

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles
de Formation d'Ingénieurs
Session 2016



الجمهورية التونسية
وزارة التعليم العالي
والبحر العلمي

المنافسات الوطنية للدخول
إلى مراحل تكوين المهندسين

دورة 2016

Concours Mathématiques-Physique & Physique-Chimie

Épreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Date : Mardi 31 Mai 2016

Heure : 8 Heures

Durée : 3 Heures

Barème : Partie A : 3 points

Partie B : 10 points

Partie C : 7 points

- L'épreuve comporte les trois parties suivantes :

Partie A- Technologie de conception

Partie B- Mécanique des solides indéformables

Partie C- Automatique

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

1- Présentation, Données et Hypothèses

2- 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.
- Il n'est fourni au candidat qu'un seul et unique « dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.

DOSSIER

PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES

Ce dossier comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12

- Présentation générale : Pages : 1/12 à 2/12 ;
- Données et hypothèses Partie A : Pages : 3/12 ;
- Données et hypothèses Partie B : Pages : 4/12 à 8/12;
- Données et hypothèses Partie C : Pages : 9/12 à 12/12;

ATELIER DE FABRICATION DES PIÈCES MÉCANIQUES

Présentation générale :

La figure 1 montre un schéma simplifié d'un atelier de fabrication par la mise en forme des pièces mécaniques. Cet atelier est composé principalement des quatre unités suivantes :

Unité 1 : Approvisionnement des lopins par gravitation (pièces à déformer).

Unité 2 : Chargement et de chauffage.

Unité 3 : Transfert / évacuation.

Unité 4 : Presse mécanique de mise en forme (forgeage).

La pièce à l'état initial appelée « lopin » arrive par gravitation à l'unité 2.

Un vérin V1 introduit les pièces dans le four de chauffage. Après un temps de chauffage bien étudié, la pièce dont la température satisfait le procédé de la mise en forme, sera transférée par un robot manipulateur vers une presse mécanique pour être forgée et prend sa forme finie.

La pièce dont la température n'est pas conforme au procédé de mise en forme sera évacuée, par un vérin V2, vers une benne de récupération.

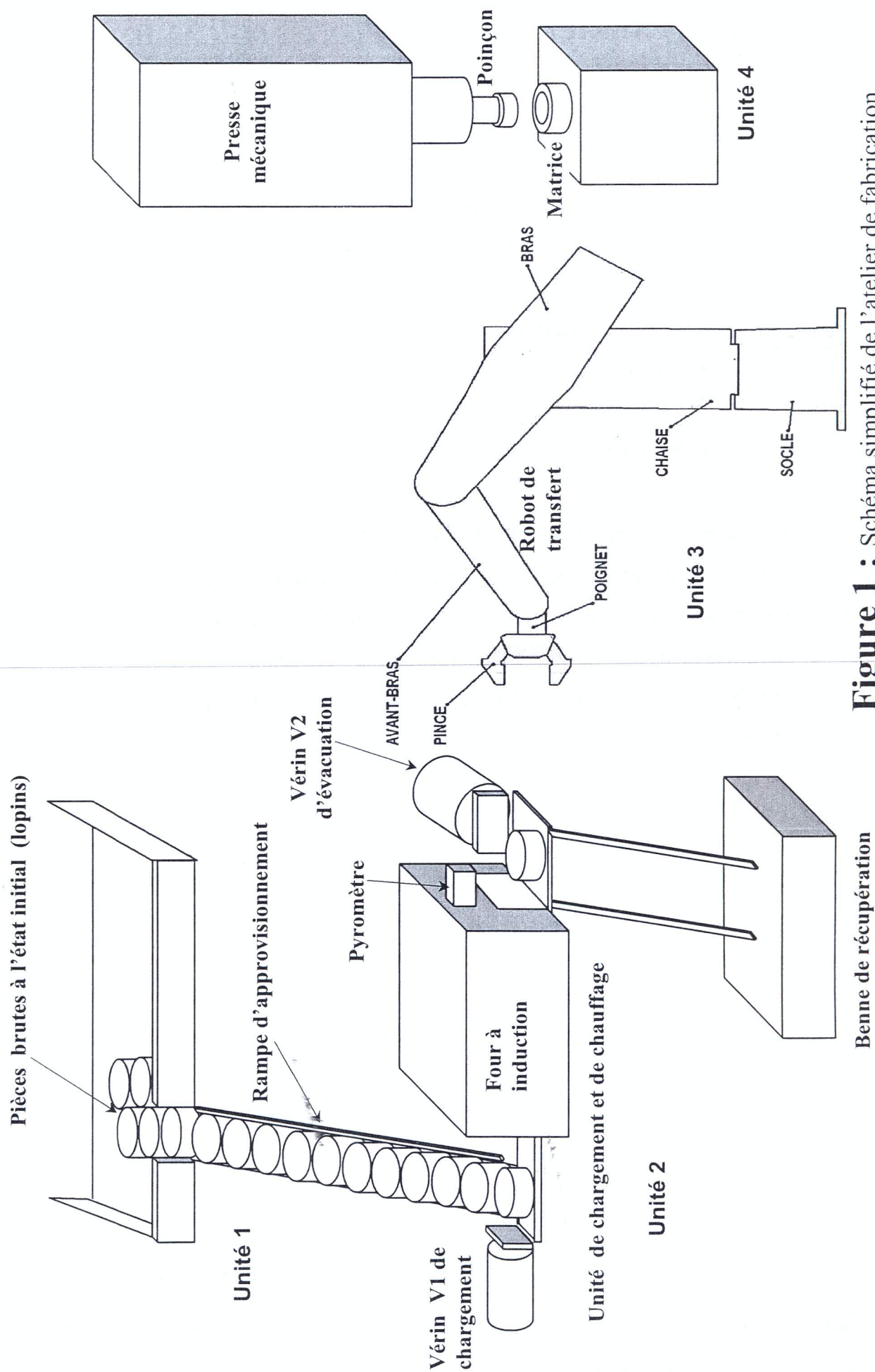


Figure 1 : Schéma simplifié de l'atelier de fabrication

PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

Cette partie comporte :

- Une étude d'analyse fonctionnelle de l'atelier de fabrication ;
- Une étude graphique d'une pièce du robot appelée «chape» représentée par la figure A.1;

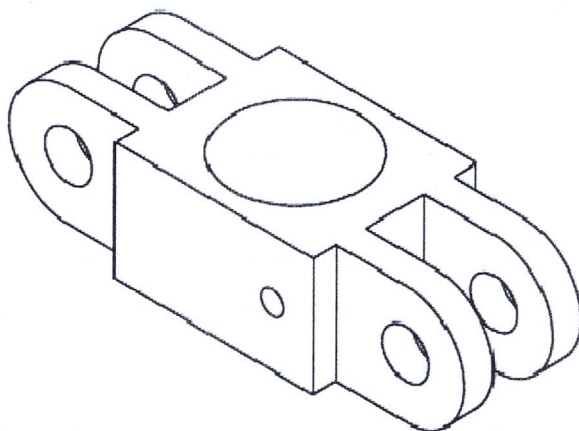


Figure A.1 : Vue en perspective de la chape.

Le travail demandé est explicité dans les pages de 1/16 à 2/16 du dossier document réponses.

PARTIE B : MÉCANIQUE DES SOLIDES INDEFORMABLES**Présentation**

L'étude porte sur le mécanisme d'une presse mécanique, représentée par le schéma cinématique plan équivalent de la figure B.1.

La presse dispose de :

- Un vilebrequin (1), figure B.2, muni de trois excentriques, est entraîné en rotation par un motoréducteur (non représenté sur la figure B.1).
- Un coulisseau (3) entraîné en translation par l'intermédiaire de la bielle (2), elle-même entraînée par l'excentrique situé au centre du vilebrequin (1).
- Un coulisseau (7) entraîné en translation par les deux autres excentriques du vilebrequin (1) et à travers un système $\{(4, 4'), (5, 5') \text{ et } (6, 6')\}$ (figure B.2). Les biellettes (4) et (4') sont disposées en parallèle et transmettent des efforts identiques aux manivelles (5) et (5') qui sont, eux aussi, disposés en parallèles pour agir, respectivement, sur les bielles (6) et (6').

La presse est spécialement conçue pour la mise en forme (déformation plastique) de pièces mécaniques à l'aide d'un poinçon solidaire du coulisseau (3). La pièce à mettre en forme est placée entre deux matrices ; l'une inférieure, est fixée au bâti (0) de la presse et l'autre, supérieure, est solidaire du coulisseau (7). Ainsi la rotation du vilebrequin (1) engendre la translation des coulisseaux (3) et (7). La mise en forme de la pièce exige que les deux moitiés de la matrice soient fermées avant que le coulisseau (3) introduit le poinçon dans la pièce. Le coulisseau (7) descend pour la fermeture et le maintien de la matrice supérieure. Durant le temps de la fermeture, le poinçon, fixé au coulisseau (3), descend pour déformer la pièce. Les figures B.3 et B.4 montrent l'évolution des positions et des vitesses des coulisseaux (3) et (7).

On donne, dans le tableau B.1, les caractéristiques techniques de la presse :

Tableau B.1 : Caractéristiques techniques de la presse

P_{mot} : Puissance maximale au niveau du vilebrequin fournie par le moto-réducteur	$P_{\text{mot}} = 45 \text{ KW}$
N_m : Vitesse de rotation du moteur	$N_m = 750 \text{ tours/min}$
N_r : Vitesse de rotation du vilebrequin	$N_r = 70 \text{ tours/min}$
Course du coulisseau (3)	$\lambda_{\text{max}} - \lambda_{\text{min}} = 0,16 \text{ m}$
Course du coulisseau (7)	$\mu_{\text{max}} - \mu_{\text{min}} = 0,14 \text{ m}$
Force maximale du coulisseau (3) pour la mise en forme de la pièce	$F_3 = 2.10^6 \text{ N}$
Force maximale du coulisseau (7) pour la mise en forme de la pièce	$F_7 = 4.10^6 \text{ N}$

Schéma cinématique et repérage

Le schéma cinématique plan équivalent de la presse ainsi que l'orientation des bases des différents repères liés aux solides sont représentés sur la figure B-1.

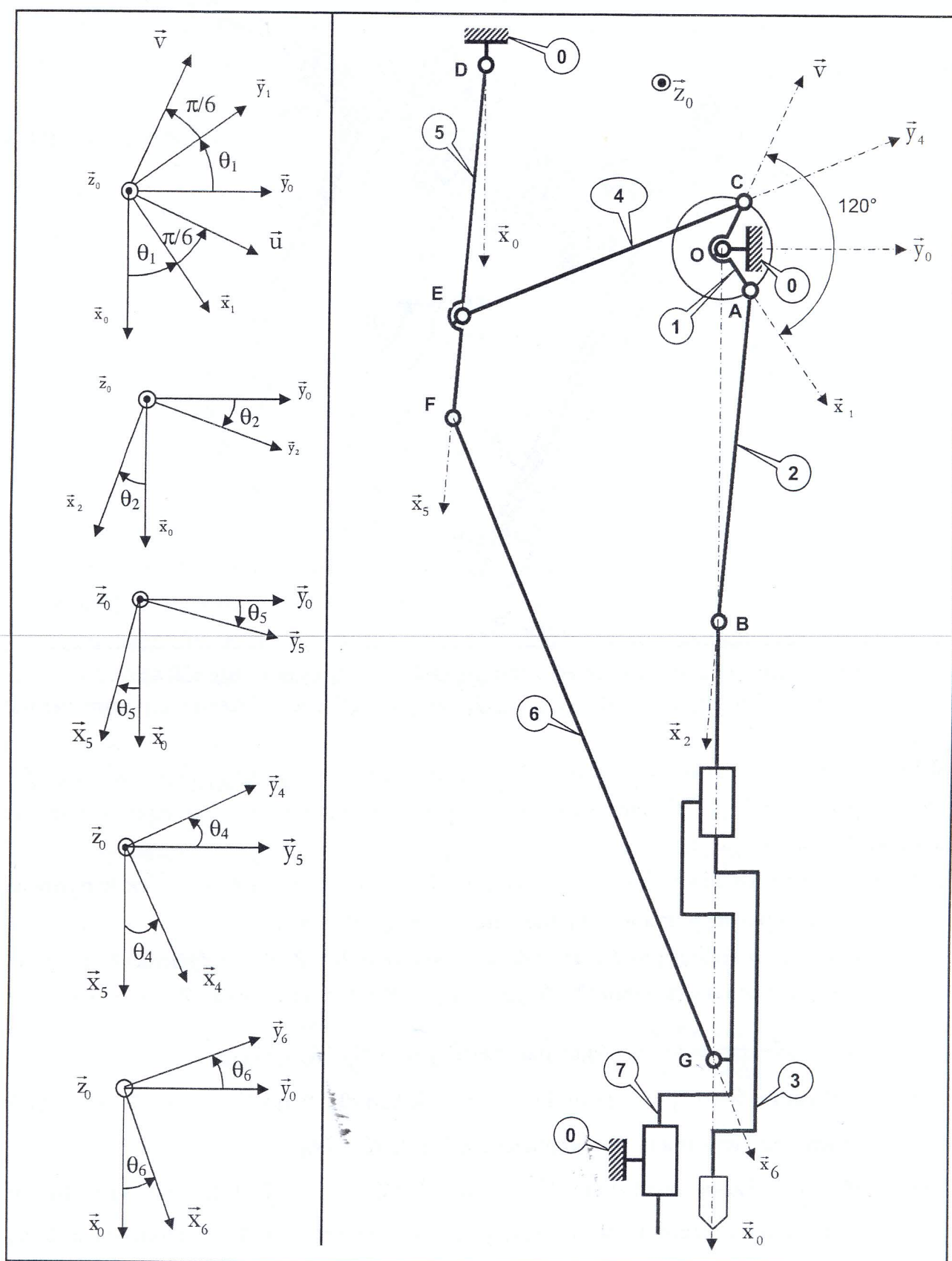


Figure B.1 : Schéma cinématique plan équivalent du mécanisme de la presse.

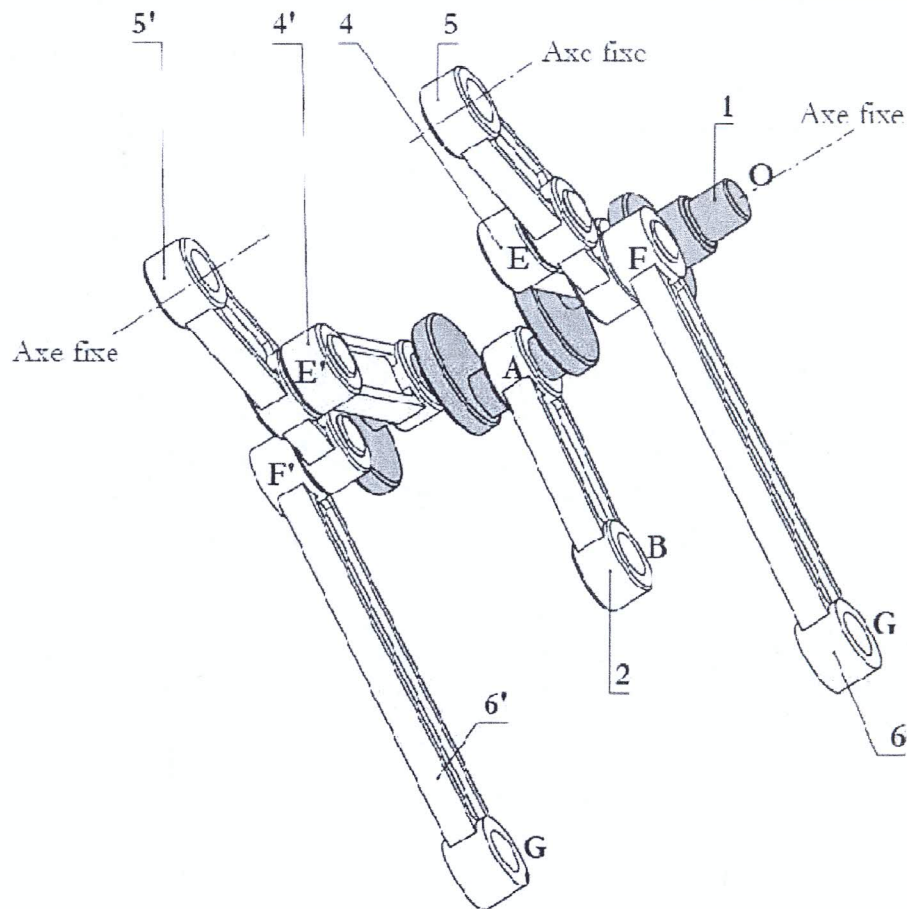


Figure B.2

Le mécanisme équivalent représentant la presse est composé des solides suivants (figure B.1):

- Un bâti (0) auquel est lié le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ supposé galiléen. L'axe (O, \vec{z}_0) étant vertical descendant ;
- Un vilebrequin (1) est en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) avec le bâti (0). $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ et $R_1^*(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{z}_0)$ sont deux repères liés à (1) tel que $(\vec{x}_1, \vec{u}) = (\vec{y}_1, \vec{v}) = \pi/6$. Son mouvement par rapport à R_0 est paramétré par l'angle $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$;
- Une bielle (2) est en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}_0) avec le vilebrequin (1). $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (2). Son mouvement par rapport à R_0 est paramétré par l'angle $\theta_2 = (\vec{x}_0, \vec{x}_2)$;
- Un coulisseau (3) est en liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_0) avec la bielle (2). Il est également en liaison glissière d'axe (B, \vec{x}_0) avec un coulisseau (7). $R_3(B, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (3). Son mouvement par rapport à R_0 est une translation rectiligne paramétrée par : $\vec{OB} = (\lambda_0 + \lambda) \vec{x}_0$;
- Une manivelle (5) est en liaison pivot d'axe (D, \vec{z}_0) avec le bâti (0). $R_5(D, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (5). Son mouvement par rapport à R_0 est paramétré par l'angle $\theta_5 = (\vec{x}_0, \vec{x}_5)$.
- Une biellette (4) est en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) avec le vilebrequin (1). Elle est aussi en liaison pivot d'axe (E, \vec{z}_0) avec la manivelle (5). $R_4(E, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (4). Le mouvement de R_4 par rapport à R_5 est paramétré par l'angle $\theta_4 = (\vec{x}_5, \vec{x}_4)$;

- Un bras (6) est en liaison pivot d'axe (F, \vec{z}_0) avec la manivelle (5). $R_6(F, \vec{x}_6, \vec{y}_6, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (6). Son mouvement par rapport à R_0 est paramétré par l'angle $\theta_6 = (\vec{x}_0, \vec{x}_6)$;
- Un coulisseau (7) est en liaison pivot d'axe (G, \vec{z}_0) avec le bras (6). Il est également en liaison glissière de direction \vec{x}_0 avec le bâti (0). $R_7(G, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (7). Son mouvement de translation rectiligne par rapport à R_0 est paramétré par : $\vec{OG} = (\mu_0 + \mu) \vec{x}_0$.

Données et hypothèses

- $\vec{OA} = R\vec{x}_1$; $\vec{AB} = L_2\vec{x}_2$; $\vec{OB} = (\lambda_0 + \lambda)\vec{x}_0$; $\vec{OC} = R\vec{v}$; $\vec{OD} = -a\vec{x}_0 - b\vec{y}_0$; $\vec{DE} = L_{51}\vec{x}_5$;
 $\vec{EF} = L_{52}\vec{x}_5$; $\vec{EC} = L_4\vec{y}_4$; $\vec{FG} = L_6\vec{x}_6$; $\vec{OG} = (\mu_0 + \mu)\vec{x}_0$.
- $a, b, R, L_2, L_4, L_{51}, L_{52}, L_6, \lambda_0$ et μ_0 sont des grandeurs géométriques constantes ;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \lambda$ et μ sont les paramètres du mécanisme (variables temporelles) ;
- Tous les mouvements sont dans le plan (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0) (mouvements plan sur plan) ;
- Le vilebrequin (1) de centre d'inertie G_1 ($G_1 \equiv O$) a une masse m_1 . Son axe (O, \vec{z}_0) est un axe principal d'inertie. Le moment d'inertie de (1) par rapport à l'axe (O, \vec{z}_0) est noté I_1 ;
- Le centre d'inertie G_3 du coulisseau (3), de masse m_3 , est situé sur l'axe (B, \vec{x}_0) ;
- Le centre d'inertie G_7 du coulisseau (7), de masse m_7 , est situé sur l'axe (G, \vec{x}_0) ;
- Pour les autres solides, les masses sont supposées négligeables ;
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites **sauf** pour les deux liaisons glissières de direction \vec{x}_0 : La liaison du coulisseau (3) avec le coulisseau (7) et celle du coulisseau (7) avec le bâti (0) sont supposées **avec frottement de glissement de coefficient f** ;
- L'accélération de la pesanteur est : $\vec{g} = g \vec{x}_0$; où g est une constante positive ;
- Le vilebrequin (1) est actionné par un motoréducteur produisant un couple : $\vec{C}_e = C_e \vec{z}_0$; Lors de la séquence de mise en forme de la pièce (séquence objet de cette étude),
- L'action du coulisseau (3) sur la pièce est modélisée par le glisseur $\{\tau(3 \rightarrow \text{pièce})\}_B = \begin{Bmatrix} F_3 \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$
- et l'action du coulisseau (7) sur la pièce est modélisée par le glisseur $\{\tau(7 \rightarrow \text{pièce})\}_G = \begin{Bmatrix} F_7 \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_G$;
- Nota : Dans le cas d'un mécanisme plan de normale \vec{z}_0 , le torseur des actions mécaniques transmissibles au niveau d'une liaison de centre Q entre deux solides (i) et (j) est noté :

$$\{\tau(i \rightarrow j)\}_Q = \begin{Bmatrix} X_{ij} & 0 \\ Y_{ij} & 0 \\ 0 & N_{ij} \end{Bmatrix}_Q^{B_0} ; \text{ Avec } B_0 = (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$$

Diagrammes de positions et de vitesses des coulisseaux (3) et (7)

Remarque : à l'instant $t = 0$ s, $\theta_i = \pi$ rad.

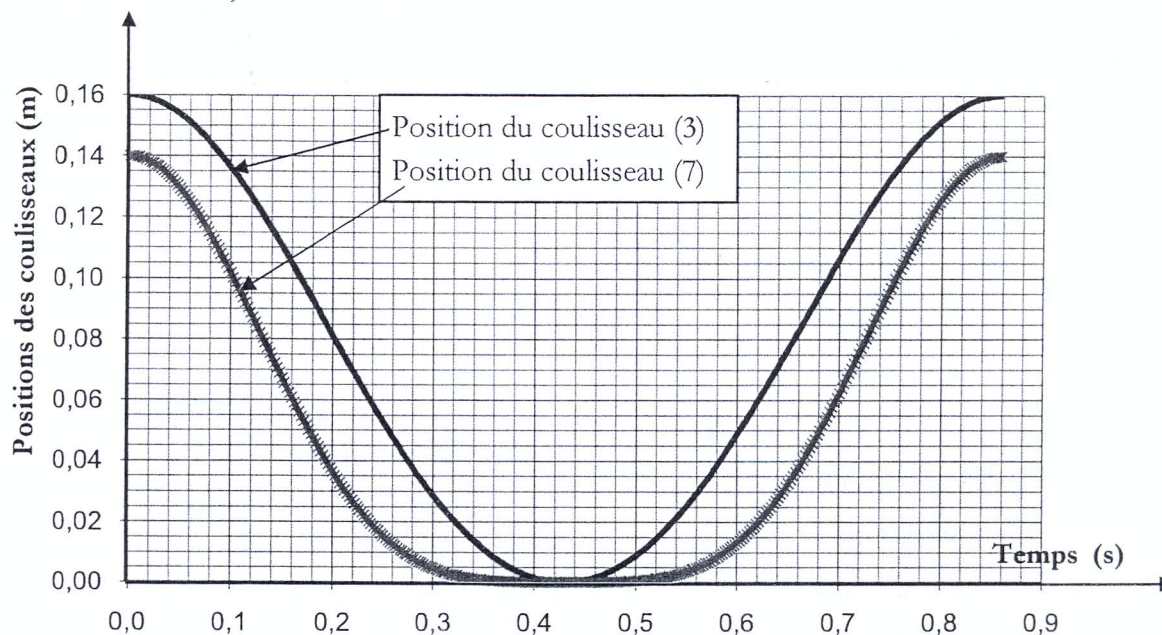


Figure B.3 : Diagrammes de positions des coulisseaux

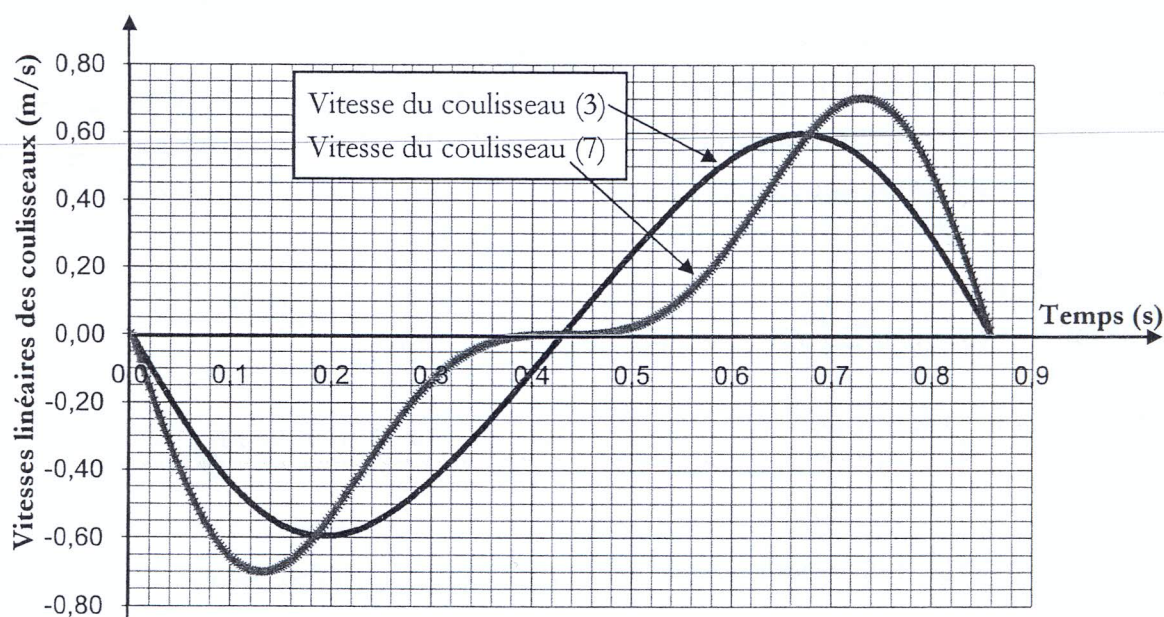


Figure B.4 : Diagrammes de vitesses des coulisseaux

Le travail demandé est explicité dans les pages de 3/16 à 10/16 du dossier document réponses

PARTIE C : AUTOMATIQUE

PRESENTATION

Le système (figure 1) constitue une partie de l'atelier de fabrication des pièces mécaniques. Il est construit autour d'une unité de chargement et de chauffage des pièces métalliques (lopins), entièrement automatisée. Cette unité comporte un four tunnel à sole motorisée. Ce four est équipé d'un pyromètre à infrarouge qui mesure la température des lopins préalablement chauffés à une température fixée par le cahier des charges.

La présente partie C du sujet de concours comporte deux sections :

- Une première section concerne l'étude d'un système logique permettant de contrôler la température des lopins sortant du four,
- Une deuxième section s'intéresse à l'étude du système de régulation de la température du four.

C.1- ETUDE D'UN SYSTEME LOGIQUE CONTROLANT LA TEMPERATURE DES LOPINS.

Il s'agit d'un circuit de logique combinatoire (figure C.1) qui compare deux températures : une de consigne (T_c) fixée préalablement en fonction du matériau de la pièce à chauffer et une autre, (T_m), mesurée par le pyromètre. Ces 2 grandeurs seront converties en code binaire pour être comparées.

Nous allons nous limiter dans cette partie à la comparaison des 2 bits du poids le plus élevé. Ainsi, nous considérons $T_c = (xy)_2$ et $T_m = (uv)_2$. Le système est composé de deux sorties une (S_0) spécifiant l'égalité ou la supériorité de T_m par rapport T_c ($S_0=1 : T_m \geq T_c$) et l'autre (S_1) si T_m est inférieure à T_c ($S_1=1 : T_m < T_c$).

Dans notre cas (figure C.1), les grandeurs binaires à comparer sont respectivement : les 2 bits de sortie du système de mesure (uv) via le capteur infrarouge et ceux (xy) de la consigne.

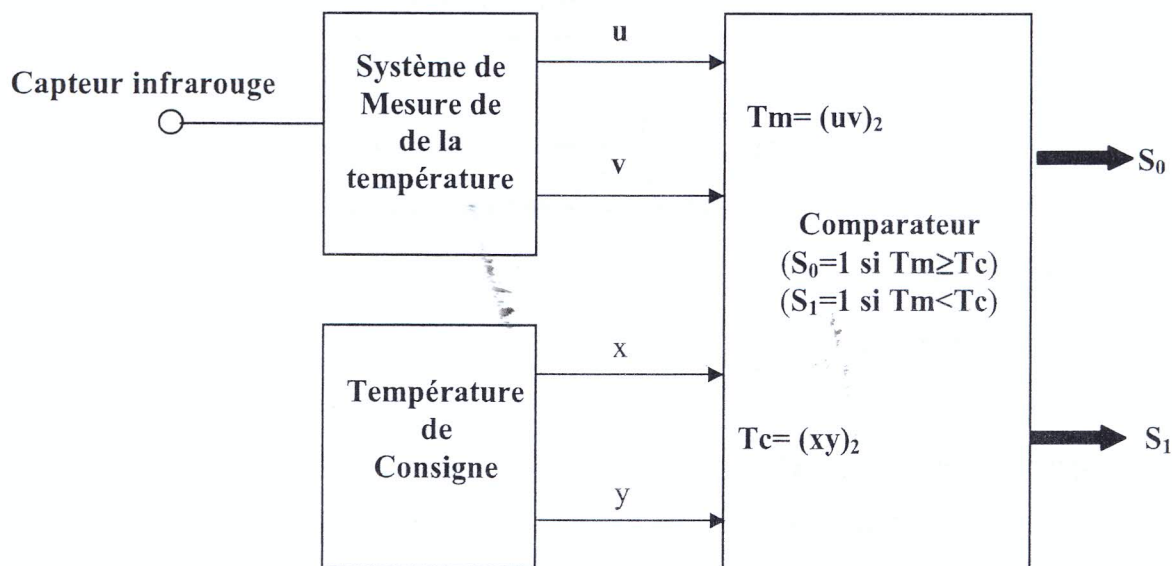


Figure C.1 : Synoptique du système logique de comparaison

C.2- SYSTEME DE REGULATION DE LA TEMPERATURE DU FOUR

Le chauffage des lopins est effectué par élévation de leur température à des niveaux élevés. Cette température nécessite ainsi une régulation optimale afin de ne pas endommager les pièces. Le schéma de principe, de cette régulation, est représenté par la figure C.2.

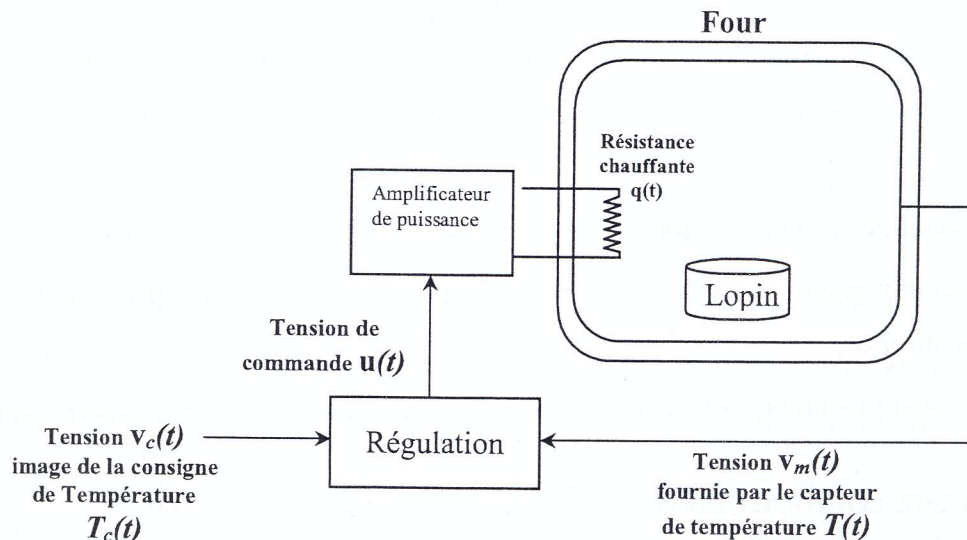


Figure C.2 : Schéma de principe de la régulation de température dans le four

Le schéma bloc de la régulation de température est illustré sur la figure C.3. Cette modélisation tient compte de l'effet d'une perturbation $T_a(p)$ (effet de la température ambiante lors de l'ouverture de la porte du four et l'influence des lopins froids lors de leur introduction). Toutes les températures utilisées dans la présente étude représentent des valeurs relatives à la température ambiante afin de satisfaire des conditions initiales nulles.

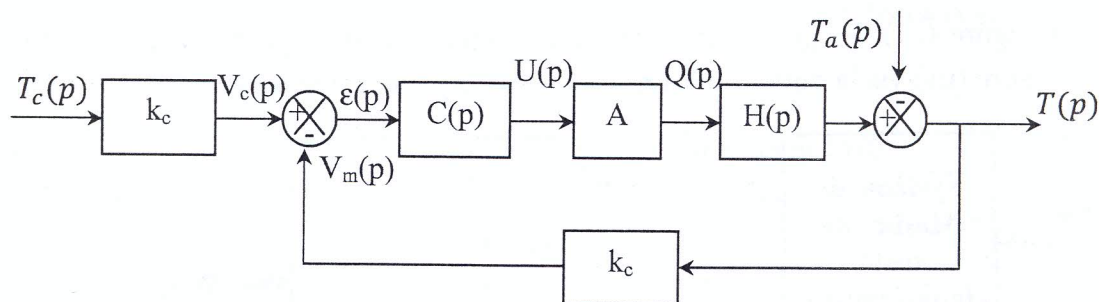


Figure C.3 : Schéma bloc de la régulation de température du four

$T_c(p)$ est la consigne en température ($^{\circ}\text{C}$),

$C(p)$ est la fonction de transfert du correcteur,

$T(p)$ est la température du four ($^{\circ}\text{C}$),

$Q(p)$ est la puissance calorifique fournie au four (W),

A : est le gain de puissance de valeur : $A = 200 \text{ W/V}$,

$$H(p) = \frac{K_f}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)} \text{ avec } K_f = 0.4^\circ\text{C/W} ; \tau_1 = 20\text{s} ; \tau_2 = 300\text{s},$$

k_c est le gain du capteur de température, $k_c = 0.01\text{V}/^\circ\text{C}$,

Notons par $F(p)$ la transformée de la Laplace d'une fonction $f(t)$; $F(p) = \mathcal{L}(f(t))$.

La figure C.4 représente la réponse indicielle en boucle fermée du système, non perturbé, pour deux types de correction.

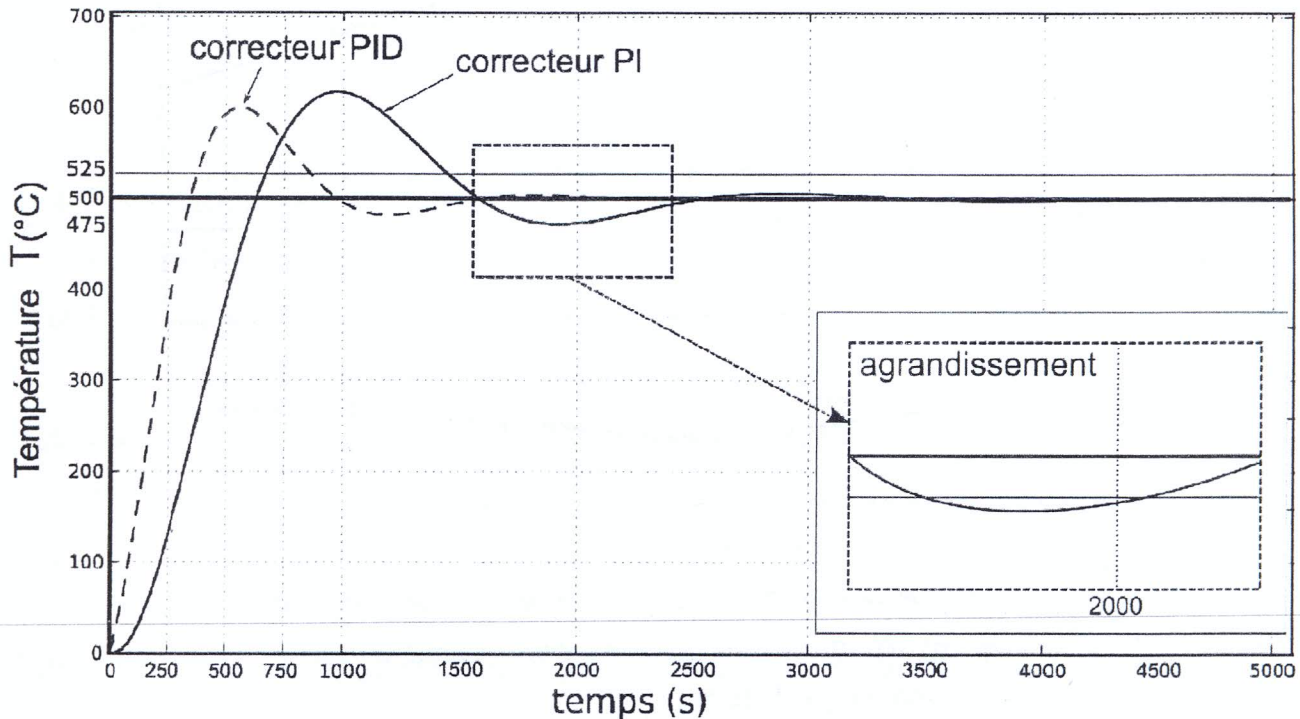


Figure C.4: Réponse indicielle du système en boucle fermée

Les performances souhaitées pour le système de régulation de la température du four sont représentées dans le tableau C.1:

Tableau C.1. Performances souhaitées du système

Performances	Valeurs souhaitées
Précision	Erreur statique nulle avec rejet de perturbation
Stabilité	Marges de phase $\geq 45^\circ$ Marges de gain $\geq 8\text{dB}$
Rapidité	Temps de réponse à 5% < 16 minutes

Les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) du système corrigé sont donnés à la figure C.5

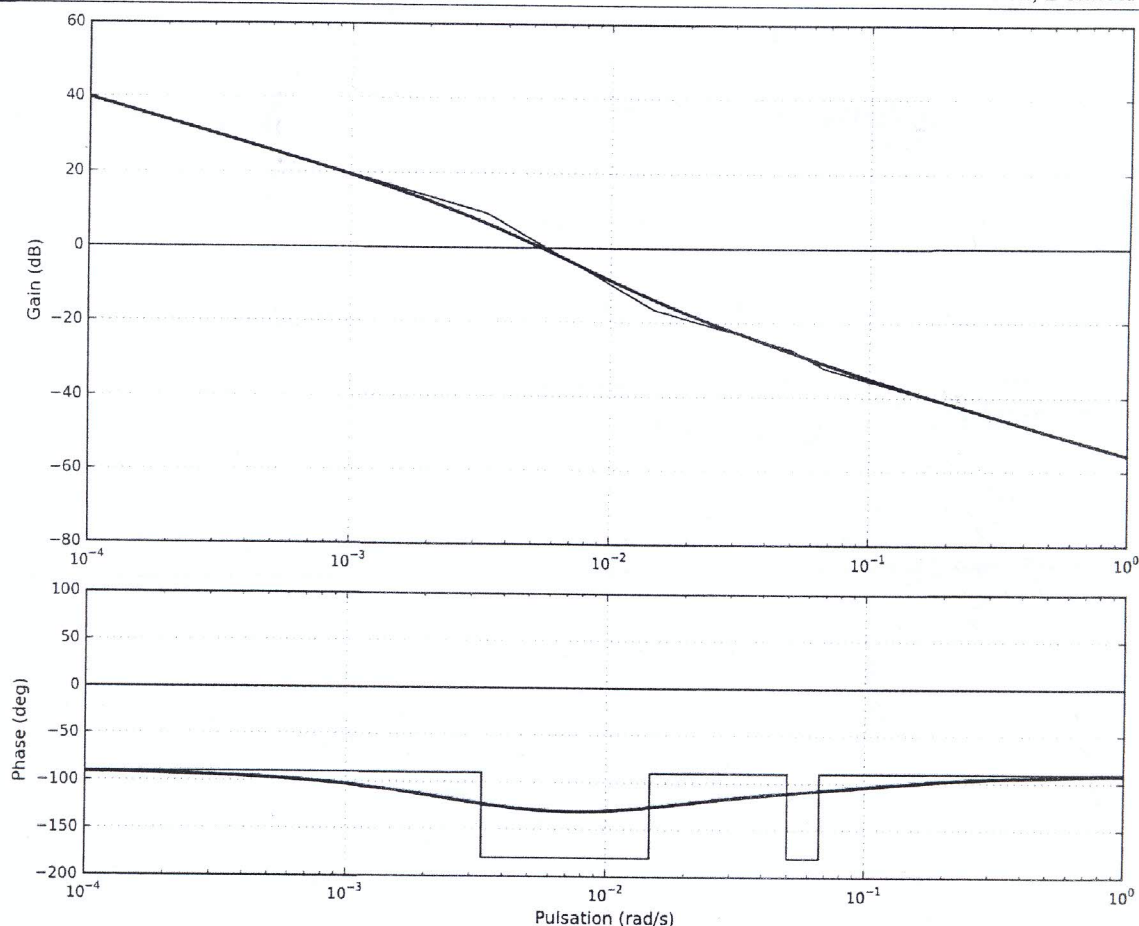


Figure C.5 : Diagrammes de Bode de la FTBO du système avec correcteur PID.

La courbe donnant le temps de réponse réduit ($t_{5\%} \times \omega_0$) d'un système du second ordre en fonction du coefficient d'amortissement ξ est donnée par la figure C.6:

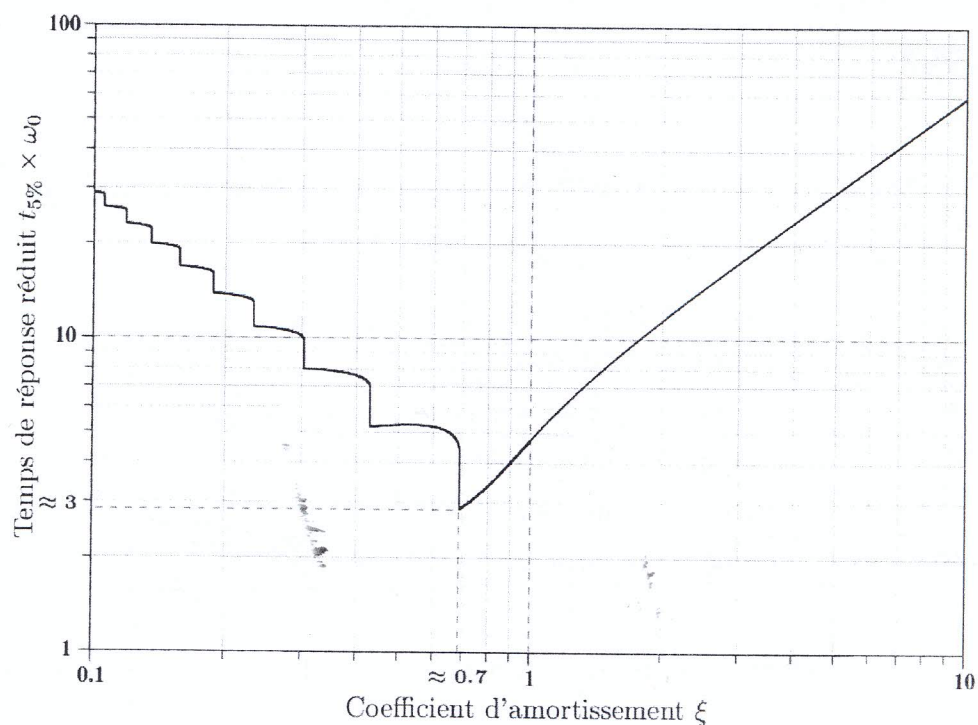


Figure C.6 : Temps de réponse réduit en fonction du coefficient d'amortissement.

Le travail demandé est explicité dans les pages de 11/16 à 16/16 du dossier document réponses.