

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique



الجمهورية التونسية
وزارة التعليم العالي
والبحوث العلميّة

المناظرات الوطنية للدخول إلى
مراحل تكوين المهندسين
دورة 2011

Concours nationaux d'entrée aux cycles de
formation d'ingénieurs
Session 2011

Concours Mathématiques et Physique & Physique et Chimie

Epreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Date : Vendredi 17 Juin 2011

Heure : 8 H

Durée : 3 H

Barème : Partie A : 2 points

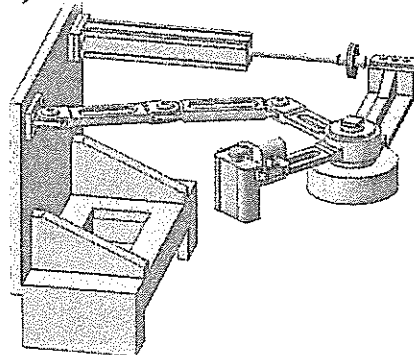
Partie B : 12 points

Partie C : 6 points.

- L'épreuve comporte trois parties :
A - Analyse fonctionnelle B - Mécanique C - Automatique.
- Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte deux dossiers :
« Présentation, Données et Hypothèses » & « Document Réponses ».
- Aucun autre document n'est autorisé.
- L'utilisation des calculatrices de poche non programmables est autorisée.
- Les différentes parties sont indépendantes et doivent être traitées sur le document réponses.
- Un seul dossier document réponses est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, même sans réponses, à la fin de l'épreuve. Le renouvellement de ce dossier est interdit.

DOSSIER

PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES

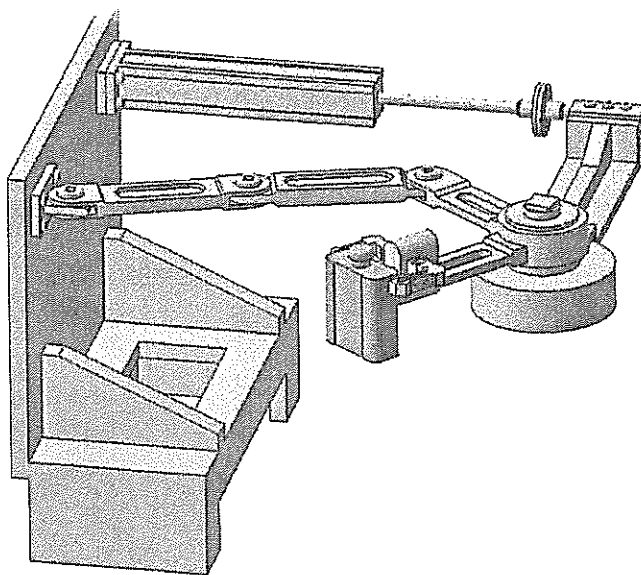


DOSSIER

PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES

Ce dossier comporte 8 pages numérotées de 1 à 8 :

- Présentation du sujet : pages 1 et 2 ;
- Données et hypothèses Partie B : pages 4 et 5 ;
- Données et hypothèses Partie C : pages 6 à 8.



POSTE DE CONTROLE DES RECIPIENTS

Mise en situation

Les récipients (flacons, boîtes, bouteilles, etc.) sont fréquemment utilisés dans le conditionnement de différents types de produits alimentaires, médicales, chimiques, etc (figure 1).

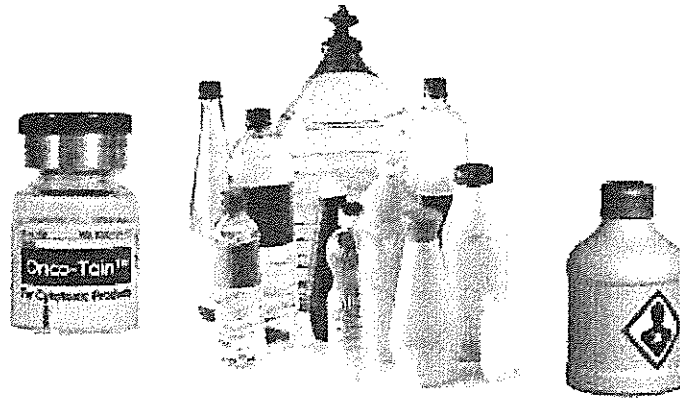


Figure 1

Les exigences de sécurité et de protection imposées à certains secteurs ont conduit à l'intégration des unités de contrôle de conformité et particulièrement d'étanchéité dans les lignes de conditionnement (figure 2). La technique la plus utilisée dans ce type de contrôle est la mesure par variation de pression dite « **méthode air dans air** » et qui consiste à mettre le récipient à tester sous pression et vérifier ensuite l'existence ou non d'une chute de pression. Une autre méthode dite **différentielle** a été développée à la base de cette technique. Elle consiste à mettre en pression ou dépression le récipient à tester et un récipient de référence étanche et de mesurer ensuite la variation de pression. Cette technique permet d'optimiser les conditions de mesure, d'obtenir une grande précision et de s'affranchir les variations de pression liées aux variations thermiques dues à la détente des gaz.

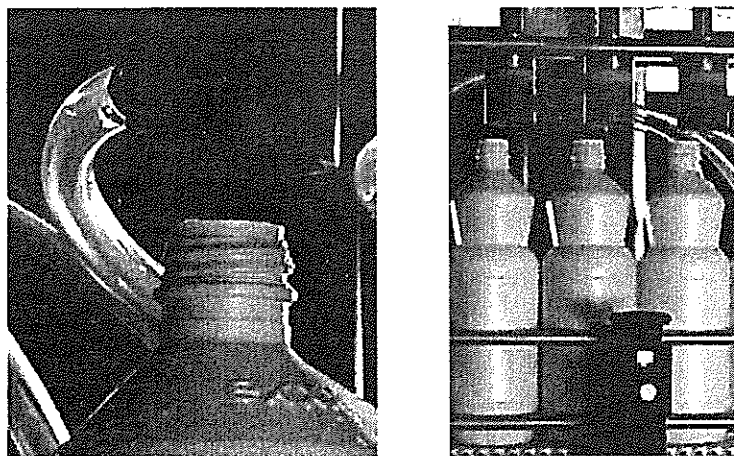


Figure 2

Dans la chaîne de production considérée dans cette étude, un manipulateur (figure 3) à été implanté afin de saisir et dégager les récipients défectueux de la ligne de conditionnement. Ce manipulateur est composé principalement :

- D'une pince de préhension qui, actionnée par un vérin électrique, permet de saisir le récipient ;
- D'une équerre porte-pince de préhension qui, actionnée en rotation par un motoréducteur électrique, permet d'orienter la pince ;
- D'un bras qui, actionné par un vérin pneumatique linéaire, permet de positionner la pince ;
- D'un mécanisme de stabilisation, composé d'un levier tendeur et d'une bielle, qui constitue un dispositif amortisseur permettant d'atténuer les à-coups de fin de courses.

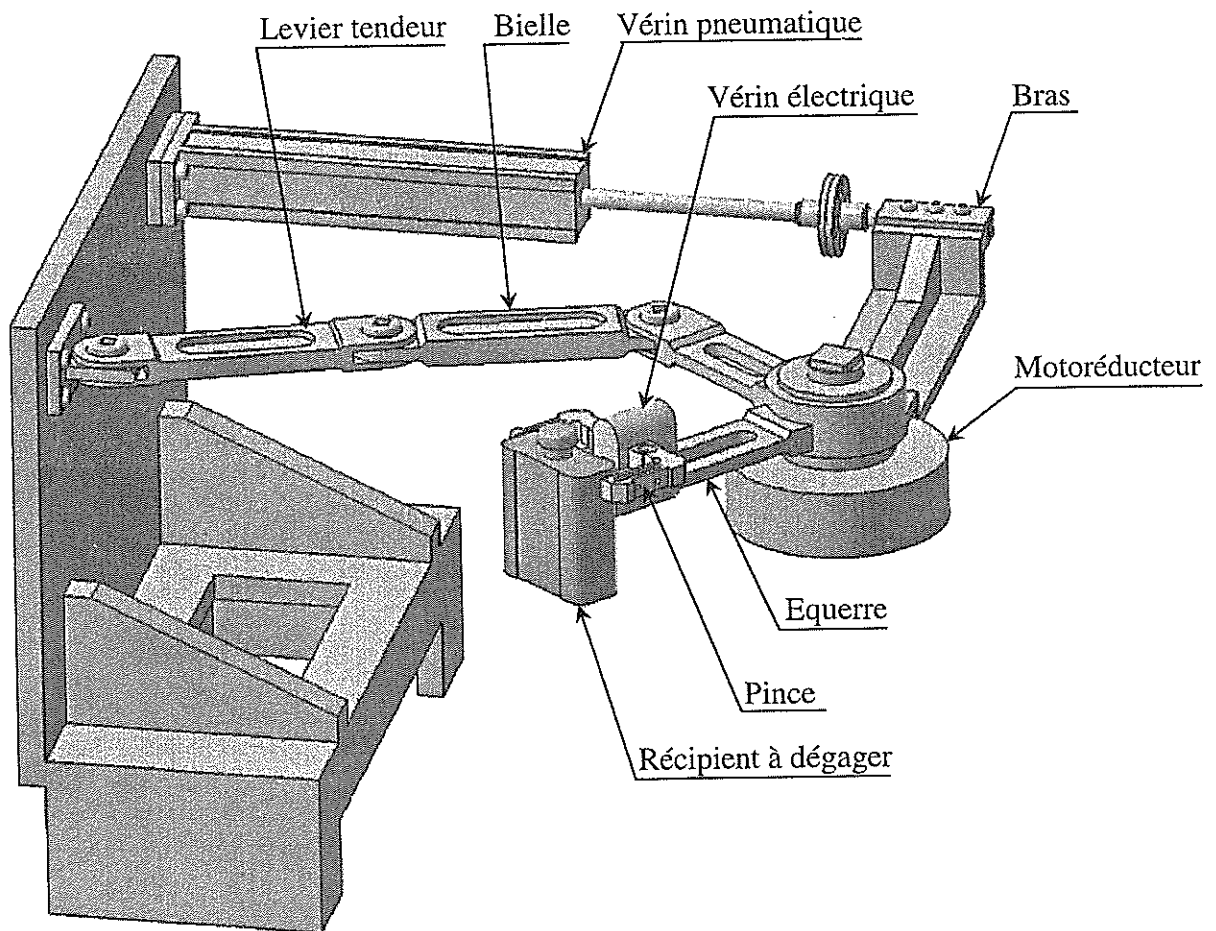


Figure 3 : Manipulateur utilisé dans une ligne de conditionnement pour dégager les récipients défectueux.

A. ANALYSE FONCTIONNELLE

Voir document réponses

B. PARTIE MECANIQUE

La figure B.1 représente le schéma cinématique minimal du manipulateur. Il est composé essentiellement des éléments suivants :

- Un bâti (0) auquel est attaché le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ supposé galiléen ;
- Un bras coulissant (1), en liaison glissière d'axe (D, \vec{y}_0) avec le bâti (0), auquel est attaché le repère $R_1(C, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ tel que $\overline{OC} = -\lambda \vec{y}_0$;
- Une équerre (2), en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) avec le bras coulissant (1), à laquelle est attaché le repère $R_2(C, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$ tel que $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$;
- Une bielle (3), en liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_0) avec l'équerre (2), à laquelle est attaché le repère $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ tel que $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$;
- Un levier tendeur (4), en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}_0) avec la bielle (3) d'une part et en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) avec le bâti (0) d'autre part, auquel est attaché le repère $R_4(O, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ tel que $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_4) = (\vec{y}_0, \vec{y}_4)$.

Données et hypothèses :

- ✓ Vecteurs position : $\overline{OC} = -\lambda \vec{y}_0$; $\overline{CB} = l_2 \vec{x}_2$; $\overline{CP} = l_2 \vec{y}_2$; $\overline{BA} = l_3 \vec{y}_3$; $\overline{OA} = -l_4 \vec{y}_4$ et $\overline{OD} = a \vec{x}_0$;
- ✓ Paramètres utilisés : l_2, l_3, l_4 et a sont des constantes positives ; α, β, θ et λ sont des paramètres variables en fonction du temps.
- ✓ Toutes les liaisons sont supposées parfaites.
- ✓ Tous les repères sont orthonormés directs et on désigne par B_i la base associée au repère R_i .
- ✓ Le champ de la pesanteur est défini par $\vec{g} = -g \vec{z}_0$.
- ✓ Tous les solides sont de masse négligeable sauf l'équerre (2) qui est supposée homogène, de masse M , de matrice d'inertie diagonale et de moment d'inertie par rapport à l'axe (C, \vec{z}_0) : $I_{C\vec{z}_0}(2) = I$.
- ✓ Le bras coulissant (1) est entraîné en translation sous l'action d'un vérin pneumatique linéaire (VL) définie au point D par le torseur : $\{\mathcal{T}(VL \rightarrow 1)\} = \left\{ \begin{array}{c} F \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_D$;
- ✓ L'équerre (2) est entraînée en rotation sous l'action d'un couple moteur : $\vec{C}_m = C_m \vec{z}_0$;

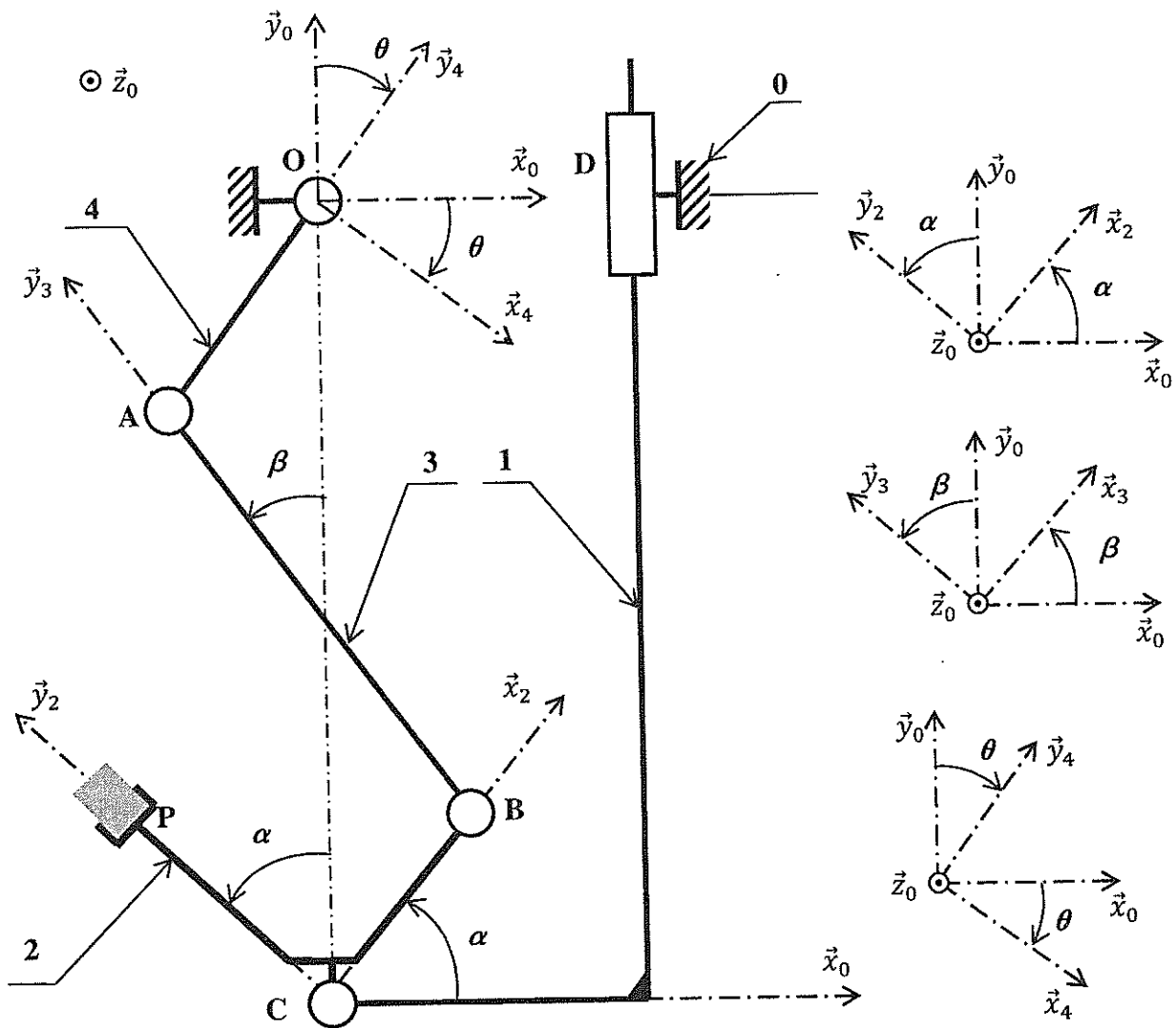


Figure B.1 : Schéma cinématique minimal du bras manipulateur.

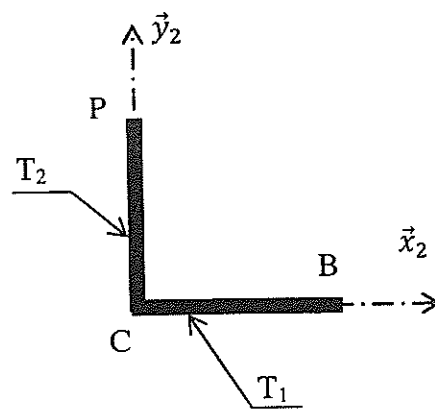


Figure B.2 : Modèle géométrique de l'équerre (2) : composée de deux tiges homogènes et identiques T_1 et T_2 .

Partie C : Automatique

La présente étude est composée de deux parties indépendantes. La première (C.1) porte sur la commande séquentielle du poste de contrôle d'étanchéité des récipients et la deuxième (C.2) est axée sur l'asservissement de position du testeur de pression.

C.1 : Commande séquentielle du poste de contrôle d'étanchéité

Le poste de contrôle d'étanchéité (figure C.1) est composé d'un espace fermé compris entre deux verrous amont et aval actionnés respectivement par les vérins (V1) et (V2) et d'un testeur de mise sous pression pouvant se déplacer grâce à un vérin (V3).

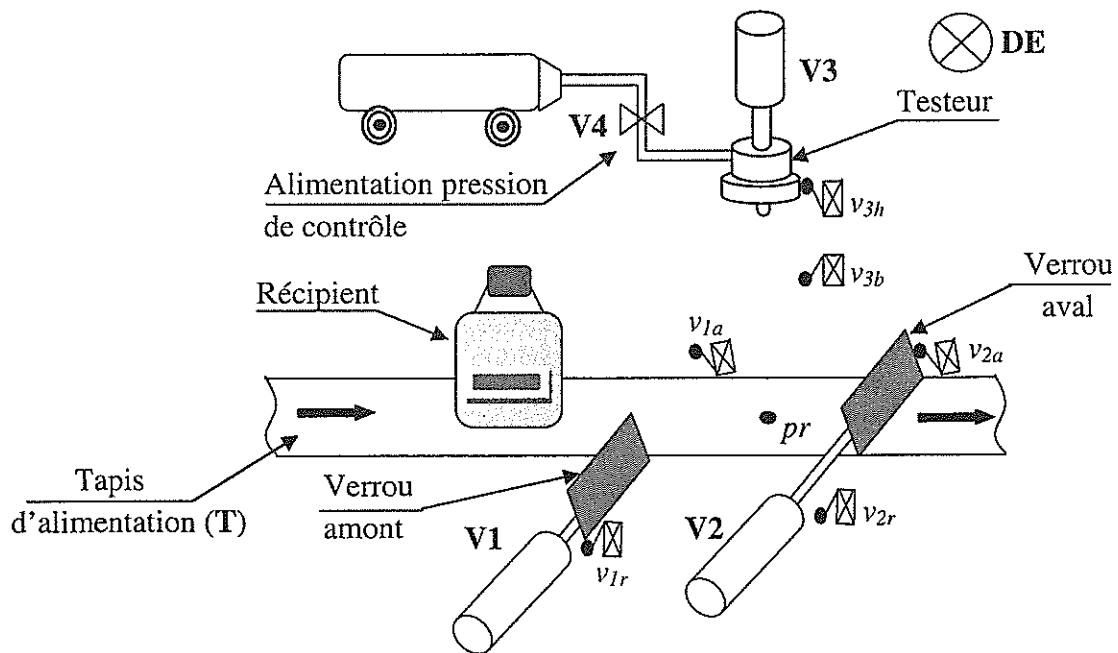


Figure C.1 : Poste de contrôle d'étanchéité.

Liste des actions

V1 ⁺	Avance du verrou amont
V1 ⁻	Recul du verrou amont
V2 ⁺	Avance du verrou aval
V2 ⁻	Recul du verrou aval
V3 ⁺	Descente vérin testeur
V3 ⁻	Montée vérin testeur
V4	Envoi de pression de contrôle
DE	Voyant défaut étanchéité
V5 ⁺	Avance manipulateur d'évacuation
V5 ⁻	Recul manipulateur d'évacuation
T	Avance du tapis d'alimentation

Liste des informations

v _{1a}	Réponse verrou amont V1 avancé
v _{1r}	Réponse verrou amont V1 reculé
v _{2a}	Réponse verrou aval V2 avancé
v _{2r}	Réponse verrou aval V2 reculé
p	Réponse pression atteinte
v _{3b}	Réponse testeur V3 en position basse
v _{3h}	Réponse testeur V3 en position haute
pr	Présence récipient sous le testeur
r	Bouton de réarmement
v _{5r}	Réponse manipulateur d'évacuation V5 reculé
dcy	Bouton départ cycle

Initialement, le tapis (T) est au repos, le verrou amont (V1) est en position arrière, le verrou aval (V2) est en position avant et le vérin du testeur (V3) est en position haute.

L'appui sur le bouton poussoir de démarrage d'un cycle (d_{cy}) entraîne l'avance du tapis d'alimentation en récipients. Lorsqu'un récipient se présente (détecteur (pr) actionné), le tapis s'arrête, le verrou amont se ferme ensuite le testeur descend jusqu'à la position basse. Le récipient est alors mis sous pression. Deux cas peuvent se présenter :

1^{er} cas : Récipient étanche ($p = 1$)

La pression à l'intérieur du récipient croît et par conséquent le capteur de pression (p) sera activé. Ceci entraîne la montée du testeur puis le recul du verrou aval. Le tapis d'alimentation se met en mouvement pour que le récipient libère le capteur (pr). Le verrou aval avance puis le verrou amont recule.

2^{ème} cas : Récipient défectueux ($p = 0$)

Si au bout de 5s la pression n'est pas atteinte, le testeur monte et un voyant « défaut étanchéité » s'allume. L'évacuation du récipient peut se faire de deux manières différentes :

- *Evacuation manuelle* : Le voyant « défaut étanchéité » reste allumé jusqu'à ce que l'opérateur enlève le récipient et réarme le dispositif par un bouton poussoir (r). Puis le verrou amont recule.
- *Evacuation automatisée* : Un manipulateur (V5), initialement en position reculée, avance pour dégager le récipient. Ceci entraîne la libération du capteur (pr), l'extinction du voyant « défaut étanchéité » et le retour du vérin (V5) à sa position initiale. Puis, le verrou amont recule.

L'appui sur (d_{cy}) déclenche le démarrage d'un nouveau cycle.

C.2 : Asservissement de position du testeur

Le positionnement du testeur (Figure C.1) est assuré par un vérin (V3). Cette technologie rend difficile le contrôle précis de la position du testeur. En plus, si on veut augmenter les performances, un redimensionnement complet des éléments est nécessaire.

On se propose alors de remplacer le vérin (V3) par un système formé d'un mécanisme vis-écrou et d'un motoréducteur à courant continu alimenté en tension à travers un amplificateur de puissance. Le comportement électromécanique du système est donné par les équations suivantes:

$$v_M(t) = R i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (1)$$

$$C_M(t) = J \frac{d\omega_M(t)}{dt} + f\omega_M(t) + C_r(t) \quad (2)$$

$$e(t) = K_e \cdot \omega_M(t) \quad (3)$$

$$C_M(t) = K_i \cdot i(t) \quad (4)$$

$$\omega_M(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5)$$

$$\omega(t) = \rho \omega_M(t) \quad (6)$$

$$v_M(t) = K_a u(t) \quad (7)$$

On note que pour ce moteur on a : $K_i = K_e = 0,12 \text{ SI}$; $\rho = \frac{1}{1000}$ et $K_a = 1000$.

Liste des variables	
$u(t)$	Tension à l'entrée de l'amplificateur
$v_M(t)$	Tension à l'entrée du moteur
$i(t)$	Courant d'induit du moteur
$e(t)$	Force contre-électromotrice du moteur
$\omega_M(t)$	Vitesse angulaire du moteur
$\omega(t), \theta(t)$	Vitesse et position angulaire à la sortie du réducteur
$C_M(t)$	Couple moteur
$C_r(t)$	Couple résistant

Liste des paramètres	
L	Inductance de l'induit
R	Résistance de l'induit
J	Inertie totale du moteur et de la charge
f	Coefficient du frottement visqueux
K_i	Coefficient du couple moteur
K_e	Coefficient de la force électro-motrice du moteur
K_a	Gain de l'amplificateur de puissance
ρ	Rapport de réduction

On suppose que :

- ✓ Les conditions initiales de toutes les grandeurs sont nulles.
- ✓ p représente l'opérateur de Laplace.
- ✓ $X(p)$ représente la transformée de Laplace de $x(t)$ notée par : $X(p) = \mathcal{L}[x(t)]$.
- ✓ $\Omega(p)$ représente la transformée de Laplace de $\omega(t)$ notée par : $\Omega(p) = \mathcal{L}[\omega(t)]$.

L'asservissement de position du moteur d'entraînement du testeur est décrit par le schéma fonctionnel suivant :

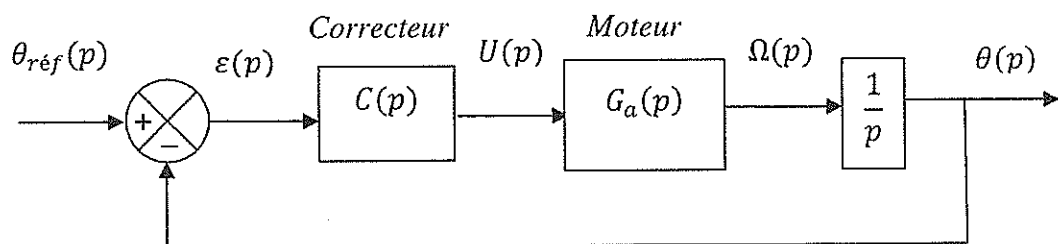


Figure C.2 : Schéma fonctionnel de l'asservissement de position du moteur à courant continu.

Les réponses indicielles de $i(t)$ et de $\omega(t)$ pour une entrée $u(t) = 0,01 V$ sont données respectivement par les figures C.3 et C.4.

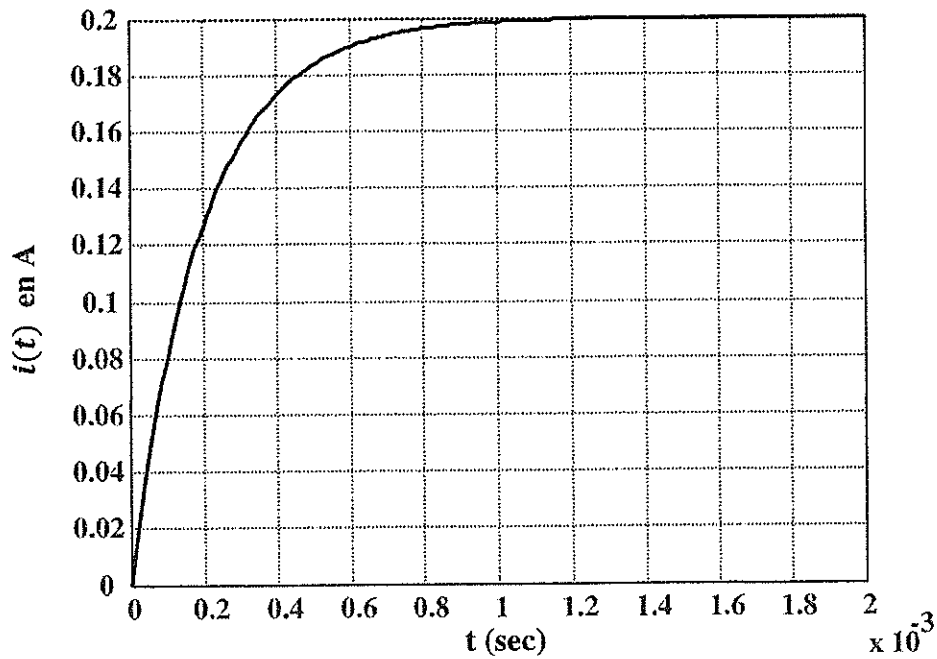


Figure C.3 : Réponse indicielle $i(t)$ du moteur à courant continu pour $u(t) = 0,01V$.

$$(\omega_M(t) = C_r(t) = 0)$$

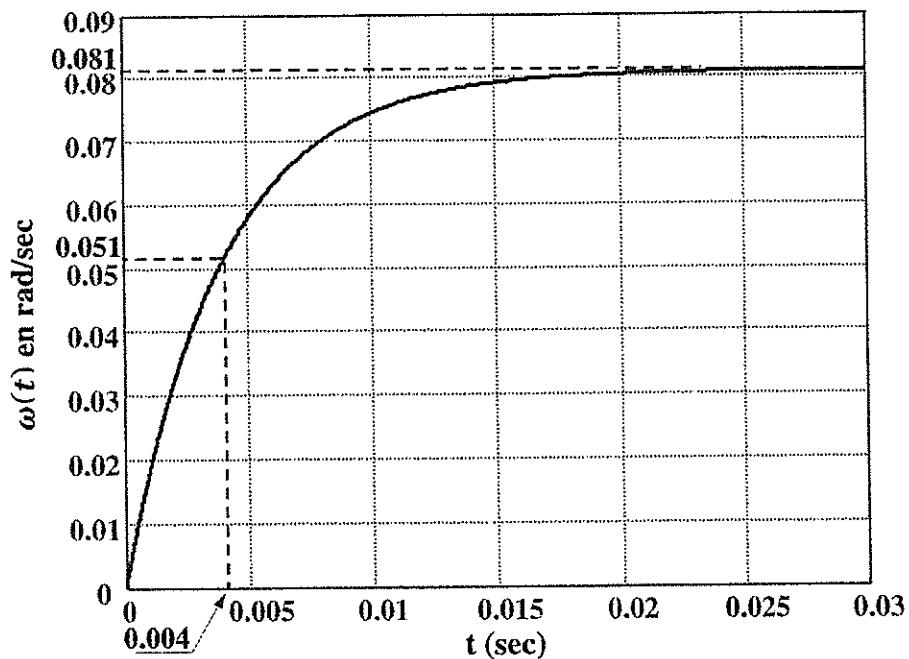


Figure C.4 : Réponse indicielle $\omega(t)$ du moteur à courant continu pour $u(t) = 0,01V$.

DOSSIER DOCUMENT REPONSES

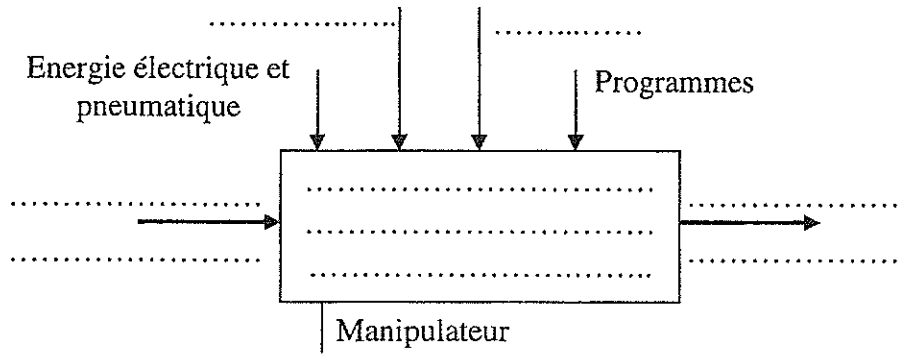
- ✓ Ce dossier comporte 9 pages numérotées de 1 à 9 :
 - Partie A – Analyse fonctionnelle : Page 1;
 - Partie B – Mécanique : Pages 1 à 4 ;
 - Partie C – Automatique : Pages 5 à 9 ;

- ✓ Un seul dossier document réponses est fourni au candidat et doit être rendu, en totalité, même sans réponses à la fin de l'épreuve.

- ✓ Le renouvellement de ce dossier est interdit.

PARTIE A – ANALYSE FONCTIONNELLE

A.1. Compléter l'actigramme niveau A-0 du manipulateur.



A.2. Indiquer pour chacun des actionneurs utilisés dans ce manipulateur, la fonction principale (FP), la matière d'œuvre entrante (MOE), la matière d'œuvre sortante (MOS) et les données de contrôle (DC):

Actionneur	FP	MOE	MOS	DC
.....
.....
.....

PARTIE B – MECANIQUE

B.1. Etude géométrique :

B.1.1. Ecrire les équations scalaires qui traduisent la fermeture géométrique de la chaîne 0-1-2-3-4-0.

.....

..... = (1)

..... = (2)

B.1.2. Pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, Exprimer β et θ en fonction de λ .

.....

.....

.....

$\cos \beta = \dots\dots\dots$

$\cos \theta = \dots\dots\dots$

B.2. Etude cinématique :

B.2.1. Déterminer les torseurs cinématiques qui représentent :

a. le mouvement de (1) par rapport à (0) au point C ;

.....

$$\{ \vartheta(1/0) \} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_C$$

b. le mouvement de (2) par rapport à (0) au point C ;

.....

$$\{ \vartheta(2/0) \} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_C$$

c. le mouvement de (3) par rapport à (0) au point B ;

.....

$$\{ \vartheta(3/0) \} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_B$$

d. le mouvement de (4) par rapport à (0) au point O ;

.....

$$\{ \vartheta(4/0) \} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_O$$

B.2.2. Exprimer, dans la base B_0 du repère R_0 , le vecteur vitesse du point A appartenant à (4) en mouvement par rapport à (0).

.....

$$\vec{V}(A \in 4/0) = \left[\begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right]_{B_0}$$

B.2.3. Exprimer, dans la base B_0 du repère R_0 , le vecteur vitesse du point A appartenant à (3) en mouvement par rapport à (0). Les composantes seront exprimées en fonction de λ , α , β et de leurs dérivées.

.....

$$\vec{V}(A \in 3/0) = \left[\begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right]_{B_0}$$

B.2.4. En se basant sur la composition de mouvement, déduire deux relations scalaires entre $\dot{\lambda}$, $\dot{\alpha}$, $\dot{\beta}$ et $\dot{\theta}$ (on peut vérifier qu'il s'agit de la dérivée temporelle des équations (1) et (2) de la question B.1.1).

.....

$$\dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

B.3. Géométrie des masses : Voir figure B.2

B.3.1. Déterminer la position du centre d'inertie G de l'équerre (2) .

.....

 $\overline{CG} = \dots\dots\dots$

B.3.2. Déterminer le moment d'inertie de l'équerre (2) par rapport à l'axe (C, \vec{z}_0) .

.....

 $I_{C\vec{z}_0}(2) = \dots\dots\dots$

B.3.3. On se propose d'ajouter une masse ponctuelle m concentrée en un point E. Déterminer les coordonnées de E pour que le centre d'inertie G soit confondu avec le point C : $\overline{CG} = \vec{0}$.

.....

 $\overline{CE} = \dots\dots\dots$

B.3.4. On considère le système (S) composé de l'équerre (2) et de la masse ponctuelle m concentrée au point E tel que $\overline{CE} = X_E \vec{x}_2 + Y_E \vec{y}_2$. Déterminer le moment d'inertie de (S) par rapport à l'axe (C, \vec{z}_0) .

.....

 $I_{C\vec{z}_0}(S) = \dots\dots\dots$

B.4. Etude Dynamique :

B.4.1. Faire le bilan des actions mécaniques extérieures exercées sur le coulisseau (1). En déduire, dans la base B_0 du repère R_0 , le torseur associé à ces actions au point C : $\{\mathcal{T}(\bar{1} \rightarrow 1)\}_C$.

➤ Action du (VL) sur (1) : $\{\mathcal{T}(VL \rightarrow 1)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ F & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B_0 D} \dots\dots\dots$

.....

 $\{\mathcal{T}(\bar{1} \rightarrow 1)\} = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_{B_0 C}$

B.4.2. Ecrire les équations scalaires qui découlent du PFD appliqué à (1) en mouvement par rapport à R_0 (On rappelle que (1) est de masse négligeable).

$\left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots = \dots\dots (1) \\ \dots\dots\dots = \dots\dots (2) \\ \dots\dots\dots = \dots\dots (3) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots = \dots\dots (4) \\ \dots\dots\dots = \dots\dots (5) \\ \dots\dots\dots = \dots\dots (6) \end{array} \right.$

B.4.3. Exprimer, dans la base B_0 du repère R_0 , le torseur cinétique de (2) par rapport à (0) au point C.

.....

$$\{C(2/0)\} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_C$$

B.4.4. Exprimer, dans la base B_0 du repère R_0 , le torseur dynamique de (2) par rapport à (0) au point C.

.....

$$\{D(2/0)\} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_C$$

B.4.5. L'action de (3) sur (2) au point B est définie par $\vec{R}(3 \rightarrow 2) = X_B \vec{x}_0 + Y_B \vec{y}_0$. Montrer, en se basant sur l'équilibre statique de (3), que $X_B = -Y_B \cdot \tan\beta$.

.....

B.4.6. Faire le bilan des actions mécaniques extérieures exercées sur l'équerre (2). En déduire, dans la base du repère R_0 , le torseur associé à ces actions au point C : $\{T(\bar{2} \rightarrow 2)\}_C$.

$$\triangleright \{T(3 \rightarrow 2)\} = \left. \begin{array}{c} X_B \\ Y_B \\ 0 \end{array} \right| \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\}_B$$

.....

.....

$$\{T(\bar{2} \rightarrow 2)\} = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_C$$

B.4.7. Ecrire les équations scalaires qui découlent du PFD appliqué à (2) en mouvement par rapport à R_0 .

{ = (7)	{ = (10)
 = (8)	 = (11)
 = (9)	 = (12)

B.4.8. En utilisant les équations établies dans les questions B.4.2 et B.4.7 et la relation donnée dans la question B.4.5, exprimer l'équation du mouvement de l'équerre (2) par rapport à R_0 .

.....

PARTIE C - AUTOMATIQUE

C.1 : Commande séquentielle du poste de contrôle d'étanchéité

C.1.1. Compléter le Grafcet du point de vue commande **G1**, de la figure C.5 suivante, qui modélise le fonctionnement du poste de contrôle d'étanchéité avec *évacuation manuelle*.

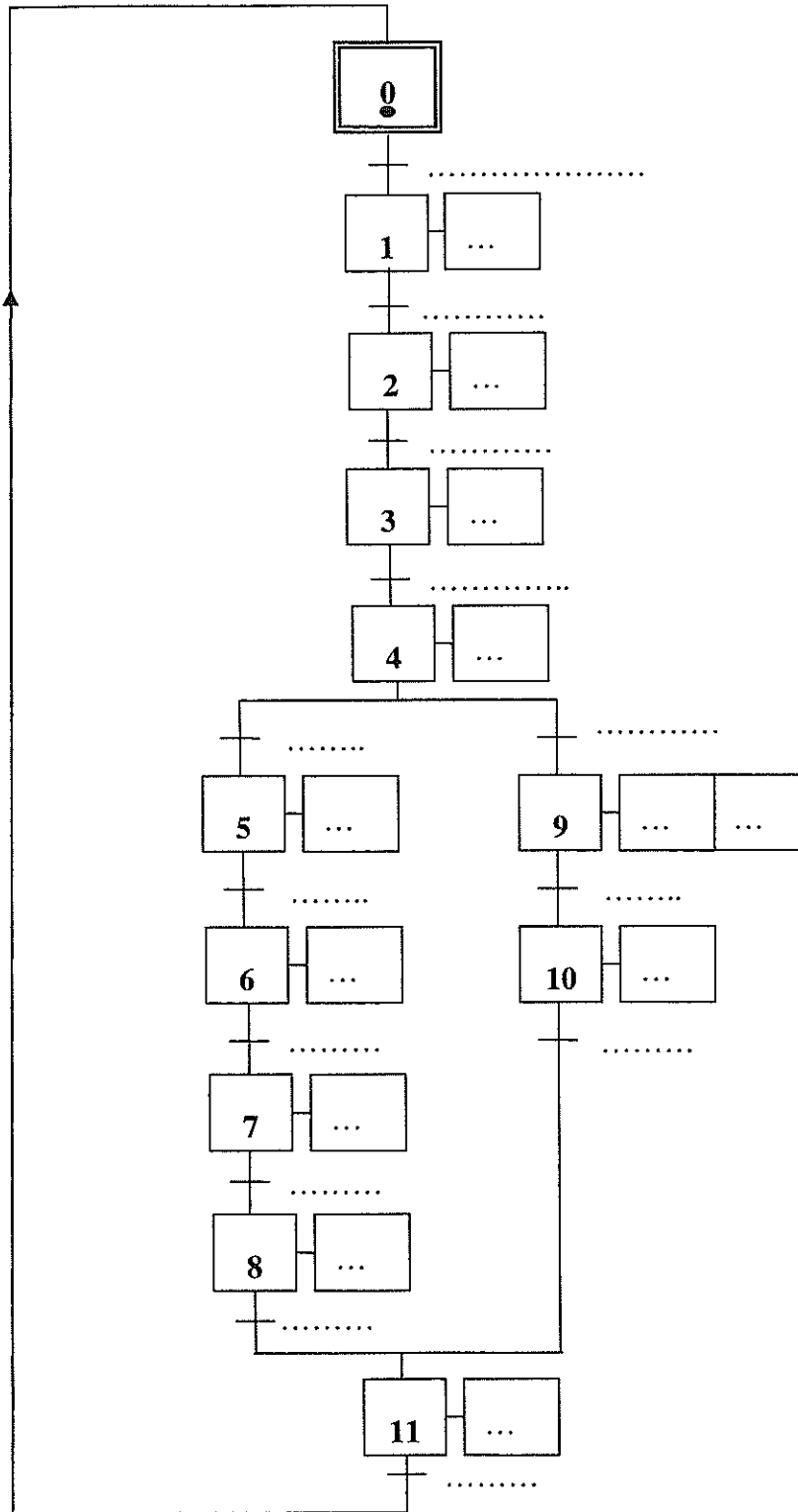


Figure C.5 : Grafcet du point de vue commande **G1** descriptif du fonctionnement du poste de contrôle d'étanchéité avec *évacuation manuelle* des récipients défectueux.

C.1.2. Modifier, sur la figure C.6 suivante, le Grafset du point de vue commande **G1** (de la figure C.5) afin d'assurer l'évacuation automatisée des récipients défectueux.

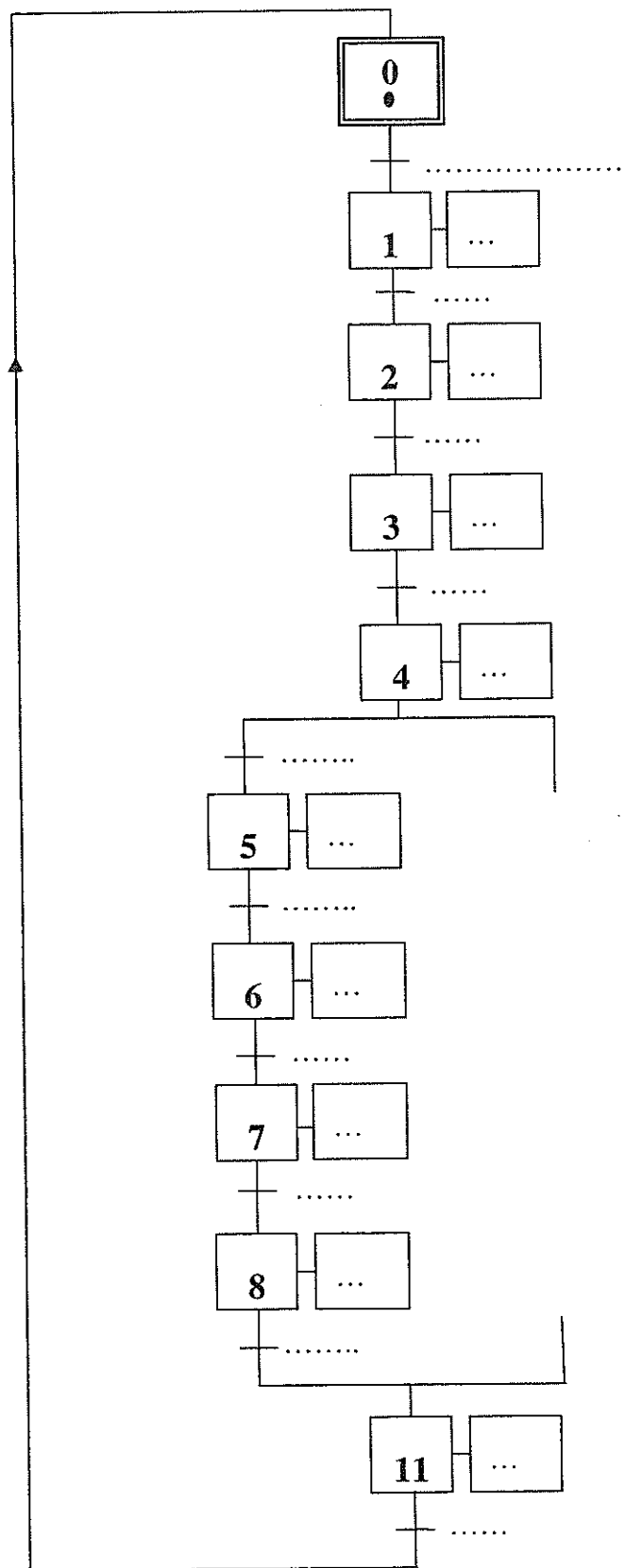


Figure C.6 : Grafset du point de vue commande **G1** modifié permettant l'évacuation automatisée des récipients défectueux.

C.2 : Asservissement de position du testeur

C.2.1. Détermination des paramètres du moteur (voir dossier Présentation, données et hypothèses)

C.2.1.1. Ecrire les équations de (1) à (7) du comportement électromécanique du système dans le domaine de Laplace puis **Compléter** le schéma fonctionnel donné par la figure C.7 :

- (1)
- (2)
- (3)
- (4)
- (5)
- (6)
- (7)

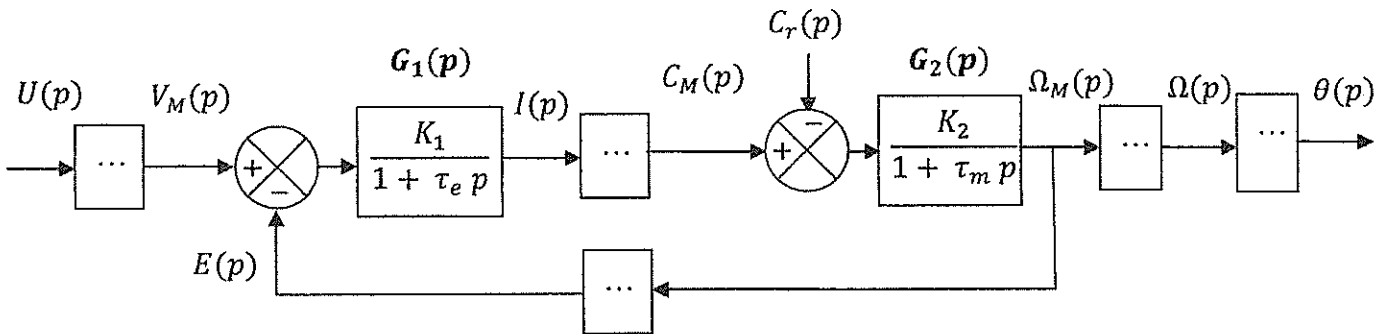


Figure C.7 : Schéma fonctionnel du dispositif de déplacement vertical à base d'un moteur à courant continu.

C.2.1.2. Préciser les expressions du gain statique K_1 et de la constante de temps électrique τ_e de $G_1(p)$ ainsi que les expressions du gain statique K_2 et de la constante de temps mécanique τ_m de $G_2(p)$ (Figure C.7).

$K_1 = \dots\dots , \tau_e = \dots\dots$ $K_2 = \dots\dots , \tau_m = \dots\dots$

C.2.1.3. Déterminer la fonction de transfert $G(p) = \frac{\theta(p)}{U(p)}$ en supposant que $C_r(t)$ est nul.

..... $G(p) = \dots\dots\dots$
--

C.2.2.2. Pour cette valeur de K_r , **Déterminer** la fonction de transfert du système en boucle fermée sous la forme canonique : $H(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_{réf}(p)} = \frac{K_0 \omega_0^2}{p^2 + 2 m \omega_0 p + \omega_0^2}$. **En déduire** les valeurs de K_0 , m et ω_0 .

.....

$H(p) = \dots\dots\dots$

$K_0 = \dots\dots; m = \dots\dots; \omega_0 = \dots\dots\dots$

C.2.2.3. Calculer les valeurs du temps de pic, du dépassement en % et de l'erreur statique $\varepsilon(\infty)$ pour une consigne en échelon unitaire.

.....

$T_{pic} = \dots\dots\dots$
 $D = \dots\dots\dots$
 $\varepsilon(\infty) = \dots\dots\dots$

C.2.2.4. Conclure quant aux performances (stabilité et précision) obtenues par ce correcteur.

-
-

