

Deuxième partie

Étude du puller

Description

À la sortie de la filière, le profilé sort à une température d'environ 500°C et avec une vitesse \vec{v}_f pouvant varier entre $5\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ et $50\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Afin que celui-ci ne se déforme pas lors du filage, un effort de traction doit lui être appliqué pendant tout le filage. Cet effort sera obtenu grâce à un système asservi appelé « puller ».

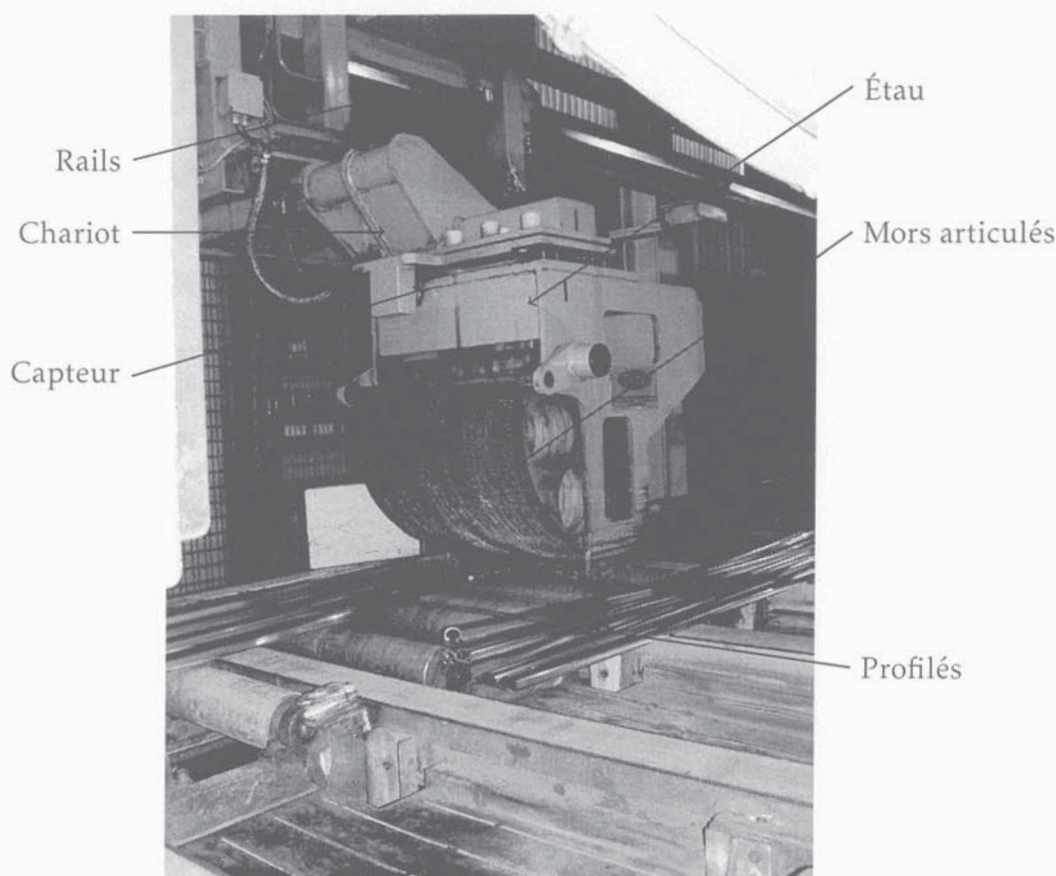


FIGURE 9 – Puller

Cette partie porte sur l'étude de l'asservissement du puller (de *to pull* tirer).

Constitution

Le puller est constitué de deux sous-systèmes identiques travaillant en alternance pour maintenir le profilé en traction pendant tout le cycle de filage.

Chaque sous-système de traction se compose (Annexe 12) :

- d'un chariot entraîné en translation par une chaîne coulissant sur des rails ;
- d'un bras basculant en pivot avec le chariot ;
- d'un étau coulissant légèrement par rapport au bras ;
- de mors articulés en pivot avec l'étau.

On trouve aussi :

- un moteur à courant continu Siemens 1GG5 132 (non représenté) de 16,7 kW associé à un réducteur de rapport de réduction $\lambda = 22,7$ qui entraîne la chaîne grâce à la poulie motrice ;
- deux vérins hydrauliques (non représenté) qui permettent de faire pivoter respectivement le bras support de l'étau et les mors ;
- un capteur d'effort placé entre l'étau et le bras.

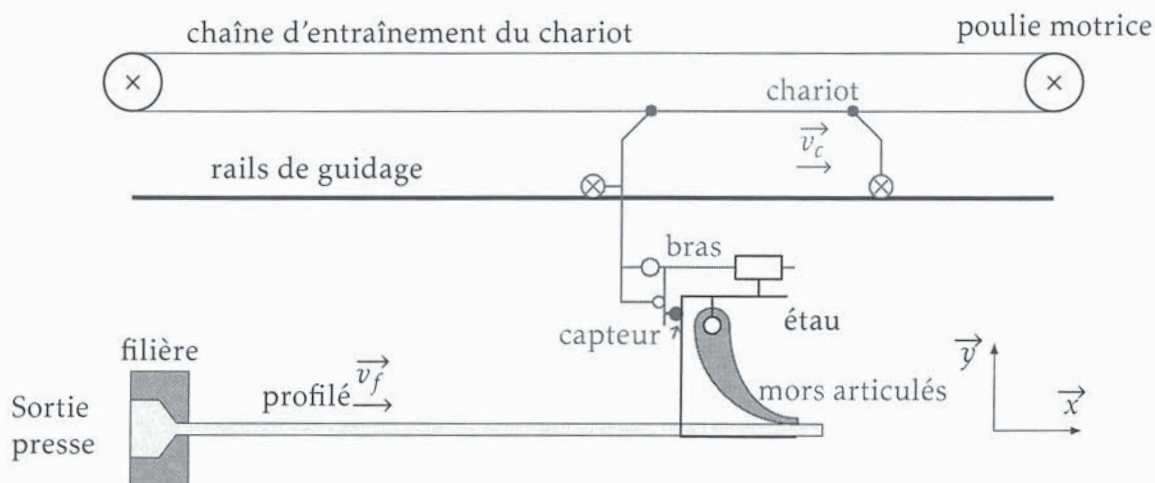


FIGURE 10 – Schéma de principe du Puller

Description du filage

Le puller comporte deux chariots travaillant en alternance (Annexe 12).

Première longueur

Début du filage : Au début du filage d'une nouvelle série de profilés, le chariot (le chariot 1 sur la figure 22 du document Annexe 12) du puller vient se placer à la sortie de la filière en position haute, puis dès que le profilé est suffisamment sorti, la presse s'arrête, l'étau pivote en position basse et les mors viennent serrer le profilé. Le profilé est mis en traction ($T_f = 2000 \text{ N}$).

Filage : Le filage reprend (la matière est poussée par la presse à travers la filière), le profilé se déplace à la vitesse V_f . Pendant tout le déplacement, l'effort de traction est maintenu constant.

Découpe : La longueur de débit étant atteinte, le filage est stoppé (arrêt de la presse), le profilé est bridé puis découpé.

Evacuation : Le profilé découpé est évacué en bout de chaîne par le chariot puis transféré vers le poste de rangement (non présenté sur le schéma). Le chariot attend en position haute et en bout chaîne le cycle suivant.

Seconde longueur

Préparation : Pendant le filage de la première longueur, le second chariot se déplace (en position haute) vers le poste de découpe et attend la fin du filage de la première longueur.

Début du second filage : À la fin de la découpe, le profilé est saisi (basculement de l'étau puis serrage des mors) avant d'être mis en traction.

Filage : Le filage reprend, le profilé se déplace à la vitesse V_f . Pendant tout le déplacement, l'effort de traction est maintenu constant.

Découpe : La longueur de débit étant atteinte, le filage est stoppé, le profilé est bridé puis découpé.

Longueurs suivantes Pendant le filage d'une longueur, l'autre chariot se déplace au niveau du poste de découpe. Les deux chariots ne peuvent se croiser que si l'un est en position basse (celui qui tire) et l'autre en position haute. Dès la découpe effectuée, le filage de la nouvelle longueur redémarre pendant que la longueur précédente est évacuée. Ce cycle se répète autant de fois que nécessaire.

2.1 Modélisation

Il s'agit dans cette partie d'établir un modèle de connaissance du système asservi de traction.

Hypothèses et données complémentaires

On se place pendant la phase de filage, les mors sont serrés sur le profilé, la vitesse relative entre l'ensemble {mors, étau} et le profilé est supposée nulle. On note :

- $\vec{T}_f = -T_f \cdot \vec{x}$, l'action mécanique du profilé sur l'étau ;
- $\vec{T}_c = T_c \cdot \vec{x}$, l'action mécanique du capteur sur l'étau ;
- $\vec{v}_f = v_f \cdot \vec{x}$, la vitesse de filage du profilé imposée par la presse.
- $\vec{v}_c = v_c \cdot \vec{x}$, la vitesse de déplacement du chariot ;
- x_c et x_f respectivement la position du chariot et de l'étau.
- c_m , le couple moteur exercé sur l'arbre d'entrée du réducteur ;
- ω_m , la vitesse de rotation du moteur ;

Caractéristiques massiques et dimensionnelles :

- $m_c = 250 \text{ kg}$, masse du chariot ;
- $m_e = 200 \text{ kg}$, masse de l'étau et des mors ;
- $m_\lambda = 2,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$, masse linéique de la chaîne (longueur totale $L_c = 210 \text{ m}$) ;
- $J_m = 0,09 \text{ kg m}^2$, moment d'inertie de l'arbre moteur ;
- J_r , moment d'inertie du réducteur ramené sur l'arbre d'entrée ;
- $R_p = 15 \text{ cm}$, rayon des roues dentées.

Question 13

- Écrire l'équation différentielle de mouvement de l'ensemble {étau + mors}.

Question 14

- Écrire l'équation différentielle de mouvement du chariot en fonction du couple moteur et de T_c , on précisera le moment d'inertie équivalent J_e en fonction des masses et inerties du mécanisme.

On note p la variable de Laplace et $\mathcal{L}x_c(t) = X_c(p)$ la transformée de Laplace de $x_c(t)$ de même :

$$\begin{array}{ll} - \mathcal{L}(x_f(t)) = X_f(p) & - \mathcal{L}(T_c(t)) = T_c(p) \\ - \mathcal{L}(v_f(t)) = V_f(p) & - \mathcal{L}(c_m(t)) = C_m(p) \\ - \mathcal{L}(v_c(t)) = V_c(p) & - \mathcal{L}(\omega_m(t)) = \Omega_m(p) \end{array}$$

Question 15

- En déduire la relation dans le domaine de Laplace donnant $X_c(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et $T_c(p)$. Tracer le schéma bloc correspondant.

Le capteur d'effort (Annexe 13) peut être modélisé comme un ressort de raideur k_c (fig 11) pour lequel le signal est proportionnel à la déformation.

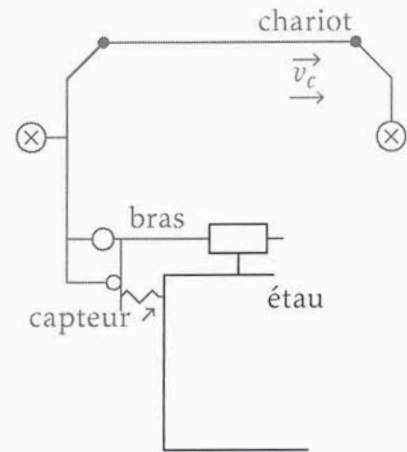


FIGURE 11 – Modélisation du capteur d'effort

Question 16

- Quelle est la technologie utilisée pour ce capteur ?

Question 17

- Déterminer la relation entre la mesure T_c de l'effort et les positions x_c et x_f . Vous préciserez toute hypothèse complémentaire.

Question 18

- Tracer le schéma bloc correspondant donnant $T_c(p)$ en fonction de $X_c(p)$ et $V_f(p)$.

Question 19

- Déduire des questions précédentes, le schéma bloc donnant $T_c(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et $V_f(p)$.

On rappelle les équations électriques d'un moteur à courant continu

$$u = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + e(t) \quad (6)$$

$$C_m = k_t \cdot i \quad (7)$$

$$e(t) = k_e \cdot \omega_m \quad (8)$$

avec $L = 11 \text{ mH}$, $R = 0,928 \Omega$ et $k_e = k_t = 1,77 \text{ SI}$.

Question 20

- À partir de ces équations et du schéma bloc précédent, mettre le schéma bloc donnant T_c en fonction de $U(p)$ et $V_f(p)$ sous la forme du schéma ci-dessous.

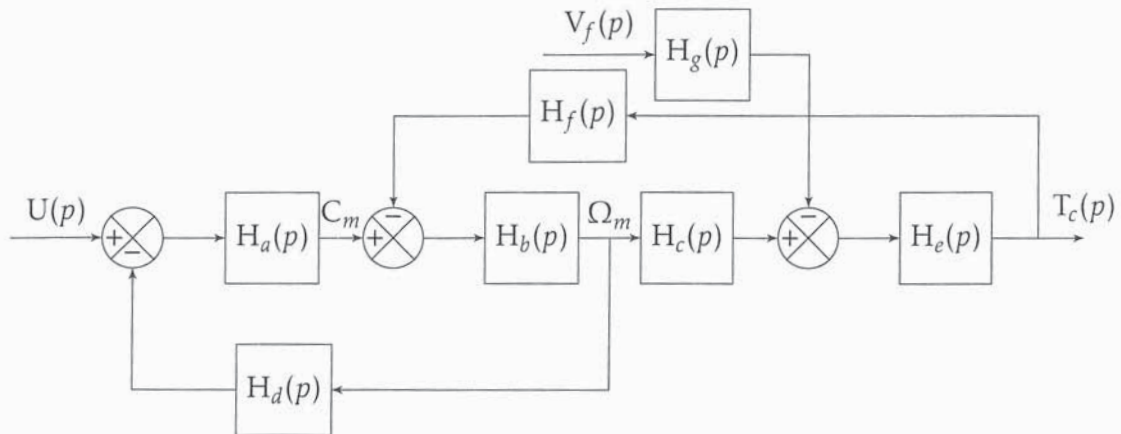


FIGURE 12 – Modèle électromécanique du puller

Question 21

- Expliciter les deux fonctions $G_1(p)$ et $G_2(p)$ telles que $T_c(p) = G_1(p) \cdot U(p) - G_2(p) \cdot V_f(p)$ en fonction des $H_i(p)$.

L'inductance d'un moteur à courant électrique est souvent négligée, nous allons maintenant préciser dans quelles limites on peut faire cette hypothèse.

Compte tenu des caractéristiques du moteur et des différents constituants, la fonction de transfert s'écrit si :

- l'inductance n'est pas négligée : $G_1(p) = G_{1a}(p) = \frac{3,19 \cdot 10^7}{110 \cdot p^3 + 5000 \cdot p^2 + 258000 \cdot p + 59500}$
- l'inductance est négligée : $G_1(p) = G_{1b}(p) = \frac{3,19 \cdot 10^7}{10 \cdot p^2 + 513 \cdot p + 119}$

La figure 13 présente les diagrammes de Bode de la fonction de transfert $G_1(p) = G_{1a}(p)$ dans le cas où l'inductance n'est pas négligée, le tableau 4 précise quelques valeurs.

Fréquence [rad/s]	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	2,3
Amplitude [dB]	56,0	55,0	53,0	49,9	45,3	41,8	34,7
Phase [°]	-2,9	-26,7	-45,2	-60,7	-73,8	-79,8	-87,6
Fréquence [rad/s]	3,5	10,0	23,1	35,1	48,1	53,4	100,0
Amplitude [dB]	31,1	22,2	15,7	12,7	8,9	6,9	-9,8
Phase [°]	-90,7	-100,4	-120,0	-145,6	-180,0	-192,6	-239,6

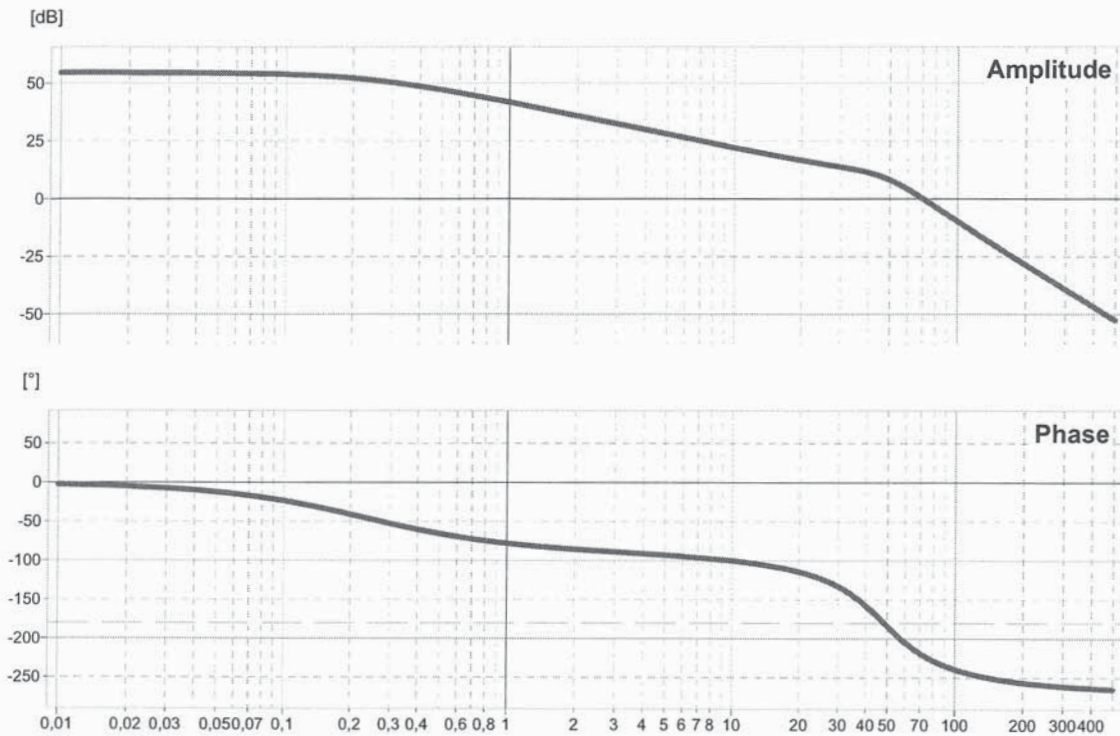
 TABLE 4 – Module et argument de G_1

Question 22

- Mettre $G_{1b}(p)$ sous forme canonique préciser ces paramètres caractéristiques.

Question 23

- Tracer les diagrammes Bode de $G_{1b}(p)$ sur le Document Réponse 1. Comparer puis préciser quelles sont les hypothèses à faire si on souhaite négliger l'inductance.

FIGURE 13 – Diagramme de Bode $G_1(p)$

2.2 Régulation de l'effort de traction

Le cahier des charges précise :

- Le puller doit assurer un effort de traction T_f pendant les différentes phases du filage :
 - maintien de l'effort à l'arrêt ;
 - montée en vitesse ;
 - filage à vitesse constante.
- L'erreur statique ε_s doit être inférieure à 100 N dans toutes les phases de fonctionnement à vitesse constante.
- La réponse temporelle ne doit pas présenter d'oscillations.

Pour cela, on choisit de mesurer l'effort T_c et de comparer celui-ci à la consigne F_c . Un régulateur permet de générer la tension de commande $u(t)$. Le schéma bloc figure 15 précise le modèle d'étude.

Pour cette partie, on choisit le modèle complet pour G_1 , les deux fonctions de transfert s'écrivent compte tenu des caractéristiques mécaniques et électriques et quelques simplifications :

$$G_1(p) \approx \frac{2,90 \cdot 10^5}{(p + 0,232) \cdot (p^2 + 45,2 \cdot p + 2330)} \quad (14)$$

$$G_2(p) \approx \frac{150000}{1 + 4 \cdot p} \quad (15)$$

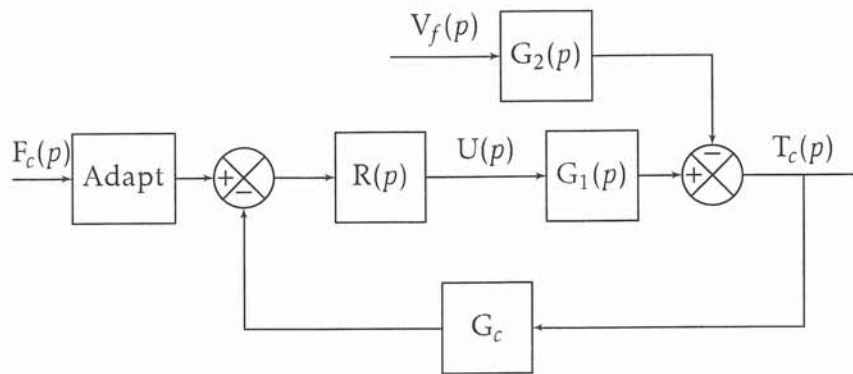


FIGURE 15 – Régulation de l'effort de traction

Le gain du capteur et du circuit associé est de $G_c = \frac{1}{1000} \text{V} \cdot \text{N}^{-1}$. Le bloc *Adapt* est un bloc d'adaptation que vous évalueriez si nécessaire.

Question 24

- Pourquoi avoir choisi de réguler T_c plutôt que T_f ? À quelles conditions ce choix est-il valide?

La consigne de traction est $F_c = 2000 \text{ N}$. Les phases de fonctionnement sont les suivantes :

1. presse à l'arrêt $v_f(t) = 0$, mise en tension $F_c = 2000 \text{ N}$;
2. rampe de vitesse $v_f(t) = a \cdot t$ avec $a = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, maintien de la consigne de traction, ;
3. vitesse constante $v_f(t) = v_3$ ($v_3 = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$), maintien de la consigne de traction.

2.2.1 Régulation proportionnelle

On se propose de vérifier maintenant si une régulation proportionnelle permet de respecter le cahier des charges, on choisit $R(p) = R_0$, un gain constant.

On se place pendant la première phase de fonctionnement, presse à l'arrêt $v_f(t) = 0$ et $F_c = 2000 \text{ N}$.

Question 25

- Préciser la valeur du gain *Adapt*.
- Déterminer par le critère de Routh ou une autre méthode, la valeur maximale du gain R_0 pour que le système reste stable.
- Déterminer la valeur minimale du gain R_0 respectant la condition sur l'erreur statique.

On se place maintenant dans la troisième phase de fonctionnement avec une vitesse de filage vitesse constante $v_f(t) = v_3$ ($v_3 = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) et le maintien de la consigne de traction $F_c = 2000 \text{ N}$.

Question 26

- Déterminer l'erreur indicielle durant cette phase de fonctionnement en fonction de R_0 , F_c et v_3 . Est-il possible alors de respecter le cahier des charges?

Question 27

- Le cahier général précise que la vitesse de filage peut varier de $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ à $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, un simple correcteur proportionnel est-il toujours envisageable ?

2.2.2 Correction

On se propose maintenant d'améliorer le comportement du système en choisissant un nouveau régulateur.

$$R(p) = R_0 \left(1 + \frac{1}{T_0 \cdot p} \right) \text{ avec } T_0 = 5 \text{ s} \quad (25)$$

Question 28

- Quelles sont les caractéristiques de ce régulateur ?
- Tracer l'allure des diagrammes de Bode de $R(p)$ pour $R_0 = 1$.

Question 29

- À partir du tracé précédent et du tableau 4, tracer sur le Document Réponse 2, le diagramme de Black de la fonction de transfert en boucle ouverte du système ($V_f(p) = 0$ et $R_0 = 1$). Le système est-il stable ?

Question 30

- Déterminer l'erreur indicielle durant cette phase de fonctionnement en fonction de R_0 , F_c et v_3 . Est-il possible alors de respecter le cahier des charges avec ce régulateur ?
- La figure 18 précise l'évolution temporelle de la vitesse de filage et de la consigne de traction, reproduire cette figure sur votre copie et tracer (qualitativement) l'allure de la réponse temporelle de $T_c(t)$ et conclure.

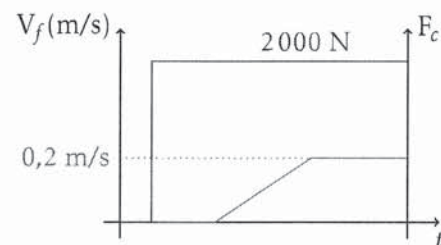


FIGURE 18 – Réponse temporelle

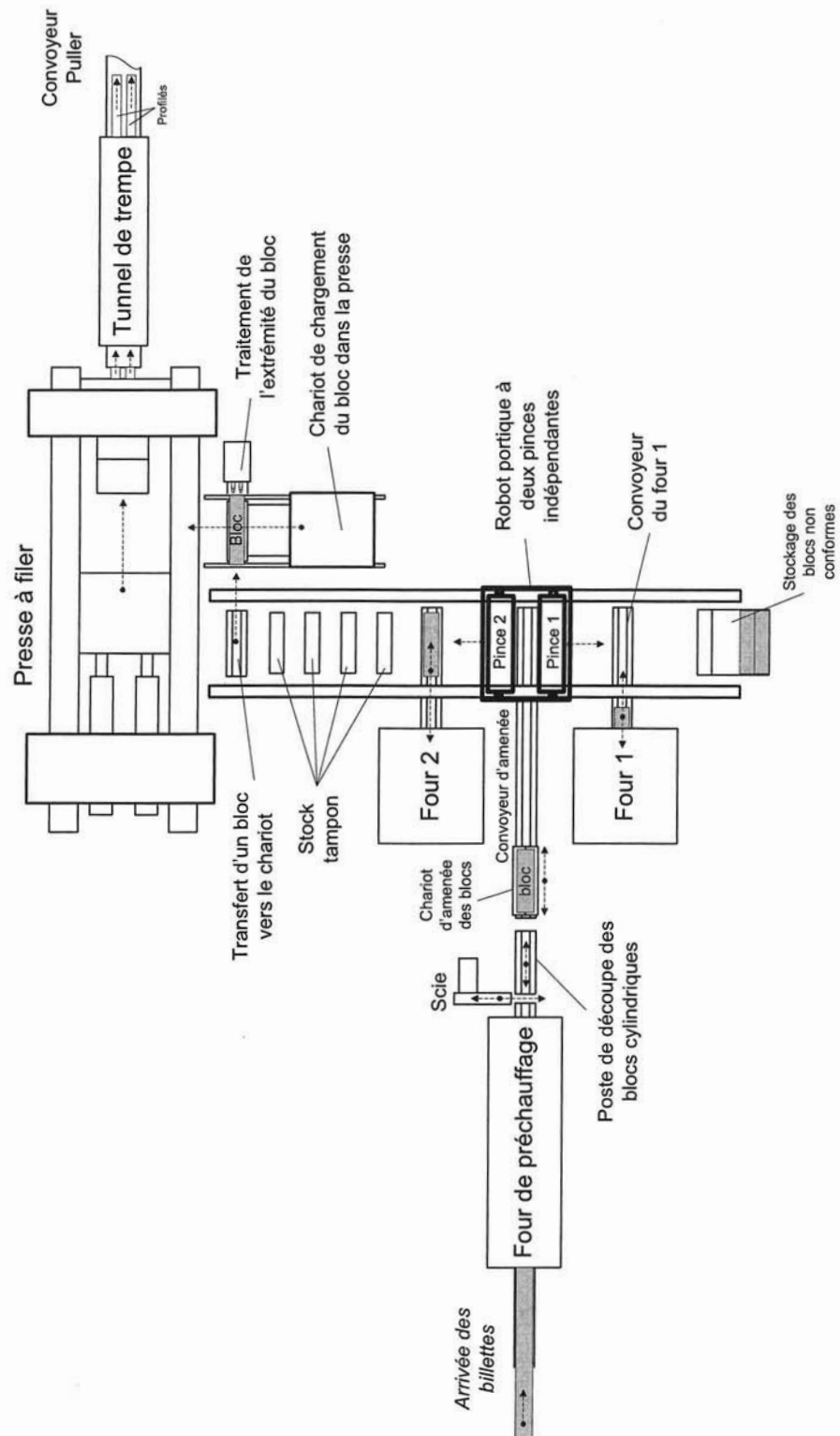
Question 31

- Proposer un critère pertinent de réglage permettant de respecter le dernier item du cahier des charges « La réponse temporelle ne doit pas présenter d'oscillations », en déduire une valeur de réglage pour R_0 .

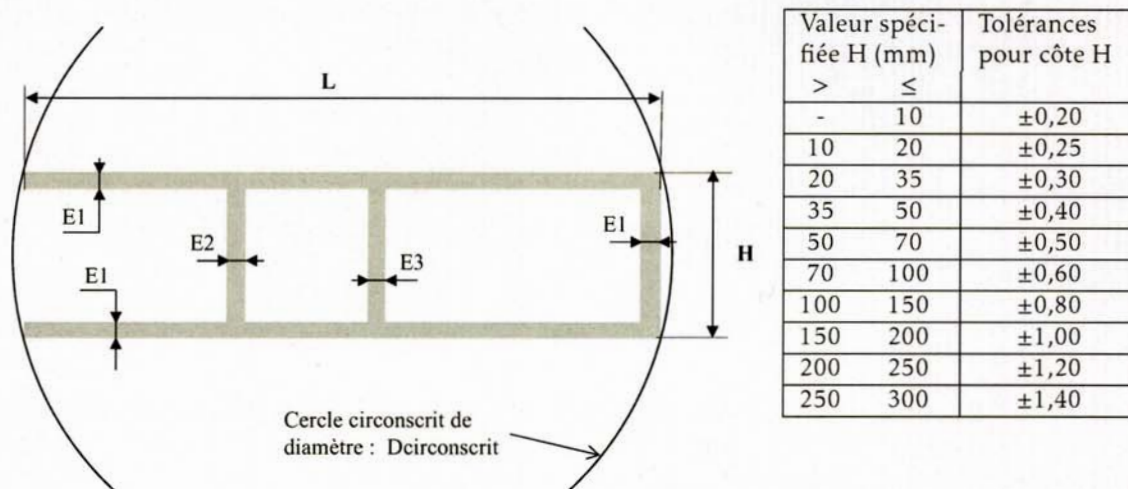
... Fin du sujet ...

Annexes

Annexe 1 Schéma d'implantation de la ligne de préparation des blocs et d'alimentation de la presse à filer



Annexe 2 Caractérisation des profilés



Valeur spécifiée Ep		Épaisseur E1 (partie ouverte)	Épaisseur E2 (partie creuse)	Épaisseur E3 (interaiguille)
>	≤			
1	1,5	±0,15	±0,20	±0,30
1,5	2,5	±0,15	±0,25	±0,40
2,5	4	±0,20	±0,30	±0,50
4	6	±0,20	±0,40	±0,60
6	10	±0,25	±0,60	±0,80

TABLE 5 – Tolérances dimensionnelles accessibles

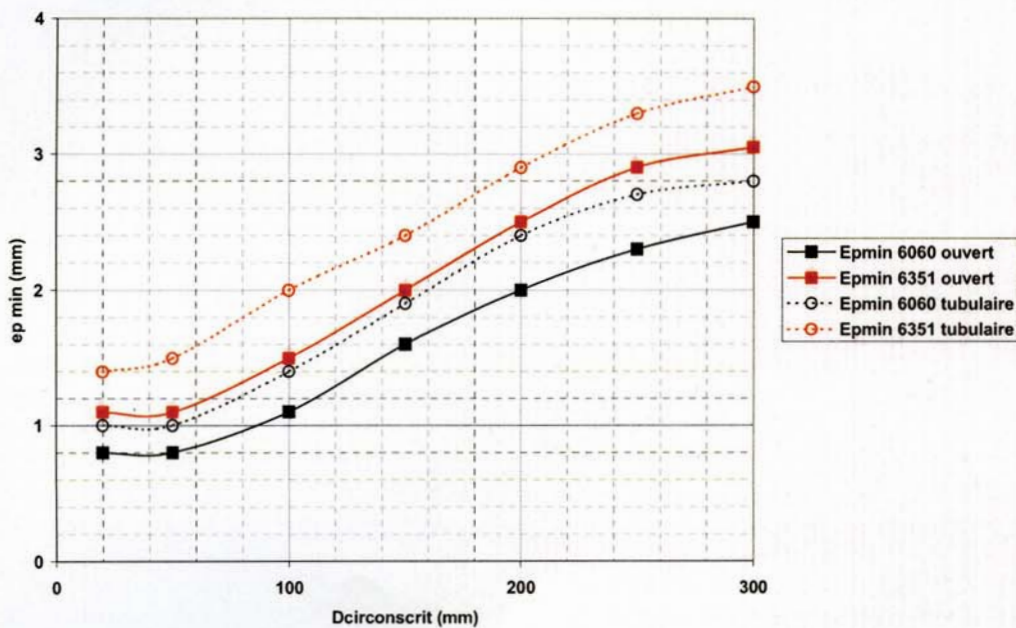


FIGURE 19 – Épaisseurs

Annexe 3 Cycle de filage

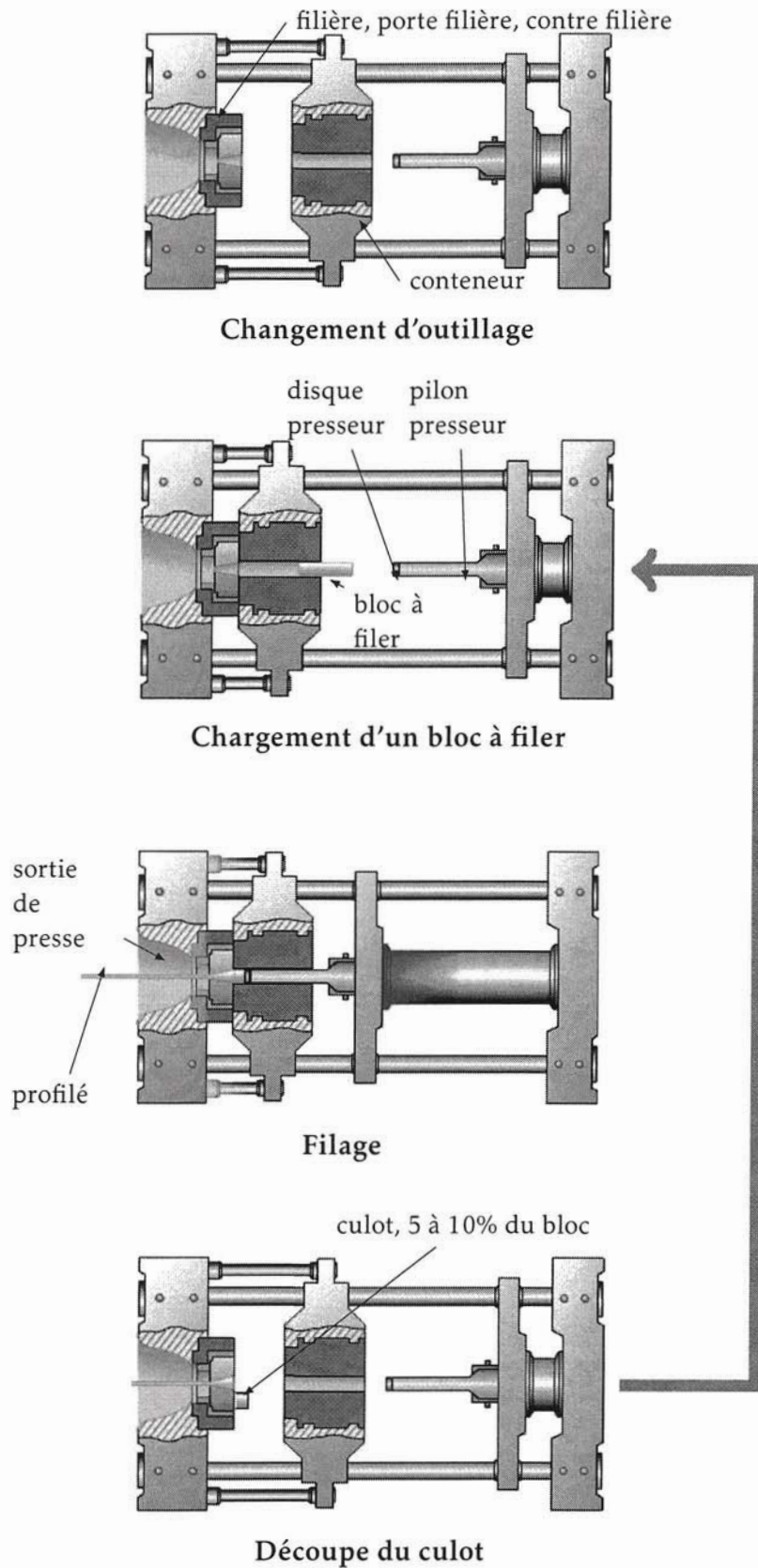


FIGURE 20 – Cycle de filage

Annexe 4 Boite fonctionnelle de caractérisation des E/S de la commande de la presse à filer

