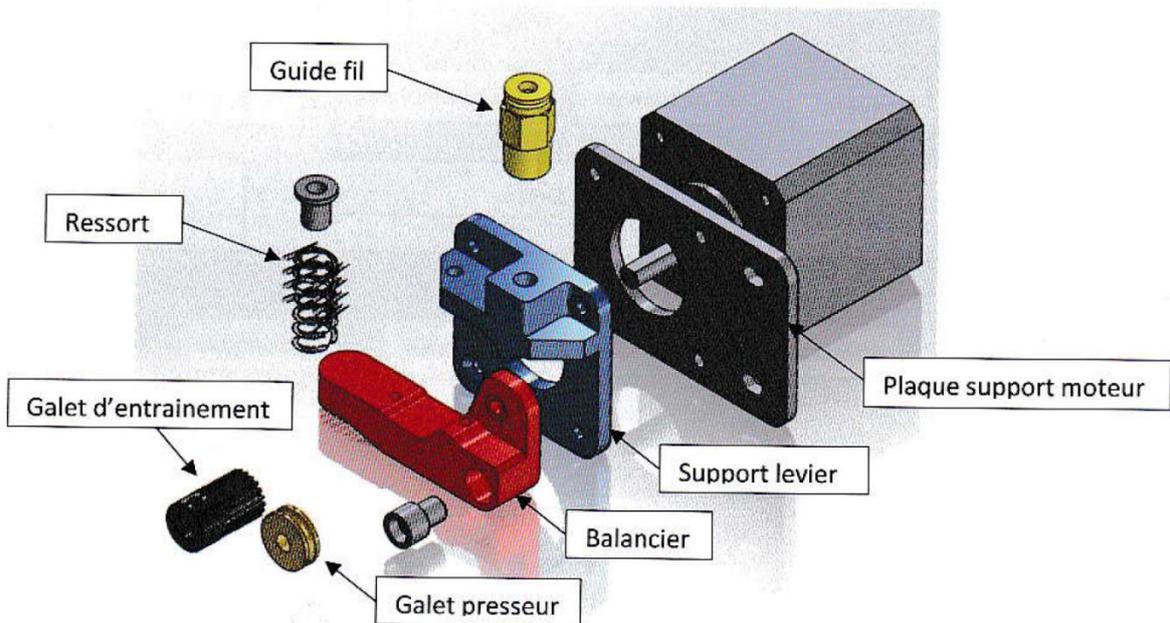
RE 25 Ø25 mm, Commutation Graphite, 20 Watt

Programme Stock
 Programme Standard
 Programme Spécial (sur demande)

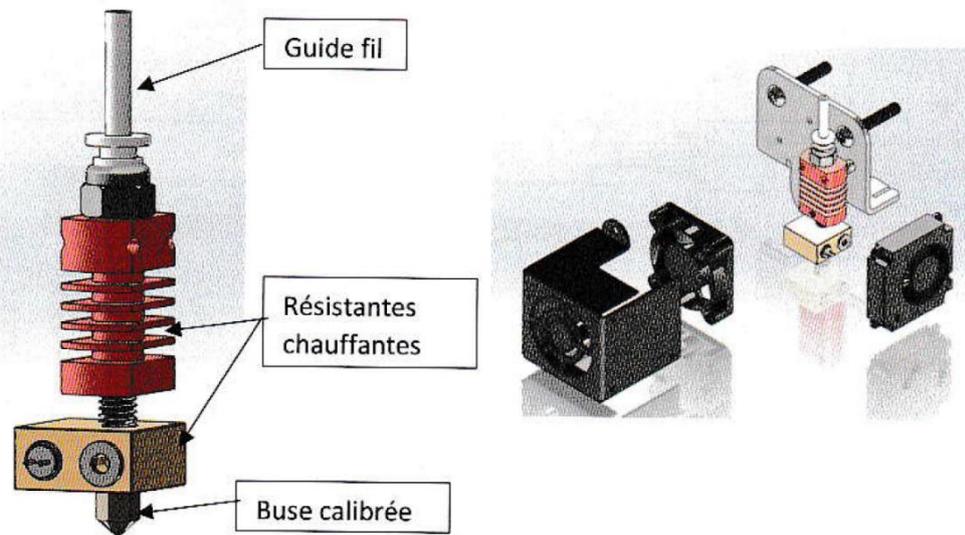
selon dessin dimensionnel **118752**
longueur de l'arbre 15.7 réduite à 4 mm **302005**

Caractéristiques moteur	
Valeurs à la tension nominale	
1 Tension nominale	V 24,0
2 Vitesse à vide	tr / min 9550
3 Courant à vide	mA 36,9
4 Vitesse nominale	tr / min 8360
5 Couple nominal (couple permanent max.)	mNm 26,7
6 Courant nominal (courant permanent max.)	A 1,17
7 Couple de démarrage	mNm 257
8 Courant de démarrage	A 11,0
9 Rendement max.	% 86
Caractéristiques	
10 Résistance aux bornes	Ω 2,19
11 Inductivité	mH 0,238
12 Constante de couple	mNm / A 23,4
13 Constante de vitesse	tr / min / V 407
14 Pente vitesse / couple	tr / min / mNm 38,1
15 Constante de temps mécanique	ms 4,28
16 Inertie du rotor	gcm ² 10,7

✪ Perspective éclatée de l'extrudeuse



★ Perspective éclatée de la tête d'impression



Dossier Travail à Faire

Analyse du fonctionnement du système étudié

En vous aidant de la description du système donnée dans le dossier technique, veuillez répondre aux questions suivantes :

- Question 1. Préciser** la solution technique (nom du composant) retenue pour convertir l'énergie électrique en énergie thermique, pour faire fondre la matière.
- Question 2. Préciser** la solution technique (nom du composant) retenue pour calibrer la matière fondue.
- Question 3. Préciser** les mouvements permettant la dépose de matière sur la pièce en cours de fabrication.
Nommer les composants et leur axe respectifs de déplacement.
- Question 4. Calculer** à 10mm près la longueur de fil nécessaire pour la réalisation d'une couche dont la forme est parallélépipédique de 175mm par 175mm et d'épaisseur 0.314mm pour un fil de diamètre 1.75mm. L'opération de dépôt de fil est à volume constant de matière.

Problématiques liées au fonctionnement

La société JE-Cassin dispose d'un fablab équipé de 4 imprimantes 3D en réseau. Afin d'augmenter et fiabiliser la production de pièces, le service prototypage et le service maintenance souhaitent corriger les dysfonctionnements répétitifs observés.

Après études des différents temps d'arrêts machine, ces dysfonctionnements sont :

- La pièce se décolle du plateau ;
- Le fil se casse ;
- Le fil s'écrase et bouche la buse.

Problématique 1 : régulation en température du plateau pour éviter le décollement de la pièce.

Dans cette partie seule la régulation du plateau chauffant est étudiée. Ce plateau et sa partie commande sont constitués :

- D'une plaque en aluminium équipée d'une résistance chauffante sur toute la surface supérieure ($R=5\Omega$) sur laquelle est montée un plateau en verre et un thermocouple. La résistance est alimentée par une carte de puissance. La carte de puissance comprend une alimentation stabilisée à 24V et un hacheur qui permet de moduler la tension aux bornes de la résistance chauffante entre 0 et 24V, à partir d'une consigne numérique (ordre) codée sur 8 bits.
- D'une carte de commande Arduino sur laquelle est installée la partie puissance permettant entre autres d'alimenter les différents éléments de l'imprimante. Dans cette partie sont étudiés uniquement le hacheur et le conditionnement du thermocouple.
- D'un thermocouple placé au centre de la plaque en verre qui mesure la température de celle-ci à tout instant. La mesure analogique de la tension aux bornes du thermocouple, convertie par un CAN (Convertisseur Analogique Numérique), permet d'obtenir une image M(nbr de points) de la température T (en °C) du plateau.

L'objectif du travail proposé est d'élaborer un modèle fonctionnel approché du plateau chauffant d'une imprimante 3D, sans utiliser d'équation afin de retrouver les paramètres dimensionnant de la chaîne de puissance.

Recherche des caractéristiques physiques du plateau.

Pour pouvoir déterminer un premier modèle de comportement du plateau chauffant, il est nécessaire de déterminer les constantes caractéristiques de ce dernier.

La figure 2 représente la réponse expérimentale de la température du plateau à deux consignes

- A une consigne de 50°C (4,8V)
- A une consigne de 100°C (9,6V)

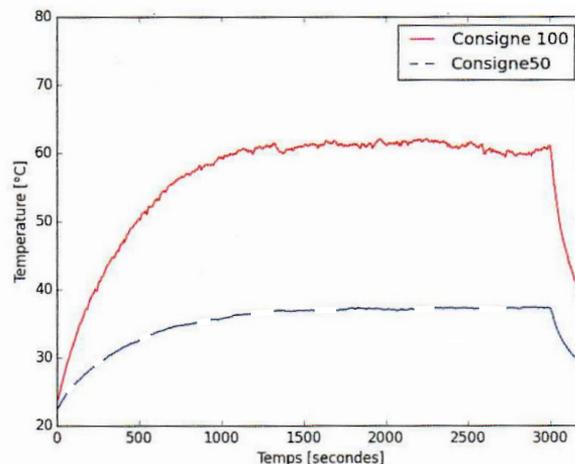


Figure 2 : réponse expérimentale à une consigne de tension du thermocouple fixé sur le plateau.

Question 5. A partir de la description ci-dessus de la fonction : « Chauffer le plateau », **remplir** les fonctions manquantes, les composants, ainsi que le type des puissances et des données échangées (figure 3).

Chaîne fonctionnelle du plateau chauffant de l'imprimante 3D :

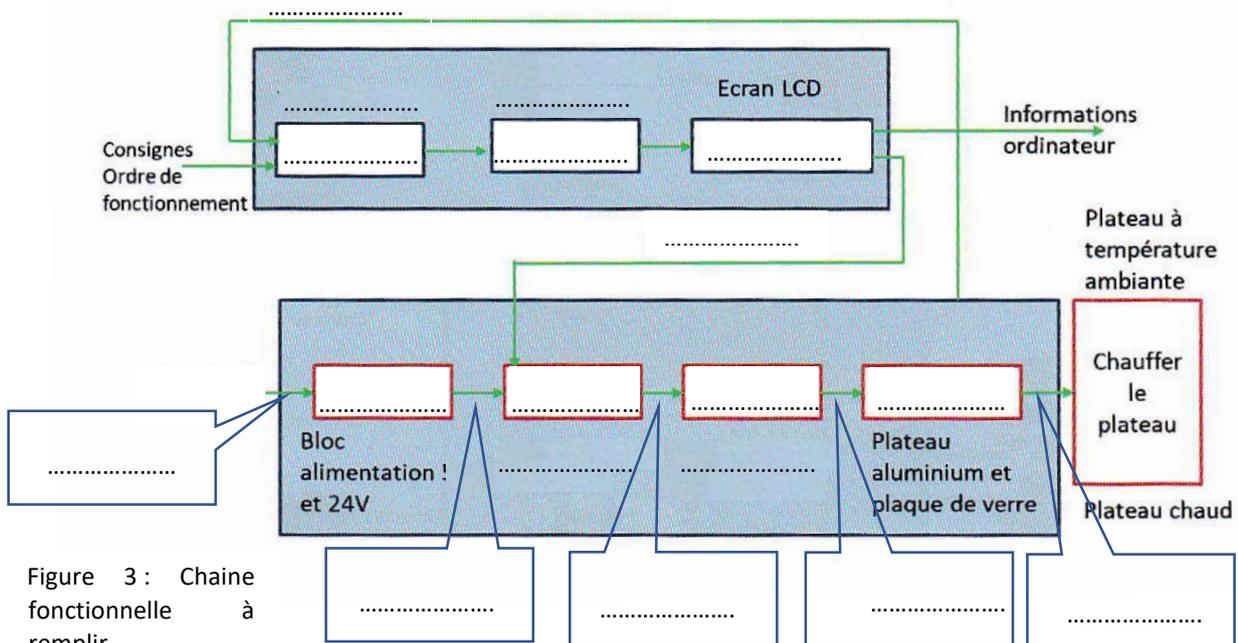


Figure 3 : Chaîne fonctionnelle à remplir

Question 6. A partir des informations de la figure 2, pouvez-vous affirmer que le système est asservi ou régulé. **Justifier** votre réponse.

Question 7. Que **penser** de la précision de la réponse par rapport à la consigne. **Justifier** votre réponse par un calcul d'erreur.

Question 8. Si l'on devait rajouter au cahier des charges une exigence de précision **donner** le critère, son niveau et sa flexibilité acceptable.

Question 9. **Pouvez-vous affirmer** que la réponse du système de chauffage est proportionnelle à la consigne et que penser de l'erreur ? **Justifier**, votre réponse.

Question 10. Si vous avez répondu oui à la question précédente, **Calculer** le coefficient de proportionnalité (ratio entre valeur numérique de sortie sur la valeur analogique d'entrée) du thermocouple et en déduire la valeur de la tension qu'il va renvoyer pour obtenir 150°C

Le temps de réponse à 5% d'un système est le temps que le système met pour atteindre 65% de sa valeur à l'infini (ici 39°C). Nous verrons en cours qu'une méthode graphique simple permet d'estimer ce temps en traçant la tangente à la courbe (figure4) à l'origine ($t=0$) et de prendre l'abscisse du point d'intersection de cette tangente avec la droite d'équation $y=39$.

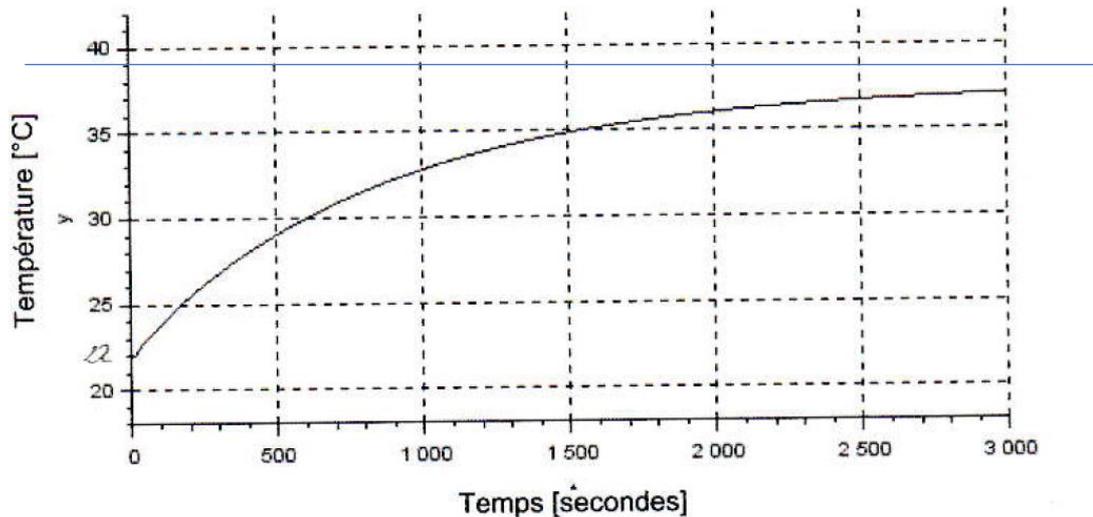


Figure 4 : résultat du modèle numérique pour un échelon de 4,8V

Question 11. A partir de la méthode décrite ci-dessus, **Donner** le temps de réponse à 5% du système de chauffage pour une consigne de 50°C (4.8V).

Problématique 2 : le fil se casse pendant la fabrication des supports.

Pendant la fabrication de pièces, il est parfois nécessaire de créer des supports pour empêcher la matière de s'effondrer pendant l'impression 3D. Ces structures 3D ont la capacité de maintenir en l'air des surfaces construites dans le vide et qui sans ces échafaudages de fortune ne pourraient pas exister (figure 5).

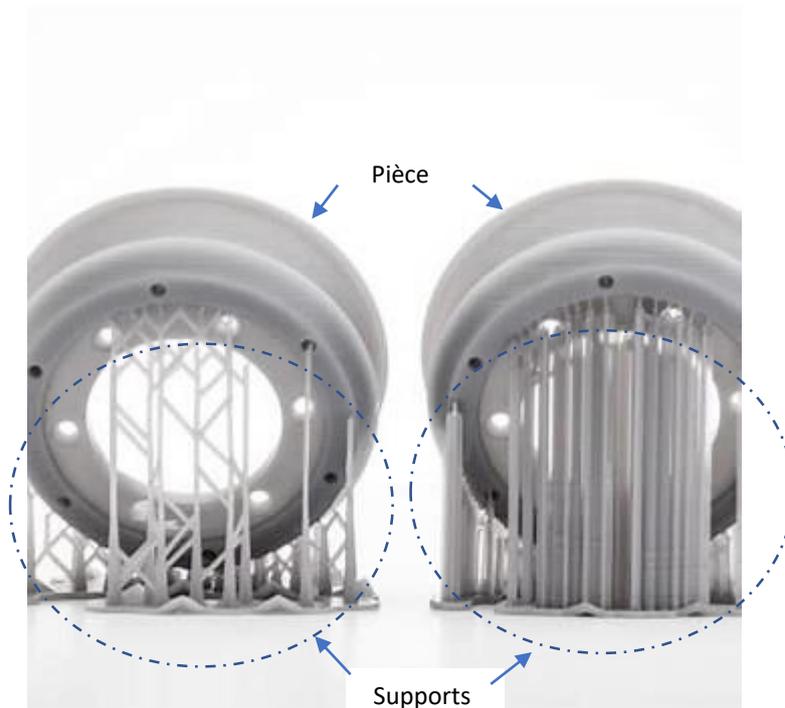


Figure 5 : Mise en place des supports

La problématique des fils qui cassent vient essentiellement du fait que géométriquement il est assez difficile de choisir entre les supports de densité raisonnable (figure 5 de gauche) et une haute densité (figure 5 de droite) qui sous-entend une parfaite solidité, mais au détriment du nettoyage, du surcoût de temps, et de matière.

Il a donc été décidé de réaliser des optimisations topologiques, à partir de critères techniques liés à la géométrie des formes à imprimer.

Pour qu'une surface ne s'effondre pas (figure 7), quand elle est en porte-à-faux, il faut que le poids de la matière ne génère pas un moment fléchissant supérieur à une certaine valeur donnée par les sciences en résistance des matériaux que nous n'étudierons pas.

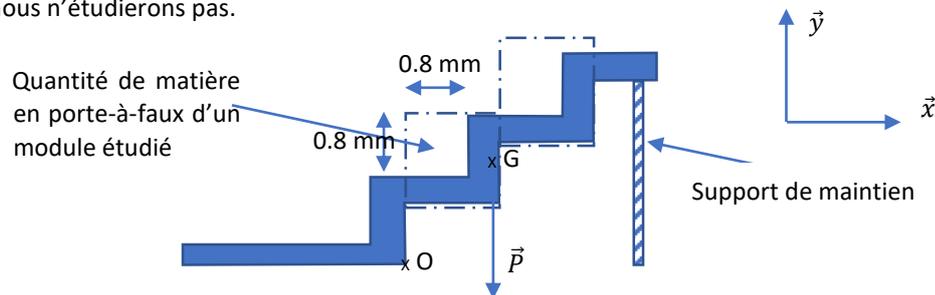
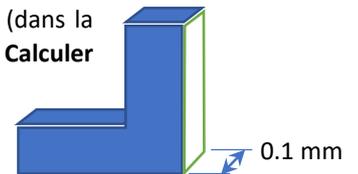


Figure 7 : Surface générée en porte-à-faux (dans le vide)

L'épaisseur de matière empilée est de 0.2 mm sur des modules parfaitement identiques.

Question 12. Calculer la position du centre de gravité équivalent à 2 modules. On pourra **montrer** qu'il se situe approximativement à $X_G = 1\text{mm}$ du point O, valeur utile pour la suite du problème.

Question 13. Si nous étudions la masse d'un module d'épaisseur 0.1mm (dans la direction Z), et que le matériau est de l'ABS de masse volumique ($1,05 \text{ g.cm}^{-3}$), **Calculer** avec 2 chiffres significatifs la masse en g d'un module après **avoir calculé** son volume en mm^3 .



Question 14. A partir de la valeur de la masse calculée précédemment, en **déduire** le poids $P = m.g$ d'un élément de matière et **vérifier** qu'il vaut $3.78 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ en prenant pour g une valeur de 10 m.s^{-2}

Question 15. Connaissant la position du centre de gravité, le moment fléchissant appliqué par le poids de la matière des 2 modules en O vaut en valeur algébrique $M_f = X_G \times 2P$. **Donner** la valeur du moment fléchissant dans les unités du système international (N.m).

Question 16. **Calculer** le nombre de modules maximums que l'on peut empiler sans que la valeur du moment résultant ne provoque un dépassement de la contrainte limite à la rupture du matériaux ABS à 50°C qui vaut : $\sigma_{\text{max}} = 22\text{MPa}$ ($1\text{MPa} \rightarrow 1 \text{ N.mm}^{-2}$) en sachant que la relation entre le moment fléchissant et la contrainte à la rupture est :

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_{f\text{max}} \times y_{\text{max}}}{\frac{bh^3}{12}} \text{ avec } \begin{cases} M_{f\text{max}} = \text{Moment fléchissant maximum} \\ \text{résultant de la somme des n modules} \\ \text{empilés} \\ y_{\text{max}} = b = h = 0,1 \text{ mm} \end{cases}$$