

**CONCOURS NATIONAL COMMUN**  
**D'ADMISSION AUX GRANDES ECOLES D'INGENIEURS MAROCAINES**

**Session : 2003**

**Epreuve de Sciences Industrielles**  
**Durée : 4 heures**

**Composition du sujet :**

**Le sujet comporte :**

- Enoncé du sujet : 8 pages .
- Documents : 6 Documents.
- Documents réponses : 2 Documents réponses.

**Recommandations :**

Il est recommandé au candidat de lire la totalité du sujet.

L'épreuve est constituée de plusieurs parties indépendantes .

Il est demandé de rappeler , sur la copie , le numéro de la question avant de développer la réponse.

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

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 .

*Aucun document supplémentaire n'est autorisé.*  
*Les calculatrices sont autorisées.*

***En fin de l'épreuve, le candidat doit rendre :***

- La copie d'examen soigneusement paginée.
- Les documents réponses .



**B/ POSTE DE SOUDAGE**

Avant d'être acheminés vers le poste de soudage, les 5 éléments de la caisse (*fig1 du document 1*) sont découpés dans des tôles et ensuite pré-assemblées, à l'unité de préparation, par des points de soudure sur leurs faces extérieures.

Le poste de soudage est équipé de : (*fig2 du document 1*)

- **Portique**: comportant un chariot à déplacement transversal ( $T_x$ ), et un chariot à déplacement longitudinal ( $T_y$ ) solidaire d'une tête de soudage orientable (Robot 2 axes).

Tous les mouvements sont assurés par des actionneurs.

$R(0, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  est un repère orthonormé direct, lié au portique.

$\vec{z}$ : vertical ascendant.

- **Table élévatrice**: soutenant la caisse, et assurant le déplacement vertical ( $T_z$ ).

La plate-forme, sur laquelle repose la caisse, est aimantée à volonté, ce qui permet le blocage de cette dernière au cours de l'opération de soudage.

La commande du déplacement est assurée par un moto-réducteur associé à un système vis-écrou.

Les soudures sont déposées sur les faces intérieures des caisses.

**Table élévatrice :**

Elle est du type « *paire de ciseaux* », commandée par un moto-réducteur, associé à un système vis-écrou. Son schéma cinématique est représenté sur la *figure 3 du document 2*.

Elle se compose de :

- **Bâti 0** : auquel est lié le repère  $(B, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .
- **Arbre 1** : arbre de sortie du moto-réducteur.  
En liaison pivot d'axe  $(F, \vec{y})$  avec le bâti 0, et hélicoïdale d'axe  $(F, \vec{y})$  avec l'écrou 4. (hélice à droite de pas  $p$ ).
- **Écrou 4** : en liaison glissière de direction  $\vec{y}$  avec le bâti.
- **Bras 2** : en liaison pivot d'axe  $(A, \vec{x})$  avec l'écrou 4, pivot d'axe  $(C, \vec{x})$  avec 3 et ponctuelle en E avec la plate forme 5.
- **Bras 3** : en liaison pivot d'axe  $(B, \vec{x})$  avec le bâti et ponctuelle en D avec la plate-forme 5.
- **Plate-forme 5** : en liaison glissière de direction  $\vec{z}$  avec le bâti 0.

L'arbre de sortie 1 du moto-réducteur tourne à une vitesse  $\omega_1$  autour de  $(F, \vec{y})$ . Cette rotation se transforme en une translation verticale de la plate-forme de vitesse  $V_z$ , grâce à la liaison hélicoïdale 1-4 et aux autres liaisons entre les éléments de la table.

**Question 1**

(les tracés sont à effectuer sur le document réponse DRI et à commenter brièvement sur la copie.)

**I-1** On pose :  $\vec{V}_{(F \in 4/0)} = V_y \vec{y}$

Déterminer  $V_y$  en fonction de  $\omega_1$ .

Evaluer  $V_y$  pour  $\omega_1 = -16 \text{ rd.s}^{-1}$  et  $p = 6 \text{ mm}$ .

Représenter  $\vec{V}_{(A \in 4/0)}$  sur la figure du DRI.

**I-2** Quelle est la trajectoire du point  $C \in 3$  dans son mouvement par rapport à 0.  
Déduire la direction de  $\vec{V}_{(C \in 3/0)}$ .

**I-3** Déterminer graphiquement  $\vec{V}_{(C \in 3/0)}$  et  $\vec{V}_{(D \in 3/0)}$ .

**I-4** Traduire la relation entre  $\vec{V}_{(D \in 3/0)}$ ,  $\vec{V}_{(D \in 3/5)}$  et  $\vec{V}_{(D \in 5/0)}$ , en précisant le mouvement concerné pour chaque vecteur vitesse.

**I-5** Déterminer  $V_z$ .

**Question 2**

Cette solution, certes, simple à réaliser et moins coûteuse, n'a pas apporté entière satisfaction en raison du glissement provoqué en D et E entre les bras et la plateforme. Les pertes d'énergie sont alors importantes et Les organes s'usent rapidement ; ce qui altère la précision des déplacements.

Proposer le schéma cinématique ou d'architecture d'une autre solution permettant de combler ces défauts.

**Question 3**

L'architecture du moto-réducteur est représentée sur la *figure 4 du document 2*. Les contacts entre les roues dentées sont supposés ponctuels avec Roulement sans glissement entre les roues.

On pose :  $\vec{Q}_{(M/O)} = \omega_m \cdot \vec{y}$

Formuler la loi «entrée/sortie» du réducteur :  $\omega_m = f(\omega_1)$ , et fonction des  $Z_i$ .

Evaluer alors  $\omega_m$ .

**Question 4**

Hypothèses : Toutes les liaisons sont parfaites.

**4-1** Tracer le graphe de structure du réducteur formé de A, (B+C), (D+E), F et O.

**4-2** Evaluer sa mobilité cinématique  $m_c$ .

**4-3** Evaluer son degrés d'hyperstaticité  $h$ . Conclure.

**C/ SYSTEME D'EVACUATION DES CAISSES PLEINES :**

Les caisses métalliques sont chargées de pistons, et ensuite évacuées après leur fermeture, par un couvercle, au poste de fermeture.

Le système d'évacuation est constitué : (*figure 6 du document 3*)

- **D'un tapis (4)** : d'épaisseur  $e_4$  et de largeur  $h_1$ , muni de taquets servant de cales aux caisses transportées.
- **D'un tambour moteur (1)** : de forme cylindrique, de hauteur  $h_1$  et de diamètre  $D_1$ . En liaison pivot parfaite d'axe  $(O_1, \vec{y})$  avec le bâti **0** (non représenté). Ce tambour est entraîné en rotation par un moteur.
- **D'un tambour (2)**, identique au précédent. En liaison pivot parfaite d'axe  $(O_2, \vec{y})$  avec le bâti **0**.

Le repère galiléen  $R(O_1, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  est lié au bâti **0**.  $\vec{z}$  : vertical ascendant.

La caisse transportée (**3**) de masse  $m_3$ , est de centre de gravité  $G$ , de coordonnées :

$(x, 0, e_4 + (D_1 + h)/2)$ , dans le repère  $(O_1, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .

Le plan  $(O_1, \vec{x}, \vec{z})$  est plan médian de l'ensemble.

Le tapis est soutenu dans son brin supérieur par un ensemble de « n » galets, en liaisons pivot parfaites d'axe  $(C_i, \vec{y})$  avec le bâti.

Les galets sont régulièrement espacés sur la longueur « d » entre  $A_1$  et  $A_2$ .

$A_i$  : point de tangence entre le galet (i) et le tapis.

$C_i$  : centre du galet (i).

$A_1$  et  $B_1$  : points de tangence entre le tambour (1) et le tapis.

$A_2$  et  $B_2$  : points de tangence entre le tambour (2) et le tapis.

### C.1/ Couple transmissible par adhérence entre le tambour moteur et le tapis :

L'action mécanique exercée par le tambour moteur (1) sur le tapis (4) est modélisée, en chaque point M de leur surface de contact (*figure 7 du document 3*), par la densité surfacique de contact :

$$\vec{f}_M (1 \rightarrow 4) = f_n \cdot \vec{n} + f_t \cdot \vec{t}$$

$\vec{n}$  : vecteur normal.

$\vec{t}$  : vecteur tangent.

$(\vec{t}, \vec{n})$  est base orthonormée directe.  $\vec{0}_1 M = y \cdot \vec{y} + D_1/2 \cdot \vec{n}$

La pression de contact  $f_n$  est, dans un souci de simplification du modèle, supposée uniforme et égale à  $f_0$ .

$\mu$  : coefficient de frottement entre le tambour et le tapis.

#### Question 5

Le couple transmissible par adhérence entre le tambour moteur (1) et le tapis est :

$$C_{tr} = \vec{y} \cdot \vec{M}_{0_1 (1 \rightarrow 4)}, \text{ calculé à la limite du glissement.}$$

5-1 Quelle relation y'a-t-il entre  $f_0$ ,  $f_t$  et  $\mu$  ?

5-2 Exprimer  $C_{tr}$  en fonction de  $f_0$ ,  $\mu$  et des autres données.

5-3 Au montage, on confère au tapis, supposé inextensible, une tension initiale  $T_0$ , appelée : « tension de pose ».

En appliquant le principe fondamental de la statique à la partie du tapis représentée sur la *figure 8 du document 3*, exprimer le théorème de la résultante statique en projection sur l'axe  $\vec{x}$ .

En déduire  $f_0$  en fonction de  $T_0$ .

5-4 Le constructeur a opté pour l'utilisation d'un tambour moteur dont la surface extérieure est striée et légèrement creuse. (voir *figure 9 du document 4*).

Expliquer les raisons de ce choix.

### C-2/ Modélisation cinétique des tambours :

Le tambour moteur est sous la forme d'un tube de diamètre  $D_1$  et d'épaisseur  $e_1$ , fermé d'un coté (voir *figure 10 du document 4*).

Il est homogène, et constitué d'un matériau de masse volumique  $\rho$ .

On désire déterminer la position du centre de gravité  $G_1$  et le moment d'inertie du tambour moteur par rapport à l'axe  $(0_1, \vec{y})$ ; pour cela, on le décompose en deux parties:

(voir *figure 11 du document 4*)

- Partie 1 ( $P_1$ ) : cylindre creux de diamètre extérieur  $D_1$ , d'épaisseur  $e_1$ , de hauteur  $(h_1 - e_1)$  et de masse  $m_{p1}$ .
- Partie 2 ( $P_2$ ) : cylindre plein, de diamètre  $D_1$ , de hauteur  $e_1$  et de masse  $m_{p2}$ .

#### Question 6

Exprimer, en fonction des données, les coordonnées du point  $G_1$  dans le repère  $(C_1, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  en fonction de  $m_{p1}$ ,  $m_{p2}$ ,  $e_1$  et  $h_1$ .

#### Question 7

Calculer, en explicitant clairement votre démarche, le moment d'inertie  $I_1$  de (1) par rapport à l'axe  $(0_1, \vec{y})$ , en laissant apparaître  $m_{p1}$  et  $m_{p2}$ .

### C-3/ Etude dynamique du système d'évacuation : (figure 6 document 3)

Hypothèses :

- ✓ Pas de glissement relatif entre le tapis, les tambours et les galets.
- ✓ Le tapis est inextensible et de masse nulle.
- ✓ Toutes les liaisons pivot sont parfaites.
- ✓ Une seule caisse est présente sur le tapis.

Les « n » galets sont identiques, et sous la forme d'un cylindre de diamètre  $D = D_1/6$ , de centre de gravité  $C_i$ , en liaison pivot parfaite d'axe  $(C_i, \vec{y})$  avec le bâti. Son moment d'inertie par rapport à son axe est noté  $I$ .

L'action mécanique exercée par chaque galet (i) sur le tapis est modélisée par le torseur :

$$\{ i \rightarrow 4 \} = \underset{A_i}{\left\{ \begin{array}{c} N_i \vec{z} \\ 0 \end{array} \right\}}$$

Le moteur d'entraînement exerce sur le tambour moteur (1) une action mécanique telle que :

$$\vec{y} \cdot \vec{M}_{01 (\text{moteur} \rightarrow 1)} = C_m$$

Le tambour moteur (1) est de moment d'inertie  $I_1$  par rapport à son axe de rotation, et de vitesse :  $\vec{\Omega}_{(1/0)} = \omega_1 \vec{y}$  ( $\omega_1$  : variable).

La vitesse du centre de gravité G de la caisse est :  $\vec{V}_{(G/0)} = \dot{x} \vec{x}$

**Question 8**

**8-1** Exprimer, en formulant les hypothèses adéquates, la relation entre  $\dot{x}$  et  $\omega_1$ .

**8-2** Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système  $\Sigma_2 = \{1, 2, 3, 4, n \text{ galets}\}$ , dans son mouvement par rapport au bâti, et déduire  $C_m$  en fonction de  $\omega_1$ . (équation notée (a)).

**Question 9**

Le choix du tapis, nécessite la détermination de sa tension maximale.

Au cours du fonctionnement, trois tensions différentes peuvent être définies :

- Tension dans le brin  $B_1B_2$  (brin mou) :  $T_1$ .
- Tension dans le brin  $A_2D_4$  :  $T_2$ .
- Tension dans le brin  $D_4A_1$  :  $T_3$ .

**9-1** Comparer les tensions  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ .

**9-2** Isoler le système  $\Sigma_3 = \{2, \text{ partie } A_2B_2 \text{ du tapis}\}$  :

- Ecrire le théorème du moment dynamique au point  $O_2$  en projection sur  $\vec{y}$ .

- Sachant que :  $T_1 + T_2 = 2.T_0$  ( $T_0$  : tension de pose), déduire  $T_2$ .

(équation notée (b)).

**9-3** Isoler le système  $\Sigma_4 = \{3, \text{ partie } A_2A_1 \text{ du tapis}\}$  :

écrire le théorème de la résultante dynamique en projection sur  $\vec{x}$ .

(équation notée (c)).

**Question 10**

Des équations précédentes, exprimer  $T_3$  en fonction de :  $T_0$ ,  $C_m$ ,  $I_1$ ,  $D_1$ ,  $I$ ,  $n$  et  $m_3$ .

**D/ CODAGE DES CAISSES PLEINES**

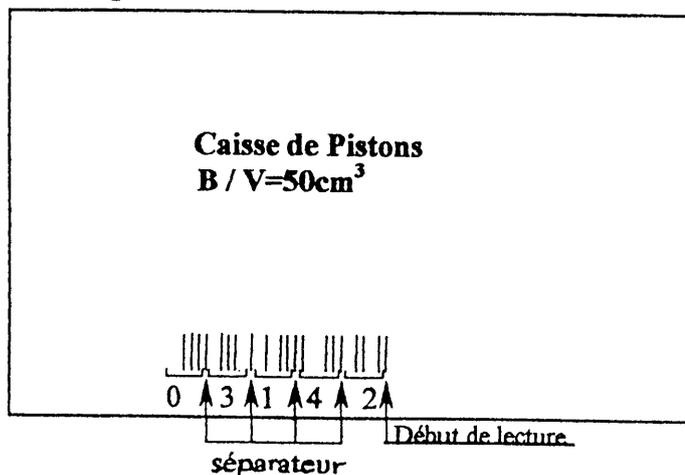
Au poste de fermeture et de codage, une étiquette, portant un code à barres **figure a**, est collée sur chaque caisse ; ce qui permet d'identifier ultérieurement sa destination.

Pour imprimer le code sur l'étiquette un opérateur saisi, sur un clavier numérique un nombre composé de chiffres  $D_1$ , correspondant à la destination de la caisse présente au poste. ( Voir figure 12 du document 5). Chaque chiffre décimal est converti en binaire naturel et ensuite en code « 3 parmi 5 » ( $p_4, p_3, p_2, p_1, p_0$ ) déterminé selon le tableau **figure b** :

figure b :

| Chiffre | $p_4$ | $p_3$ | $p_2$ | $p_1$ | $p_0$ |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0       | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| 1       | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     |
| 2       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
| 3       | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| 4       | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     |
| 5       | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     |
| 6       | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     |
| 7       | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     |
| 8       | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     |
| 9       | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |

figure a :



Les bits à « 1 » donnent lieu à l'inscription d'une barre verticale tandis que les bits à « 0 » sont représentés par un espace. Cette inscription est effectuée de droite à gauche, ce qui donne une étiquette:

**Question 11**

**11-1** Pourquoi appelle-t-on ce codage « 3 parmi 5 » ?

**11-2** Construire le tableau de Karnaugh de la « fonction validité »  $V$  qui prend la valeur 1 si  $(p_4, p_3, p_2, p_1, p_0)$  est l'image d'un chiffre décimal et la valeur 0 dans le cas contraire.

**11-3** Justifier l'intérêt de cette technique de codage vis-à-vis de la détection des erreurs.

**Question 12**

On veut construire un transcodeur qui traduit une séquence  $(p_4, p_3, p_2, p_1, p_0)$  de code « 3 parmi 5 » en code binaire naturel associé au chiffre décimal qu'elle représente.

Soit  $(b_n, b_{n-1}, \dots, b_1, b_0)$  cette écriture en binaire naturel.

**12-1** Combien faut-il de chiffres binaires pour écrire les nombres entre 0 et 9 ?

**12-2** Proposer l'expression de  $b_2 = f(p_4, p_3, p_2, p_1, p_0)$ .

**Question 13**

On suppose maintenant que les séquences  $(p_4, p_3, p_2, p_1, p_0)$  qui n'appartiennent pas au code « 3 parmi 5 » n'apparaissent jamais à l'entrée du transcodeur. Proposer une expression « simplifiée » de  $b_2$  dans ce cas.

**E/ ASSERVISSEMENT DE LA TÊTE DE SOUDAGE**

La tête de soudage est un robot 2 axes, constitué de : (voir figure 13 du document 5)

- Socle ( $S_0$ ) : solidaire du chariot à déplacement longitudinal du portique.
- Bras ( $S_1$ ) : animé, par rapport à ( $S_0$ ), d'une rotation de paramètre  $\theta_2$  et d'axe vertical  $z$  ( $-90^\circ \leq \theta_2 \leq +90^\circ$ ).
- Poignet ( $S_2$ ) : en rotation, par rapport à ( $S_1$ ), de paramètre  $\theta_1$  autour d'un axe horizontal ( $-135^\circ \leq \theta_1 \leq +135^\circ$ ).
- Pince ( $S_3$ ) : serrant un outil de soudage (non représenté), grâce à un vérin électrique logé dans le poignet.

Le mouvement du poignet ( de paramètre  $\theta_1$  ) est commandé par un moteur pas à pas ( $M_1$ ) travaillant en boucle ouverte. La rotation du bras (de paramètre  $\theta_2$ ) est commandée par un moteur à courant continu ( $M_2$ ), asservi en vitesse et en position.

**E-1/ Etude préliminaire :**

**Question 14**

Donner le principe de fonctionnement de la génératrice tachymétrique et du capteur potentiométrique.

L'étude suivante vise l'analyse des performances de l'asservissement du moteur à courant continu ( $M_2$ ), et la validation de l'intérêt du retour tachymétrique.

Le schéma bloc de l'asservissement est celui de la *figure 14 du document 5*, avec :

$u(t)$  : tension de consigne.

$u_e(t)$  : tension d'excitation du moteur ( $M_2$ ).

$\omega_2(t)$  : vitesse du rotor du moteur ( $M_2$ ).

$u_{r2}(t)$  : tension de sortie de la génératrice tachymétrique, supposée proportionnelle à la vitesse  $\omega_2$ .  
(coefficient de proportionnalité :  $K_T$ ).

$\omega_2(t)$  : vitesse de sortie du réducteur. (Rapport de réduction :  $N = 5 \cdot 10^{-2} = \omega_2 / \omega_1$ ).

$u_{r1}(t)$  : tension de sortie du capteur potentiométrique, supposée proportionnelle à la position  $\theta_2$ .  
(coefficient de proportionnalité :  $K_p = 1$ ).

$\varepsilon(t)$  : signal d'erreur.

La fonction de transfert du moteur ( $M_2$ ) peut être ramenée sous la forme :

$$M(p) = \Omega_2(p) / U_e(p) = K_1 / (1 + Tp)$$

Avec :  $T = 0,05$  s : constante de temps mécanique.  
 $K_1 = 4$  : gain statique.

**E-2/ Asservissement sans retour tachymétrique :**

Le schéma bloc est celui de la *figure 15 du document 6*.

**Question 15**

Retracer le schéma bloc, en précisant les fonctions de transfert.

**Question 16**

- 16-1** Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte du système :  $H_{bo}(p)$ , et préciser ses caractéristiques : ordre, classe...
- 16-2** Pour  $K = 1$ , représenter, sur le document réponse **DR2**, les diagrammes asymptotiques de Bode, et l'allure des courbes de Bode.
- 16-3** Pour  $K = 1$ , donner la valeur approchée de la pulsation  $\omega_a$  pour laquelle le module de  $H_{bo}(j\omega_a)$  est l'unité puis calculer la marge de phase de l'asservissement :  $MP$ .
- 16-4** L'asservissement, est-il stable ? justifier.
- 16-5** Déduire, en explicitant votre démarche, la valeur maximale du gain  $K$  :  $K_{max}$ , pour laquelle  $MP = 45^\circ$ .

**Question 17**

- 17-1** Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée du système :  $H_{bf}(p)$ , en fonction de :  $K_1$ ,  $K$ ,  $N$  et  $T$ .
- 17-2** Donner l'expression littérale de la pulsation propre  $\omega_n$ , du coefficient d'amortissement  $\xi$  et du gain statique. Faire l'application numérique pour  $K = 100$ .
- 17-3** Donner, en le démontrant, la valeur de l'écart statique  $\varepsilon_s$ , pour une entrée échelon unitaire. Ce résultat, était-il prévisible ?
- 17-4** Tracer, sur votre copie, l'allure de la réponse de l'asservissement à une entrée échelon unitaire. (Préciser toutes les quantités et valeurs remarquables).
- 17-5** En utilisant la courbe du document 6, déterminer le temps de réponse à 5% de l'asservissement.

**Question 18**

Les performances recherchées pour cet asservissement sont : la précision, la rapidité, une stabilité suffisante et non dépassement de la consigne.

- 18-1** Justifier que pour la commande de ce robot, toute forme de dépassement de la consigne est inacceptable.
- 18-2** Tenant compte des résultats précédents, les performances obtenues sont-elles suffisantes ?
- 18-3** Déterminer la valeur  $K_0$  du gain  $K$  qui soit telle que : la réponse à un échelon ne présente pas de dépassement ( $\xi = 1$ ). Déterminer, alors, la nouvelle valeur  $\omega_{no}$  de  $\omega_n$ . Conclure quant aux nouvelles performances du système.
- 18-4** Quelle est l'effet de la variation du gain  $K$  sur la rapidité et l'amortissement de l'asservissement ?

**E-3/ Asservissement avec retour tachymétrique**

La génératrice délivre une tension  $u_{r2}(t)$  proportionnelle à la vitesse  $\omega'_2(t)$  ; ( $u_{r2} = K_T \cdot \omega'_2$ ).

**Question 19**

Tracer le schéma bloc de l'asservissement avec retour tachymétrique, en précisant les fonctions de transfert.

**Question 20**

- 20-1** Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée de l'asservissement :  $H_{TF}(p) = \theta_2(p) / U(p)$ .
- 20-2** Exprimer la pulsation propre  $\omega_{Tn}$  et le coefficient d'amortissement  $\xi_T$  du système, en fonction de  $K_T$ ,  $K$ ,  $K_1$ ,  $N$  et  $T$ .
- 20-3** L'augmentation du gain  $K$ , donc l'amélioration de la rapidité, aura-t-elle, systématiquement, un effet néfaste sur l'amortissement ? expliquer.
- 20-4** Calculer la valeur de  $K$  et  $K_T$  afin que :  $\omega_{Tn} = 17 \text{ rds}^{-1}$  et  $\xi_T = 1$ . Déduire alors  $T_{5\%}$  de l'asservissement.

**Question 21**

Le choix du constructeur est-il validé ? (votre réponse doit être sous forme de récapitulatif).

**Document 1**

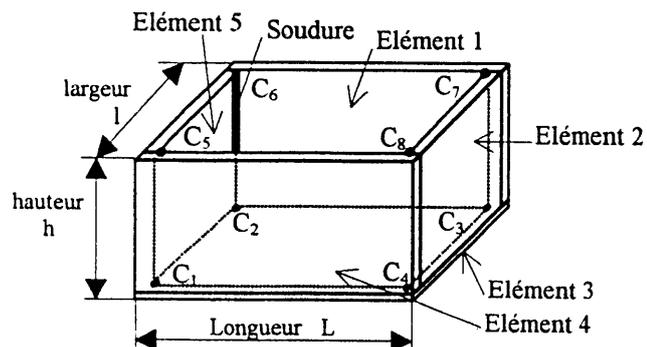


Figure 1

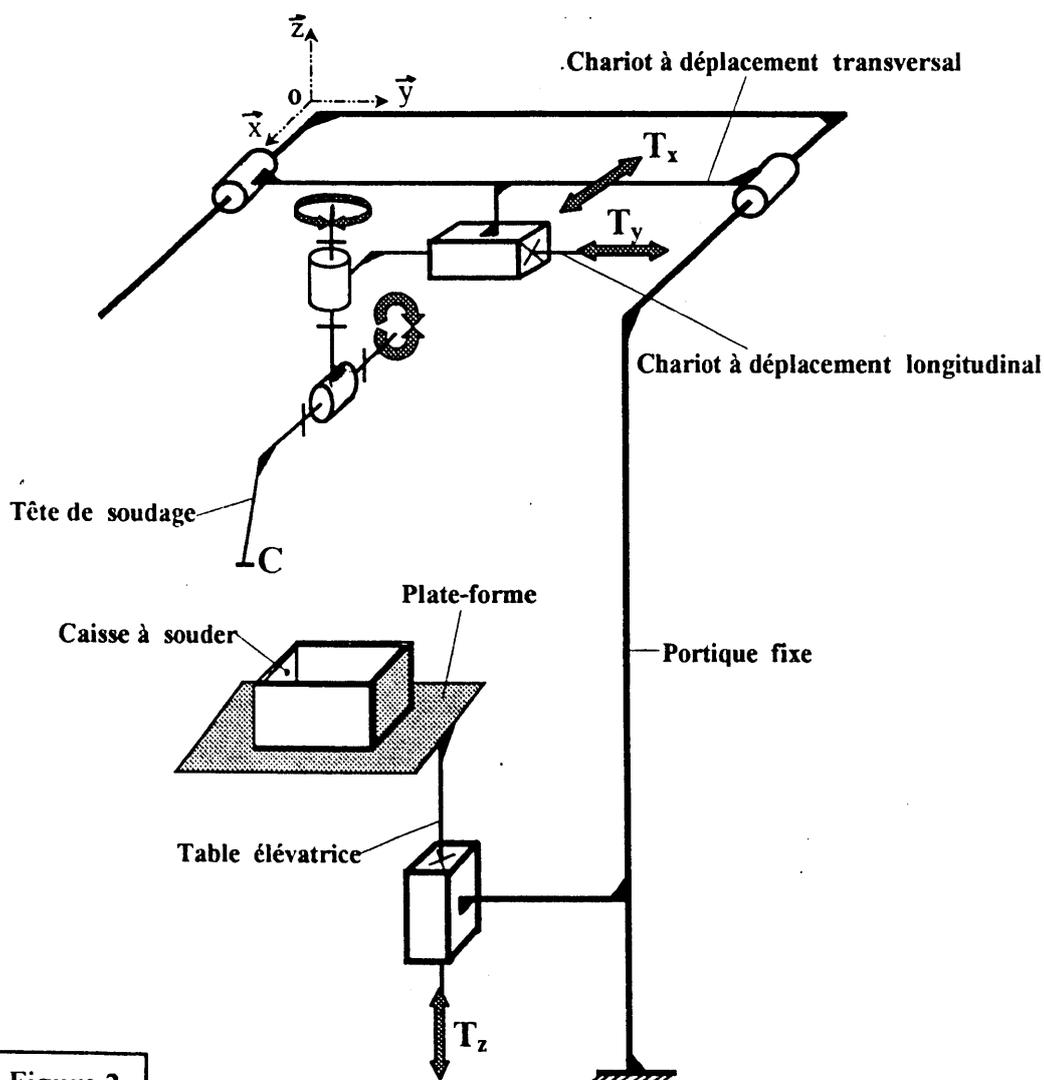
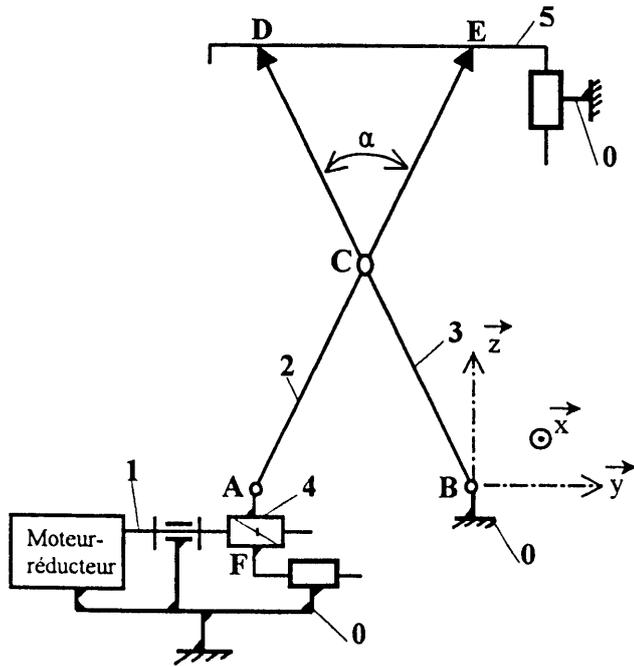
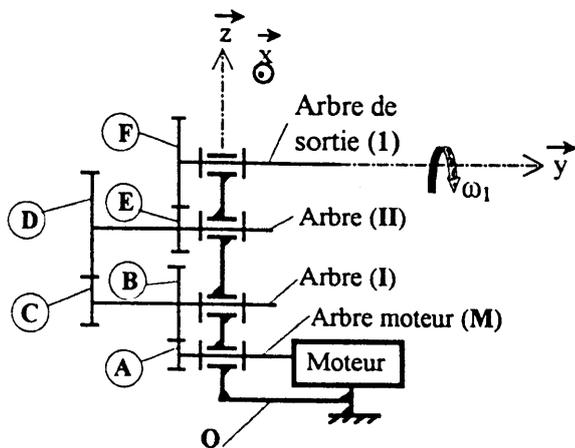


Figure 2

**Document 2**



**Figure 3**

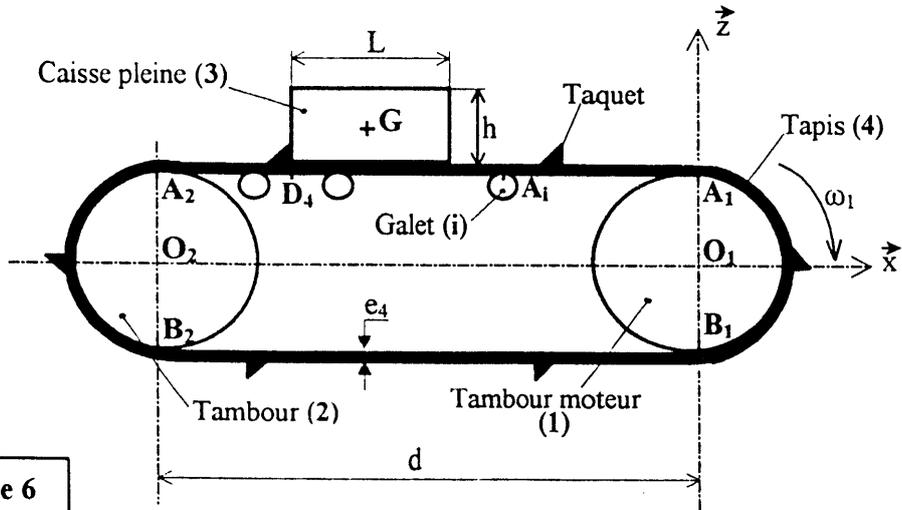


| Roue | Nombre de dents |
|------|-----------------|
| A    | $Z_A = 20$      |
| B    | $Z_B = 45$      |
| C    | $Z_C = 25$      |
| D    | $Z_D = 52$      |
| E    | $Z_E = 22$      |
| F    | $Z_F = 48$      |

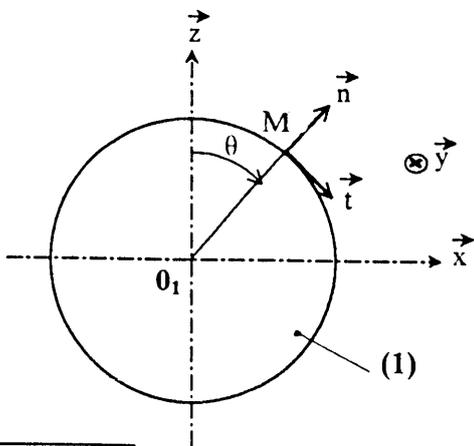
**Figure 4**

Remarque : pour les roues dentées, on a relation :  $D_i = m \cdot Z_i$ ,  
 $D_i$  : diamètre de la roue  $i$ .  
 $m$  : est appelé module et il est le même pour l'ensemble des roues.

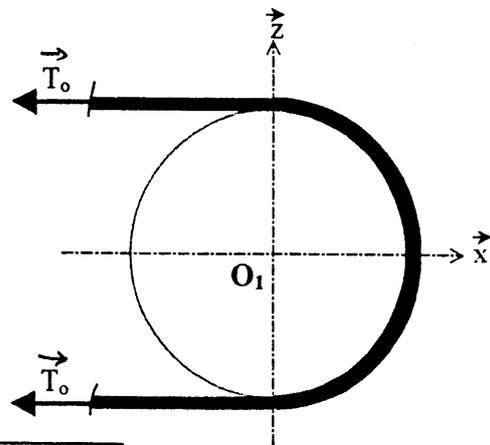
**Document 3**



**Figure 6**



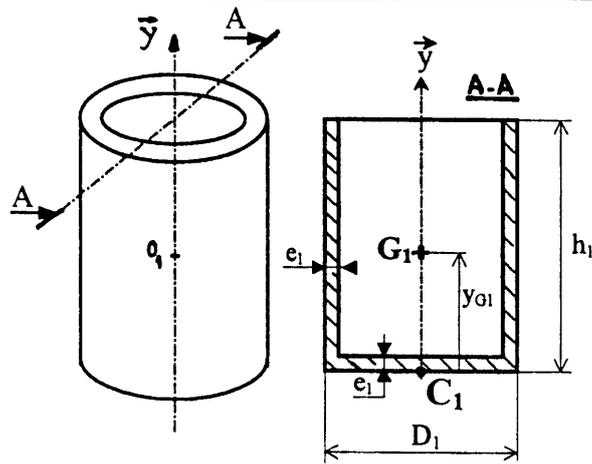
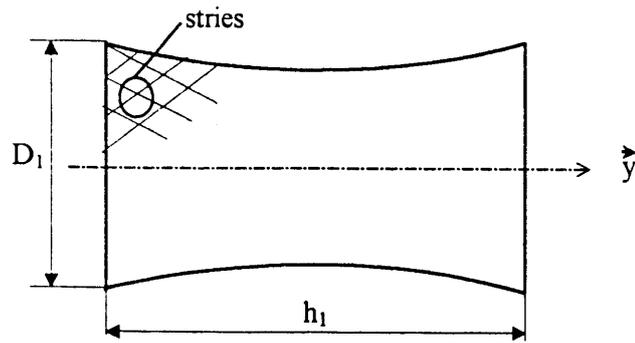
**Figure 7**



**Figure 8**

**Document 4**

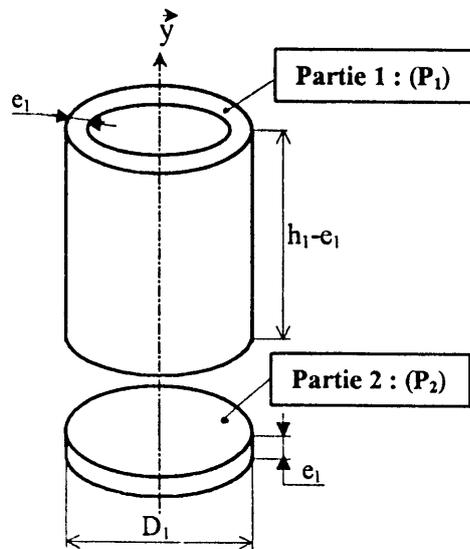
**Figure 9**



$C_1$  : centre de la base inférieure du tambour

**Figure 10**

**Figure 11**



**Document 5**

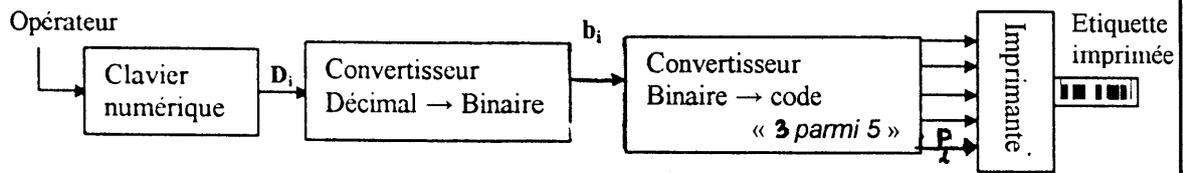


Figure 12

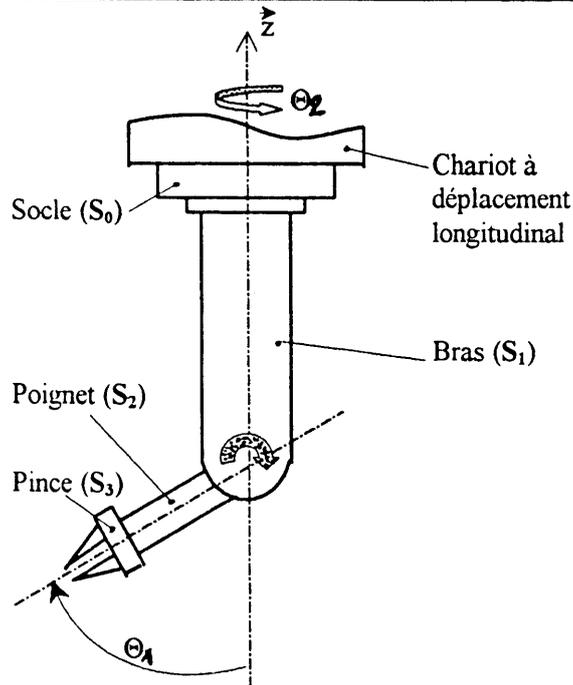


Figure 13

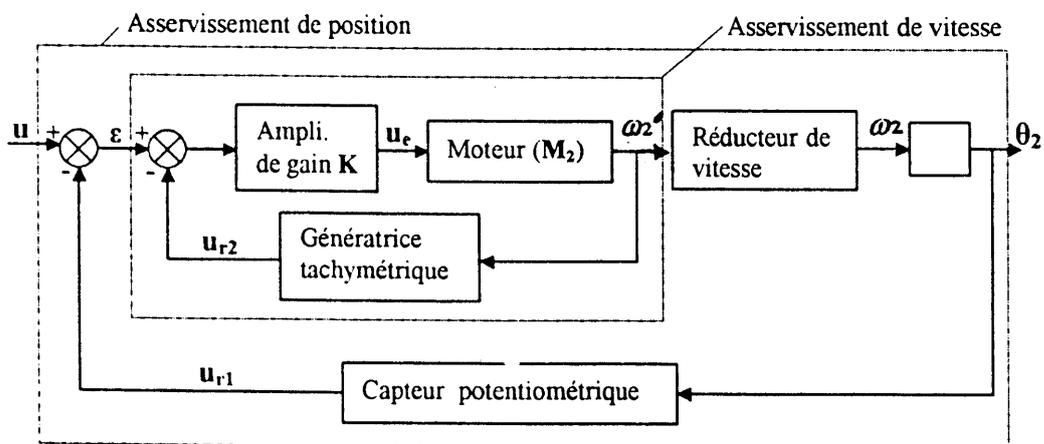
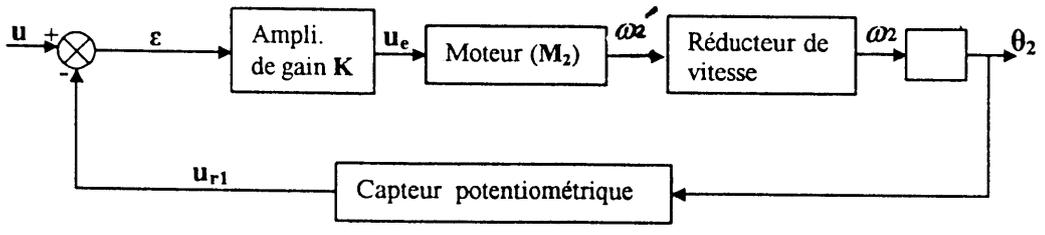
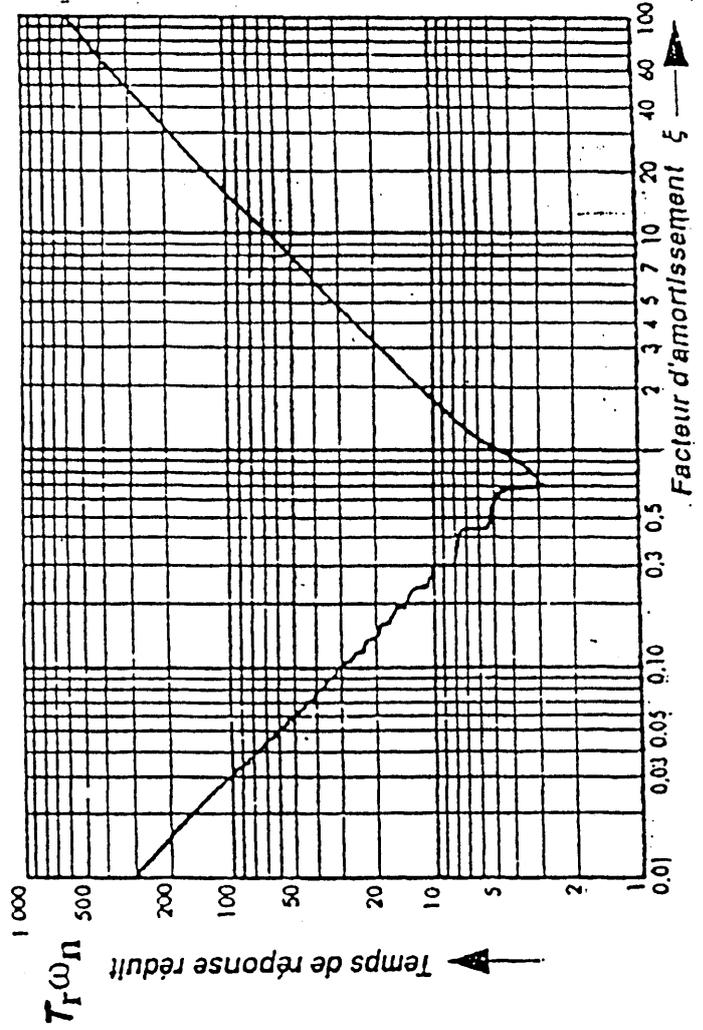


Figure 14

**Document 6**



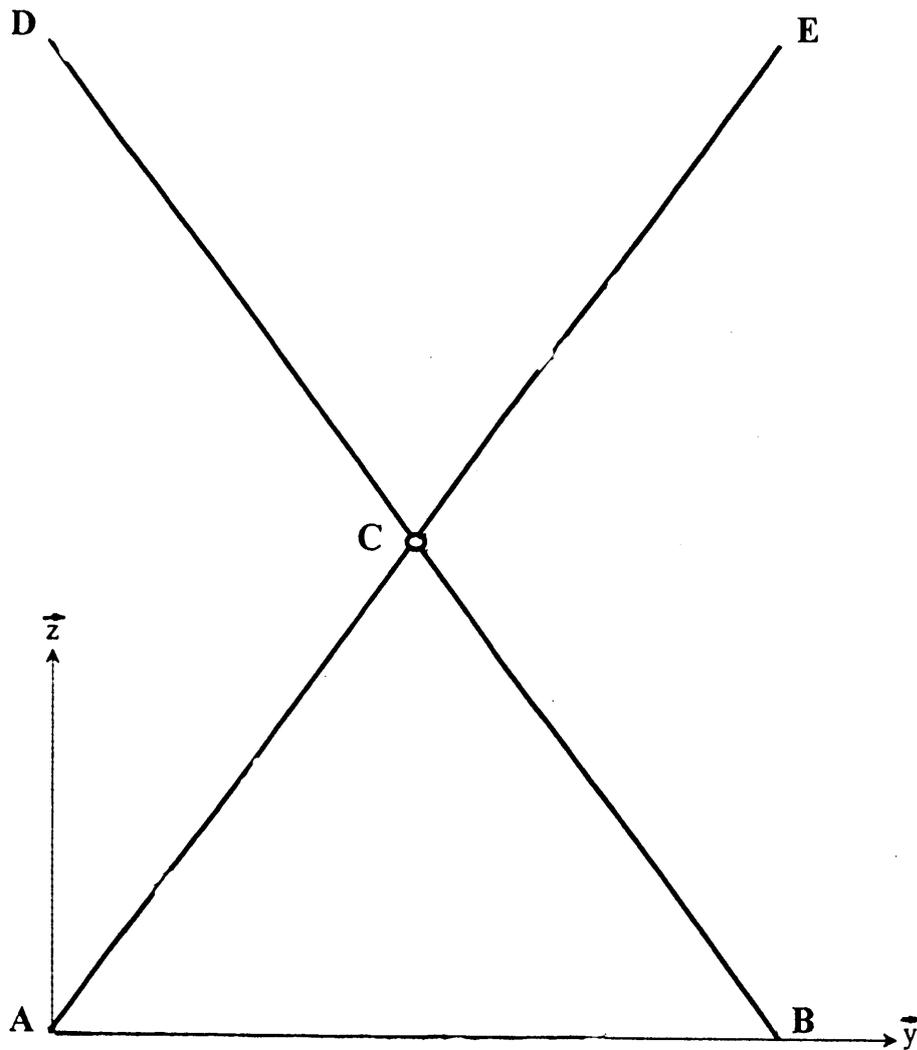
**Figure 15**



*Abaque donnant le temps de réponse à 5% en fonction de  $\omega_n$  et  $\xi$  pour un système second ordre*

**DOCUMENT-REPONSE DR1**

*Nota : ne pas inscrire votre nom ou tout signe pouvant identifier votre copie*



**Echelle : 5mm  $\rightarrow$  1 mm.s<sup>-1</sup>**

