

UNIVERSITÉ DE SFAX

A.U : 2017/2018

* * * * *

Institut Préparatoire aux Études
d'Ingénieur de Sfax

Le 04/05/2018

Examen de fin du deuxième semestre

Le sujet Comporte deux parties indépendantes qui seront traitées sur des feuilles séparées :

- Partie A : Mécanique des Solides Indéformables
- Partie B : Automatique (Devoir de Contrôle)

Toute documentation autre que celle fournie est interdite

Partie A : Mécanique des Solides Indéformables

Étude d'une Échelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle

Une E.P.A.S. est une Échelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle. Ce système est monté sur le châssis d'un camion de pompiers et permet de déplacer une plate-forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard le plus rapidement possible et en toute sécurité.



L'étude porte sur les quatre parties suivantes :

- Analyse fonctionnelle du système de pivotement
- Commande des vérins
- Dimensionnement des vérins
- Étude du système de déploiement de l'échelle

Présentation de l'E.P.A.S.

Le déplacement de la plate-forme est réalisé suivant trois axes :

- * Le déploiement du parc échelle (axe 1) : chaque plan de l'échelle peut se translater par rapport aux autres ; seul le quatrième plan d'échelle est solidaire du berceau.
- * Le pivotement autour de l'axe Y (axe 2) : la tourelle 1 peut pivoter par rapport au châssis autour d'un axe vertical.
- * La rotation autour de l'axe Z (axe 3) : le berceau peut tourner par rapport à la tourelle 2 autour d'un axe horizontal.

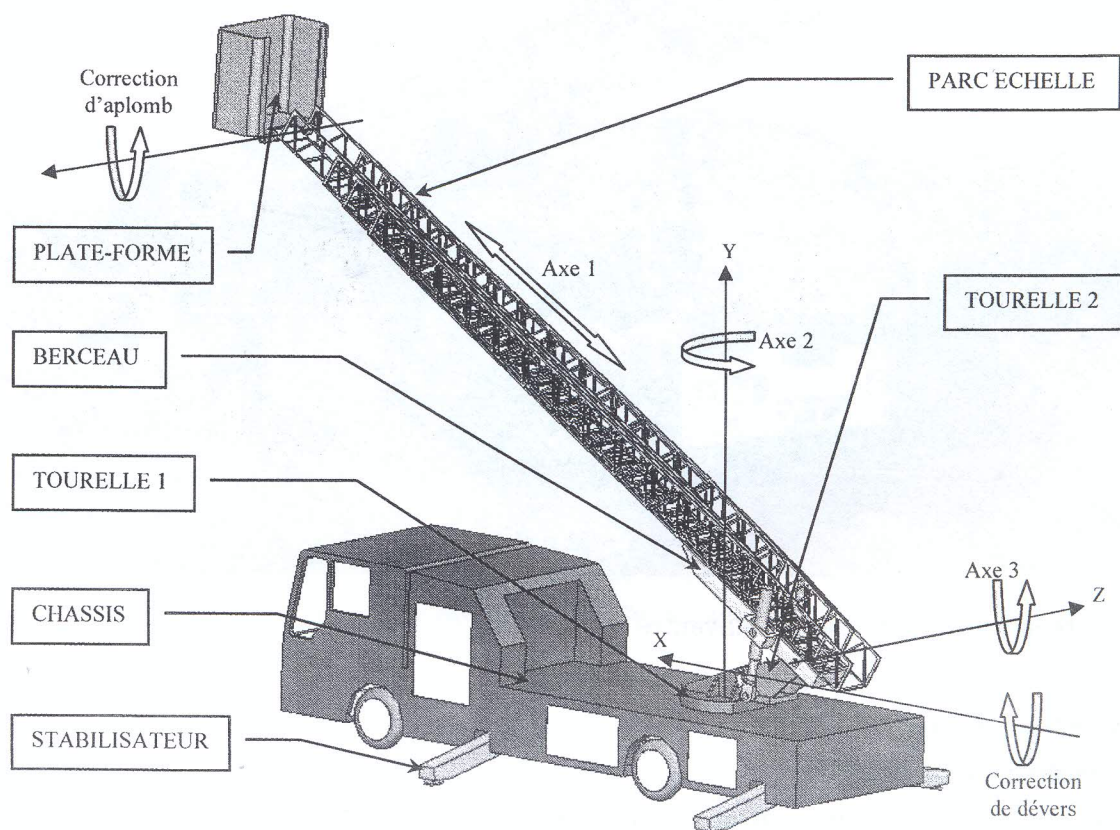
Pour garantir la sécurité, le système maintient toujours la plate-forme en position horizontale :

- * La correction d'aplomb oriente la plate-forme autour d'un axe horizontal parallèle à l'axe Z.
- * La correction de dévers oriente l'ensemble parc échelle et plate-forme autour de l'axe X : la tourelle 2 s'oriente par rapport à la tourelle 1 suivant un axe perpendiculaire aux axes 3 et 2.

Lors des déplacements suivant les axes 2 et 3, le système « VARIMAX » de commande des actionneurs maintient la vitesse de la plate-forme la plus constante possible afin de limiter les mouvements de balancier qui résulteraient d'une commande trop « brusque ».

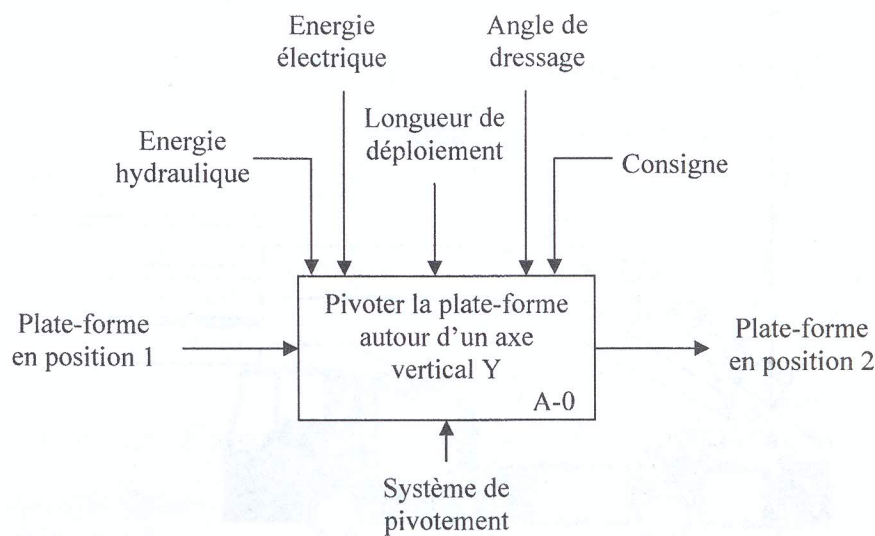
Un système de sécurité peut, à tout moment, stopper le déplacement de la plate-forme s'il y a un risque de basculement du camion porteur :

- Des capteurs d'efforts placés sur le parc échelle permettent de tenir compte de la charge dans la plate-forme.
- Des capteurs de position sur les trois axes permettent de définir la position de la plate-forme.
- Des capteurs inductifs détectent la position de sortie des stabilisateurs.



I. Analyse fonctionnelle

Le système de pivotement réalise la rotation de la plate-forme autour d'un axe vertical Y. On donne le diagramme SADT niveau A-0 du système de pivotement.



Le système de pivotement est constitué de :

- Un moteur hydraulique alimenté par un distributeur.
- Un système de commande « VARIMAX » qui tient compte de la longueur de déploiement et de l'angle de dressage du parc échelle.
- Un réducteur à engrenages qui entraîne en rotation l'ensemble des tourelles 1 et 2.

Question I.1. Compléter, sur le document réponse, le diagramme SADT niveau A0 donné, en reportant sur ce diagramme uniquement les lettres des propositions du tableau (toutes les propositions ne sont pas à utiliser).

II. Commande des vérins

L'objet de cette partie est de déterminer la commande que le système « VARIMAX » doit élaborer pour que la vitesse de déplacement de la plate-forme soit constante lors du dressage ou de l'abaissement.

Pendant la phase de dressage, les tourelles 1 et 2 sont fixes par rapport au châssis du camion ; seul le berceau pivote autour de l'axe A, entraînant avec lui le parc échelle et la plate-forme. Ce mouvement est obtenu grâce aux vérins hydrauliques articulés en B et C avec la tourelle 2 et le berceau.

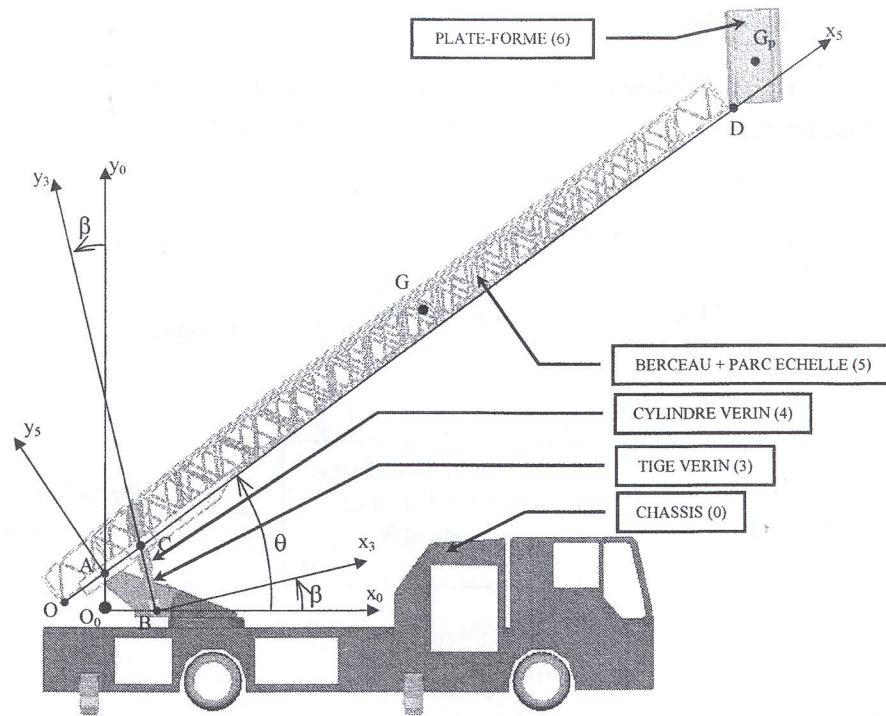
On propose le paramétrage suivant :

- Le repère galiléen $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié au châssis (0) ;
- Le repère $R_5(A, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$ est lié à l'ensemble berceau+parc échelle (5) ;
- Le repère $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ est lié au vérin (3+4) ;

avec :

$$\overrightarrow{O_0A} = a\vec{y}_0 ; \overrightarrow{AC} = c\vec{x}_5 ; \overrightarrow{AD} = H\vec{x}_5 \text{ et } \theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_5) \text{ où } a, c \text{ et } H \text{ sont des constantes.}$$

$$\overrightarrow{O_0B} = b\vec{x}_0 , \overrightarrow{BC} = r\vec{y}_3 \text{ et } \beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) \text{ où } b \text{ est une constante.}$$



Question II.1. Exprimer la vitesse du point D du parc échelle dans son mouvement par rapport au châssis : $\vec{V}(D \in 5/0)$ en fonction de la vitesse angulaire de dressage $\dot{\theta}$ et des paramètres géométriques.

Question II.2. En faisant une fermeture de chaîne cinématique ((0-1-2)-3-4-5-(0-1-2)), déterminer la vitesse de sortie du vérin $\vec{V}(C \in 4/3) = v\vec{y}_3$ en fonction de la vitesse angulaire de dressage $\dot{\theta}$ et des paramètres géométriques.

Question II.3. En écrivant une fermeture de chaîne géométrique, établir la relation suivante :

$$\tan \beta = \frac{b - c \cos \theta}{a + c \sin \theta}$$

Question II.4. Dédurre des questions précédentes la vitesse de sortie v des vérins en fonction de θ et H et des constantes a, b, c pour que la vitesse du point D du parc échelle soit constante.

III. Dimensionnement des vérins

L'objet de cette partie est de déterminer la taille des vérins à utiliser dans cette chaîne fonctionnelle. On tiendra compte dans cette partie, du fait que la plate-forme reste toujours horizontale.

Les deux vérins doivent être capables de déplacer l'ensemble du parc échelle et la plate-forme chargée.

- * Le parc échelle (5) : on notera la matrice d'inertie du parc échelle au point G (son centre de gravité) dans la base $(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$:

$$[I_G(5)] = \begin{bmatrix} I_{GX} & 0 & 0 \\ 0 & I_{GY} & 0 \\ 0 & 0 & I_{GZ} \end{bmatrix} (\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$$

Le parc échelle a une masse notée $3m$ et une longueur notée L . Son centre de gravité G est tel que :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{L}{2} \vec{x}_5 + \frac{h}{3} \vec{y}_5$$

Le parc échelle est solidaire du berceau avec $\overrightarrow{OA} = d\vec{x}_5$.

- ★ La plate-forme chargée (6) : pendant le redressement ou l'abaissement, la plate-forme reste toujours horizontale. Sa masse, une fois chargée, sera notée M et son centre de gravité est le point G_P tel que :

$$\overrightarrow{DG_P} = \lambda \vec{x}_0 + \mu \vec{y}_0$$

On notera la matrice d'inertie de la plate-forme chargée au point G_P (son centre de gravité) dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$:

$$[I_{G_P}(6)] = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)}$$

- ★ Le berceau (5) : sa masse sera négligée devant les autres masses. Il est incliné par rapport à l'horizontal d'un angle θ fonction du temps.
- ★ Les vérins (3+4) : leurs masses seront négligées devant les autres masses. Ils devront exercer un effort, modélisé par un glisseur de résultante $\vec{R} = R\vec{y}_3$, permettant le déplacement θ .

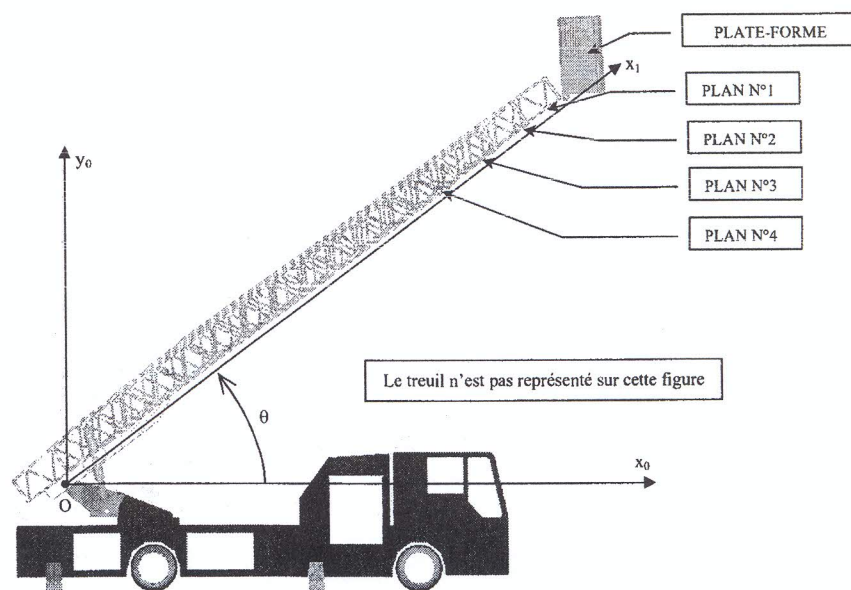
Question III.1. Déterminer l'expression du moment dynamique en A de l'ensemble parc échelle + berceau (5) par rapport au châssis (0) : $\delta_{A(5/0)}$.

Question III.2. Déterminer l'expression du moment dynamique en A de la plate-forme (6) par rapport au châssis (0) : $\delta_{A(6/0)}$.

Question III.3. Isoler l'ensemble $\{5 + 6\}$ et appliquer le théorème du moment dynamique en A. Déterminer alors l'expression de l'effort R que devra fournir l'ensemble des deux vérins sur le berceau, en fonction des masses, des paramètres géométriques, de l'angle θ et de ses dérivées.

IV. Étude du système de déploiement de l'échelle

Le système de déploiement de l'échelle permet la translation de la plate-forme suivant l'axe 1.



L'objet de cette partie est de définir la puissance motrice nécessaire pour ce mouvement.

On note $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ le repère galiléen lié au châssis et $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ le repère lié au berceau.

★ Le parc échelle :

Le parc échelle est redressé d'un angle θ constant par rapport à l'horizontal. Les plans du parc échelle ont tous la même masse notée M . Leur centre de gravité sera noté G_i , i étant le numéro du plan. Chaque plan du parc échelle se translate par rapport au châssis, suivant $\vec{x}_1$ à une vitesse deux fois plus grande que le plan suivant :

$$\vec{V}(P \in \text{plan}(i)/R_0) = 2\vec{V}(P \in \text{plan}(i+1)/R_0)$$

Le guidage des plans les uns par rapport aux autres engendre des efforts s'opposants aux mouvements que l'on modélisera par un glisseur dont le module de la résultante sera noté F constant.

★ La plate-forme :

La plate-forme de centre de gravité G_P a une masse notée m , et se translate par rapport au châssis suivant $\vec{x}_1$ à une vitesse notée $V(t)$.

★ Le treuil :

Un treuil de rayon R tourne à une vitesse de rotation notée ω . Le moment d'inertie du treuil par rapport à son axe de rotation, sera noté I . Le moment du couple moteur exercé par l'ensemble moto réducteur hydraulique sera noté C .

Question IV.1. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne de la plate-forme et des quatre plans du parc échelle en fonction de $V(t)$ et des différentes masses.

Question IV.2. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne du treuil

Question IV.3. Déterminer la puissance galiléenne des actions extérieures à l'ensemble $(S) = (\text{treuil} + \text{parc échelle} + \text{plate-forme})$

Question IV.4. Déterminer la puissance des actions intérieures de ce même ensemble (S) .

Question IV.5. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble (S) . En déduire l'expression du couple moteur nécessaire pendant la première phase de mouvement.

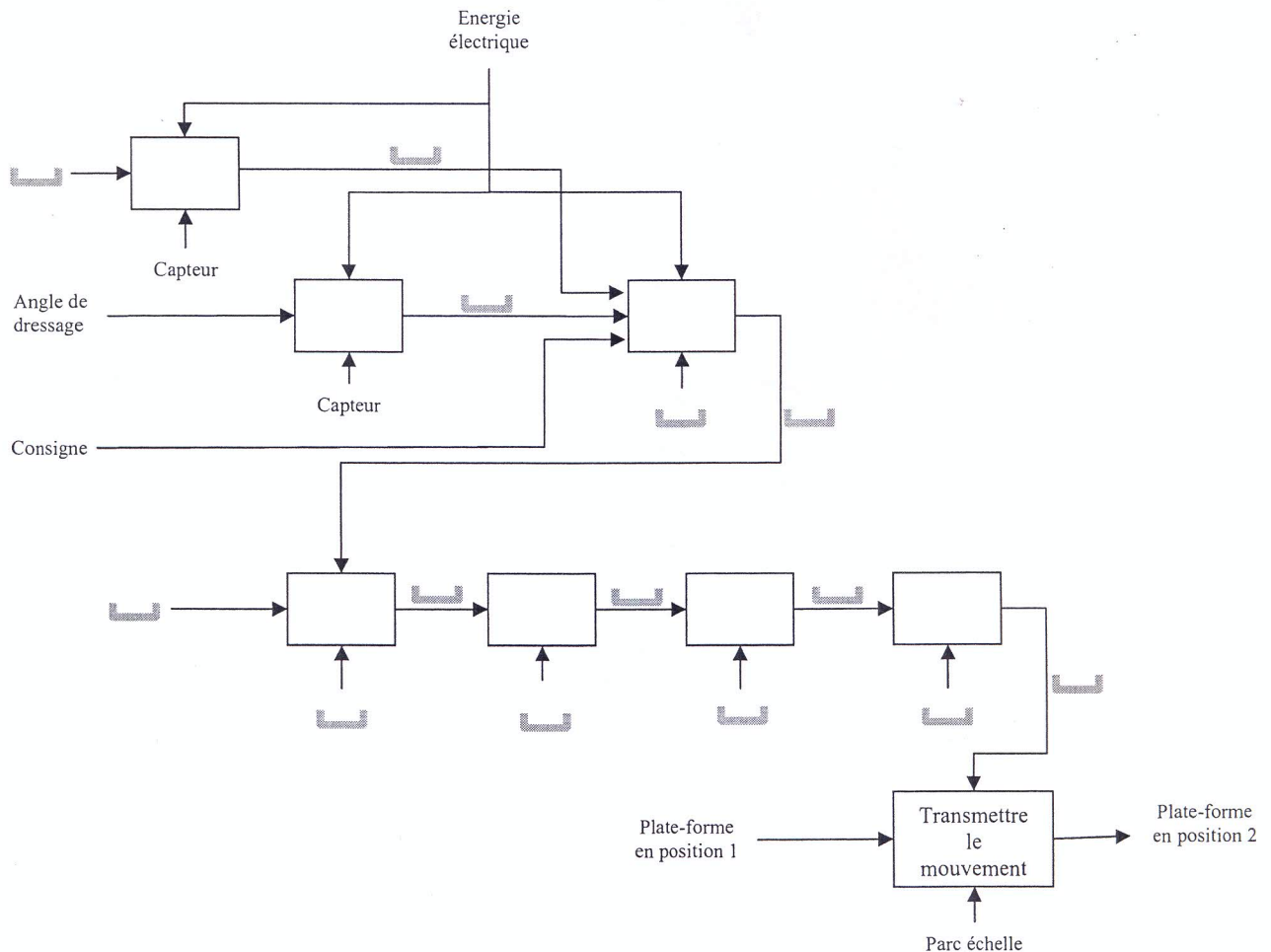
Nom :

Prénom :

CIN / Numéro d'inscription pour les étrangers :

Document réponse

Question I.1. Compléter le diagramme SADT niveau A0 donné, en reportant sur ce diagramme uniquement les lettres des propositions du tableau.



A	Mesurer l'angle de dressage	J	Mesurer la vitesse de déploiement	S	Créer de l'énergie mécanique
B	Système « VARIMAX »	K	Mouvement de translation	T	Image de l'angle de dressage
C	Vitesse de rotation $\omega_2(>\omega_1)$	L	Vitesse de rotation $\omega_1(<\omega_2)$	U	Image de la longueur de déploiement
D	Gérer l'énergie	M	Transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique	V	Réducteur à engrenage
E	Tourelles 1 et 2	N	Mesurer la vitesse de rotation	W	Distributeur hydraulique
F	Mesurer la longueur de déploiement	O	Réduire la vitesse	X	Longueur de déploiement
G	Energie hydraulique	P	Transmettre le mouvement	Y	Moteur à courant continu
H	Moteur hydraulique	Q	Ordre de commande	Z	Mouvement de rotation
I	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	R	Elaborer la commande		

EPREUVE de STA

Devoir d'Automatique

Groupes : PC2-MP2

On étudie l'asservissement en position angulaire des pales d'un aérogénérateur dont la solution technologique proposée est présentée sur la figure 1.

Les principaux éléments de ce système sont :

- Un moteur électrique à courant continu,
- Un réducteur de vitesse,
- Un amplificateur alimentant le moteur.

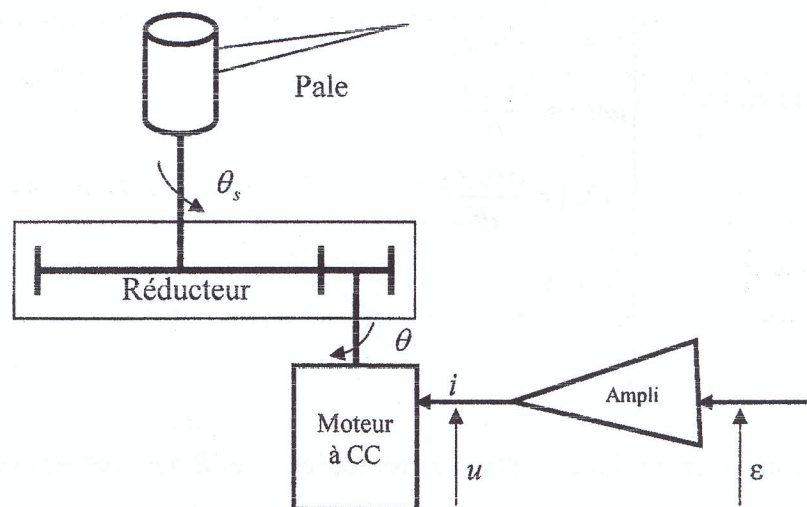


Figure 1 : Schéma technologique simplifié du système

Le fonctionnement de ce système s'effectue à partir d'un bloc de commande, en actionnant le moteur électrique. Ce moteur développe un couple moteur permettant le réglage de la position de la pale. Le schéma bloc simplifié du système considéré est donné par la figure suivante :

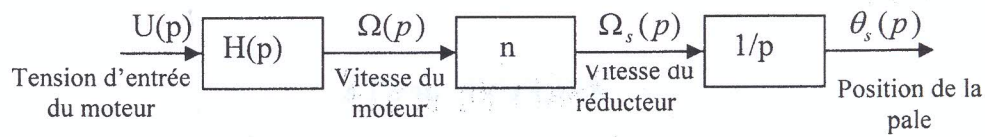


Figure 2 : Schéma bloc simplifié du système

Le moteur à courant continu considéré est commandé par l'induit. Il est alimenté par une tension u et parcouru par un courant i . le fonctionnement de ce moteur est modélisé par les équations suivantes :

Equations électriques :

$$\begin{cases} u(t) = e(t) + R.i(t) + L.\frac{di(t)}{dt} \\ e(t) = k_1.\omega(t) \end{cases}$$

Equations mécaniques :

$$\begin{cases} c_m(t) = n.c_r(t) + f.\omega(t) + J.\frac{d\omega(t)}{dt} \\ c_m(t) = k_2.i(t) \\ J = J_m + n^2.J_c \\ f = f_m + n^2.f_c \\ \omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \\ \omega_s(t) = \frac{d\theta_s(t)}{dt} \\ \frac{\theta_s}{\theta} = n \end{cases}$$

Où t est le temps, e est la force contre électromotrice, L et R sont respectivement l'inductance et la résistance de l'induit, k_1 est le coefficient de la force électromotrice du moteur, ω est la vitesse de rotation de l'arbre du moteur, c_m représente le couple délivré par le moteur, c_r désigne le couple résistant, J_m est le moment d'inertie de la partie tournante du moteur, J_c est le moment d'inertie de la pale, f_m est le coefficient de frottement visqueux du moteur, f_c est le coefficient de frottement visqueux de la pale, f et J représentent respectivement les frottements visqueux et les inerties de l'ensemble moteur et pale, k_2 est le coefficient du couple du moteur.

Notation :

- n est le rapport de réduction du réducteur.
- p est l'opérateur de Laplace de sorte que $F(p)$ désigne la transformée de Laplace de $f(t)$.
- t étant le temps.
- $\Omega(p) = L(\omega(t))$ et $\Omega_s(p) = L(\omega_s(t))$.

Valeurs numériques :

$R=0.01\Omega$; $L=0.4H$; $k_1=0.02\text{v/rd.s}^{-1}$; $k_2=0.03\text{m.N/A}$; $f_m=0.01\text{N.m/rd.s}^{-1}$; $f_c=1\text{N.m/rd.s}^{-1}$;
 $J_c=0.1\text{kg.m}^2$; $J_m=0.001\text{kg.m}^2$; $n=0.1$;

1. Calculer les valeurs du moment d'inertie J et du coefficient de frottement visqueux f .
2. En supposant que les conditions initiales sont nulles pour toutes les variables du moteur, on demande d'écrire les équations électriques et mécaniques de celui-ci dans le domaine symbolique de Laplace.
3. Compléter le schéma fonctionnel équivalent du moteur représenté sur la figure 3.
 $U(p)$ est l'entrée et $\Omega(p)$ est la sortie du système.

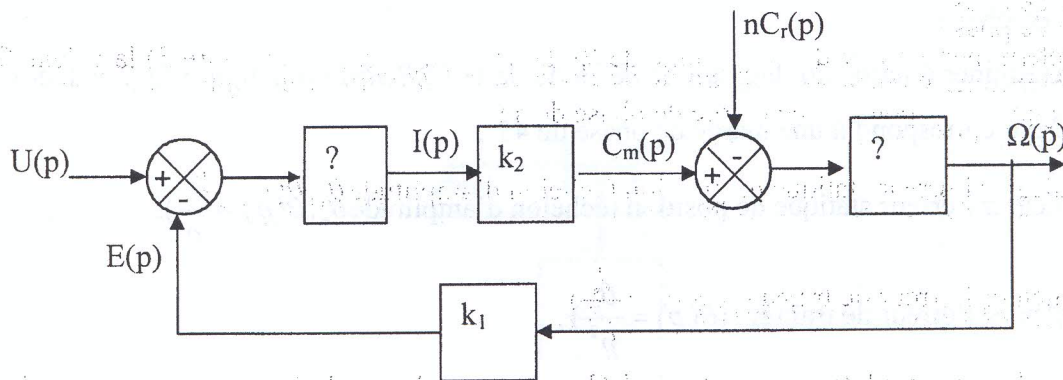


Figure 3 : Schéma fonctionnel équivalent du moteur

Dans tout ce qui suit, on suppose que le couple résistant c_r est nul ($c_r=0$).

4. Déterminer l'expression de la fonction de transfert $H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$ sous sa forme canonique.

En déduire sa valeur numérique.

5. Déterminer l'ordre et le gain statique de $H(p)$.

Supposons que la fonction de transfert $H(p)$ est décrite par : $H(p) = \frac{37.5}{p^2 + 10.1p + 1}$

6. Calculer et tracer, dans le plan complexe de Laplace, les pôles de $H(p)$. Donner une conclusion.
 7. Déterminer les valeurs du coefficient d'amortissement, qu'on notera ξ , et de la pulsation propre non amortie, qu'on notera ω_n . Donner une conclusion.
 8. Donner (sans calcul) l'allure de la courbe d'évolution de la réponse indicielle unitaire $\omega(t)$.
- Un asservissement de position est réalisé suivant le schéma ci-dessous où G est un régulateur :

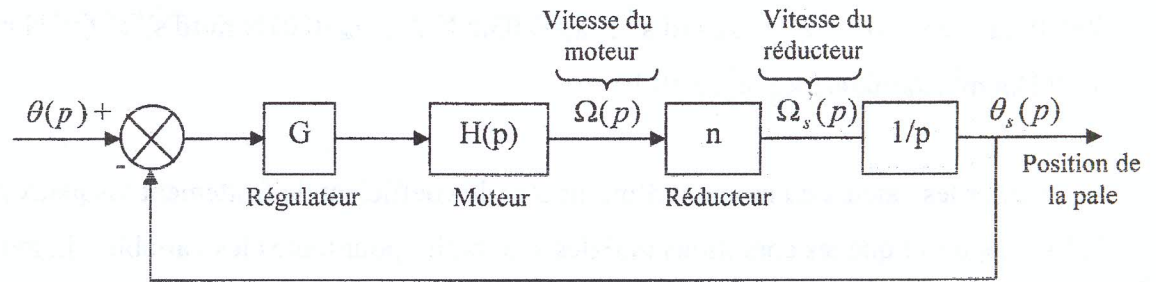


Figure 4 : Schéma fonctionnel du système asservi

9. Pour $G=I$, déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO(p)$. Dédurre par lecture directe du diagramme de Bode de la $FTBO(p)$ (voir figure 5) la marge de gain et la marge de phase.
10. Déterminer à partir du diagramme de Bode de la $FTBO(p)$ (voir figure 5) la valeur G_I du gain G qui correspond à une marge de phase de 45° .
11. Calculer l'erreur statique de position (échelon d'amplitude θ_e , $\theta(p) = \frac{\theta_e}{p}$).
12. Calculer l'erreur de traînage ($\theta(p) = \frac{\theta_e}{p^2}$).

On remplace le régulateur proportionnel G_I par un régulateur de fonction de transfert donnée par : $C(p) = \frac{G_2}{10}(1+10p)$.

13. Quel est le type de ce correcteur ?
14. Quelle doit être la valeur du gain G_2 pour obtenir une marge de phase de 45° .

Nom : Prénom : Groupe :
C.I :

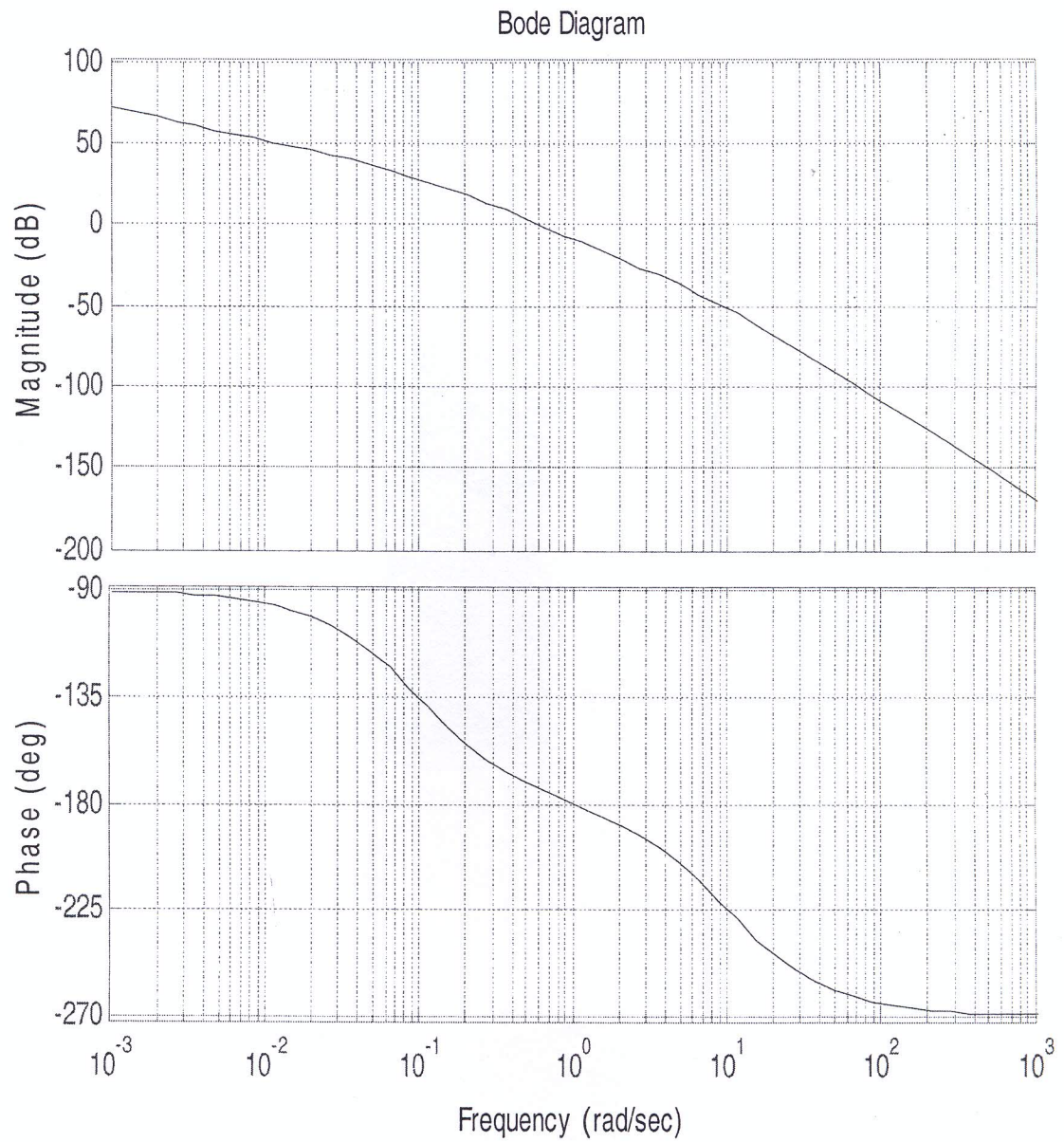


Figure 5 : Diagramme de Bode de la $FTBO(p)$