

Examen Final du Premier Semestre Décembre 2018
Epreuve de Conception et Fabrication Mécanique (CFM)

Préparation Technologique (PT2)

ESCALIER MECANIQUE

Date : 15/12/2018

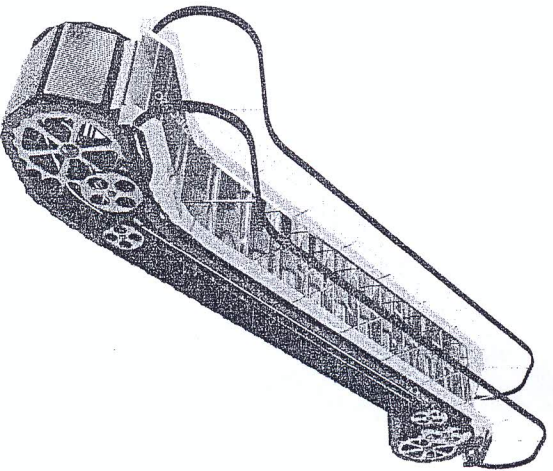
Heure : 8H30

Durée : 4 Heures

Documents non autorisés

Mise en situation

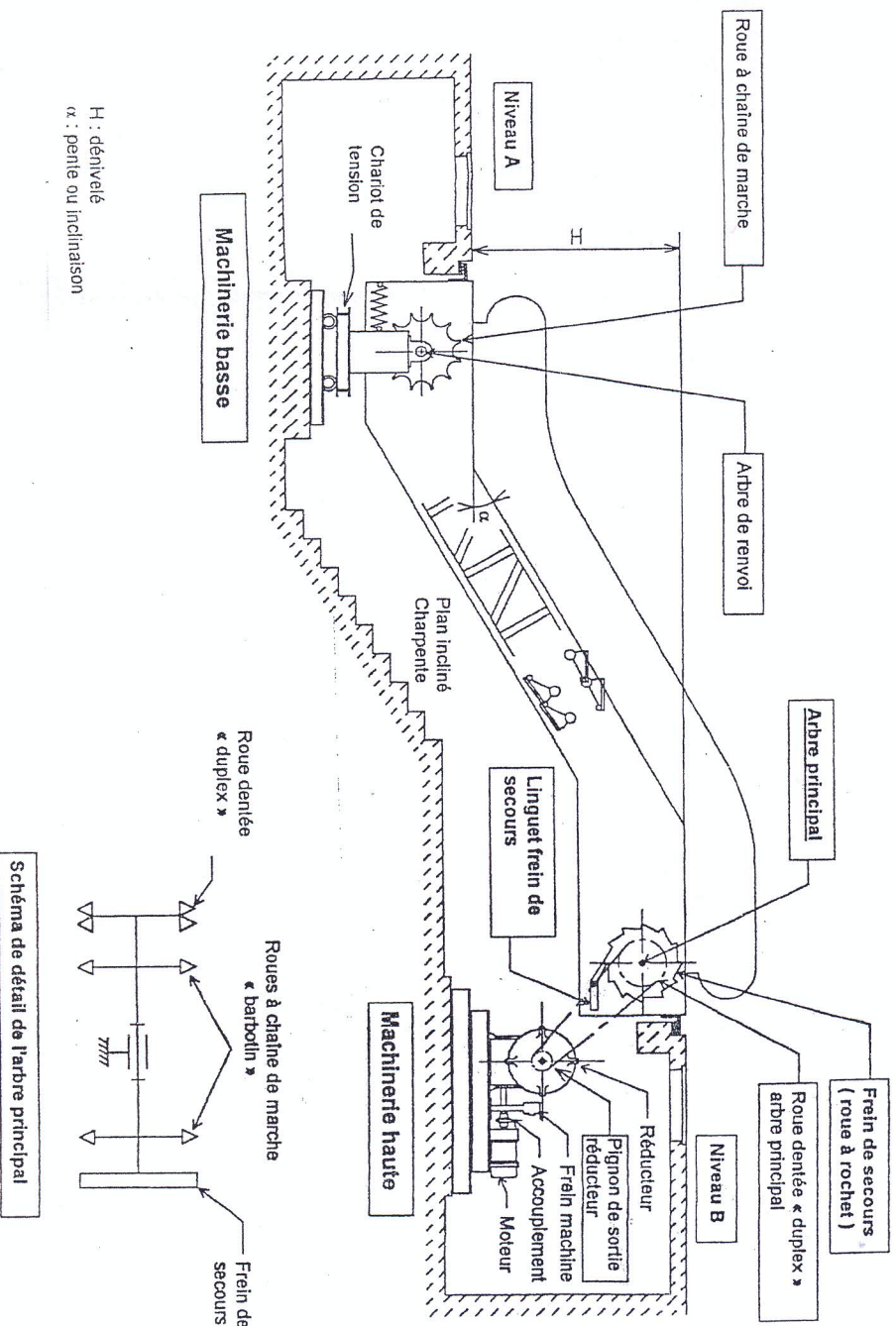
Le système étudié, représenté par la figure 1, est un escalier mécanique implanté dans de nombreux lieux publics comme les centres commerciaux, les gares, les aéroports, ... Il permet aux utilisateurs de franchir des dénivellées parfois importantes avec le minimum de fatigue. L'installation de l'escalier mécanique ainsi que sa structure sont représentées sur la figure 2.



-Figure 1- Photo de l'escalier mécanique

L'ensemble des marches et des chaînes de marches reçoit la force motrice au moyen de barbotin monté sur l'arbre principal (figure 3 page (5/9)). L'arbre principal reçoit l'énergie mécanique par l'intermédiaire d'une transmission primaire, constituée d'un ensemble moto-réducteur-frein, et d'une transmission secondaire constituée par une chaîne double et deux roues dentées duplex dont une est fixée sur l'arbre (37) accouplé au moto réducteur frein et l'autre est fixée à l'extrémité de l'arbre principal. L'arrêt des escaliers en mode usuel est obtenu par frein électromagnétique placé sur l'arbre moteur (frein machine). L'action de ce frein est transmise à l'arbre principal au travers les transmissions primaires et secondaires.

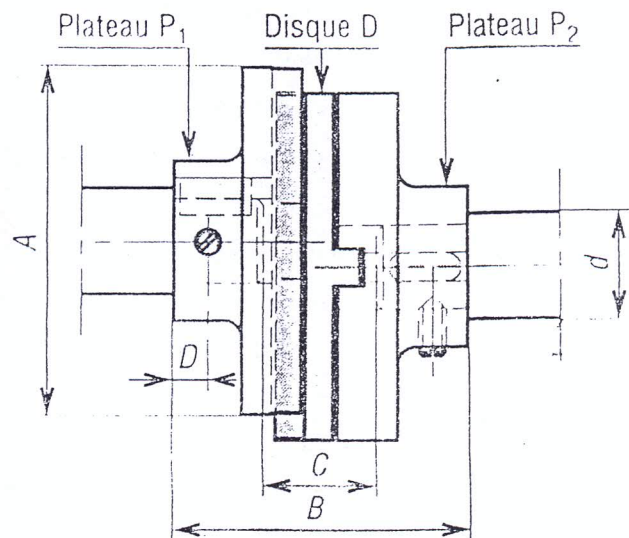
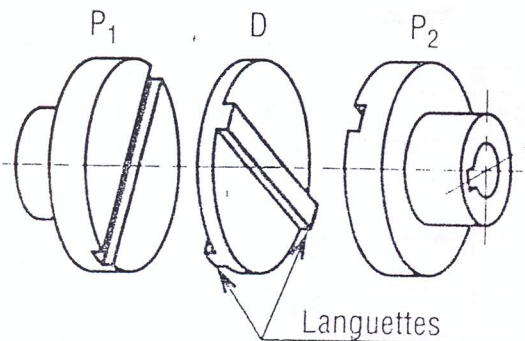
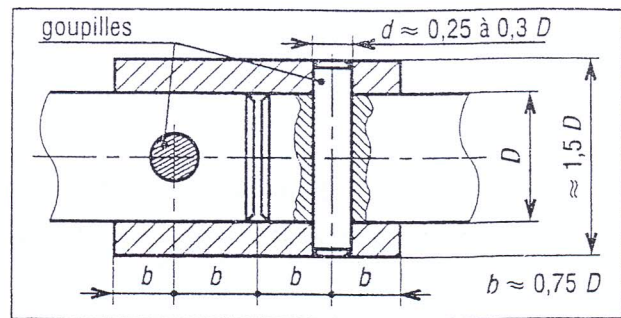
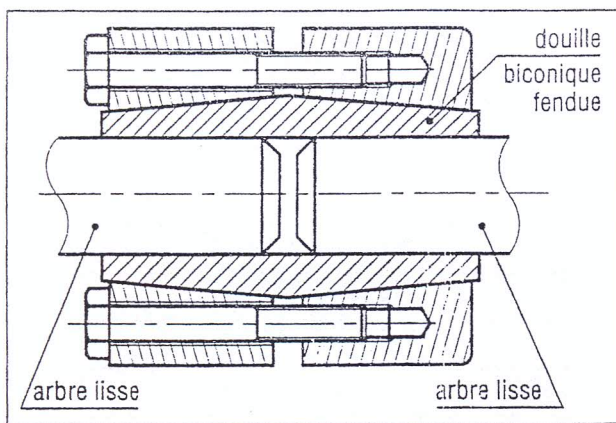
En cas d'accident (rupture de la chaîne de transmission secondaire, sur-vitesse ou sous-vitesse en cas de surcharge de l'escalier, ...), les escaliers sont arrêtés par un frein de secours placé directement à l'extrémité de l'arbre principal (voir figure 2). Ce frein est commandé par une dynamo tachymétrique qui mesure et contrôle en continu la vitesse de rotation de l'arbre principal.



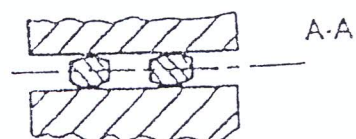
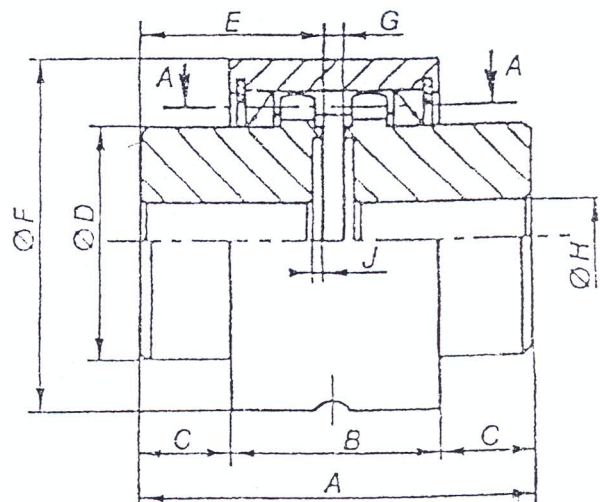
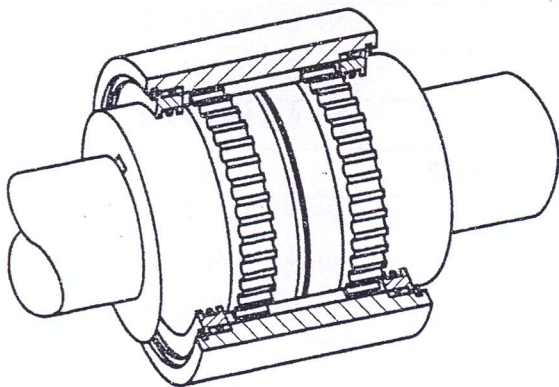
H : dénivelé
 α : pente ou inclinaison

-Figure 2- Structure de l'escalier mécanique

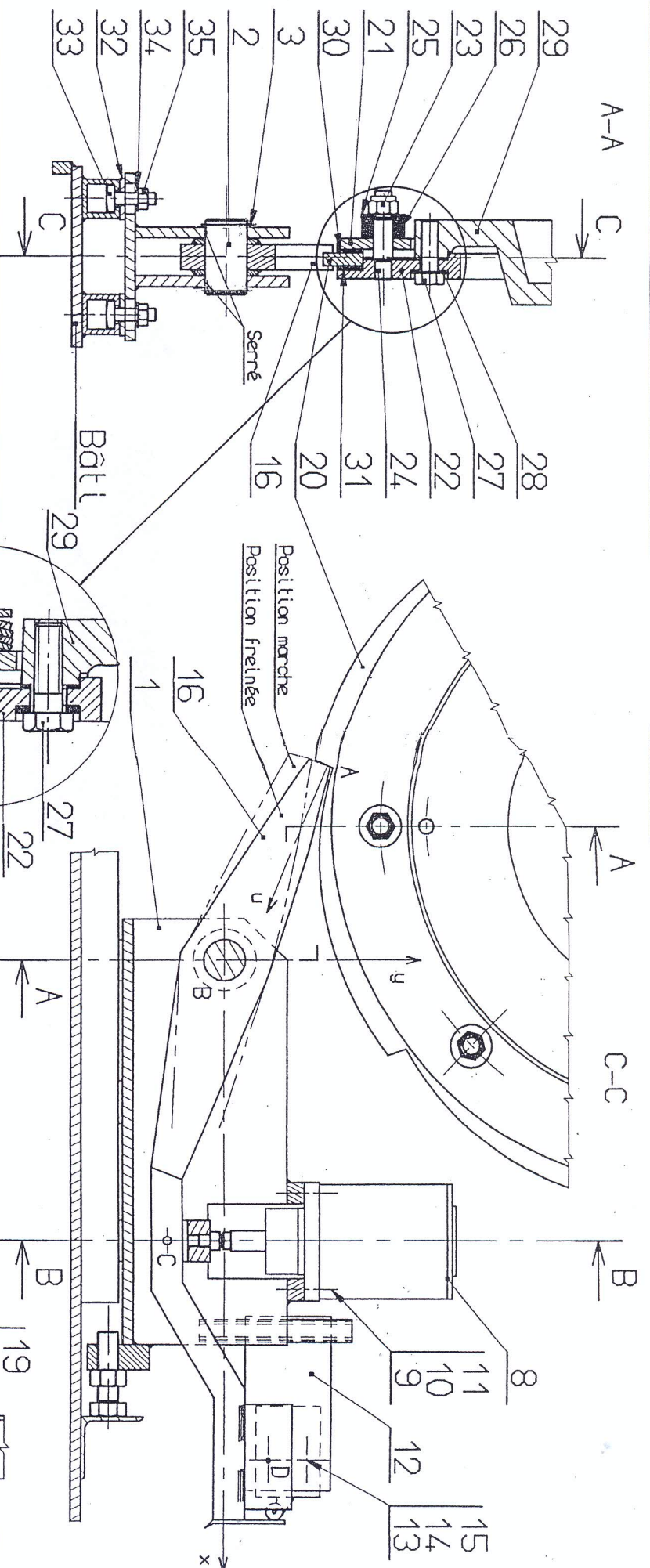
35	6	Ecrou hexagonal ISO 4032-M12-08		NF EN ISO 4032
34	6	Rondelle plate ISO 10673-Type N-12		NF EN ISO 10673
33	6	Vis Q, M12x40, 8.8		NF E 25-116
32	6	Cale	S235	
31	1	Garniture de frein	"Féodo"	
30	1	Garniture de frein	"Féodo"	
29	1	Moyeu support de roue à rochet		
28	6	Rondelle plate ISO 10673-Type N-16		NF EN ISO 10673
27	6	Vis à tête hexagonale ISO 4014 M16x50-8.8		NF EN ISO 4014
26	32	Rondelle ressort 20,4x40x2,25		
25	8	Rondelle plate ISO 10673-Type L-16		NF EN ISO 10673
24	8	Goujon M16x80-bm12-8.8		NF E 25-135
23	8	Ecrou hexagonal autofreiné ISO 7040-M16-08		NF EN ISO 7040
22	1	Disque de compression		
21	1	Disque de compression		
20	1	Couronne à rochet	51CrV4	
19	2	Ecrou hexagonal autofreiné ISO 7040-M10-08		NF EN ISO 7040
18	2	Vis à tête hexagonale ISO 4014 M10x20-8.8		NF EN ISO 4014
17	1	Contacteur		
16	1	Linguet d'arrêt	51CrV4	
15	2	Ecrou hexagonal ISO 4032-M5-08		NF EN ISO 4032
14	2	Rondelle à dents DEC 5		NF E 27-624
13	2	Vis à tête hexagonale ISO 4014 M5x25-8.8		NF EN ISO 4014
12	1	Support du contacteur	S235	
11	2	Ecrou hexagonal ISO 4032-M8-08		NF EN ISO 4032
10	2	Rondelle plate ISO 10673-Type N-8		NF EN ISO 10673
9	2	Vis à tête hexagonale ISO 4014 M8x40-8.8		NF EN ISO 4014
8	1	Culasse fixe de l'électro-aimant		
7	1	Tige de l'électro-aimant		
6	1	Ecrou hexagonal ISO 4032-M12-08		NF EN ISO 4032
5	1	Goupille cannelée ISO8742-8x30		NF EN-287
4	1	Chape	C22	
3	2	Anneau élastique pour arbre 40x1,75		NF E 22-163
2	1	Axe	C22	
1	1	Support de linguet	S235	
Rep.	Nbr.	Désignation	Matière	Observation



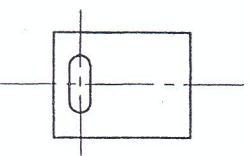
Taille	d	A	B	D	C	Couple transmissible en N/cm	Décalage angulaire maxi	Décalage maxi en mm
19	3-6	19	22	3	9,5	235	$0,75^\circ$	2,4
25	6-8-10	25	28,5	3,5	11	450	1°	3
41	10-12-16	41	51	5	17,5	2250	$1,25^\circ$	5



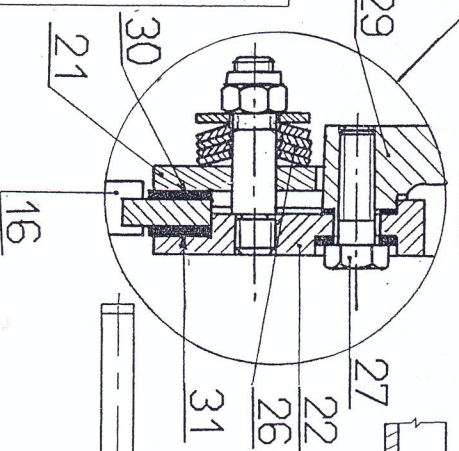
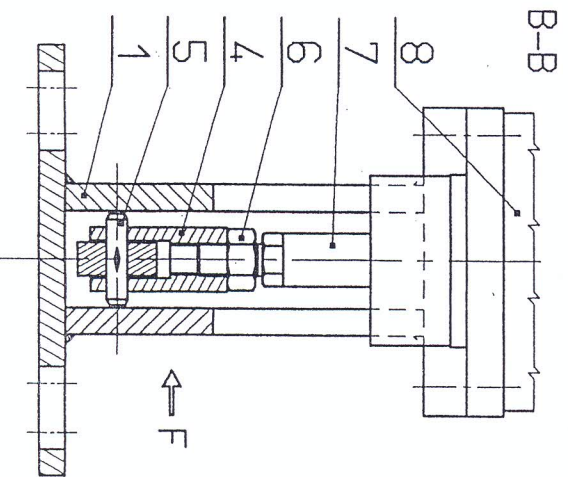
Type	Moment daN.m	A	B	C	D	E	F	G	H_{max}	J
MD28	18	93	45	24	42	45	70	3	28	2
MD38	28	103	62	20,5	55	50	85	3	38	2
MD45	72	123	64	29,5	64	60	100	3	45	3
MD55	180	134	70	32	80	65	120	4	55	3
MD65	290	154	78	38	95	75	140	4	65	3
MD85	500	155	92	39,5	122	75	175	5	85	3
MD100	860	196	98	49	145	95	195	6	100	3



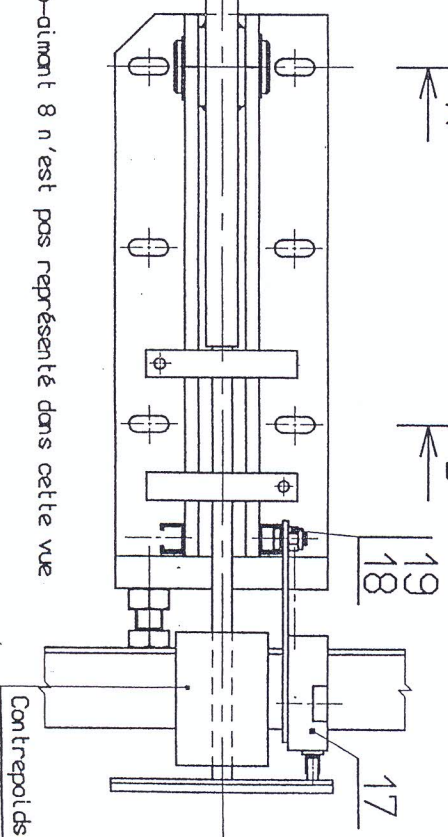
CHAPE 4
suivant F



Echelle 1:2



L'électro-aimant 8 n'est pas représenté dans cette vue



Contrepoids

FORMAT : A3

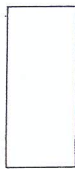
Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieurs de Sfax

ECHELLE : 1:4

ESCALIER MECANIQUE

FREIN DE SECOURS

Page 4/9



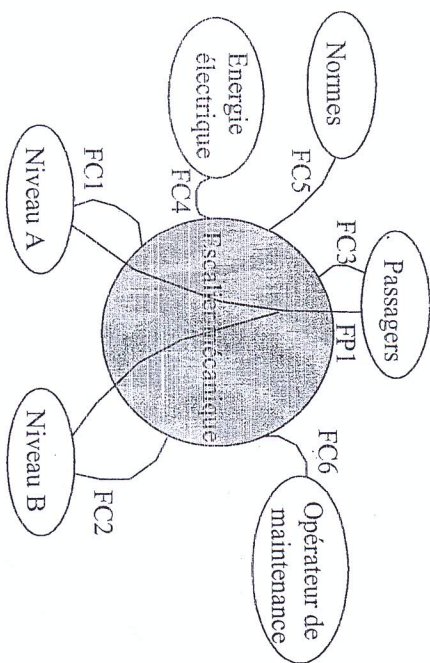
Ne rien écrire ici

PARTIE A : CONSTRUCTION MECANIQUE

Les pages (5/9), (6/9), (7/9), (8/9) et (9/9) correspondantes à la partie A doivent être rendues à la fin de l'épreuve.

I) Analyse fonctionnelle

On considère le diagramme pieuvre de l'escalier mécanique.



I-1) Recenser les fonctions de service de l'escalier mécanique.

FP1 :

FC1 :

FC2 :

FC3 :

FC4 :

FC5 :

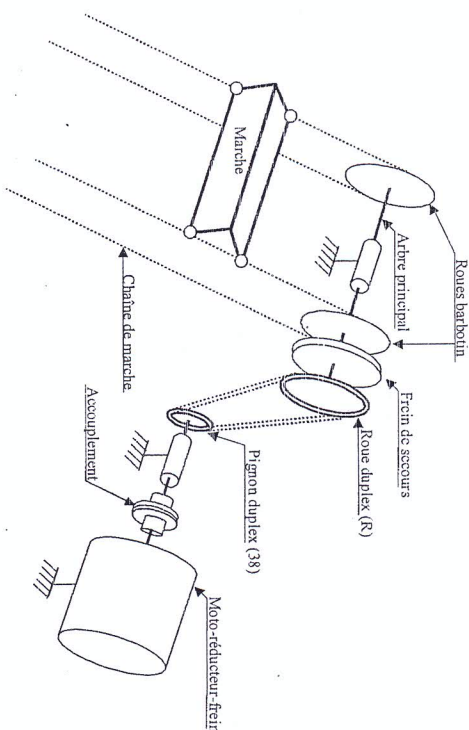
FC6 :

II) Etude de la transmission « moto-réducteur-frein/arbre principal »

La figure 3 représente le schéma cinématique de transmission de puissance du moto-réducteur-frein jusqu'aux marches de l'escalier mécanique.

Les caractéristiques de la transmission du moto-réducteur-frein/arbre principal sont :

- Puissance utile du moteur : $P_u = 15 \text{ Kw}$
- Rapport de transmission du réducteur : $i_0 = \frac{1}{21}$
- Rendement du réducteur : $\eta_1 = 0,85$
- Nombre de dents du pignon duplex (38) : $Z_{38} = 17 \text{ dents}$
- Nombre de dents de la roue duplex montée sur l'arbre principal : $Z_R = 110 \text{ dents}$
- Rendement de la transmission (pignon duplex-roue duplex-chaîne) : $\eta_2 = 0,9$



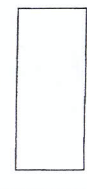
-figure 3-

II-1) Exprimer puis calculer la fréquence de rotation N_p de l'arbre principal.

II-2) Exprimer puis calculer la puissance utile P_p (maximale) au niveau de l'arbre principal.

Nom : Prénom :

Identifiant : Groupe :



Ne rien écrire ici

IV-1-2-2) Par une étude cinématique, déterminer le degré de mobilité m du mécanisme. Identifier la nature de chacune des mobilités déterminées.

On donne :

$$\overline{BC} = \begin{pmatrix} a \\ -b \\ 0 \end{pmatrix}$$

IV-1-2-3) En déduire le degré d'hyperstatisme h du mécanisme.

IV-1-2-4) Par une étude statique, déterminer les inconnues hyperstatiques du mécanisme.

IV-1-2-5) Proposer une autre liaison entre (S_1) et (S_2) pour rendre le mécanisme isostatique.

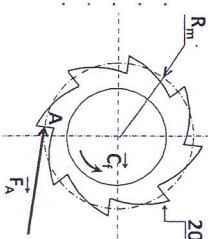
IV-2) Etude statique

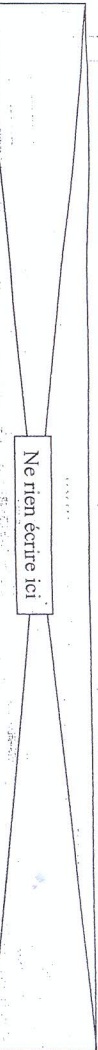
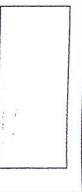
IV-2-1) Freinage de secours (électro-aimant non alimenté)

On se place, dans un premier temps, dans une situation où le frein de secours est actionné (en cours de freinage). L'axe (A, \vec{u}) représente la normale à la surface de contact en A entre le linguet (16) et la couronne à rochet (20) (voir dessin d'ensemble page (4/9)). Le prolongement de cette surface de contact passe par l'axe de (20).

- le couple de freinage : $C_f = 10000 \text{ Nm}$,
- le coefficient de frottement aux niveaux des surfaces frottantes est $\mu = 0,3$,
- le rayon intérieur de la surface de friction $r = 304 \text{ mm}$,
- le rayon extérieur de la surface de friction $R = 328 \text{ mm}$.

IV-2-1-2) En assimilant le contact linguet (16)/couronne à rochet (20) à un contact ponctuel, déterminer l'action mécanique F_A (tangentielle) du linguet (16) sur la couronne à rochet (20). On donne le rayon moyen de la couronne (20) : $R_m = 340 \text{ mm}$ (distance entre l'axe de (20) et le point A).





IV-2-1-3) Par application du principe fondamental de la statique (résolution analytique) au linguet (16), déterminer :

- l'action mécanique F_B exercée par l'axe (2) au point B,
- l'action mécanique F_D exercée par le contrepoids (3) au point D (voir dessin d'ensemble page (4/9)).

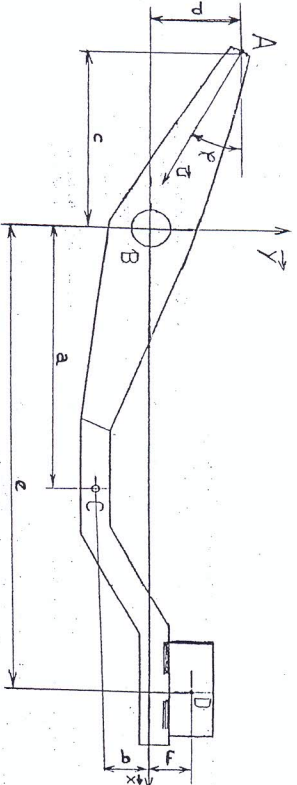
On suppose que :

- le plan (B, \vec{x}, \vec{y}) est le plan de symétrie du linguet (16), aussi bien pour la géométrie des liaisons que pour les actions mécaniques,

N.B. Le torseur d'une action mécanique de liaison en un point O qui s'écrit $\{T\} = \begin{pmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ Z & N \end{pmatrix}_O$

peut être simplifié dans le cas d'un système plan (O, \vec{x}, \vec{y}) comme suit : $\{T\} = \begin{pmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ 0 & N \end{pmatrix}_O$

- toutes les liaisons sont supposées parfaites,
- on néglige le poids du linguet (16) par rapport aux autres actions mécaniques,
- on néglige le poids de l'équipage mobile de l'électro-aimant,
- l'angle $\varphi(\vec{x}, \vec{u}) = 26^\circ$.



-Figure 6:-

On donne :
 $a = 278\text{mm}$, $b = 54\text{mm}$, $c = 194\text{mm}$, $d = 94\text{mm}$, $e = 492\text{mm}$, $F = 42\text{mm}$.

IV-2-2) Remise en marche de l'escalier mécanique

Pour la remise en marche après le freinage de secours, l'opérateur de maintenance doit donner une impulsion au moteur électrique pour l'entraîner dans le sens de la montée. Ceci va permettre de débloquer le linguet (16) de la roue à rochet (20). Dans cette situation le linguet (16) brouette sur le profil de la roue à rochet. L'opérateur alimente par la suite l'électro-aimant ((7), (8)) pour vaincre l'action mécanique du contrepoids (3). Le linguet (16) est alors basculé vers la position marche. L'opérateur peut donc mettre le moteur en marche dans le sens sélectionné pour la remise de nouveau de l'escalier mécanique en marche:

Par application du principe fondamental de la statique (résolution analytique) au linguet (16) dans sa nouvelle position marche, déterminer l'action mécanique F_C exercée par l'électroaimant au point C.

On suppose là aussi que :

- le plan (B, \vec{x}, \vec{y}) est le plan de symétrie du linguet (16), aussi bien pour la géométrie des liaisons que pour les actions mécaniques,
- toutes les liaisons sont supposées parfaites,
- on néglige le poids du linguet (16) par rapport aux autres actions mécaniques,
- pour simplifier les calculs on suppose que les coordonnées des points C et D restent inchangées entre la position freinage de secours et la position marche.

V) Etude de conception

Compléter, sur le dessin de la page (9/9) et à l'échelle 1:2, le dessin de conception de la partie motrice de l'escalier mécanique en assurant :

- le guidage en rotation de l'arbre (37) par rapport au bâti par deux roulements type BS (36) et (40),
- la liaison complète du pignon duplex (38) avec l'arbre (37),
- l'accouplement de l'arbre de sortie du moto-réducteur-frein avec l'arbre (37) (choisir l'accouplement approprié dans le document page (3/9) sachant que le diamètre de l'arbre de sortie du moto-réducteur-frein est $d = \phi 64h6$),
- l'étanchéité du mécanisme,
- la cotation des assemblages fonctionnels.

Ne rien écrire ici

MOTOREDUCTEUR FREIN

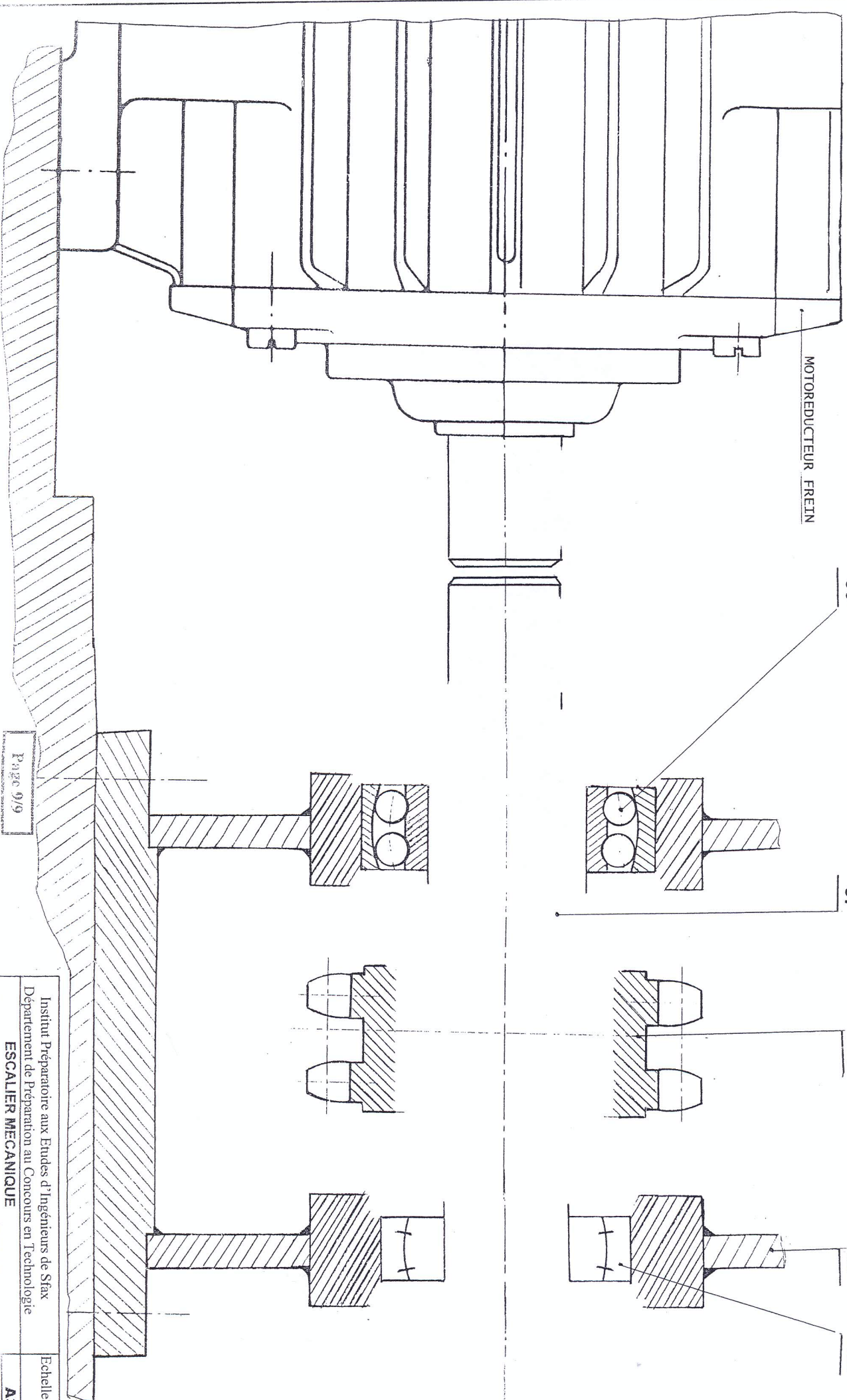
36

37

38

39

40



Devoir de synthèse du premier semestre
Systèmes Techniques Automatisés (STA)

Partie Automatique

Date : 14/12/2018. Durée : 1h 30mn.

I. Présentation

Le procédé chimique considéré est composé de deux cuves chauffées, agitées et disposées en série. L'objectif du système de commande est de maintenir la température $\theta_2(t)$ de sortie de la deuxième cuve à une température de consigne $\theta_c(t)$ en agissant sur les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ des réchauffeurs électriques. Le principe de fonctionnement de ce procédé est représenté sur la figure 1.

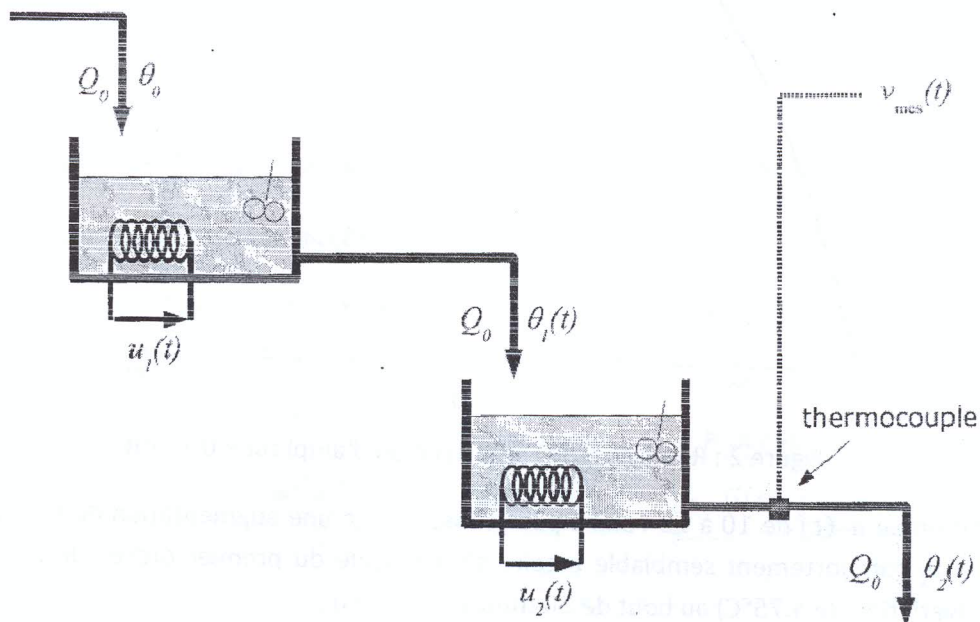


Figure 1 : Schéma fonctionnel du procédé chimique.

On considère que :

- le système est en équilibre du point de vue des débits : tous les débits entrants et sortants sont constants (égaux à Q_0), le volume de liquide dans chaque cuve étant alors également constant ;
- la température du liquide d'entrée de la première cuve est constante et égale à θ_0 ;
- le thermocouple (capteur de la température $\theta_2(t)$ renvoyant la mesure $v_{mes}(t)$) est parfaitement linéaire et se comporte comme un gain $K_t = 0.15 \text{ V}/^\circ\text{C}$.

Ce système n'est pas linéaire dans son fonctionnement global (échanges thermiques). Toutefois, en considérant un point de fonctionnement du système et des petites variations des différents signaux autour de ce point, l'analyse peut raisonnablement se faire sur un modèle linéarisé. C'est dans cette hypothèse que nous travaillons ici.

II. Modélisation (modèle de représentation autour d'un point de fonctionnement)

Plusieurs expériences ont été menées sur le procédé à partir de l'état d'équilibre choisi comme point de fonctionnement :

– une variation de type échelon de 0.1 volt sur l'entrée $u_1(t)$ a conduit à l'évolution de la température $\theta_1(t)$ représentée sur la figure 2 ;

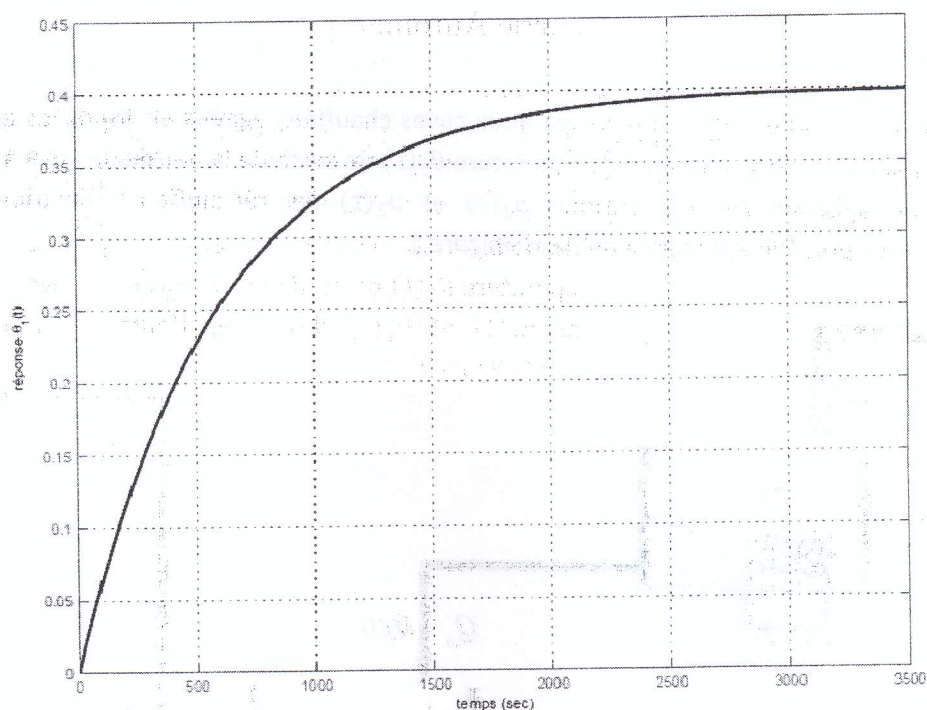


Figure 2 : Réponse $\theta_1(t)$ à un échelon d'amplitude 0.1 volt.

– une augmentation de $u_2(t)$ de 10 à 12 volts a pour conséquence une augmentation de la température $\theta_2(t)$ de 85 à 90°C avec un comportement semblable à celui d'un modèle du premier ordre ; $u_2(t)$ atteint 95% de sa variation totale (variation de 4.75°C) au bout de 30 minutes (1800s) ;

– on donne la fonction de transfert $G_3(p) = \frac{\theta_2(p)}{\theta_1(p)} = \frac{1}{1+1200p}$.

1) Ecrire les fonctions de transfert $G_1(p) = \frac{\theta_1(p)}{u_1(p)}$ et $G_2(p) = \frac{\theta_2(p)}{u_2(p)}$;

2) Commenter la fonction de transfert $G_3(p)$;

3) Représenter le schéma bloc du procédé.

III. Asservissement en température du procédé

III.1. Correction sur la commande $u_2(t)$

On souhaite asservir le système avec une correction sur le signal $u_2(t)$. On réalise l'asservissement de température du procédé comme indiqué sur le schéma bloc de la figure 3 avec une loi de commande $D(p) = K$.

$\theta_c(t)$ est le signal de consigne.

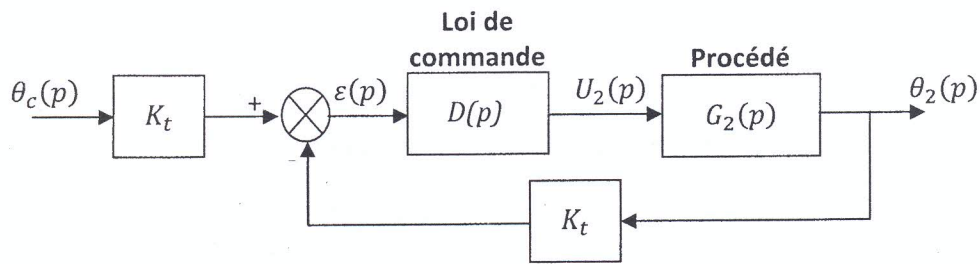


Figure 3 : Schéma bloc de l'asservissement en considérant la correction sur la commande $u_2(t)$.

4) Discuter des notions d'asservissement et de régulation du système ;

5) Ecrire la fonction de transfert en boucle fermée $F_2(p) = \frac{\theta_2(p)}{\theta_c(p)}$. L'écrire sous forme canonique et en faire l'analyse en fonction de la valeur de correction K .

6) Exprimer $\varepsilon(+\infty) = \theta_c(+\infty) - \theta_2(+\infty)$, la calculer pour une consigne échelon unitaire et pour deux valeurs de K , respectivement 1 et 5. Conclure.

7) Représenter l'allure de la réponse indicielle unitaire $\theta_2(t)$ pour $K = 1$, et préciser les valeurs $\theta_2(0^+)$, $\theta_2(+\infty)$ et $t_{r\text{à}5\%}$.

8) Tracer le diagramme de Bode asymptotique de $F_2(j\omega)$ pour $K = 1$, et préciser les points remarquables.

III.2. Correction sur la commande $u_1(t)$

On asservit désormais le procédé en température en réglant le signal $u_1(t)$ qui devient signal de commande (figure 4) avec une loi de commande $D(p) = K$.

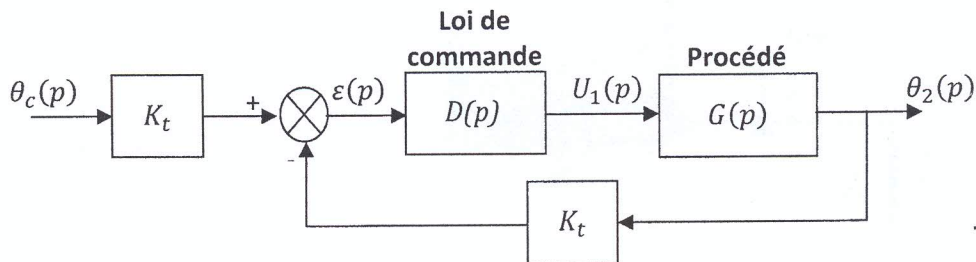


Figure 4 : Schéma bloc de l'asservissement en considérant la correction sur la commande $u_1(t)$.

avec $G(p) = \frac{\theta_2(p)}{U_1(p)} = \frac{5,56 \cdot 10^{-6}}{p^2 + 2,5 \cdot 10^{-3}p + 1,39 \cdot 10^{-6}}$.

9) Ecrire la fonction de transfert en boucle fermée $F_1(p) = \frac{\theta_2(p)}{\theta_c(p)}$. L'écrire sous forme canonique et en faire l'analyse en fonction de la valeur de correction K ;

10) A partir de l'application numérique, calculer les pôles de la fonction de transfert $F_1(p)$. Discuter de leur nature (et du comportement dynamique de l'asservissement) en fonction de la valeur de K ;

11) Tracer le diagramme de Bode asymptotique de $F_1(j\omega)$ pour $K = 1$, et préciser les points remarquables.

IV. Comparaison

12) Comparer qualitativement la correction sur $u_1(t)$ et sur $u_2(t)$.

Examen de fin du premier semestre Systèmes Techniques Automatisés

Partie Mécanique des solides indéformables
Section : P.T.2

N.B : Cette partie doit être traitée sur une feuille séparée

Étude d'un Mécanisme de levage

Le mécanisme schématisé ci-dessous représente un dispositif de levage constitué d'un vérin de corps (1) et de tige (2) et d'un levier (3) en mouvement par rapport au bâti (0). La translation de la tige vérin (2) provoque le basculement du levier (3) et la montée de la charge située au point C.

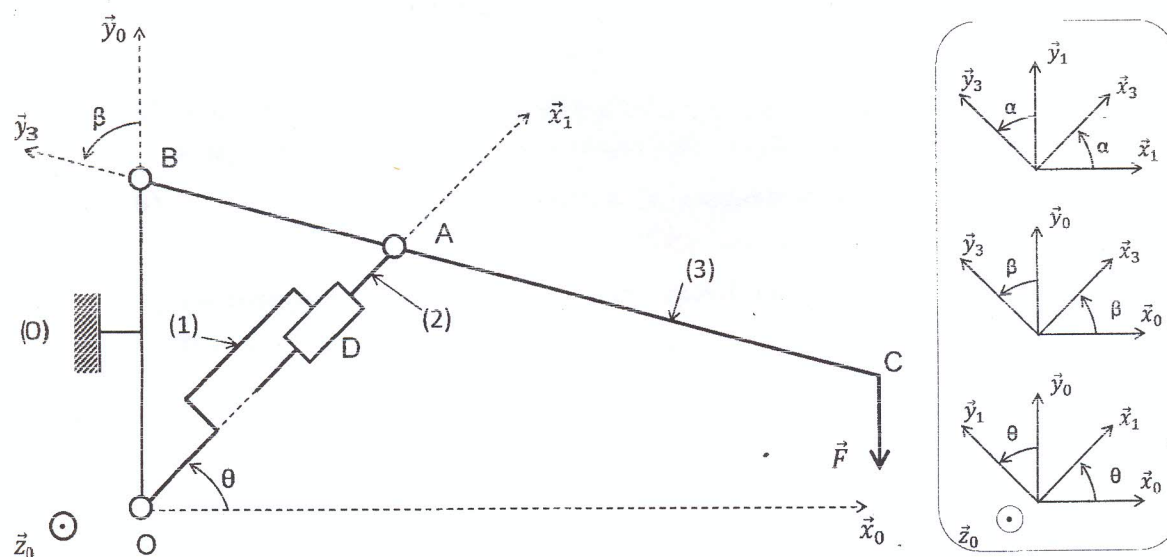


FIGURE 1 – Schémas cinématique minimal du dispositif de levage

On propose le paramétrage suivant :

- Le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au bâti (0) ;
- Le repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ lié au corps du vérin (1), avec $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$;
- Le repère $R_2(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ lié à la tige du vérin (2) ;
- Le repère $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ lié au levier (3), avec $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$.

Hypothèses

- Le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au bâti (0) est supposé galiléen ;
- Le corps du vérin (1) est de centre d'inertie G_1 , de masse m_1 et de moment principal d'inertie I_1 par rapport à l'axe (O, \vec{z}_0) ;
- La tige (2) est de masse m_2 de centre de masse G_2 et de moment principal d'inertie I_2 par rapport à l'axe (G_2, \vec{z}_0) ;
- Le levier (3) est de masse m_3 de centre de masse G_3 et de moment principal d'inertie I_3 par rapport à l'axe (B, \vec{z}_0) ;
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites ;
- On néglige l'action de la pesanteur devant les autres actions mécaniques ;
- L'action du fluide (non représentée) sur la tige du vérin (2) est modélisée par le torseur suivant :

$$\{\tau(\text{fluide} \rightarrow 2)\}_{G_2} = \begin{Bmatrix} F_v & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B_1}$$

- La charge à soulever exerce sur le levier (3) une force $\vec{F} = -F\vec{y}_0$ appliquée au point C ;
- On considère le système plan. Le torseur d'action mécanique transmissible par la liaison entre les solides (i) et (j) en un point M sera noté dans une base $B_k(\vec{x}_k, \vec{y}_k, \vec{z}_k)$ comme suit :

$$\{\tau(i \rightarrow j)\}_M = \begin{Bmatrix} X_{ij} & 0 \\ Y_{ij} & 0 \\ 0 & N_{ij} \end{Bmatrix}_{B_k}$$

On donne :

$$\begin{aligned} \vec{OA} &= (\lambda(t) + d)\vec{x}_1, \vec{AB} = a\vec{y}_3, \vec{OB} = b\vec{y}_0, \vec{CB} = L\vec{y}_3, \vec{OD} = h\vec{x}_1 \\ \vec{OG}_1 &= c\vec{x}_1, \vec{OG}_2 = \lambda(t)\vec{x}_1, \vec{BG}_3 = -e\vec{y}_3 \end{aligned}$$

Étude cinématique

L'objectif de l'étude cinématique est de déterminer la variation de la vitesse de rotation du levier (3) en fonction de la vitesse d'ouverture de la tige du vérin.

- 1) Déterminer les vecteurs instantanés de rotations $\vec{\Omega}(1/0)$ et $\vec{\Omega}(3/0)$.
- 2) Déterminer le torseur cinématique du mouvement de (2) par rapport à (1) au point A.
- 3) Déterminer par composition de mouvement le vecteur vitesse $\vec{V}(A \in 2/0)$.
- 4) Déterminer le torseur cinématique du mouvement de (3) par rapport à (0) au point B. En déduire le vecteur vitesse $\vec{V}(A \in 3/0)$. L'exprimer dans la base B_1 .
- 5) Déterminer les relations qui relient $\dot{\beta}$, $\dot{\lambda}$ et $\dot{\theta}$.

Étude cinétique

- 1) Déterminer le torseur cinétique :
 - a) du mouvement de (1) par rapport à R_0 au point O.
 - b) du mouvement de (2) par rapport à R_0 au point G_2 .
 - c) du mouvement de (3) par rapport à R_0 au point B.
- 2) Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble matérielle $S = \{1, 2, 3\}$ dans son mouvement par rapport à R_0 .

Étude Dynamique

L'objectif de cette étude est la caractérisation du vérin.

- 1) Écrire dans la base B_1 les torseurs associés aux actions mécaniques transmissibles par les liaisons suivantes : $\{\tau(0 \rightarrow 1)\}_O$, $\{\tau(2 \rightarrow 1)\}_D$, $\{\tau(3 \rightarrow 2)\}_A$, $\{\tau(0 \rightarrow 3)\}_B$.
- 2) Appliquer au point O le théorème du moment dynamique à (1) dans son mouvement par rapport à R_0 . Déduire l'équation scalaire qui en découle.
- 3) Déterminer au point G_2 et dans la base B_1 le torseur des actions mécaniques extérieures appliquées sur la tige (2) : $\{\tau(2 \rightarrow 2)\}_{G_2}$.
- 4) Déterminer au point G_2 le torseur dynamique de (2) dans son mouvement par rapport à R_0 .
- 5) Appliquer le principe fondamental de la dynamique à (2) dans son mouvement par rapport à R_0 . Déduire les équations scalaires qui en découlent.
- 6) Appliquer au point B le théorème du moment dynamique à (3) dans son mouvement par rapport à R_0 . Déduire l'équation scalaire qui en découle.
- 7) La méthodologie ainsi réalisée permet-elle de caractériser la force F_V du vérin (justifier votre réponse).