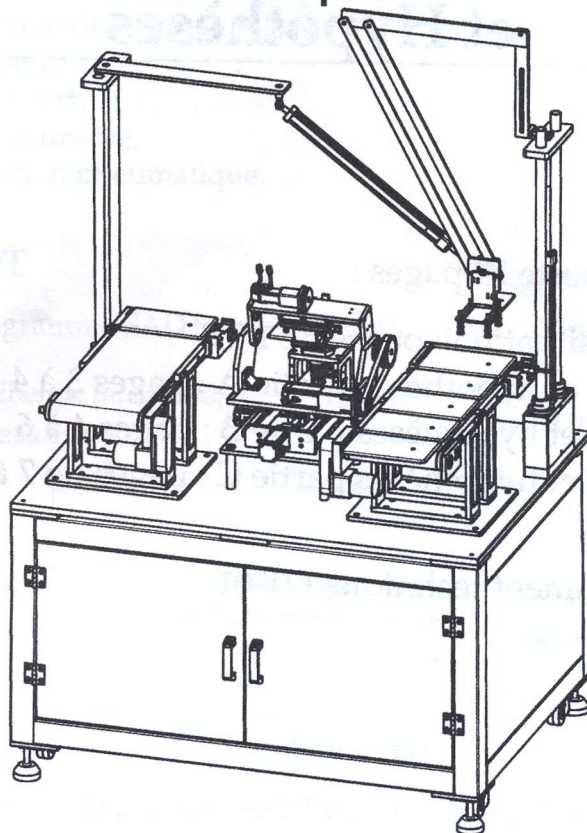




Concours Mathématiques-Physique & Physique-Chimie Epreuve de Systèmes Techniques Automatisés



Date : Vendredi 14 Juin 2019 Heure : 8 H Durée : 3 heures

L'épreuve comporte trois parties :

- A - Conception mécanique (03 pts)
- B - Mécanique des solides indéformables (09 pts)
- C - Automatique (08 pts)

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte deux dossiers :

- 1^{er} "Mise en situation, Données et Hypothèses", avec un document technique DT-01.
- 2^{ème} "Document Réponses" contenant les questions à traiter.

N.B.

- * Aucun autre document n'est autorisé.
- * Seules des calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- * Un seul et unique document réponses est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses. **Aucune feuille ne doit être supprimée** (cet acte est considéré comme étant une tentative de fraude).

Dossier

Mise en situation, Données et Hypothèses

Ce dossier comporte 12 pages :

- ★ Mise en situation : pages de 1 à 3
- ★ Données et hypothèses partie A : pages 3 à 4
- ★ Données et hypothèses partie B : pages 4 à 6
- ★ Données et hypothèses partie C : pages de 7 à 12

ainsi qu'un document technique DT-01

SYSTÈME DE POLISSAGE DE COQUES

1 Mise en situation

Le système présenté par le document technique DT-01 est une machine automatisée permettant d'effectuer le polissage des coques de téléphones portables. Celles-ci sont en général obtenues par injection de matériaux polymères. Afin d'améliorer l'aspect et obtenir un état de surface lisse, il est nécessaire d'effectuer, entre autres, une opération de polissage rigoureuse.

Ce système est constitué :

- d'une unité d'alimentation en coques non polies,
- d'une unité d'évacuation des coques polies,
- d'une unité de polissage,
- d'un robot 2D de transfert,
- d'un automate programmable,
- d'une unité de régulation pneumatique.

1.1 Diagramme SADT

La figure 1 représente le diagramme SADT niveau A-0 du système de polissage proposé à l'étude.

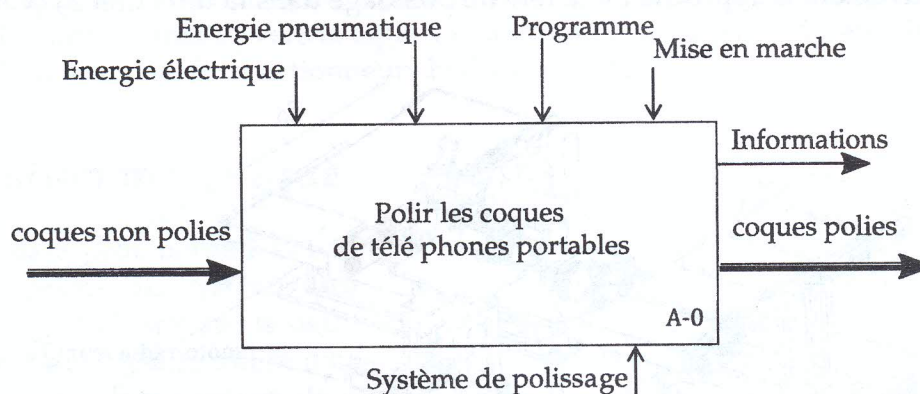


FIGURE 1 – Diagramme SADT du système de polissage

1.2 Description de l'unité de polissage

L'élément principal de cette unité est une tête de polissage (figure 2). Elle est constituée entre autres d'une plaque en feutre qui sera mise en contact direct avec la coque à polir, un mécanisme presseur recevant de l'air comprimé à partir de l'unité de régulation pneumatique.

L'opération de polissage consiste à appliquer un mouvement de va et vient à la plaque en feutre tout en pressant sur la coque. Ce mouvement de translation alterné est obtenu grâce à un système roue-crémaillère commandé par un moto-réducteur ①.

Afin de parcourir toute la surface de la coque, le mouvement de va et vient doit s'effectuer simultanément avec un mouvement d'avance le long de l'axe $(G, \vec{x}_0)$, G étant le centre de gravité de la surface à polir de la coque.

Pour polir les arrondis de la coque, il est nécessaire de faire pivoter la tête de polissage autour de la direction $\vec{x}_0$. Ce mouvement de pivotement est donné par un support entraîné par un système poulie-courroie crantée et moto-réducteur ②.

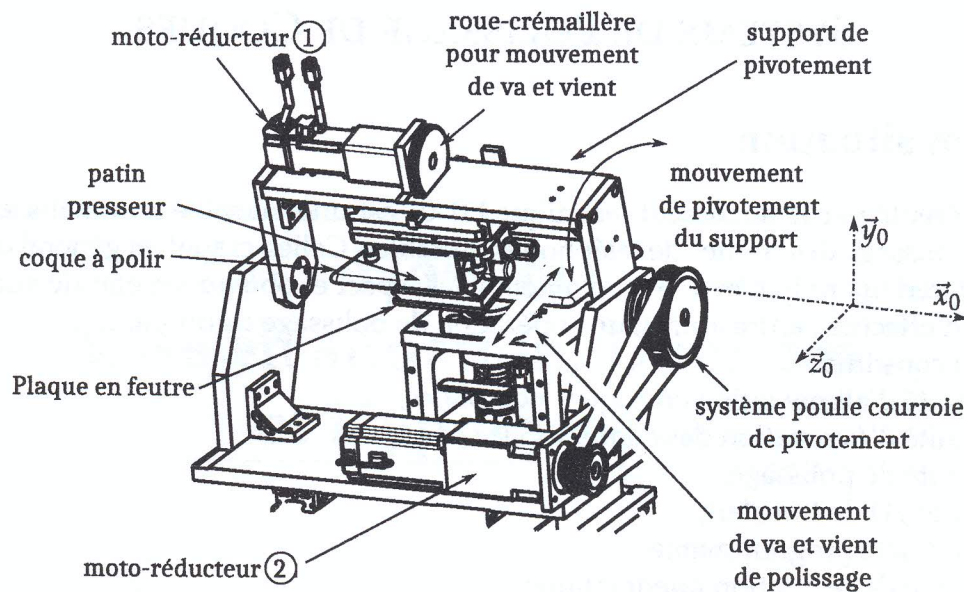


FIGURE 2 – Vue partielle de la tête de polissage

Le moto-réducteur ③ est destiné au mouvement d'avance longitudinal, un autre moto-réducteur ④ assure le mouvement d'approche de la tête de polissage dans la direction $\vec{z}_0$ (voir figures 3 et 4).

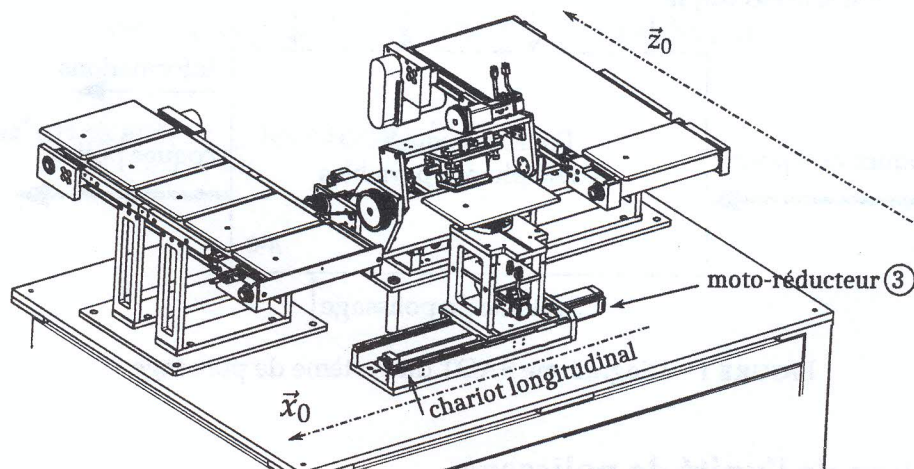


FIGURE 3 – vue de derrière de la tête de polissage (après enlèvement du robot pour mieux visualiser)

Le polissage des arrondis sur les quatre cotés de la coque nécessite la rotation de celle-ci dans son plan (autour de $\vec{y}_0$) chaque fois, d'un incrément de 90° . Ce mouvement est assuré par un moto-réducteur à renvoi d'angle illustré sur la figure 4.

1.3 Unités d'alimentation et d'évacuation

Ces deux unités se présentent sous forme de tapis roulants animés chacun par un moto-réducteur dédié. L'unité d'alimentation est équipée d'un détecteur de présence indiquant l'arrivée d'une coque au bout du tapis, soit au niveau du plan de travail du robot de transfert 2D.

Le tapis de l'unité d'évacuation est actionné dès que le capteur de présence indique l'existence d'une coque sur celui-ci et s'arrête au bout de 20 secondes, temps nécessaire à l'évacuation d'une coque.

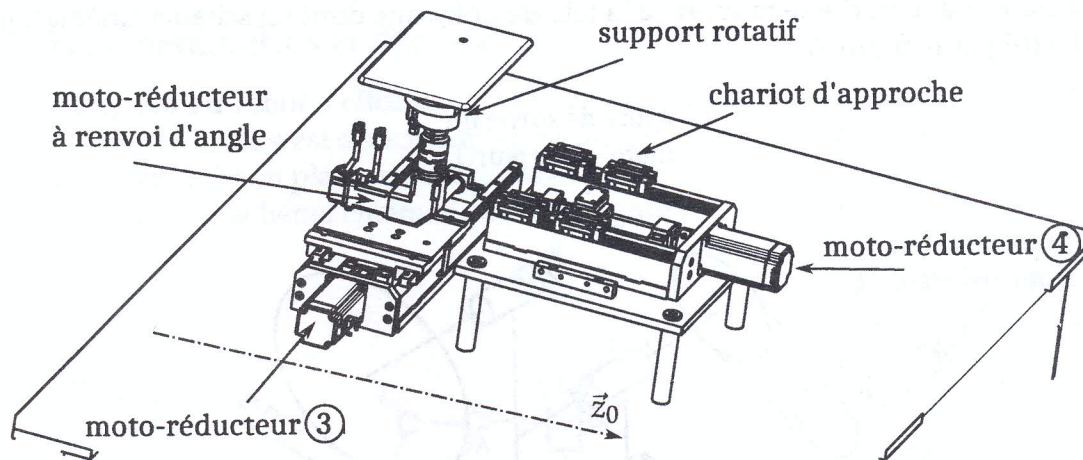


FIGURE 4 – vue de gauche (moteur à renvoi d'angle)
après enlèvement des tapis et du mécanisme de polissage pour une meilleur visibilité

1.4 Le robot de transfert

Il s'agit d'un robot du type 2D travaillant dans un plan perpendiculaire aux tapis d'alimentation et d'évacuation. Il est muni de ventouses alimentées par un système pneumatique à dépression permettant de saisir la coque. Il intervient pour transférer la coque à partir de l'unité de polissage (précisément du support rotatif) vers le tapis d'évacuation et du tapis d'alimentation vers l'unité de polissage. Il est muni de deux actionneurs linéaires électriques.

2 Conception mécanique

On s'intéresse dans cette partie à l'étude de deux composants du système proposé : le premier est illustré sur la figure 5. Il s'agit d'un vérin linéaire utilisé dans le robot de transfert. La rotation de la vis (4), imposée par le motoréducteur (1)-(2), est transformée en un mouvement de translation grâce à l'écrou (5), ce qui permet d'obtenir, compte tenu de l'architecture du système (tige de guidage 6), un mouvement de translation.

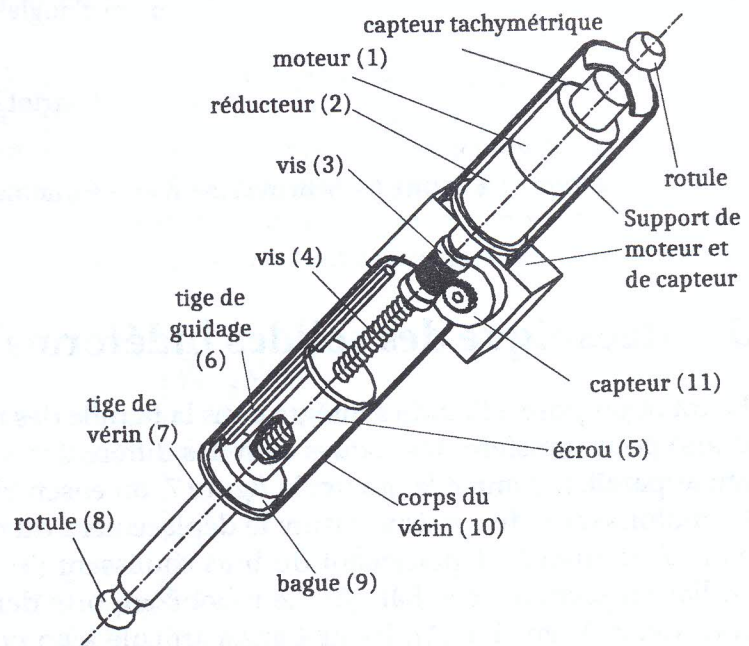


FIGURE 5 – Vérin linéaire en coupe

Le second composant étudié se rapporte à la tête de polissage dont un schéma cinématique minimal est illustré par la figure 6.

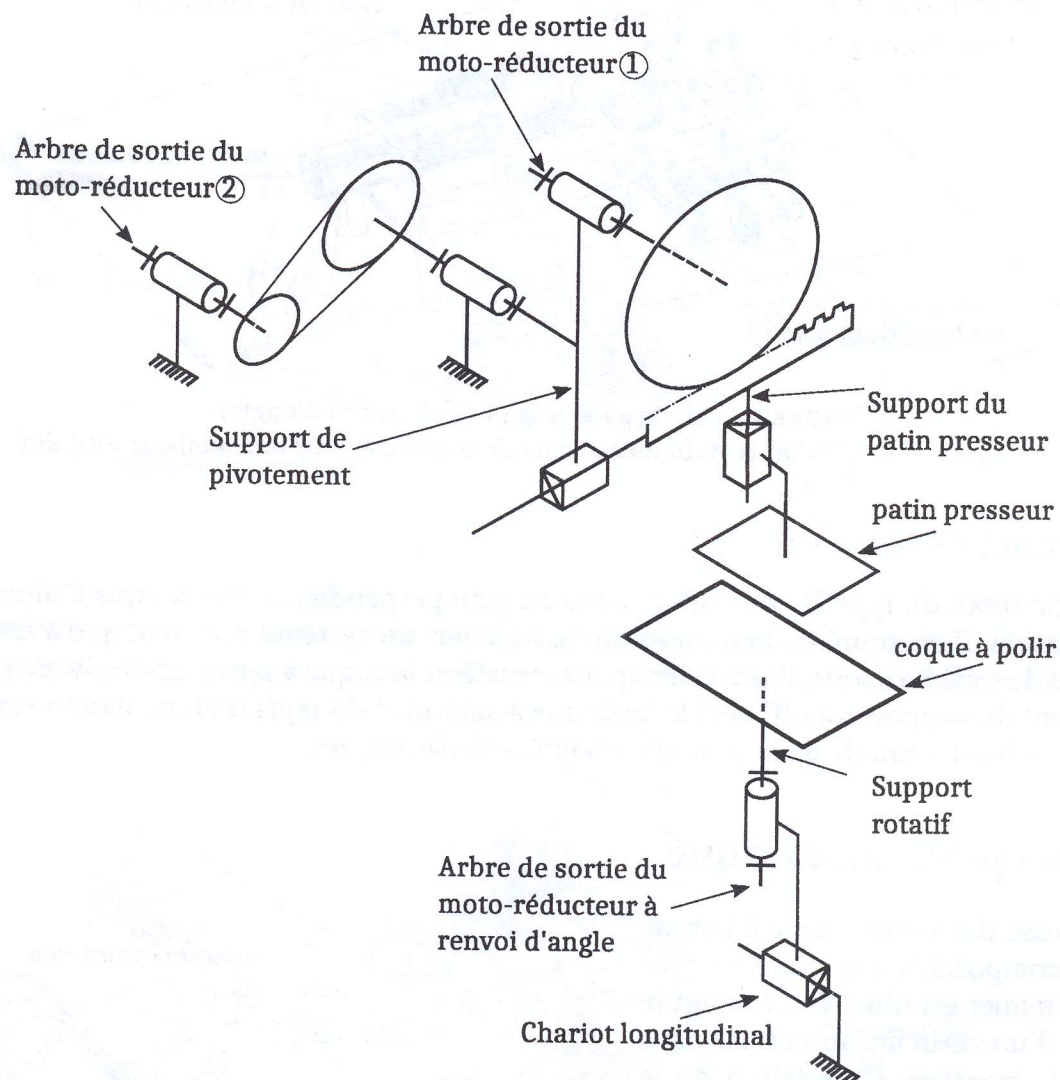


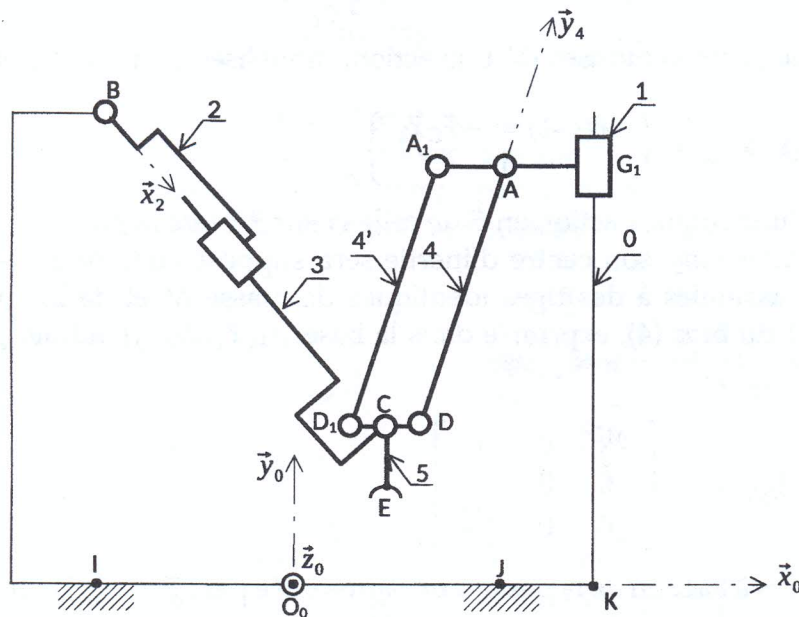
FIGURE 6 – Schéma cinématique minimal de la tête de polissage

3 Mécanique des solides indéformables : système 2D robotisé

Le robot proposé à l'étude s'intègre dans la famille des robots parallèles à deux dimensions. Il est utilisé pour transférer les coques entre les différentes zones de traitement. La structure du robot fait apparaître, comme le montre la figure 7, un ensemble formé principalement de six solides. La motorisation du système assure le déplacement du coulisseau (1), le long d'un axe fixe lié au bâti (0) et aussi le déplacement du bras coulissant (3) le long d'un axe lié au solide (2) qui est en liaison pivot avec le bâti (0). Le robot comporte deux bras identiques (4) et (4') articulés au coulisseau (1) en A et A₁. Ils sont aussi articulés à un porte-ventouses (5) en D et D₁. Ces quatre points occupent les sommets d'un parallélogramme régulier. Le porte-ventouses (5) est équipé de quatre ventouses en caoutchouc utilisées pour saisir les coques par aspiration d'air.

3.1 Repères, paramètres et données

Les tâches assignées au robot s'effectuent dans un espace construit de part et d'autre du plan vertical $(E, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$. Cet espace est caractérisé par sa faible profondeur comparée aux dimensions de la structure rapportées à son plan de travail. De ce fait, le robot sera traité en tant que mécanisme plan, comme l'illustre le schéma cinématique de la figure 7.



Données géométriques

$$\overrightarrow{O_0 A} = a\vec{x}_0 + \lambda\vec{y}_0$$

$$\overrightarrow{BC} = \mu\vec{x}_2$$

$$\overrightarrow{O_0 B} = -a\vec{x}_0 + d\vec{y}_0$$

$$\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_4) = (\vec{y}_0, \vec{y}_4)$$

$$\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$$

$$\overrightarrow{A_1 A} = \overrightarrow{D_1 D} = b\vec{x}_0$$

$$\overrightarrow{D_1 A_1} = \overrightarrow{D A} = L\vec{y}_4$$

$$\overrightarrow{D_1 C} = \overrightarrow{CD} = \frac{b}{2}\vec{x}_0$$

$$\overrightarrow{EC} = h\vec{y}_0$$

$$\overrightarrow{O_0 E} = x\vec{x}_0 + y\vec{y}_0$$

$$\overrightarrow{AG_1} = c\vec{x}_0.$$

FIGURE 7 – Schéma cinématique minimal du robot 2D

On associe au bâti (0) le repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ qu'on considérera galiléen, ayant pour axe vertical ascendant $(O_0, \vec{y}_0)$. Le coulisseau (1) se déplace le long de l'axe $(K, \vec{y}_0)$, sa translation est définie par le scalaire positif λ .

Le solide (2) pivote autour de l'axe $(B, \vec{z}_0)$. On lui associe le repère $\mathcal{R}_2(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$. Sa position angulaire est obtenue, comme le montre la figure 8, par l'angle α .

Le solide (3), jouant le rôle de bras couissant, assure la liaison entre le solide (2) et le porte-ventouses (5). Son déplacement par rapport au solide (2) est paramétré par le scalaire positif μ .

On associe au bras (4) le repère $\mathcal{R}_4(A, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$. Son pivotement ainsi que celui du bras (4') s'effectuent respectivement autour des axes $(A, \vec{z}_0)$ et $(A_1, \vec{z}_0)$. Leurs positions angulaires sont obtenues avec le même angle β .

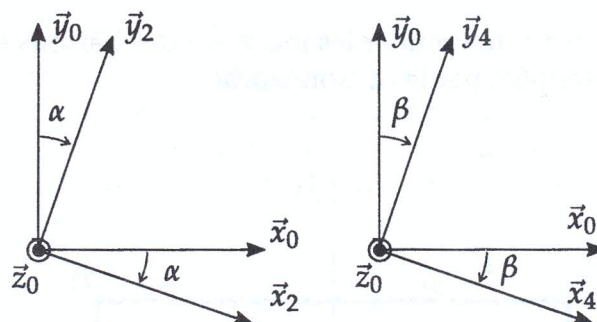


FIGURE 8 – Représentation planes des rotations

Les ventouses solidaires du solide (5) sont utilisées pour saisir les coques. Leur centre E est placé en dessous de C .

La motorisation du robot est réalisée en pilotant les translations λ et μ , pour que les déplacements absolus x et y du centre E dans le repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, puissent être contrôlés avec précision. Le coulisseau (1) est caractérisé par sa masse m_1 et son centre d'inertie G_1 . Sa translation est générée par un actionneur linéaire (vérin non représenté) développant une action mécanique modélisée par le torseur :

$$\{\mathcal{T}_{(\text{verin} \rightarrow 1)}\}_{G_1} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\mathcal{R}}_{(\text{verin} \rightarrow 1)} = F\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{G_1}$$

Le bras coulissant (3) exerce sur le porte-ventouses (5) une action, modélisée au point C , par le torseur

$$\{\mathcal{T}_{(3 \rightarrow 5)}\}_C = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\mathcal{R}}_{(3 \rightarrow 5)} = -F_C \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C$$

Compte-tenu de la faible masse d'une coque, l'action en E de celle-ci sur (5) sera négligée.

Le porte-ventouses admet pour masse m_5 , son centre d'inertie sera supposé confondu avec le point C . Les bras (4) et (4') sont assimilés à des tiges identiques de masse M et de longueur L . La matrice d'inertie au point A du bras (4), exprimée dans la base $\mathcal{B}_4(\vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$, admet pour expression :

$$[I_A(4)] = \begin{bmatrix} \frac{ML^2}{3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{ML^2}{3} \end{bmatrix}_{\mathcal{B}_4}$$

Tous les solides du robot sont soumis à l'action de la pesanteur représentée par : $\vec{g} = -g\vec{y}_0$. Toutes les liaisons du système seront supposées parfaites.

N.B

On précise enfin que a, b, c, d, h et L sont des caractéristiques dimensionnelles constantes alors que $x, y, \lambda, \mu, \alpha$ et β sont des paramètres évoluant dans le temps, ils sont liés à la configuration géométrique du robot.

L'étude proposée se rapporte à la modélisation du robot en vue de concevoir et choisir les composants et les actionneurs qui répondent aux exigences fonctionnelles demandées. La modélisation reposera sur :

1. Une étude géométrique qui servira à l'identification des configurations limites du système.
2. Une étude cinématique dont l'objectif consiste à exprimer les vitesses de pilotage en fonction de la vitesse absolue des coques pendant l'opération de transfert conformément à la figure 9.
3. Une étude dynamique pour déterminer les inconnus des liaisons et la relation entre les actions mécaniques développées par les actionneurs.

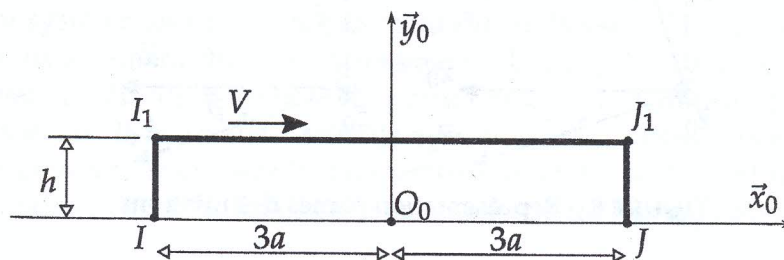


FIGURE 9 – Trajectoire parcourue par le centre E du porte ventouses

4 Partie C : Automatique

4.1 Présentation générale

Le patin presseur schématisé par la figure 10 est un mécanisme alimenté en pression pneumatique et supportant le feutre de polissage. Lors de son mouvement de va et vient il appuie sur la coque par une pression bien déterminée afin de ne pas endommager sa surface. Il est alimenté par un modulateur électropneumatique (Fig. 11) pour contrôler cet effort presseur.

Lors d'une opération de polissage, ce patin presseur, revêtu d'un feutre, est poussé sur la coque verticalement (déplacement $z(t)$) avec une force normale résultant de la pression P_2 et il est contraint à se déplacer en même temps par un système roue-crémaillère par un mouvement de va et vient selon ($y(t)$) afin d'assurer le polissage.

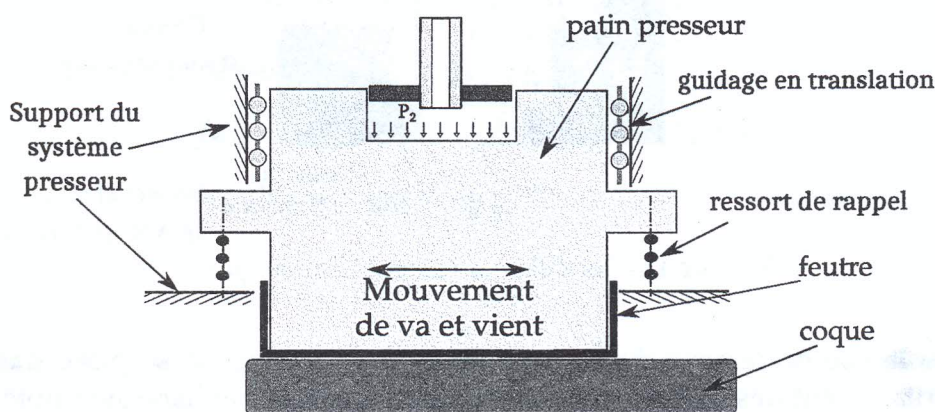


FIGURE 10 – Disposition du patin presseur par rapport à la coque lors d'une opération de polissage

La présente étude consiste à modéliser et commander en pression le modulateur électropneumatique afin de réguler la pression au niveau du patin.

La présente étude porte sur un système électropneumatique dont l'élément clé est représenté par la figure 11. Il s'agit d'une régulation de pression dans un vérin de tension d'un modulateur électropneumatique.

4.2 Fonctionnement du modulateur

Le modulateur comporte trois orifices 1, 2 et 3 reliés respectivement à l'unité d'alimentation en air comprimé (P_1), au patin presseur (P_2), et à l'échappement (P_3). Un électroaimant exerce sur la tige du piston un effort f_m proportionnel au courant d'alimentation ($f_m = K_2.i$). La commutation entre les orifices est assurée par un joint d'étanchéité S_3 et les formes des pièces S_0 , S_1 et S_2 . En situation médiane (figure 11), on notera f_{m0} , l'intensité de l'effort f_m , lorsque l'action du bâti S_0 sur le joint d'étanchéité S_3 est nulle.

4.2.a) L'électro-aimant

Il s'agit d'un électro-aimant de manœuvre simple. En effet, lors de la mise sous tension de la bobine, l'électro-aimant génère des lignes de champs magnétiques qui se referment sur le noyau de masse (m), induisant un effort (une force f) et un déplacement (x) de celui-ci. En l'absence de courant, le noyau revient à sa position de repos (électro-aimant monostable).

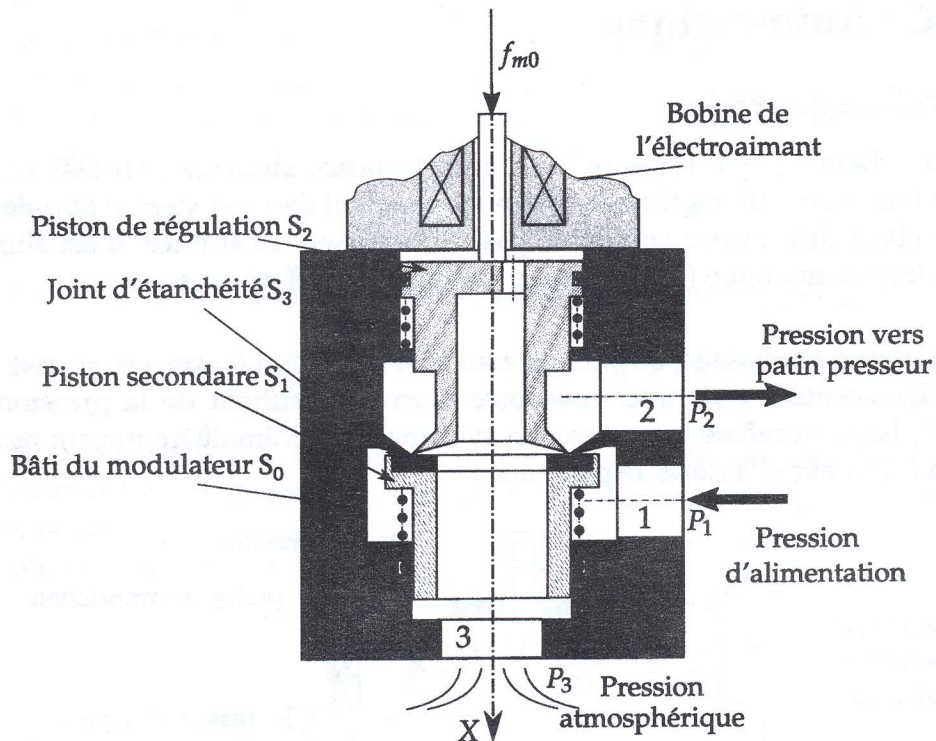


FIGURE 11 – Modulateur électropneumatique

Pour déterminer le comportement dynamique de ce modulateur, on se place dans le cas où $f_m > f_{m0}$. Le déplacement des pistons par rapport à la situation médiane sera noté x , il résulte d'un effort $\Delta f = f_m - f_r$.

4.2.b) Modélisation du modulateur de pression

Afin d'identifier le comportement du modulateur de pression, nous considérons le modèle illustré sur la figure 12 :

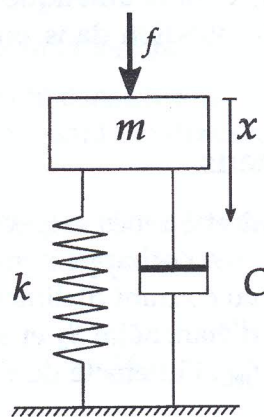


FIGURE 12 – Modèle adopté pour modulateur

avec c : coefficient de frottement visqueux ; m : masse des éléments mobiles et k : raideur équivalente du système.

4.3 Modélisation et identification du modulateur de pression

Dans cette partie, on s'intéresse à la modélisation et à l'identification des différents éléments constitutifs du modulateur de pression illustré par les figures 11 et 12.

Les équations décrivant le fonctionnement du modulateur sont données par les cinq équations suivantes :

Le comportement de l'ensemble mobile est exprimé par :

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \Delta f(t) - c \frac{dx(t)}{dt} - kx(t) \quad (1)$$

Le comportement de l'air comprimé situé au niveau de la sortie 2 du modulateur lorsque celle-ci est obturée est exprimé par :

$$p_2(t) = K_3 \cdot x(t) \quad \text{avec} \quad K_3 = 0.4 \text{ bar/cm} \quad (2)$$

L'électroaimant est modélisé par un gain, se traduisant par :

$$f_m(t) = K_2 \cdot i(t) \quad \text{avec} \quad K_2 = 10 \text{ bar/A} \quad (3)$$

Un gain K_1 adapte la pression de consigne p_c au courant nécessaire au pilotage de l'électroaimant se présentant sous la forme :

$$i(t) = K_1 \cdot p_c(t) \quad \text{avec} \quad K_1 = 1 \text{ A/bar} \quad (4)$$

La force f_r développée par le piston 2 de section S en fonction de la pression p_2 est donnée par :

$$f_r(t) = S \cdot p_2(t) \quad \text{avec} \quad S = 1.25 \text{ cm}^2 \quad (5)$$

4.4 Régulation de la pression au niveau du patin

La pression sur la bande feutrée est régulée afin de garantir un polissage optimal sans endommager la coque. Ceci est réalisé indirectement par contrôle de la pression d'alimentation du patin presseur.

La fonction de transfert du modulateur isolé étant connue, celui-ci est raccordé au patin presseur de la machine pour l'alimenter en pression pneumatique. On considère que la pression P_2 en sortie du modulateur est la même que dans la chambre du patin presseur.

Dans l'objectif d'assurer une bonne régulation de cette pression P_2 , le modulateur est inséré dans la chaîne d'asservissement suivante :

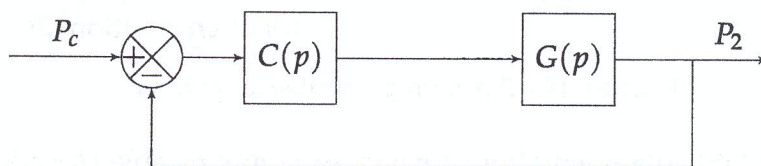


FIGURE 13 – Schéma fonctionnel de l'asservissement de pression

Cahier des charges :

Exigence	Critère	Niveau
Réguler la pression de contact feutre - coque	stabilité	marge de phase : $M_\phi = 45^\circ$
	rapidité	temps de réponse à 5% < 0.7s
	précision	écart statique de position nul.

5 Étude séquentielle du cycle de polissage de la coque

5.1 Description du cycle de polissage

Afin de lancer un cycle de polissage, l'opérateur commence par déposer une quantité de coques juxtaposées sur le tapis d'alimentation et appui sur le bouton de départ de cycle (Dcy). L'opérateur continuera à mettre d'autres coques sur le tapis d'alimentation tout au long du fonctionnement des cycles. Les conditions initiales sont alors :

- le robot de transfert est en position de repli (position d'attente initiale, voir figure 14),
- pas de coques sur le support rotatif de l'unité de polissage,
- pas de coques dans l'effecteur du robot,
- pas de coques sur le tapis d'évacuation.

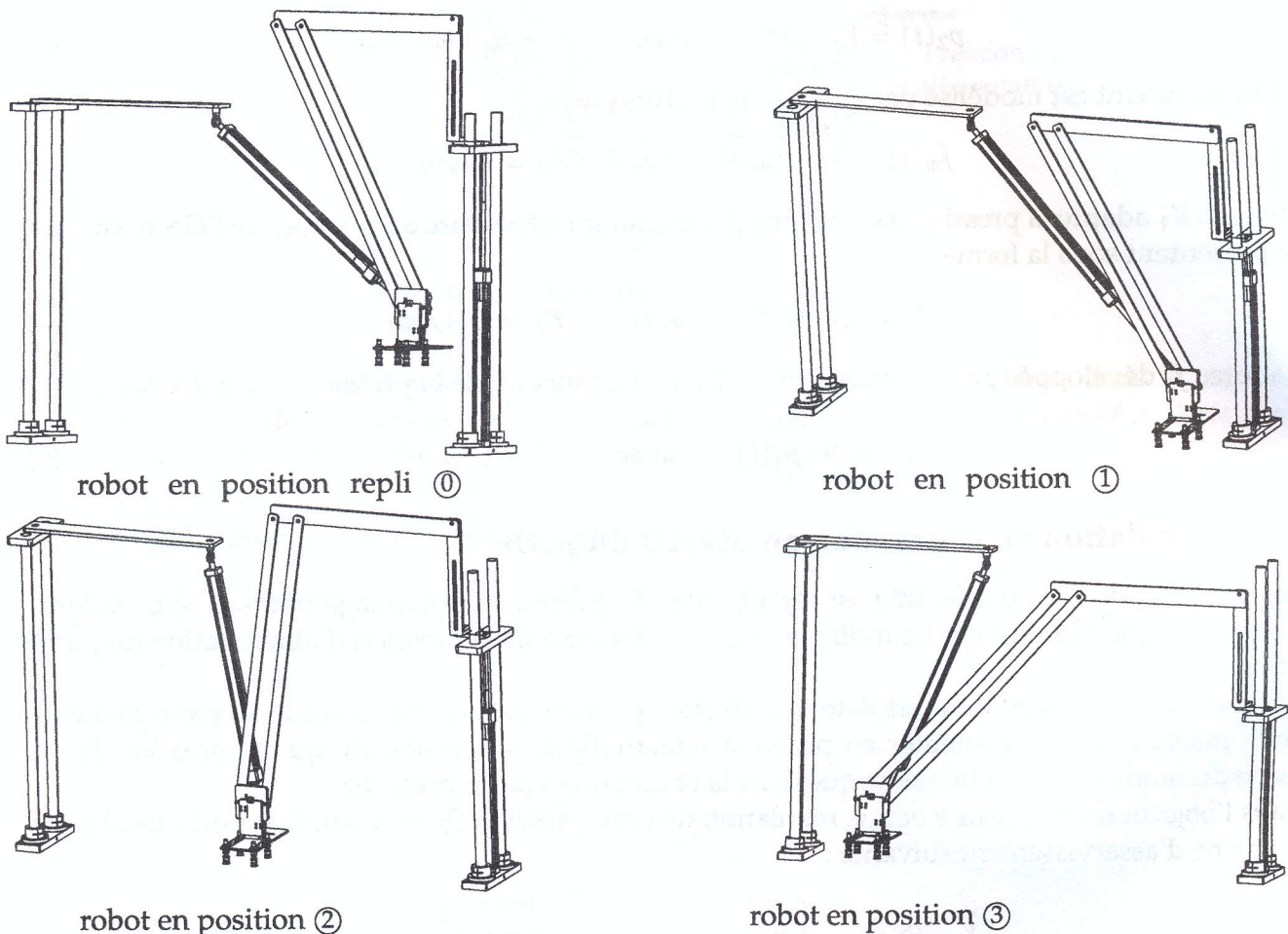


FIGURE 14 – Positions particulières du robot

Au départ du cycle le tapis d'alimentation, à commande monostable ($KM1$), se met en mouvement jusqu'à l'arrivée d'une coque devant le capteur de présence au bout du tapis (p_1 activé). Dans le cas où aucune coque n'arrive à ce capteur au bout de 10s, le système s'arrête complètement et nécessitera de nouveau un appui sur le bouton départ cycle. Par ailleurs, ce tapis d'alimentation continuera à alimenter avec les coques non polies tout au long du déroulement des cycles de polissage.

M100

Dans le cas où une coque se présente en bout de tapis (p_1 activé), le robot de transfert, qui était en position de repli (a_0 activé), reçoit l'ordre pour aller à la position ① de récupération de celle-ci (activation du capteur a_1), activer l'électrovanne monostable des ventouses de récupération (commande KV). Une fois la coque maintenue dans cet effecteur (activation du capteur q), le robot repart vers l'unité de polissage pour déposer la coque sur le support rotatif (position ②) et active ainsi le capteur de présence p_2 .

A cet instant, l'automate lance l'opération de polissage proprement dite (gérée par la macro-étape "M200") en même temps que le robot de transfert revienne à la position de repli. Une fois "M200" finie (activation du capteur e),

M300

le robot, qui était en position repli, repart pour récupérer de nouveau la coque déjà polie et la dépose sur le tapis d'évacuation. Celle-ci est détectée par un capteur de présence (p_3).

M400

Le tapis se met ainsi en mouvement (commandé par KM2) durant 20 secondes, temps nécessaire à l'évacuation de la coque.

En même temps que l'évacuation de celle-ci, le robot de transfert revient rechercher une autre coque à partir du tapis d'alimentation si p_1 est activé, sinon, il revient à sa position de repli et le cycle s'arrête.

Ainsi, le grafcet décrivant le fonctionnement du système contient entre autres :

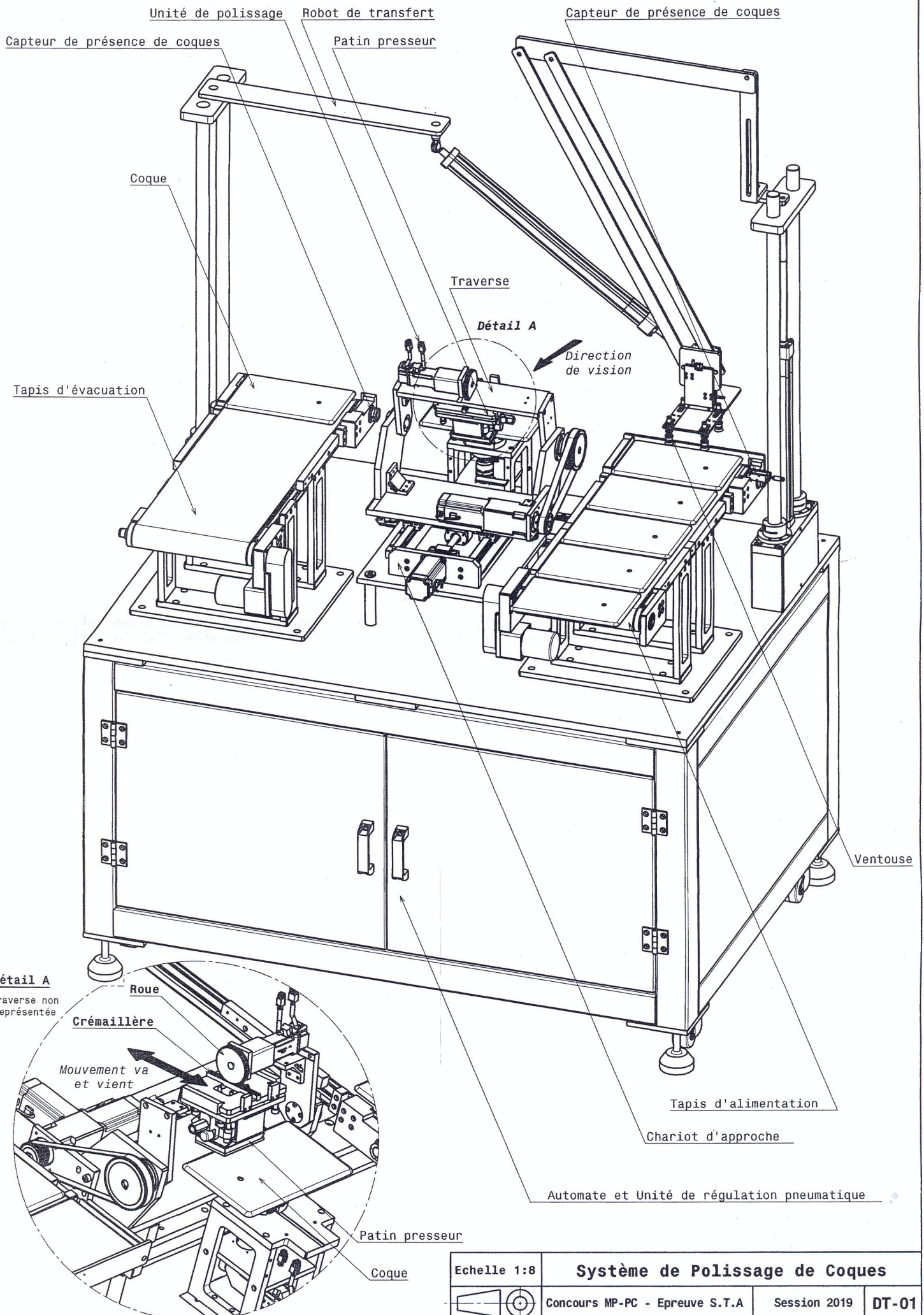
- Une macro-étape "M100" décrivant le transfert d'une coque du tapis d'alimentation au module de polissage.
- Une macro-étape "M200" décrivant l'opération de polissage.
- Une macro-étape "M300" décrivant le transfert d'une coque du module de polissage au tapis d'évacuation.
- Une macro-étape "M400" décrivant les séquences d'évacuation d'une coque.

TABLE 1 – Tableau récapitulatif des commandes des actionneurs

Commande du motoréducteur de tapis d'alimentation (monostable)	KM1
Commande du motoréducteur de tapis d'évacuation (monostable)	KM2
Commande de robot de transfert pour aller à sa position de repli ①	R0
Commande de robot de transfert pour aller à sa position ①	R1
Commande de robot de transfert pour aller à sa position ②	R2
Commande de robot de transfert pour aller à sa position ③	R3
Commande de l'électrovanne de l'effecteur du robot pour saisir une coque	KV

TABLE 2 – Tableau récapitulatif des capteurs

Coque arrivée au bout du tapis d'alimentation	p_1
Coque sur le support rotatif du système de polissage	p_2
Coque déposée sur le tapis d'évacuation	p_3
Robot en position de repli	a_0
Robot en position ① pour récupérer la coque du tapis d'alimentation	a_1
Robot en position ② pour déposer la coque sur le support rotatif	a_2
Robot en position ③ pour déposer la coque sur le tapis d'évacuation	a_3
Appui sur bouton de "Départ cycle"	Dcy
Coque maintenue par les ventouses du robot par dépression	q
Fin de l'opération de polissage	e



Echelle 1:8

Système de Polissage de Coques

Concours MP-PC - Epreuve S.T.A

Session 2019

DT-01

Partie A

Conception mécanique

A.1: Compléter le diagramme SADT niveau A0 du système (figure 17)

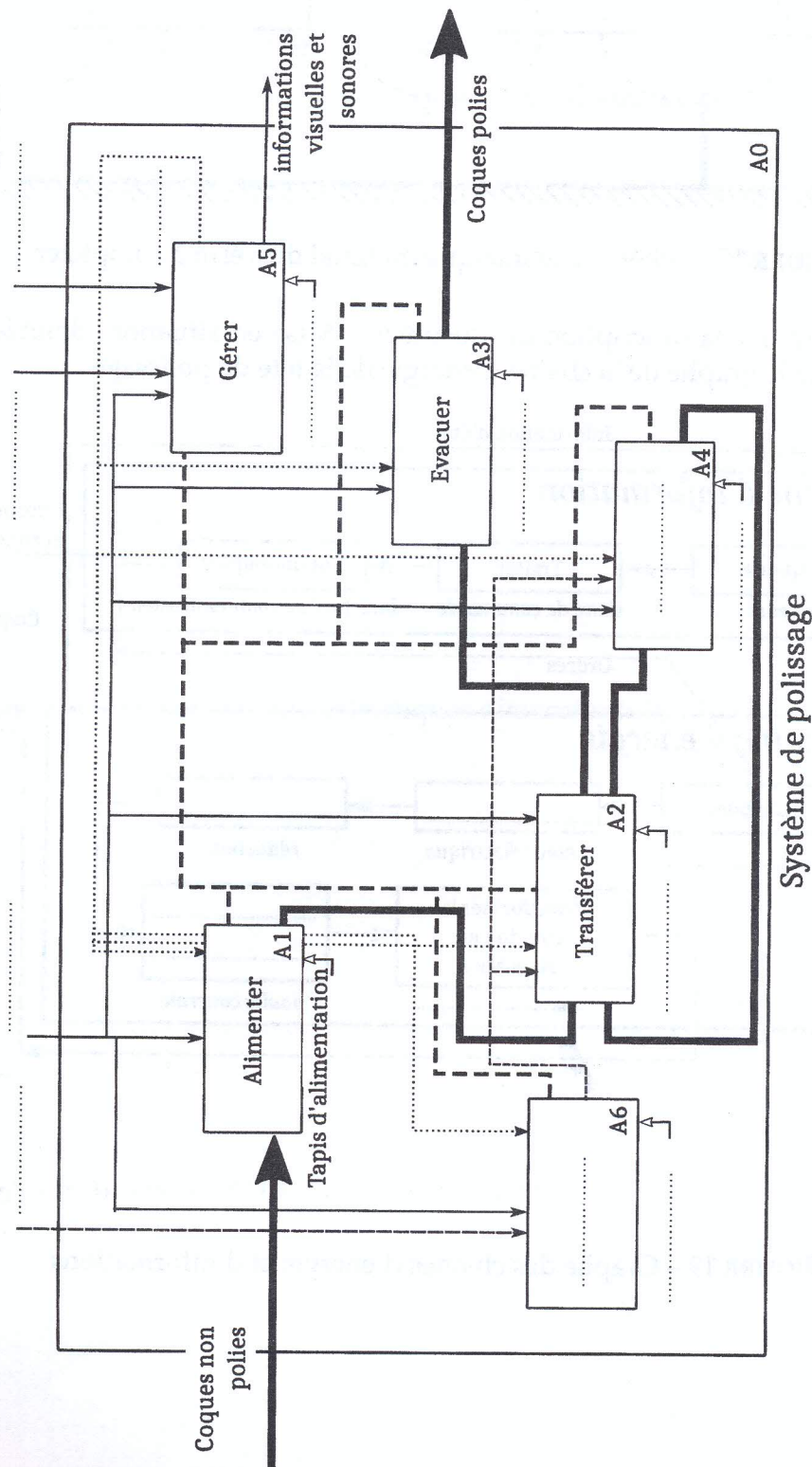


FIGURE 17 – Diagramme SADT niveau A0 du système de polissage

A.2: A l'aide des informations du document "Mise en situation données et hypothèses", compléter le schéma cinématique du vérin linéaire (figure 18).

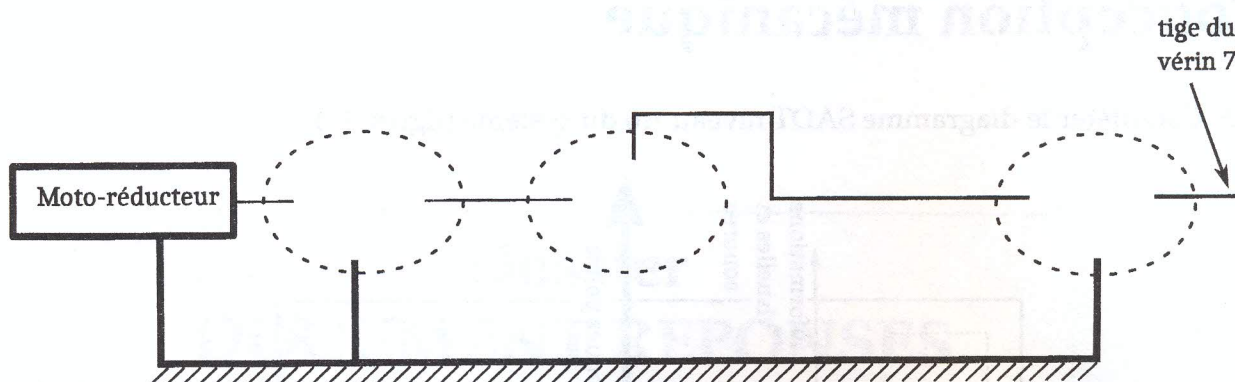


FIGURE 18 – Schéma cinématique minimal du vérin à compléter

A.3: En se basant sur la description du document "Mise en situation, données et hypothèses", compléter le graphe de la chaîne d'énergie de la tête de polissage.

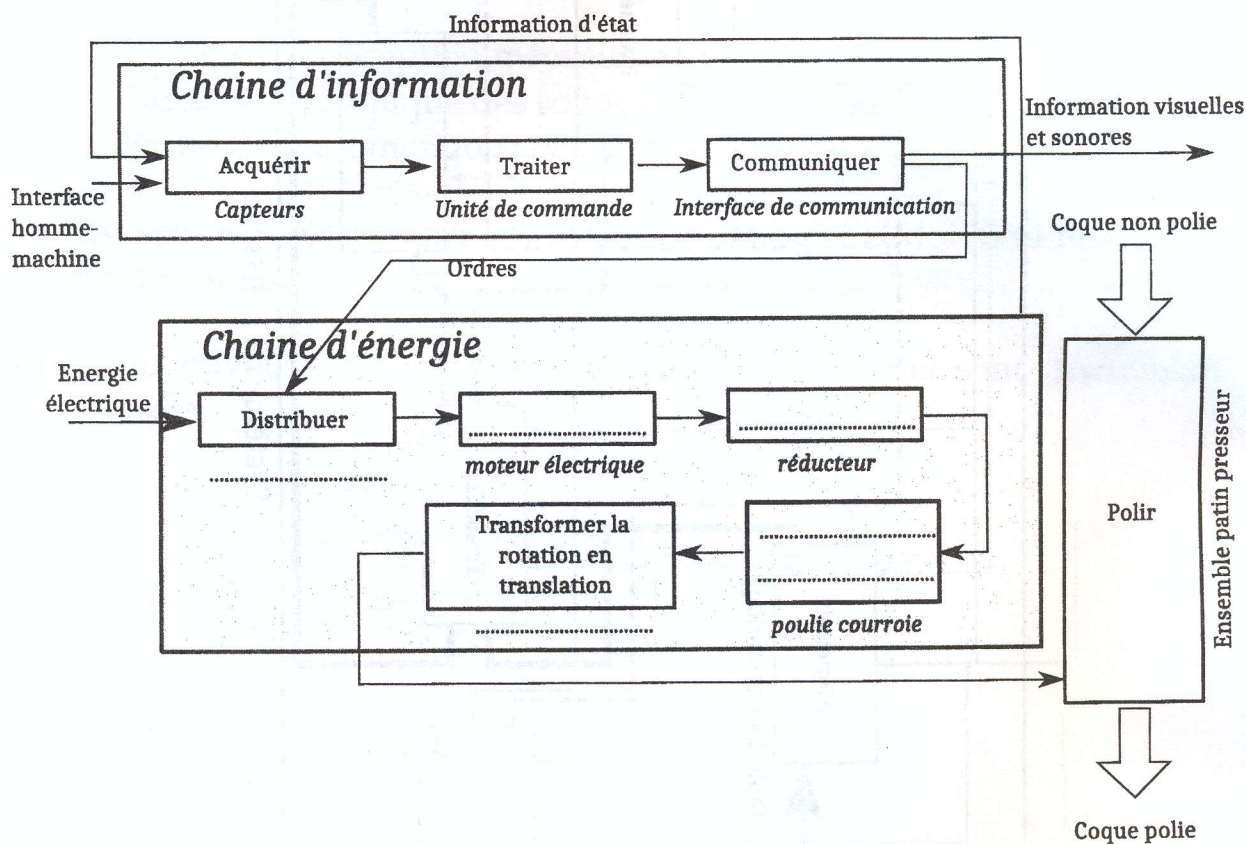


FIGURE 19 – Graphe des chaînes d'énergie et d'informations

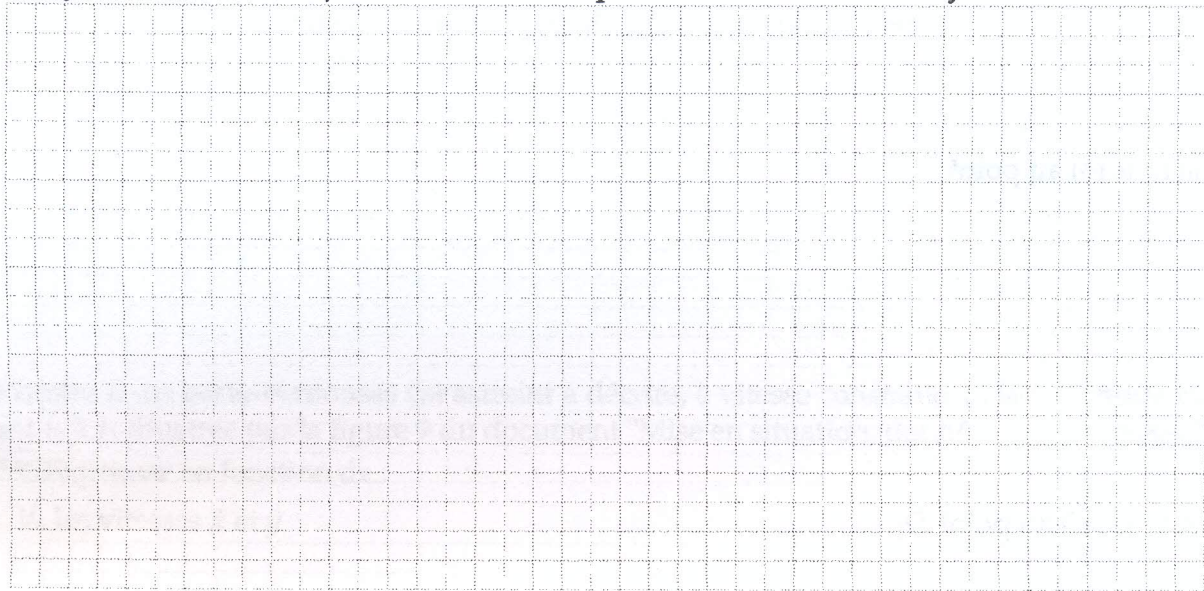
Partie B

Mécanique des Solides Indéformables

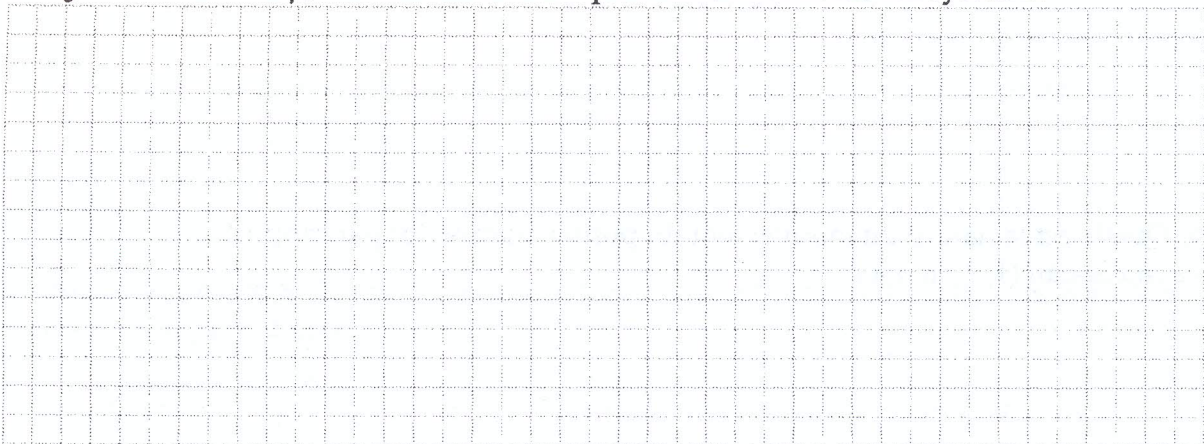
1 Étude géométrique

B.1: Écrire les relations géométriques exprimant :

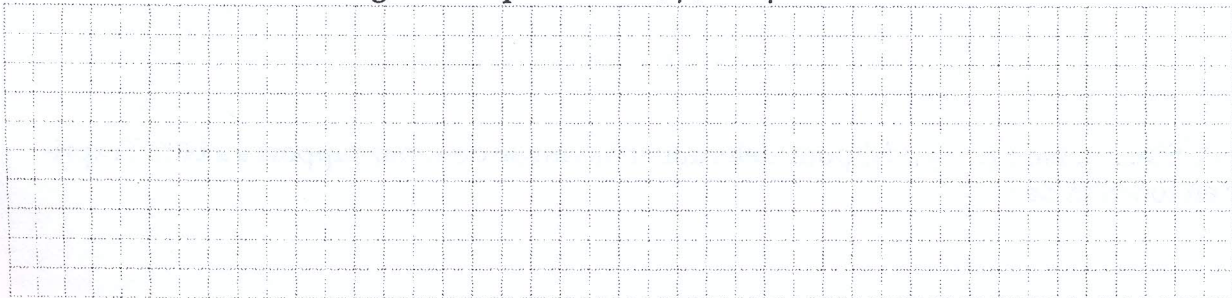
a. x et y en fonction de λ , β et des caractéristiques dimensionnelles du système.



b. x et y en fonction de μ , α et des caractéristiques dimensionnelles du système.



B.2: Dédurre les relations géométriques entre λ , μ , α et β .



2 Étude cinématique

B.3: Déterminer en fonction des données du problème, les torseurs cinématiques représentant les mouvements par rapport au repère galiléen des solides suivants :

a. le coulisseau (1) au point A

b. le bras (4) au point D

c. le bras (4') au point D₁

B.4: Quelle est la nature du mouvement du porte-ventouse (5) par rapport :

a. au coulisseau (1) ? Justifier.

b. au bâti (0) ? Justifier.

B.5: Utiliser la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ pour déterminer la vitesse de E par rapport au bâti, l'exprimer en fonction de :

- a. $\dot{\lambda}$, $\dot{\beta}$, β et des caractéristiques dimensionnelles du robot.

- b. μ , α , leurs dérivées et des caractéristiques dimensionnelles du robot.

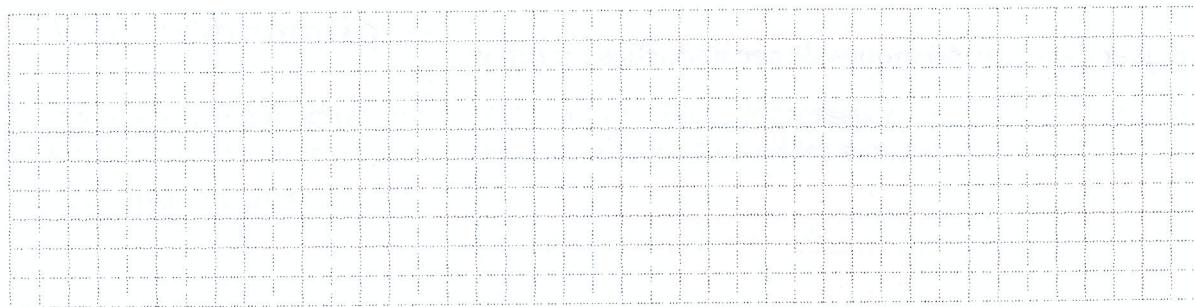
Le centre E du porte-ventouses est astreint à décrire, à vitesse constante V , la trajectoire reliant I_1 à J_1 illustrée par la figure 9 du document "Mise en situation, données et hypothèses".

B.6: Exprimer en fonction de :

- a. V , les vitesses $\dot{x}$ et $\dot{y}$

- b. V , a et h les lois horaires $x(t)$ et $y(t)$ sachant qu'à $t = 0$ le point E coïncide avec le point I_1 .

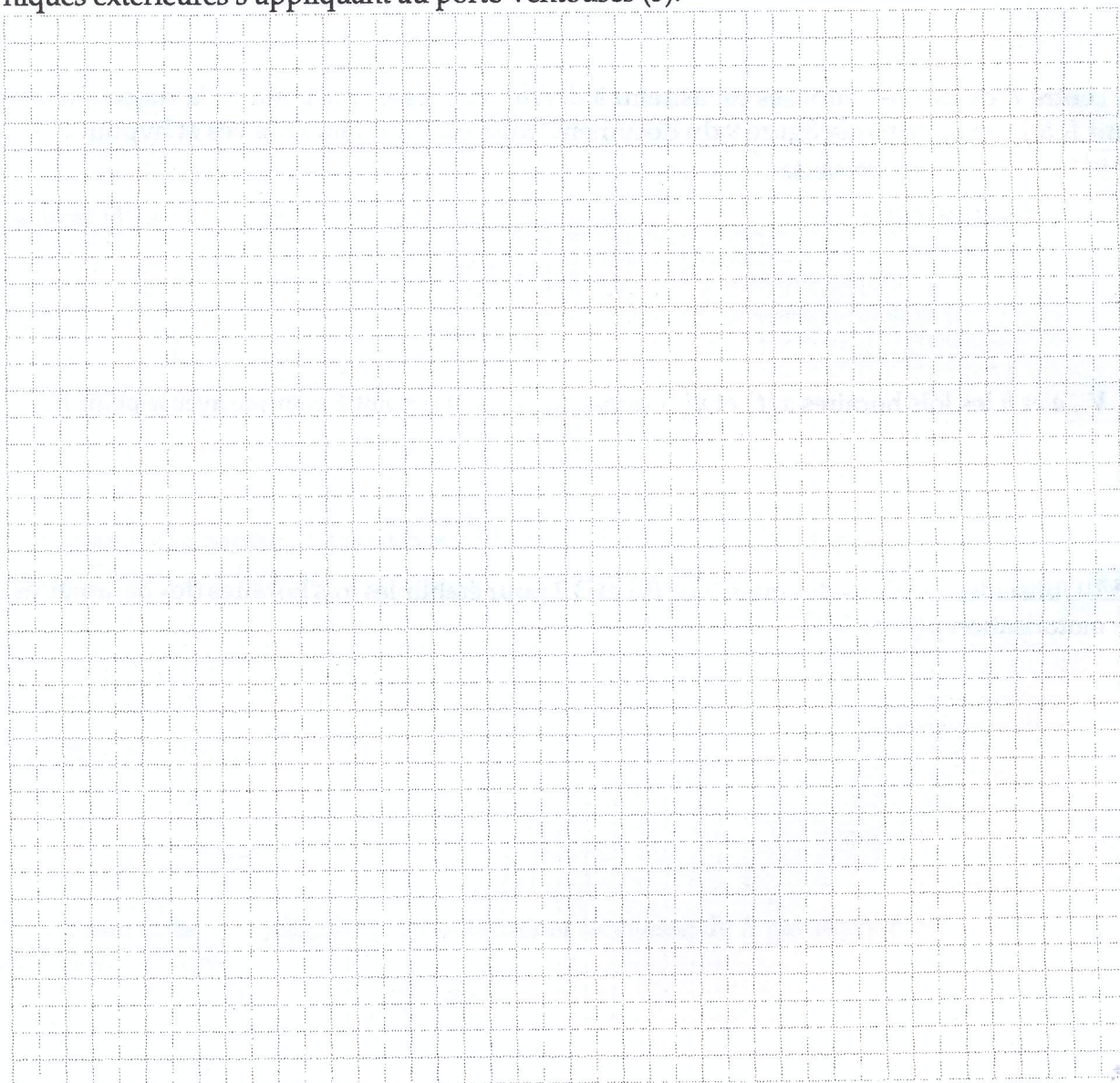
B.7: Utiliser les résultats des questions B.1 et B.2 pour établir les lois horaires des paramètres de motorisation $\mu(t)$ et $\lambda(t)$.



3 Étude dynamique

Dans cette partie on considérera le cas où le coulisseau (1) se trouve bloqué en position ($\dot{\lambda} = 0$). Le mouvement de l'ensemble formé par les solides (2-3-4-5) est généré par le pilotage de la translation μ de sorte que la vitesse angulaire imposée aux deux bras (4) et (4') se maintienne constante ($\dot{\beta} = \omega$).

B.8: Utiliser la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ pour écrire le bilan, au point C, de toutes les actions mécaniques extérieures s'appliquant au porte-ventouses (5).



B.9: Utiliser le résultat de la question B.3-b pour déterminer le torseur dynamique au point C du porte-ventouses dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

B.10: Écrire les équations dynamiques issues du principe fondamental de la dynamique appliqué au porte-ventouses dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

B.11: Utiliser la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ pour écrire le bilan en A de toutes les actions mécaniques extérieures s'exerçant sur le bras (4).

B.12: Déterminer le torseur dynamique au point A du bras (4) dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

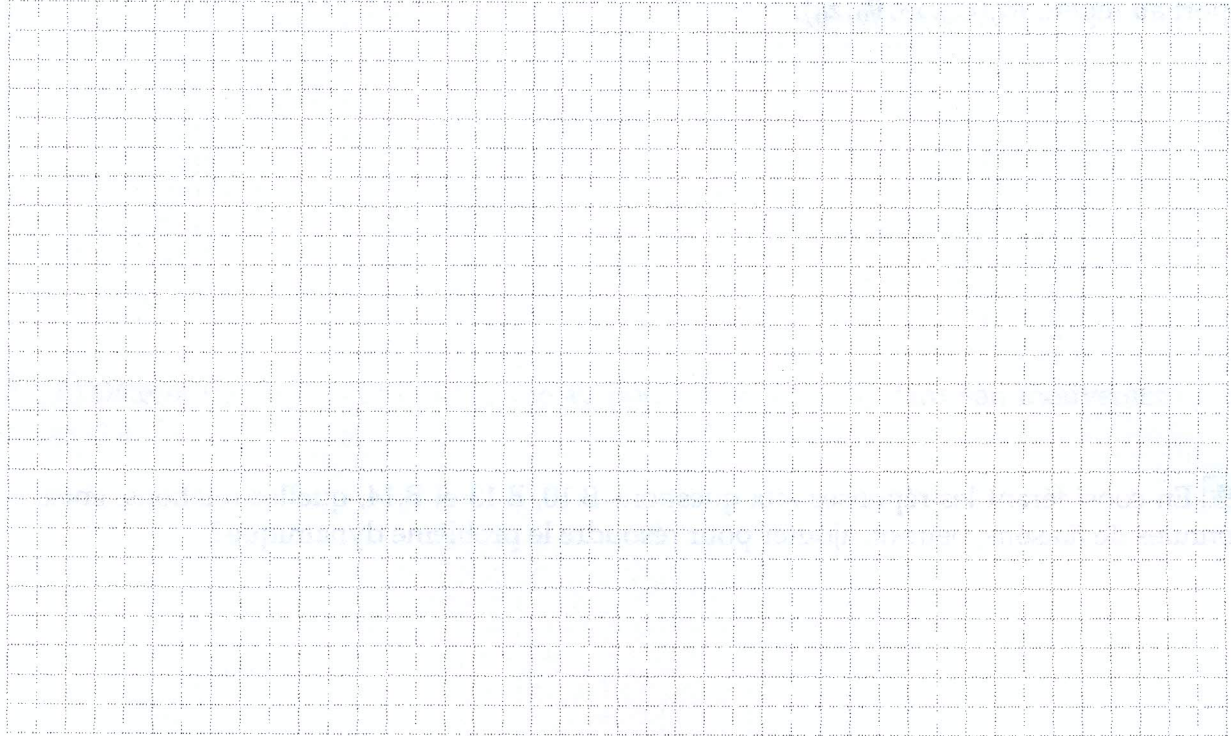
B.13: Établir les équations dynamiques du bras (4) dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

B.14: Établir, sans calcul, les équations dynamiques du bras (4') dans son mouvement par rapport au repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

B.15: En considérant les réponses aux questions B.10, B.13 et B.14, quelles relations, entre inconnues de liaisons, peut-on ajouter pour résoudre le problème dynamique ?

B.16: Déterminer en fonction de F_c , α , M , m_5 , β , ω , L et g , toutes les inconnues des liaisons en A , A_1 , D et D_1 .

B.17: Déterminer en fonction de m_1 , F_c , α , M , m_5 , β , ω , L et g , l'action F développée par l'actionneur pour le blocage du coulisseau (1) en position.



Partie C

Automatique

4 Étude du système patin presseur de la tête de polissage

4.1 Modélisation et identification du modulateur de pression

C.1: A partir de l'équation (1) (du document "Mise en situation, données et hypothèses"), exprimer la fonction de transfert $T(p) = \frac{X(p)}{\Delta F(p)}$ caractérisant les variations autour du point de repos où les conditions initiales sont nulles.

C.2: Quelle condition doit-on imposer aux paramètres pour que le modulateur se comporte comme un système hyper-amorti (apériodique) ?

C.3: Écrire dans le domaine de Laplace les équations du système de (2) à (5) du document "Mise en situation, données et hypothèses".

C.4: Compléter le schéma fonctionnel ci-dessous :

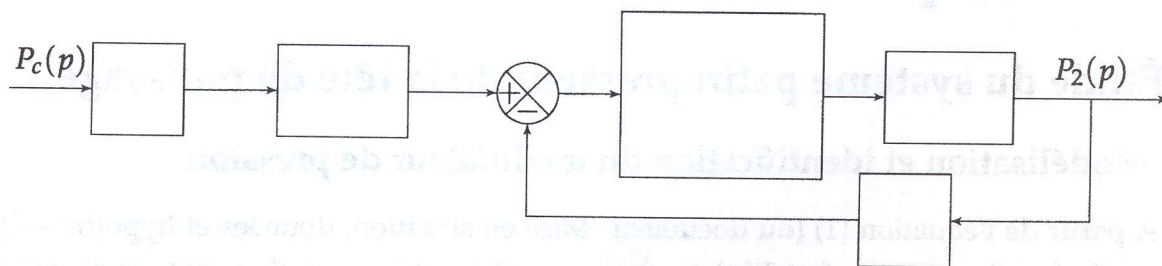


FIGURE 20 – Schéma fonctionnel du modulateur

C.5: Montrer que la fonction de transfert globale du modulateur $G(p) = P_2(p)/P_c(p)$ admet pour expression :

$$G(p) = \frac{P_2(p)}{P_c(p)} = \frac{A}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2\zeta}{\omega_0}p + 1}$$

C.6: En déduire les expressions de A , ζ et ω_0 en fonction de m , k et c ; les autres paramètres (K_1 , K_2 , K_3 et S) sont à remplacer par leurs valeurs numériques.

Des essais harmoniques ont été conduits afin d'identifier les éléments de la fonction de transfert $G(p)$ du modulateur. Il ont donné les courbes de Bode suivantes :

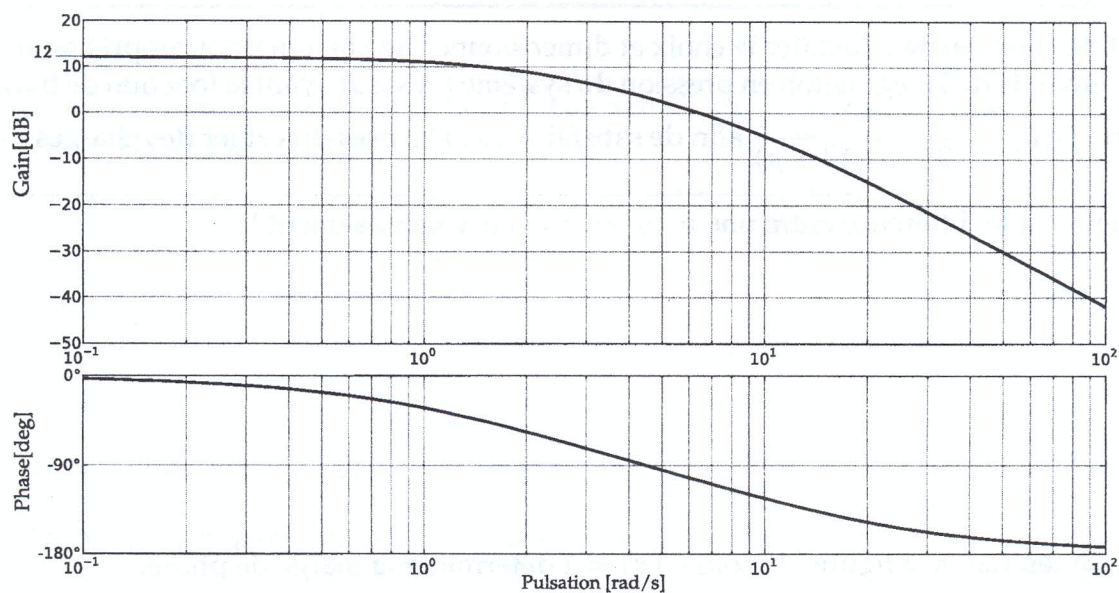


FIGURE 21 – Courbes de Bode de la fonction de transfert $G(p)$ du modulateur

C.7: A partir de cette réponse harmonique de Bode, identifier A , ω_0 et ζ .

C.8: En déduire les paramètres caractéristiques du modèle du modulateur : c , k et m .

4.2 Régulation de la pression du patin presseur :

Objectif de cette partie : Justifier le choix et dimensionner un correcteur approprié pour la commande de la régulation en pression du système presseur ayant la fonction de transfert : $G(p) = \frac{80}{(2+p)(10+p)}$ afin de satisfaire les exigences du cahier des charges.

C.9: Quelle est la différence entre une régulation et un asservissement ?

C.10: En se référant à la figure 21, pour $C(p) = 1$ déterminer la marge de phase.

C.11: En se référant à la figure 13, pour $C(p) = 1$ déterminer l'erreur statique de position unitaire.

On donne sur la figure 22 la réponse indicielle unitaire du système non corrigé.

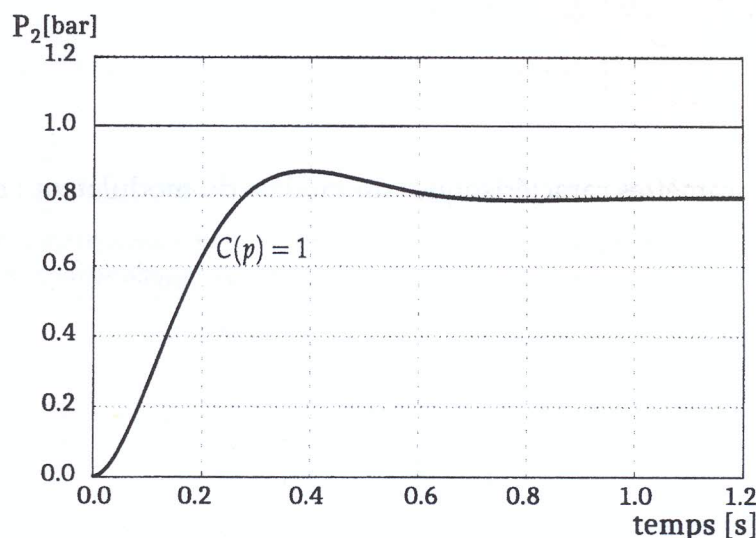


FIGURE 22 – Réponse indicielle du système sans correction

C.12: Déterminer graphiquement le temps de réponse à 5%.

C.13: Justifier pourquoi la régulation sans correction ($C(p) = 1$) ne permet pas de satisfaire les critères du cahier des charges.

Afin d'améliorer les performances du système, on envisage de placer un correcteur intégral $C(p)$.

4.2.a) Correcteur intégral : $C(p) = \frac{K_i}{p}$ avec $K_i > 0$

C.14: Déterminer K_i permettant de satisfaire la condition $M\varphi = 45^\circ$.

C.15: Calculer l'erreur statique de position unitaire.

On donne sur la figure 23 la réponse indicielle unitaire du système corrigé pour K_i trouvé précédemment.

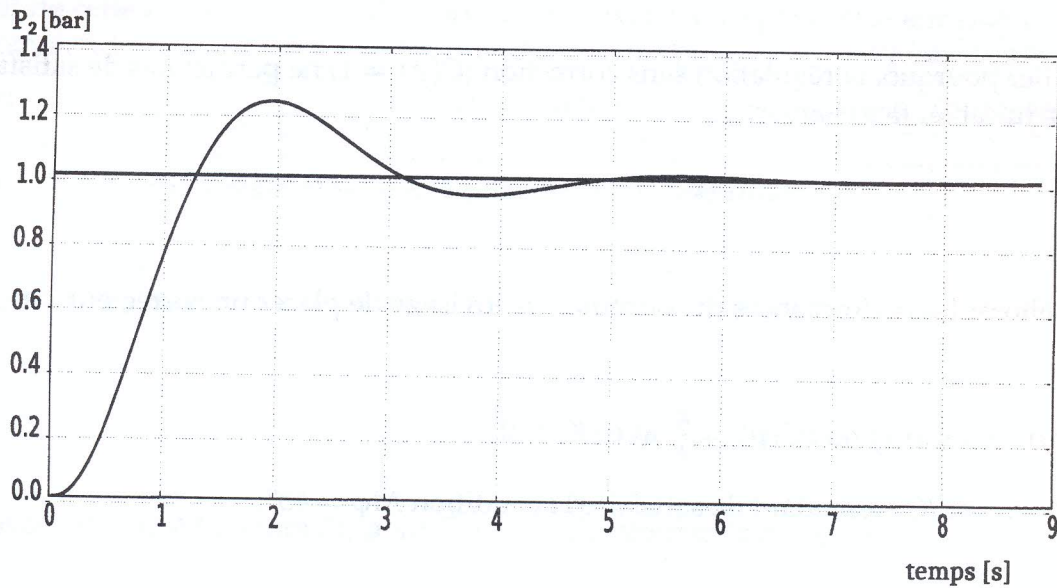
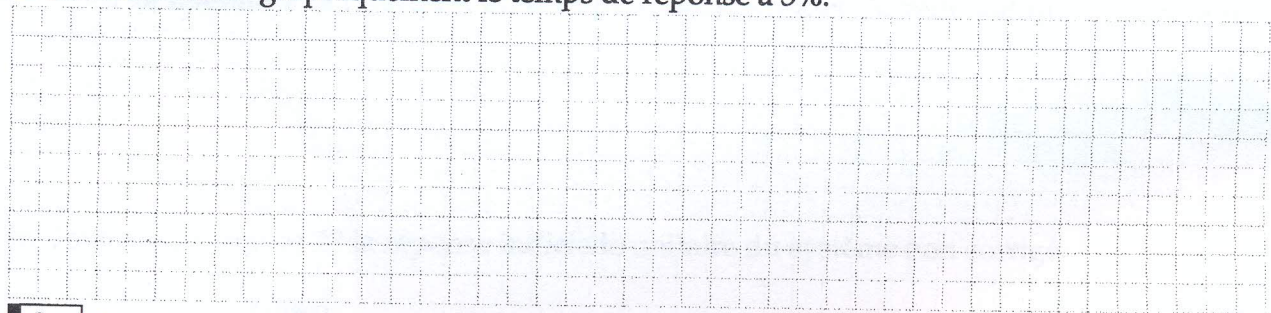
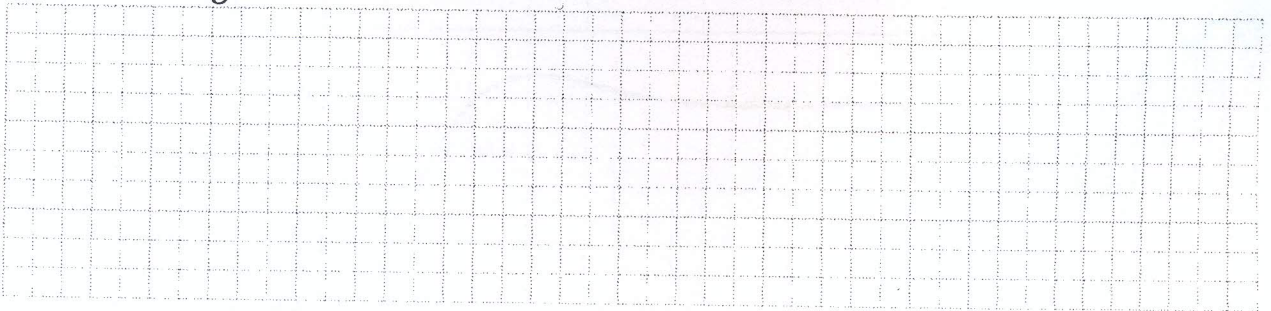


FIGURE 23 – Réponse indicielle du système avec correction intégrale

C.16: Déterminer graphiquement le temps de réponse à 5%.



C.17: Conclure quant à la capacité de ce correcteur à satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges.



4.2.b) Correcteur proportionnel-Intégral : $C(p) = K_p \frac{1+T_i p}{T_i p}$ avec $T_i > 0$, $K_p > 1$

C.18: Déterminer T_i pour compenser le pôle dominant du modulateur.

C.19: Déterminer K_p pour avoir une marge de phase $M\phi = 45^\circ$.

C.20: Déterminer l'erreur statique de position unitaire.

On donne sur la figure 24 la réponse indicielle unitaire du système corrigé pour les paramètres K_p et T_i trouvés précédemment.

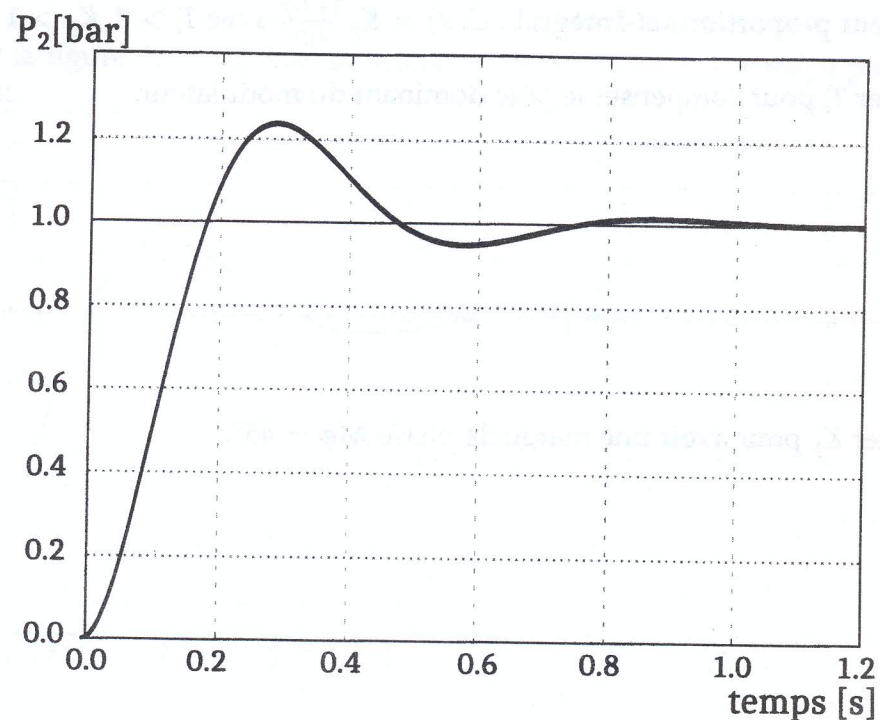
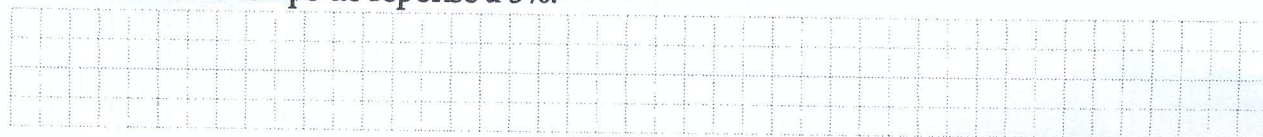
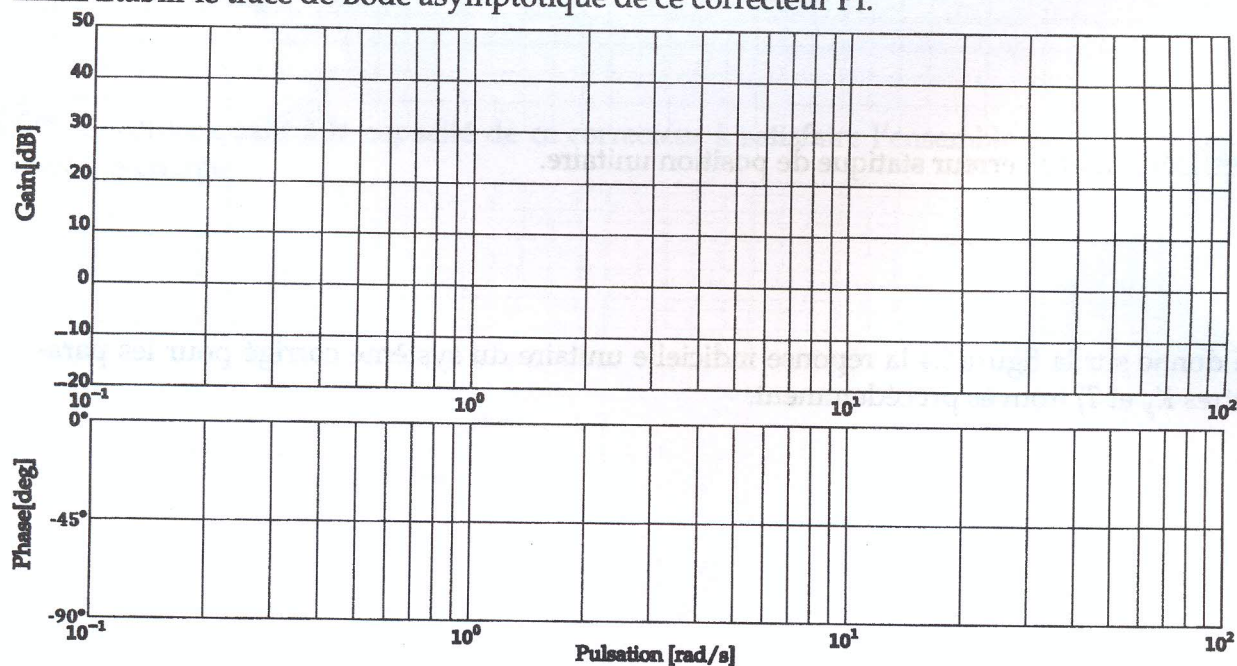


FIGURE 24 – Réponse indicielle du système avec correcteur PI

C.21: Donner le temps de réponse à 5%.



C.22: Établir le tracé de Bode asymptotique de ce correcteur PI.



C.23: Conclure quant à la capacité de ce correcteur à satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges.

4.3 Étude séquentielle du cycle de polissage

En se référant au document "Mise en situation, données et hypothèses" pages 10-11-12 :

C.24: Compléter le grafcet du point de vue commande (page 20/20) décrivant le fonctionnement du système de polissage.

C.25: Compléter les expansions de macro-étapes M100 et M400 ci-dessous.

