

Machine de façonnage à froid

Le façonnage à plat consiste à découper, rainurer (ou rainurer) et gaufrer des feuilles de papier, carton ou carton ondulé pour réaliser des menus, des étiquettes, des dépliants après pliage ou encore des boîtes après pliage et collage... Les principales étapes du processus de façonnage sont représentées sur la figure 2. On dépose une palette de feuilles empilées sur le margeur. Les feuilles sont prises depuis le dessus de la pile et envoyées sur la table de marge pour être mises en nappe et positionnées par rapport à leurs bords, avant d'être introduites dans la presse par un système de transport de barres à pinces entraîné par un convoyeur à chaînes pour y subir l'opération de découpage/rainage/gaufrage. Les déchets constitués des zones non utilisées de la feuille comme les bandes arrières et les côtés sont enlevés et les poses (feuilles découpées) sont empilées en un seul tas sur une palette.



Figure 1 - Vue d'ensemble de la « Commercial 106 » (document Bobst)

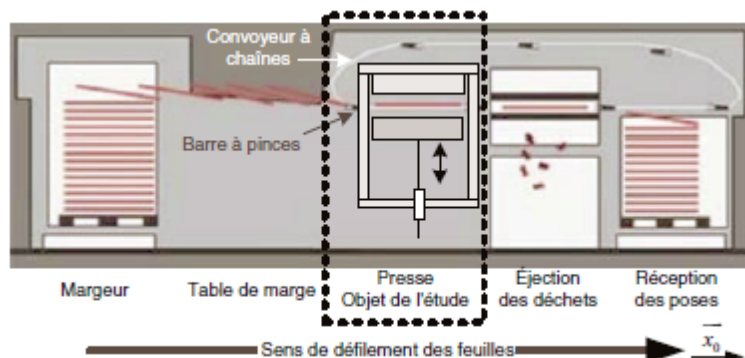


Figure 2 - Machine de façonnage à plat (document Bobst)

Le packaging revêt aujourd'hui un aspect fondamental dans la mise en valeur des produits de grande consommation. Pour répondre à la demande des industriels de l'emballage, la société Bobst a développé un produit capable de façonner une grande diversité de supports. Cette machine permet de découper l'ensemble des feuilles de formats et caractéristiques standards. Les principales caractéristiques de la presse sont données ci-dessous :

Capacités	
Format maximal de feuille :	$(L_1 = 1060 \text{ mm}) \times (L_2 = 740 \text{ mm})$
Format minimal de feuille :	$(L_1 = 350 \text{ mm}) \times (L_2 = 300 \text{ mm})$
Épaisseur maximale de la feuille :	4 mm
Cadence de production maximale :	7700 feuilles/heure
Effort de coupe maximum :	$2,6 \cdot 10^6 \text{ N}$

La figure 3 schématise les différentes opérations qui peuvent être réalisées sur une pose :

- ligne à découper : cette zone est entièrement découpée ;
- ligne à rainer : dans cette zone, l'outil écrase les fibres de la feuille pour faciliter le pliage ;
- points d'attache : ce sont de fines zones non découpées qui évitent que la feuille ne se disloque une fois façonnée.

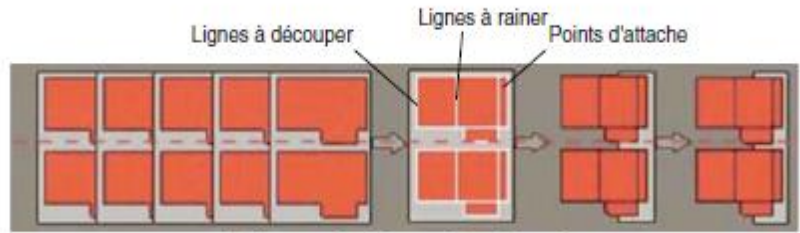


Figure 3 - Organisation des poses

Le contour des poses est découpé par des filets coupeurs dans la presse, alors que les lignes de pliage sont marquées par des filets refouleurs au cours de la même opération. Pour éviter que la feuille ne se disloque une fois découpée, les filets coupeurs sont préalablement entaillés au droit de chaque jointure de poses. Ainsi toutes les poses restent fragilement maintenues entre elles par des ponts de matière.

La presse, figure 4, comprend un bâti constitué d'une traverse inférieure et d'une traverse supérieure reliées entre elles par des montants latéraux. La feuille à découper est prise entre deux sommiers. Le sommier supérieur est fixé sur la traverse supérieure. Le sommier mobile inférieur est animé, pour chaque cycle de travail, d'un mouvement alternatif de montée et de descente à l'aide d'un dispositif d'entraînement. Aussi, compte tenu des différentes opérations à réaliser sur la feuille, il est impératif pour que la qualité du travail soit constante sur toute sa surface, de maintenir un parallélisme rigoureux entre le sommier mobile et le sommier fixe (cf extrait du cahier des charges ci-dessous).

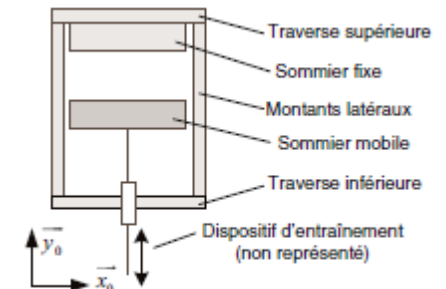


Figure 4 - Schéma de la presse

Qualification	Critère	Valeur	Limite
Assurer la qualité de la découpe	Respect du parallélisme	0,3 mm	0

L'étude qui suit vous propose d'identifier les causes des erreurs de parallélisme, et d'analyser les solutions techniques retenues pour y remédier. Elle se décompose de la façon suivante :

- vérifier que les solutions constructives retenues permettent le réglage du parallélisme entre les deux sommiers,
- choisir, à partir de l'étude d'un cycle de fonctionnement, les instants où le réglage est possible,
- caractériser le mécanisme de réglage du parallélisme,
- identifier l'ensemble servomoteur de réglage associé à la partie opérative de la presse,
- régler la chaîne d'asservissement de l'ensemble du système .

Réglage du défaut de parallélisme

L'objectif de cette partie est de valider la solution technique retenue par le constructeur pour assurer la fonction réglage du parallélisme.

L'erreur de parallélisme entre les deux sommiers, due aux déformations de la structure, est corrigée en pré-inclinant le sommier mobile. La figure 7 représente le mécanisme de réglage (6) du parallélisme et le mécanisme de transformation du mouvement de rotation de l'arbre à cames (1) en un mouvement de translation alternatif du sommier mobile (4). Le plan $(E, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$ est un plan de symétrie des mécanismes. Le point B reste en contact permanent avec le profil 1. Le B' point reste en contact permanent avec le profil 2.

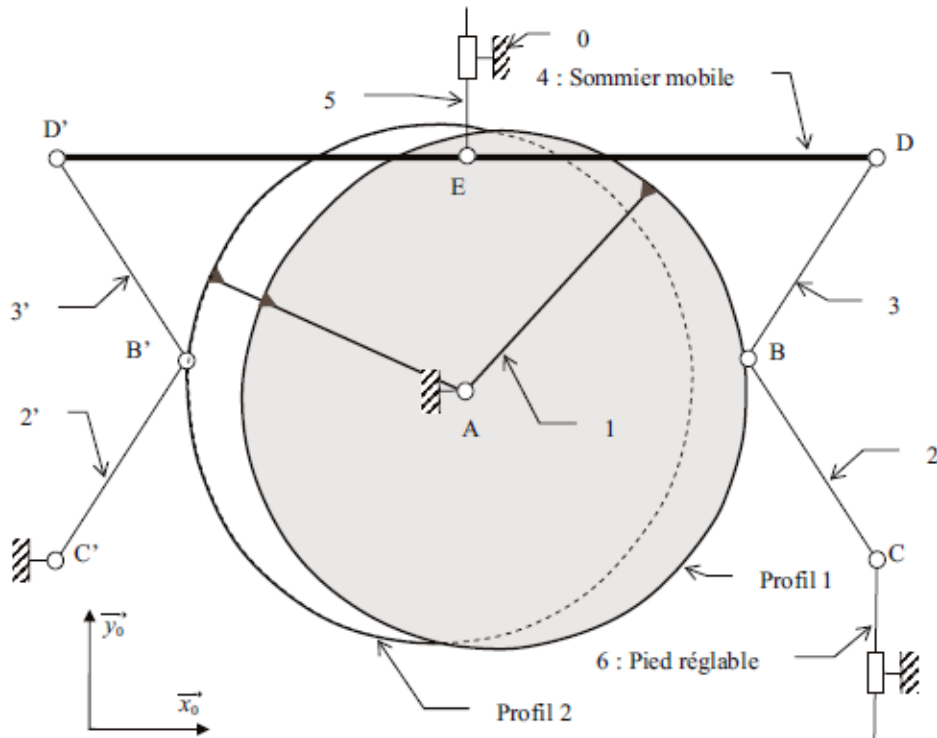


Figure 7 - Mécanisme de réglage de parallélisme et dispositif d'entraînement du sommier mobile

Question 1 : La figure 7 représente le mécanisme avec le sommier au point mort haut. Sur le document réponse, les cames ont effectué une rotation de 180° . Compléter ce document réponse (les dimensions des différentes pièces à positionner seront relevées sur la figure 7) en traçant les genouillères 2, 2', 3, 3' et le sommier mobile (4). La position obtenue est-elle particulière ?

Question 2 : Pour cette question, l'arbre à cames (1) est supposé fixe par rapport au bâti (0). Compléter le document réponse, en déterminant graphiquement la position du point C (du pied réglable (6)). Déduire ce qui précède l'élément sur lequel il faut agir pour pré-incliner le sommier mobile.

Repérage des différentes phases de fonctionnement

L'objectif de cette partie est d'étudier le cycle de fonctionnement de la presse pour estimer le temps de réglage disponible.

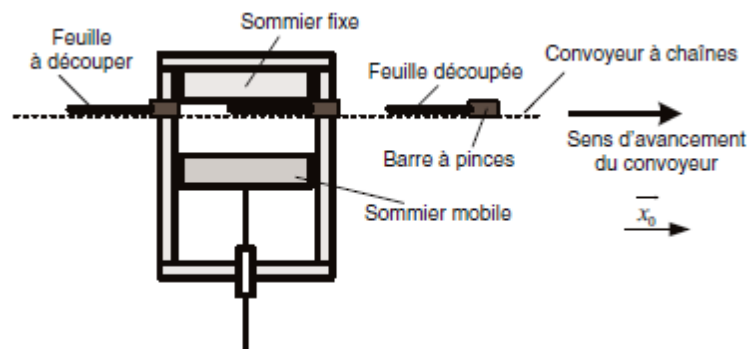
Nous allons déterminer sur le cycle de fonctionnement les durées des principales opérations (découpe, transfert, réglage).

Question 3 : *Calculer la durée d'un cycle pour la cadence de production maximale de 7700 feuilles par heure et en déduire l'échelle temporelle des graduations de la figure 11 du document réponse.*

Question 4 : *Toujours à l'aide de la figure 11 du document réponse, déterminer la course totale du sommier mobile.*

Question 5 : *La fin de la phase de découpe d'une feuille ou d'un carton doit correspondre exactement au point mort haut du sommier mobile. Sachant que l'épaisseur maximale d'un carton est de 4mm, déterminer la durée de la découpe.*

Pour évacuer la feuille découpée et amener la prochaine feuille à l'aide des barres à pinces reliées au convoyeur à chaînes, il faut disposer d'un espace suffisant entre les deux sommiers pour permettre le passage des barres à pinces.



Question 6 : Sachant que l'encombrement vertical d'une barre à pinces est de 2 cm, que sa vitesse moyenne de déplacement horizontal (suivant \vec{x}_0) lors d'un transfert est de 10 m.s^{-1} et que la longueur du sommier est de 750 mm, repérer, sur la figure 11, l'intervalle de temps nécessaire au transfert des feuilles.

Question 7 : *Conclure quant au temps disponible sur le cycle pour effectuer le réglage automatique du parallélisme.*

Les résultats précédents obligent à effectuer la mesure de l'erreur de parallélisme au point mort haut et mémoriser cette valeur qui servira à produire la consigne de réglage de la feuille suivante.

G - Caractéristiques cinématique du mécanisme de réglage

Le principe de réglage du pied est donné par le schéma cinématique de la figure 9.

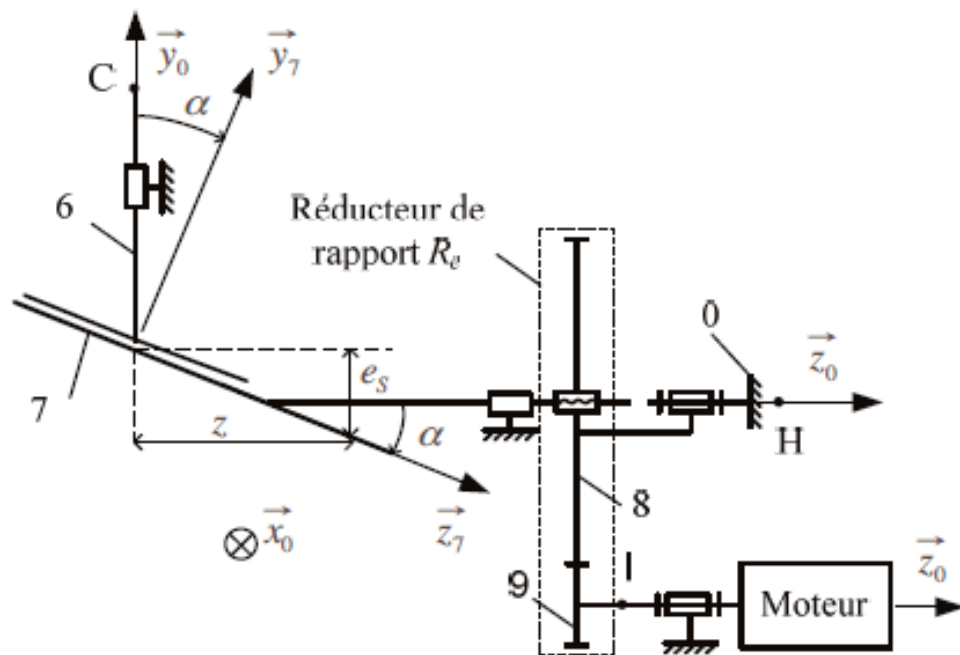


Figure 9 - Schéma cinématique du pied de réglage

Question 8 : Expliquer rapidement le principe de fonctionnement du système de réglage et réaliser le graphe des liaisons. On précisera clairement pour chaque liaison le nom et la ou les caractéristiques géométriques (axe, centre, direction, normale ...)

Modélisation du servomoteur à courant continu

L'objectif de cette partie est de choisir un modèle pertinent du moteur à courant continu et de le valider à partir de relevés expérimentaux, modèle qui sera utilisé pour le réglage des paramètres de l'asservissement.

Les caractéristiques du moteur utilisé pour entraîner le dispositif de réglage du sommier sont les suivantes :

- résistance de l'induit $R = 0.5\Omega$;
- constante de couple et de vitesse $K = K_I = K_V = 0.244 \text{ USI}$;
- inductance de l'induit $L = 1\text{mH}$;

Par ailleurs, on suppose que les frottements sont négligeables. On rappelle enfin les équations symboliques qui décrivent le fonctionnement du moteur :

• Équations électriques :

$$U_c(p) = (R + Lp)I(p) + E(p) ;$$

$$E(p) = K_V \Omega(p) ;$$

$$C_M(p) = K_I I(p) .$$

• Équation mécanique :

$$J_{eq} p \Omega(p) = C_M(p) - C_R(p)$$

Avec $J_{eq} = 0.306 \text{ kg.m}^2$

La figure 13 du document réponse représente le relevé expérimental de la réponse de la chaîne fonctionnelle à un échelon unitaire $U_c(p)$ de la tension dans le cas où $Cr(p)$ est nul.

Question 9 : Identifier en le justifiant l'ordre de la réponse et déterminer graphiquement les paramètres caractéristiques du modèle.

Nous allons maintenant établir le modèle de connaissance du moteur afin de le confronter au modèle de comportement que nous venons d'établir.

Question 10 : Compléter le schéma bloc du moteur et de sa charge proposé dans le document réponse (figure 12).

Question 11 : Montrer que l'on peut écrire $\Omega(p)$ sous la forme :

$$\Omega(p) = H_1(p).U_c(p) + H_2(p).C_r(p)$$

Donner alors l'expression de $H_1(p)$

On étudie maintenant l'évolution du système autour d'un point de fonctionnement vis-à-vis de la consigne U_c . Dans ces conditions le couple résistant est supposé constant. En conséquence on posera pour la suite $Cr(p)=0$.

Question 12 : Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte peut se mettre sous la forme : $T_{MBO} = \frac{1}{\tau_M \cdot p \cdot (1 + \tau_E \cdot p)}$. Donner alors les expressions littérales et numériques de τ_E et de τ_M .

Question 13 : Exprimer $H_1(p)$ en fonction de τ_E , τ_M , et K . Ce résultat est-il compatible avec le tracé obtenu expérimentalement à la question 9.

Dans la suite du problème on admettra que τ_E est négligeable devant τ_M et que l'on peut donc

écrire $H_1(p)$ sous la forme $H_1(p) = \frac{G_0}{1 + \tau_M p} = \frac{\frac{1}{K}}{1 + \tau_M p}$

Question 14 : Montrer dans ce cas la cohérence entre le nouveau modèle théorique et le relevé expérimental.

Étude de la boucle de position

L'objectif de cette partie est d'étudier l'asservissement de position des pieds de réglage pour que le déplacement s'effectue dans le temps imposé par le cahier des charges

$Z(p)$ correspond au déplacement de la cale suivant \vec{z}_0 , et $E_s(p)$ au déplacement vertical du sommier suivant \vec{y}_0 en C. Le système vis écrou à pas réduit noté : $h = \frac{P_v}{2\pi}$ en mm.rad⁻¹. Ces différents éléments sont définis sur la figure 9.

On appelle $E_c(p)$ la tension de consigne de correction du parallélisme entre le sommier et la presse au point mort bas. La position e_s est mesurée par un capteur de position de gain T_{cap} . L'unité utilisée pour est le mm.

Le moteur à courant continu est alimenté par un convertisseur qui sera considéré comme un gain pur, noté $K_H=20$.

Question 15 : Compléter sur le document réponse (Figure 14) le schéma bloc de l'asservissement de position.

Question 16 : Exprimer la relation qui lie z et e_s . En déduire l'expression de $K_z = \frac{e_s}{z}$ (vous pourrez vous reporter à la figure 9).

La correction de parallélisme doit se faire pendant le point mort bas. Cette phase de fonctionnement ne dure pas plus de 0.3s. Pour satisfaire à cette exigence il faut que le système en boucle fermée présente les caractéristiques minimales suivantes :

- valeur du premier dépassement en régime indiciel : $D_{1\%} \leq 20\%$;
- instant du premier maximum en régime indiciel : $T_m \leq 0.1s$;
- coefficient d'amortissement : $\zeta \geq 0.6$;

Question 17 : La figure 15 du document réponse représente la réponse à un échelon unitaire de position du système corrigé. En reprenant les éléments du cahier des charges, conclure quant à l'efficacité du réglage de parallélisme des deux sommiers. (rappel pour un système du second

ordre en réponse indicielle, on a les relations suivantes : $D_1 = KE_0 e^{-\zeta \frac{\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$ et

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega_0 \sqrt{1-\zeta^2}})$$

Document réponse

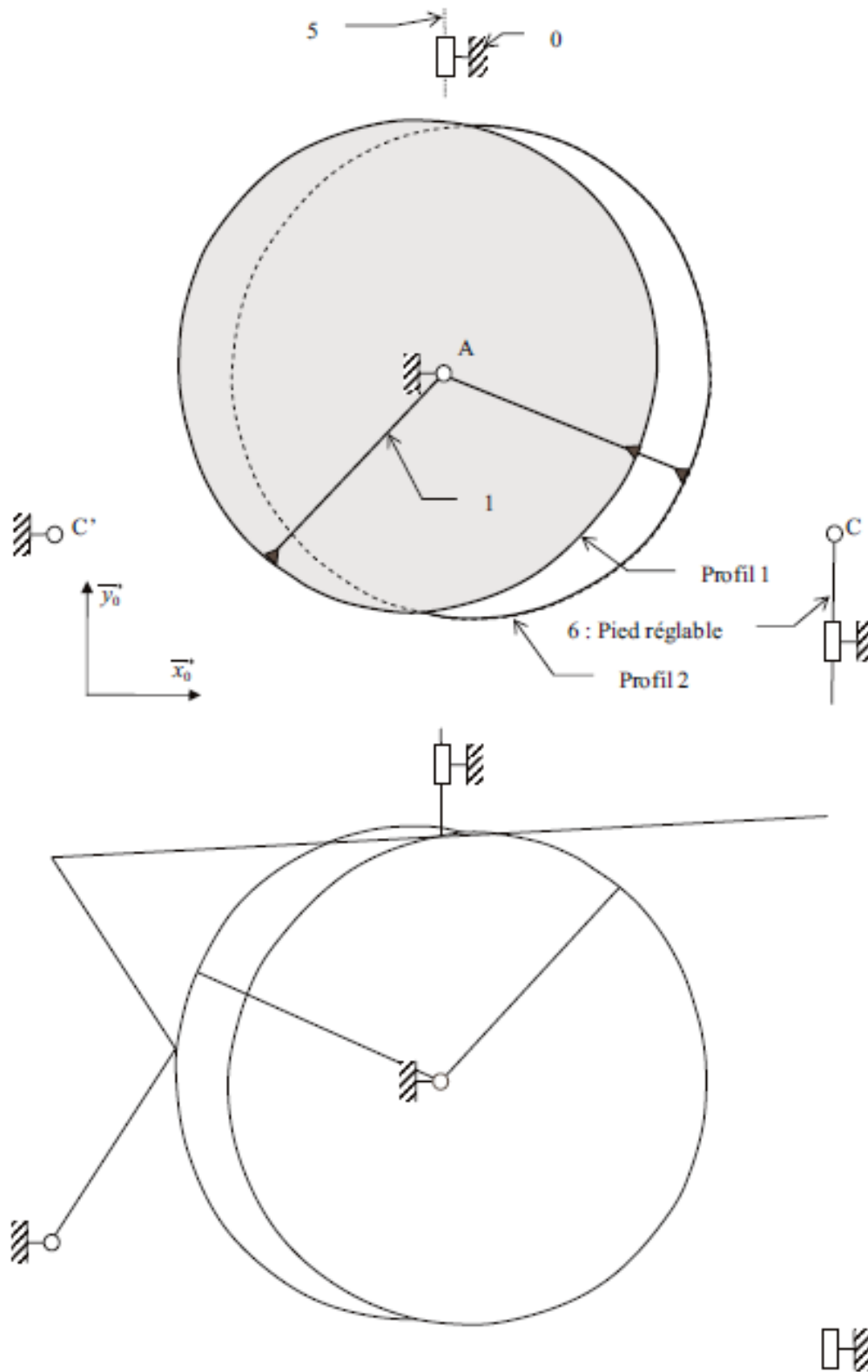


Figure 11- Position de $y_{50}(t)$ en mm du sommier mobile en fonction du temps

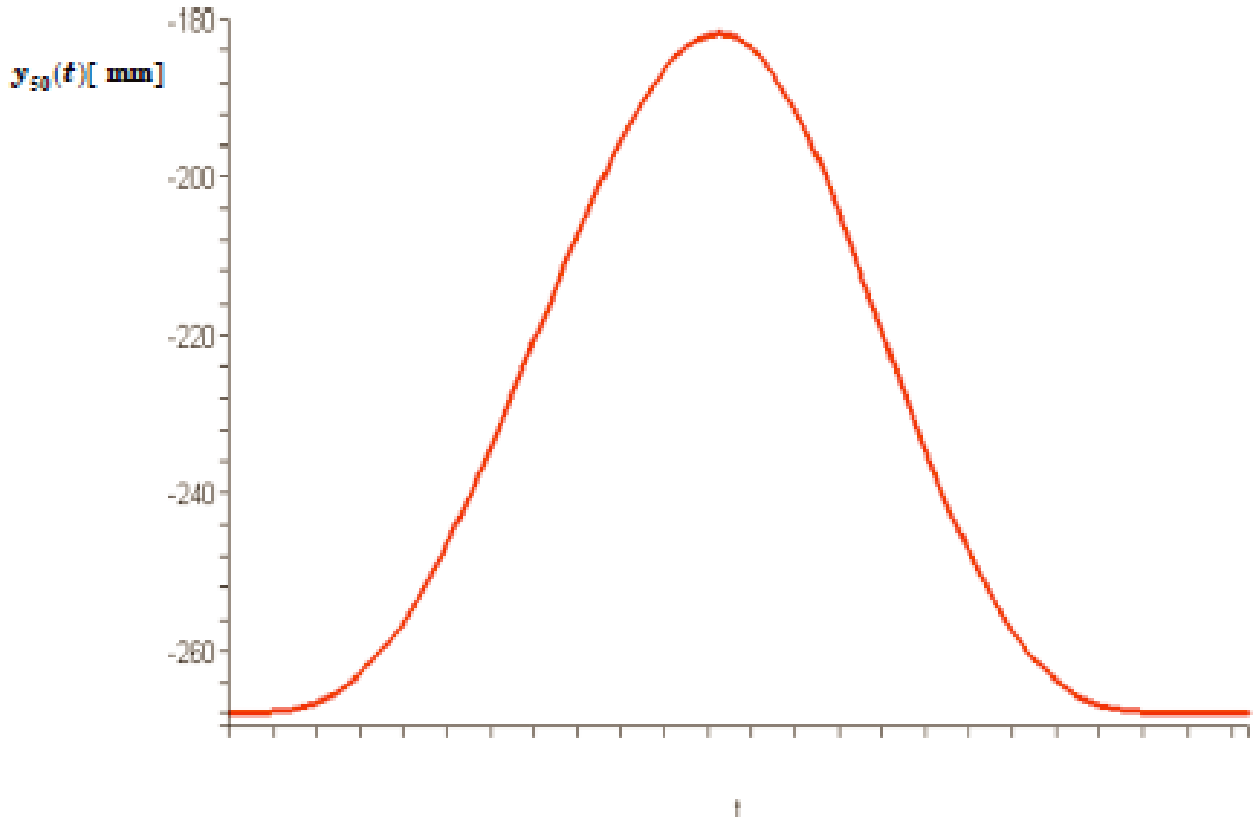


Figure 12- Schéma bloc de la chaîne fonctionnelle (moteur à courant continu et mécanisme de réglage)

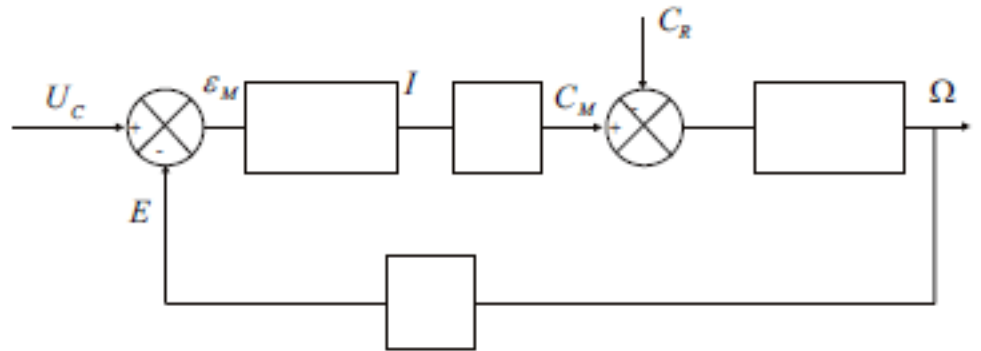
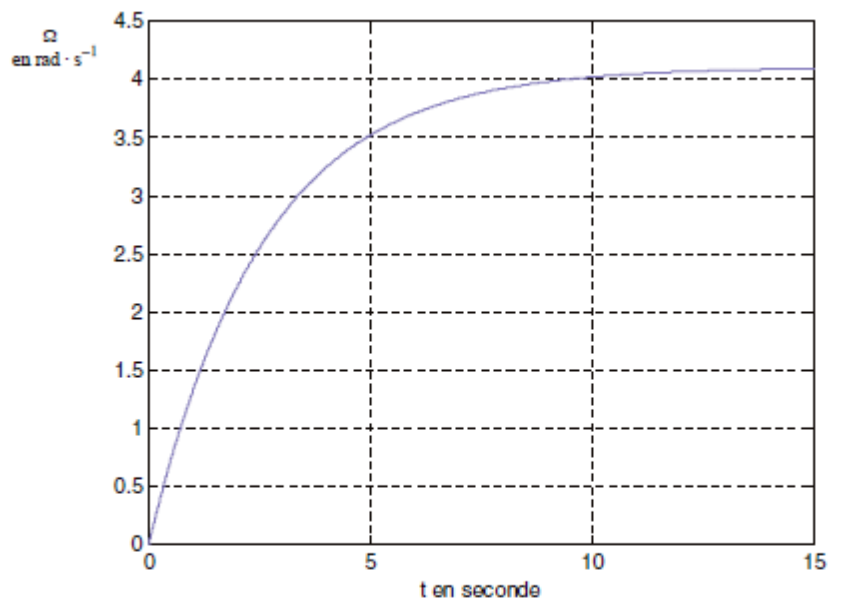


Figure 13- Réponse indicielle du moteur de réglage du parallélisme



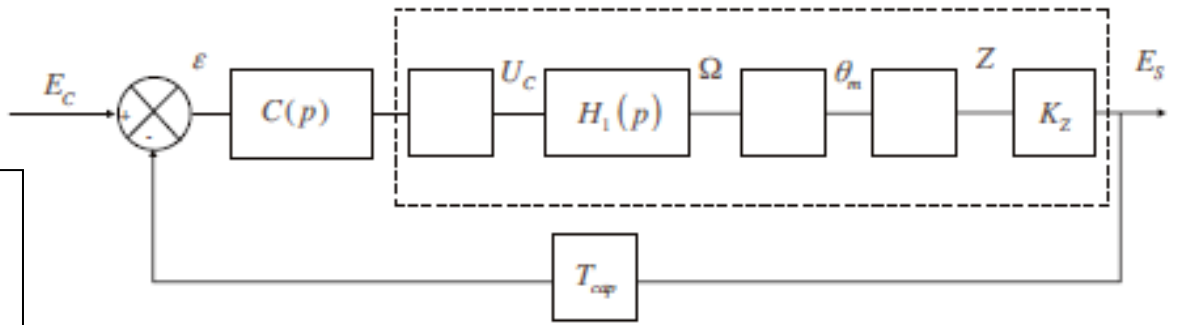


Figure 14-
Structure de
l'asservissement
de position

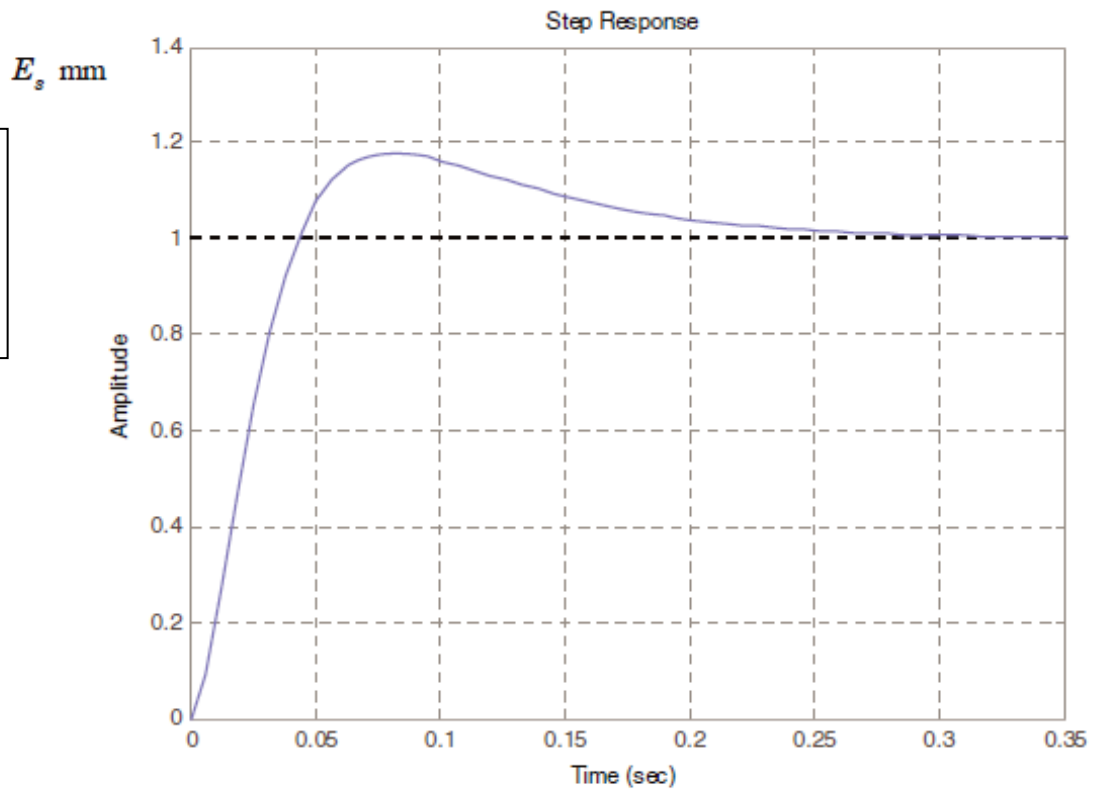
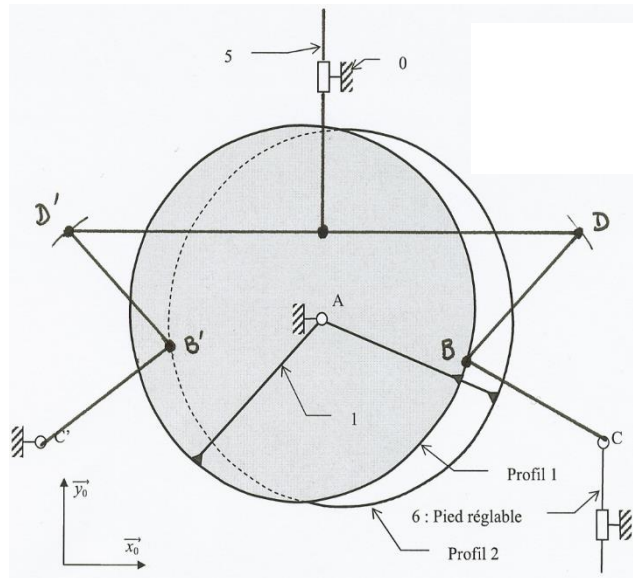


Figure 15-
réponse à un
échelon unitaire
de position du
système corrigé

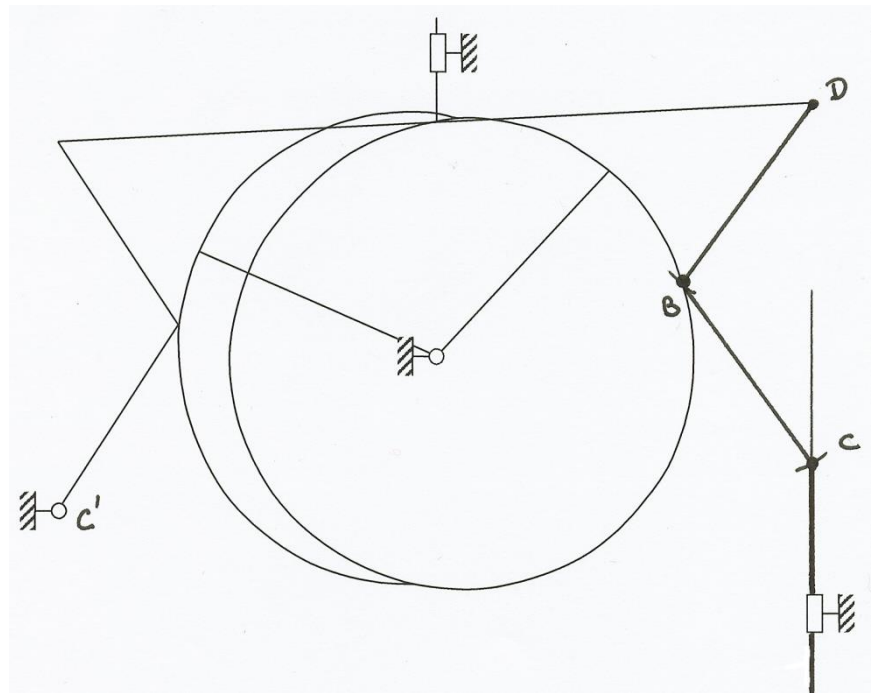
Quelques éléments de correction

Question 1 :

La position est particulière, elle correspond à la position la plus basse du sommier 5.



Question 2 :



Question 3 : Chaque cycle a une durée de $t_c = 0.467s$. L'échelle des temps est de $0.02s$ par graduation

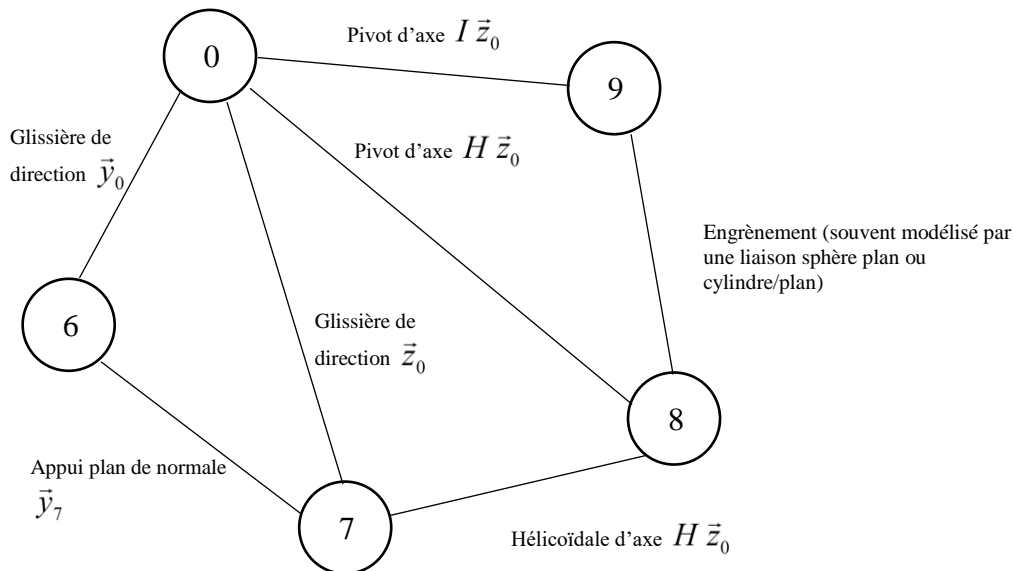
Question 4 : La course totale du sommier mobile est de $a = 85$ mm.

Question 5 : 0,03s pour la découpe

Question 6 : $t_t = \frac{0.75}{10} = 0.075s$

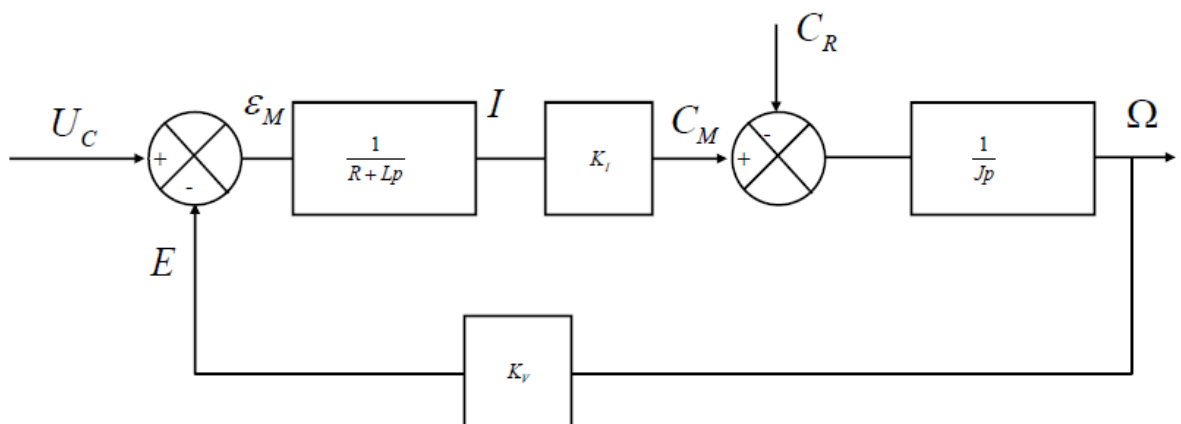
Question 7 : Il reste donc pour effectuer le réglage automatique du parallélisme 0.33s environ

Question 8 : L'écrou 8 est entraîné en rotation autour de l'axe $O\vec{z}_0$ par l'intermédiaire du moteur et du réducteur de rapport Re . La vis 7 va se translater suivant la direction \vec{z}_0 , ce qui va provoquer le déplacement suivant \vec{y}_0 de 6 par l'intermédiaire de la liaison appui plan de normale \vec{y}_7 entre 7 et 6.



Question 9 : Réponse indicielle sans dépassement, pente de la tangente à l'origine non nulle, valeur en régime permanent constant. On peut identifier le système comme étant un système du 1er ordre.
constante de temps de 2.5s et gain statique de $4.1 \text{ rad.s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

Question 10 : Compléter le schéma bloc du moteur et de sa charge proposé dans le document réponse).



Question 11 :
$$H_1(p) = \frac{\frac{1}{K_V}}{1 + \frac{Jp(R+Lp)}{K_V K_I}}$$

Question 12 : La fonction de transfert en boucle ouverte est :
$$T_{MBO} = \frac{1}{\tau_M \cdot p \cdot (1 + \tau_E \cdot p)}$$

Par identification, on obtient :
$$\tau_M = \frac{JR}{K_V K_I} \text{ et } \tau_E = \frac{L}{R}$$

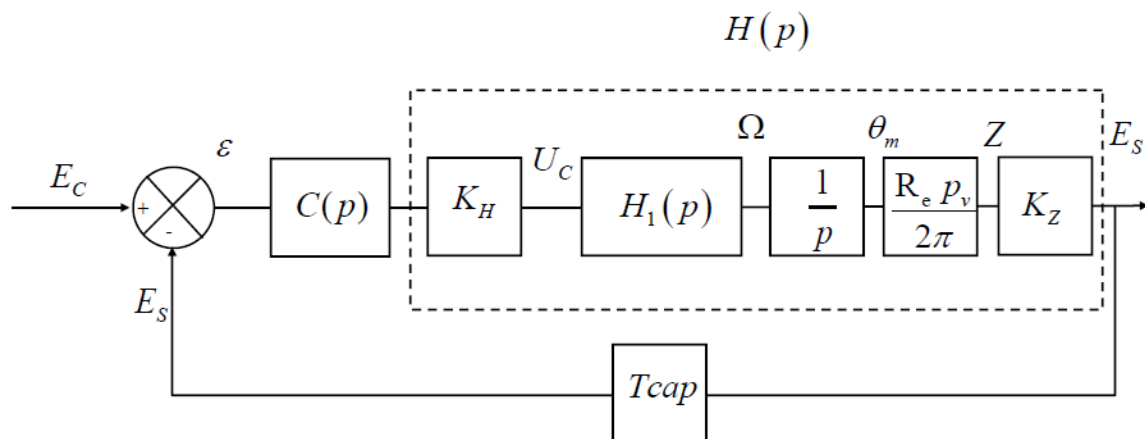
Application numérique : $\tau_M = 2.57s \text{ et } \tau_E = 2 \cdot 10^{-3}s$

Question 13 :
$$H_1(p) = \frac{\frac{1}{K}}{1 + \tau_M p + \tau_M \tau_E p^2}$$

Ce résultat ne correspond pas au tracé expérimental. On est dans le cas d'un système du second ordre alors que le relevé expérimental correspond à la réponse d'un 1^{er} ordre.

Question 14 : On obtient alors $H_1(p) = \frac{4.1}{1 + 2.57p}$ ce qui est très proche des résultats obtenus à partir du relevé expérimental.

Question 15 :



Question 16 $\tan \alpha = \frac{e_s}{z} = K_z$

Question 17 :

Graphiquement, on obtient un premier dépassement de 0.18 mm à l'instant $T_m = 0.075s < 0.1s$ l'échelon étant unitaire on obtient un gain statique de 1.

Ce qui correspond à un dépassement relatif en % de $18\% < 20\%$ et $\zeta = 0.48 < 0.6$

Le cahier des charges est respecté