

Première partie : Automatique (1.5 heures)

Deuxième partie : Energétique et construction (0.5 heures)

Commande du plan horizontal réglable (PHR) d'un empennage d'avion

Vous répondrez sur les documents réponses fourni. Vos réponses devront être justifiées, sinon elles ne seront pas prises en compte.

Partie I : Automatique

Mise en situation

La structure d'un avion classique se compose de quatre éléments : le fuselage, les ailes, l'empennage et le train d'atterrissage.

Les empennages constituent les structures stabilisatrices situées derrière les ailes (voir figures 1 et 2). Ils se composent de parties mobiles contribuant au contrôle de l'avion et de parties fixes qui assurent la stabilité de l'appareil.

En général, un avion possède un empennage vertical et un empennage horizontal.

L'empennage horizontal comporte 2 parties :

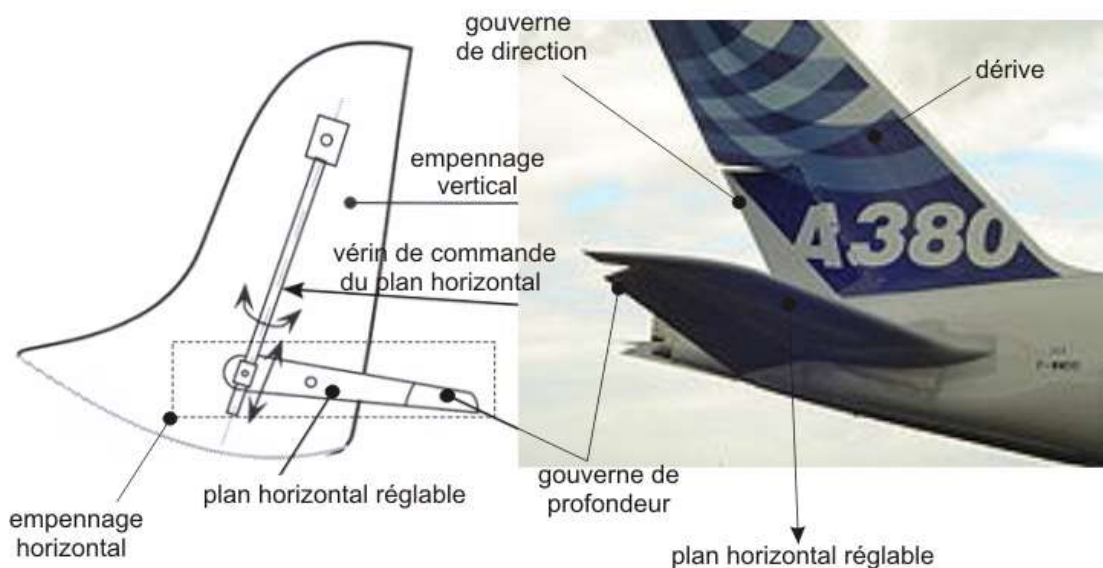
- La partie avant de l'empennage horizontal est appelée plan horizontal et peut être réglable.

Elle sera désignée sous l'abréviation PHR.

- La partie arrière mobile par rapport à la partie avant est appelée gouverne de profondeur.

L'empennage horizontal stabilise le **tangage** de l'avion.

L'empennage vertical comporte généralement deux parties. La partie fixe de l'empennage vertical est appelée dérive, et la partie mobile, gouverne de direction. L'empennage vertical assure l'équilibre de l'appareil en **lacet**.



DOCUMENT Présentation

Figure 1 (Empennage de l'A380)

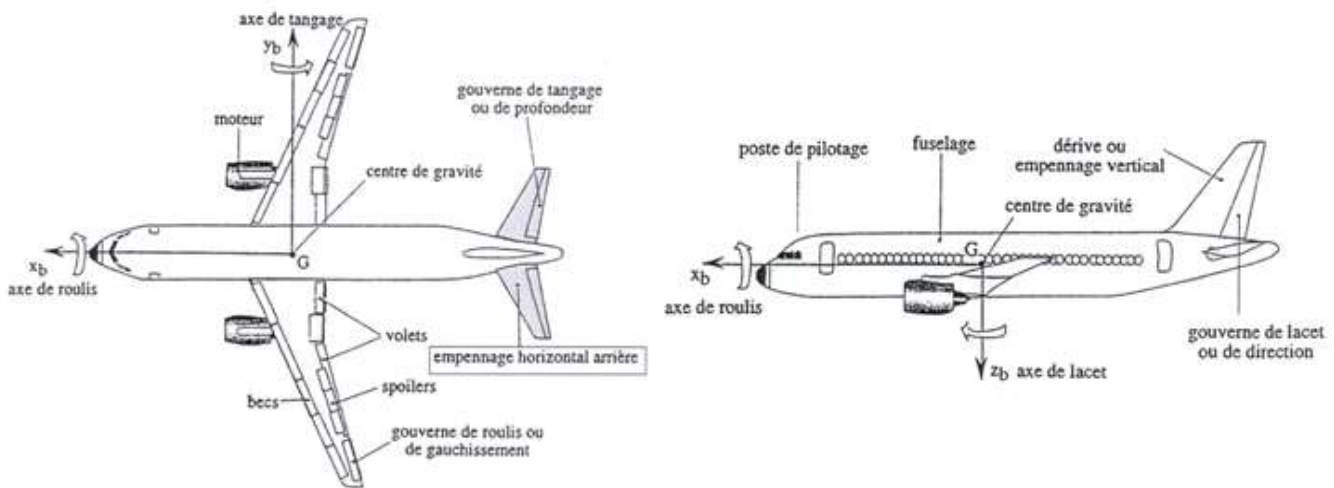


Figure 2 (Axes de tangage, lacet et roulis)

Dans la suite nous allons étudier l'asservissement en position du plan horizontal réglable d'un A380 d'Airbus. La commande en position du plan horizontal est assurée par un vérin à vis (figure 1).

La figure 4, page suivante donne le schéma de fonctionnement global du système. Ce schéma sera étudié progressivement au cours de ce sujet.

La figure 3 donne la représentation sous forme de schéma-bloc fonctionnel de cet ensemble.

I) Principe de fonctionnement du PHR (figures 3 et 4)

La grandeur à asservir est l'angle de rotation de la vis θ_{vis} qui contrôle l'inclinaison du PHR. Un servomoteur élabore l'angle de consigne θ_c

Un montage différentiel réalise le boîtier comparateur. Ce montage compare l'angle de consigne θ_c avec θ_{10}

L'angle θ_{10} est proportionnel à l'angle à asservir θ_{vis}

Cette différence commande le déplacement d'un distributeur qui alimente un moteur hydraulique. Sur l'arbre de ce moteur est montée la vis.

La rotation de la vis entraîne la translation d'un écrou. Cette translation commande l'inclinaison du plan horizontal.

DOCUMENT Présentation

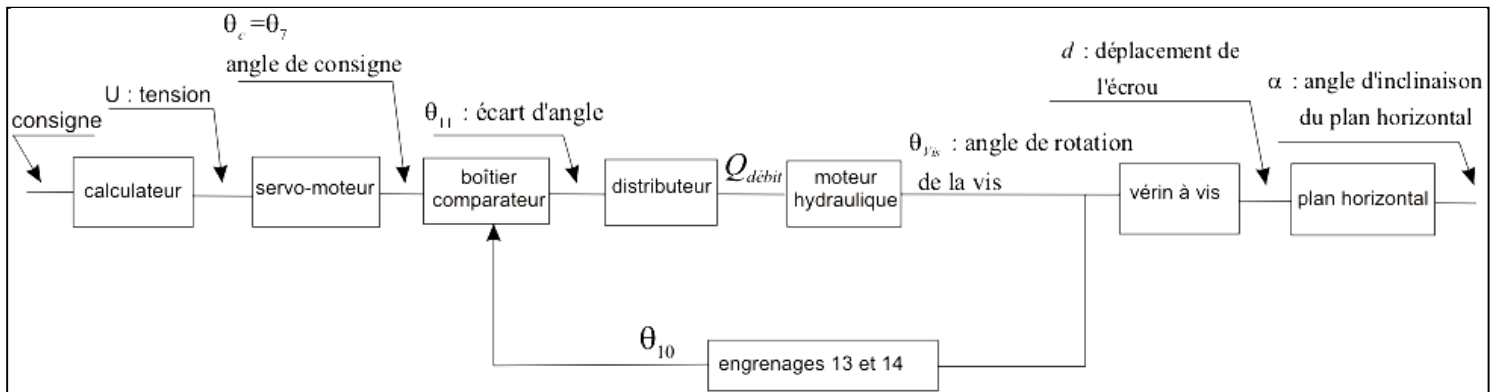


Figure 3 (Schéma fonctionnel de l'asservissement en position du PHR)

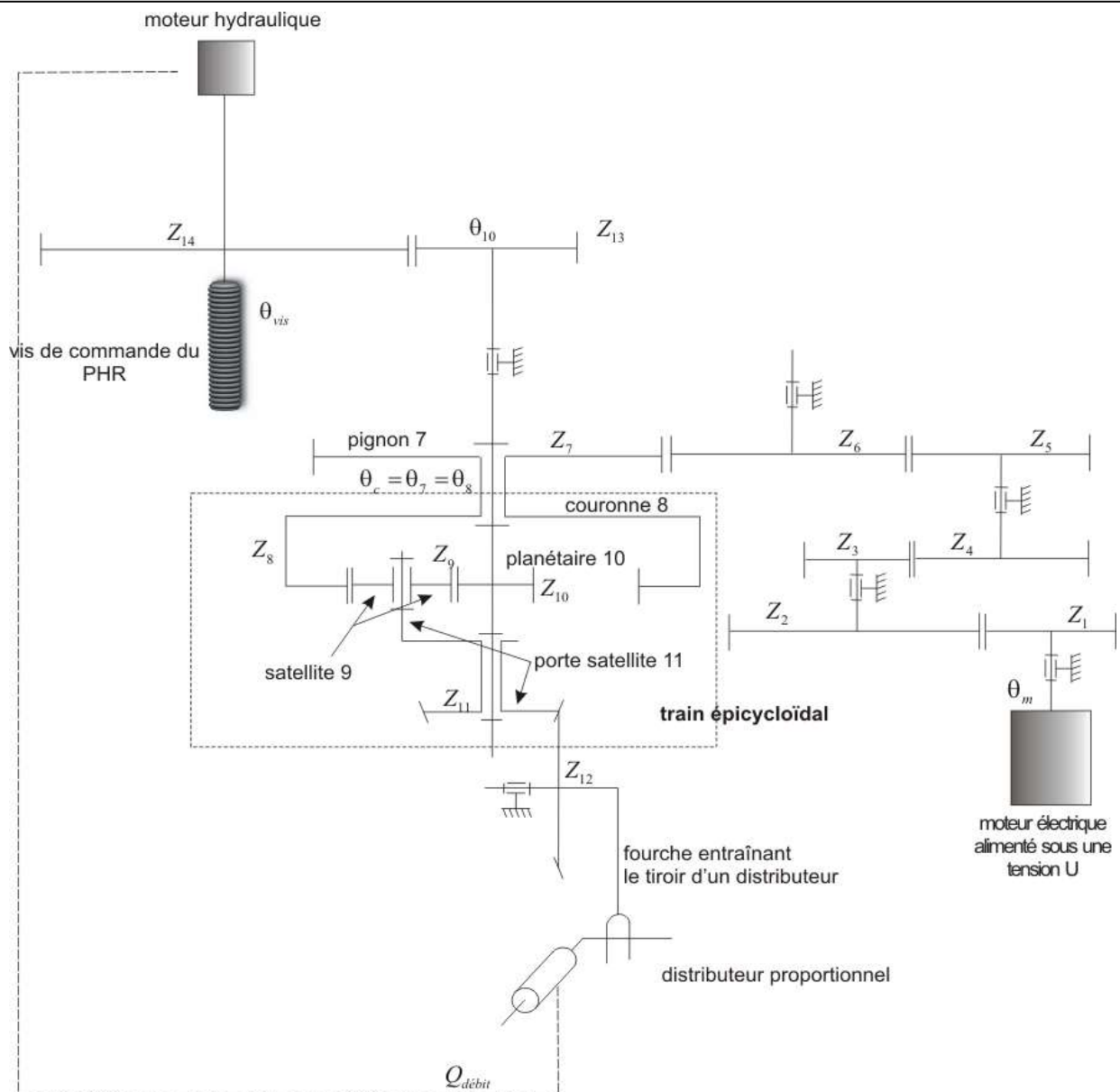


Figure 4 (Système de commande du PHR)

PARTIE AUTOMATIQUE :

Nous allons chercher dans la suite à déterminer le comportement du servomoteur.

Il est constitué d'un moteur à courant continu, et un dispositif intégrateur permet de définir la position recherchée.

I - Etude du moteur du servo-moteur (figure 4)

Les caractéristiques de ce moteur permettent d'écrire :

$$\begin{aligned} U(p) &= E(p) + (R + L.p) I(p) && \text{équation électrique de l'induit,} \\ C_m(p) - f \cdot \Omega_m(p) &= J \cdot p \cdot \Omega_m(p) && \text{équation mécanique sur l'arbre moteur,} \\ C_m(p) &= K_2 \cdot I(p) && \text{équation du couple mécanique en fonction du courant,} \\ E(p) &= K_1 \cdot \Omega_m(p) && \text{équation de la fem en fonction de la vitesse de rotation.} \end{aligned}$$

avec :

$U(p)$: tension d'alimentation

$I(p)$: courant

$\Omega_m(p)$: vitesse angulaire de l'arbre moteur

$k_2 = 0.02 \text{ N.m/A}$: constante de couplage

$J = 4.10^{-6} \text{ kg.m}^2$: inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur

$f = 0.001 \text{ N.m/(rad/s)}$

$E(p)$: force électromotrice dans l'induit

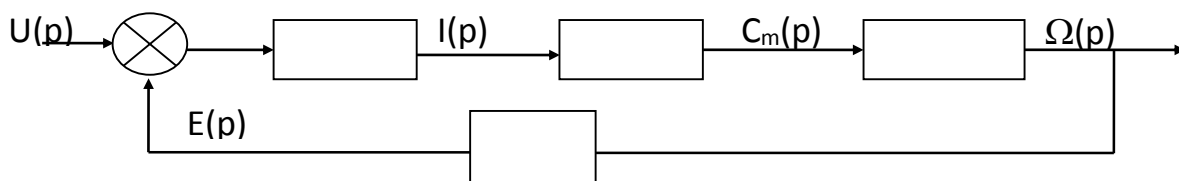
$C_m(p)$: couple moteur

$k_1 = 0.02 \text{ V/(rad/s)}$: constante de couplage

$R = 1 \Omega$: résistance dans l'induit

$L = 60 \text{ mH}$ inductance

Question 1) A partir de ces équations, compléter le schéma-bloc du moteur.



Question 2) Montrer que la fonction de transfert $\frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$ peut se mettre sous la forme d'un second ordre.

Déterminer les valeurs caractérisant ce système. Faire l'application numérique. Le système est-il oscillant ? (justifier)

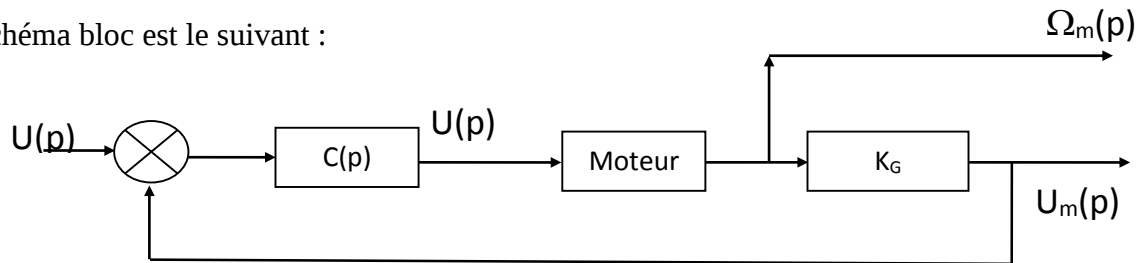
DOCUMENT REPONSE Automatique

Ce moteur est intégré dans un environnement permettant l'élaboration des signaux de sortie et de consigne.

Pour la suite du problème, on prendra la fonction transfert du moteur sous la forme :

$$H(p) = \frac{K}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)} \text{ avec } K=15 ; \tau_1 = 40 \cdot 10^{-3} \text{ et } \tau_2 = 4 \cdot 10^{-3}.$$

Le schéma bloc est le suivant :



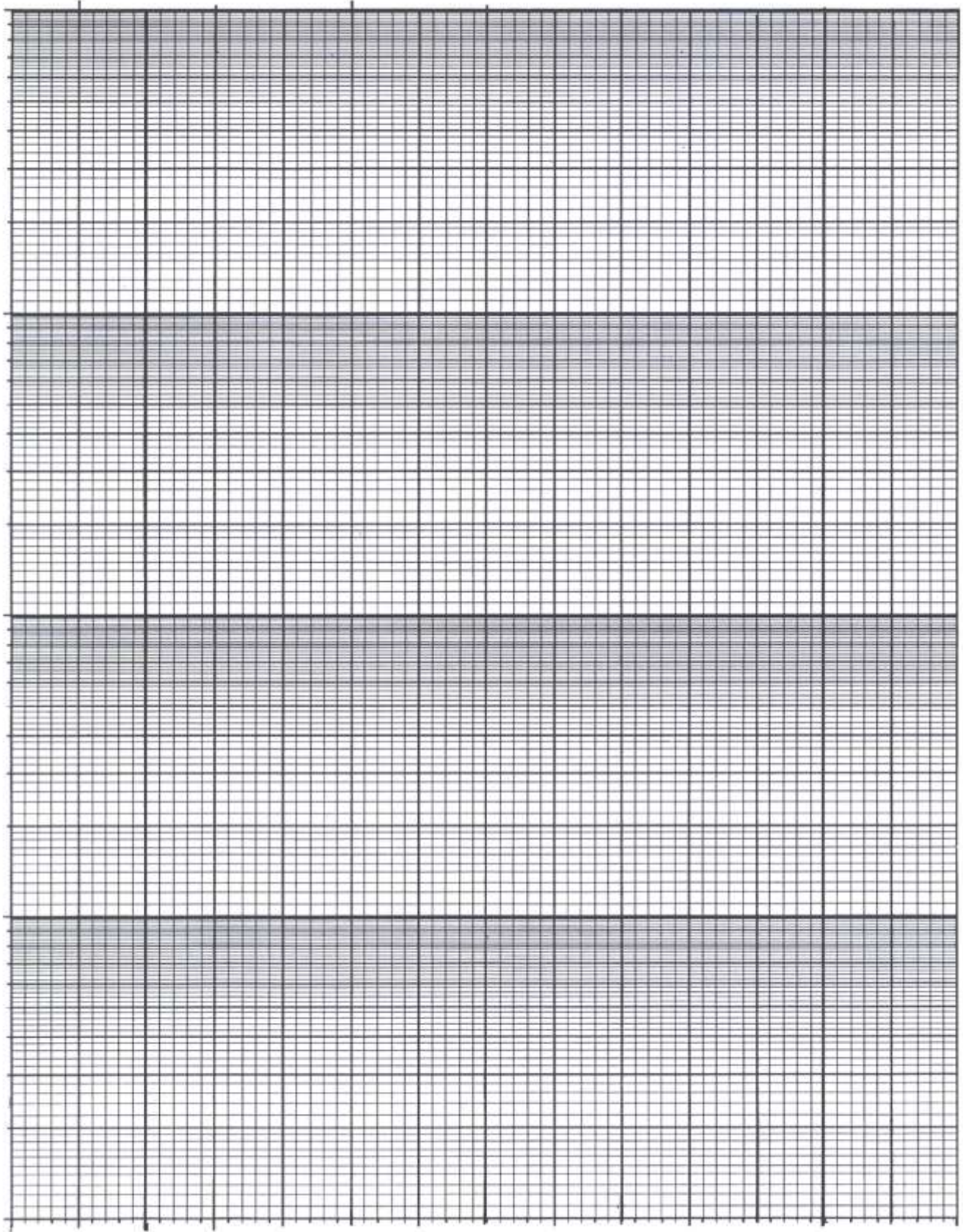
$C(p)$ est un correcteur proportionnel de gain G_C . $G_C = 10$

K_G est un capteur de rotation (génératrice tachymétrique) produisant une tension $U_m = K_G \cdot \Omega_m$.
 $K_G = 0.1 \text{ V}/(\text{rad/s})$.

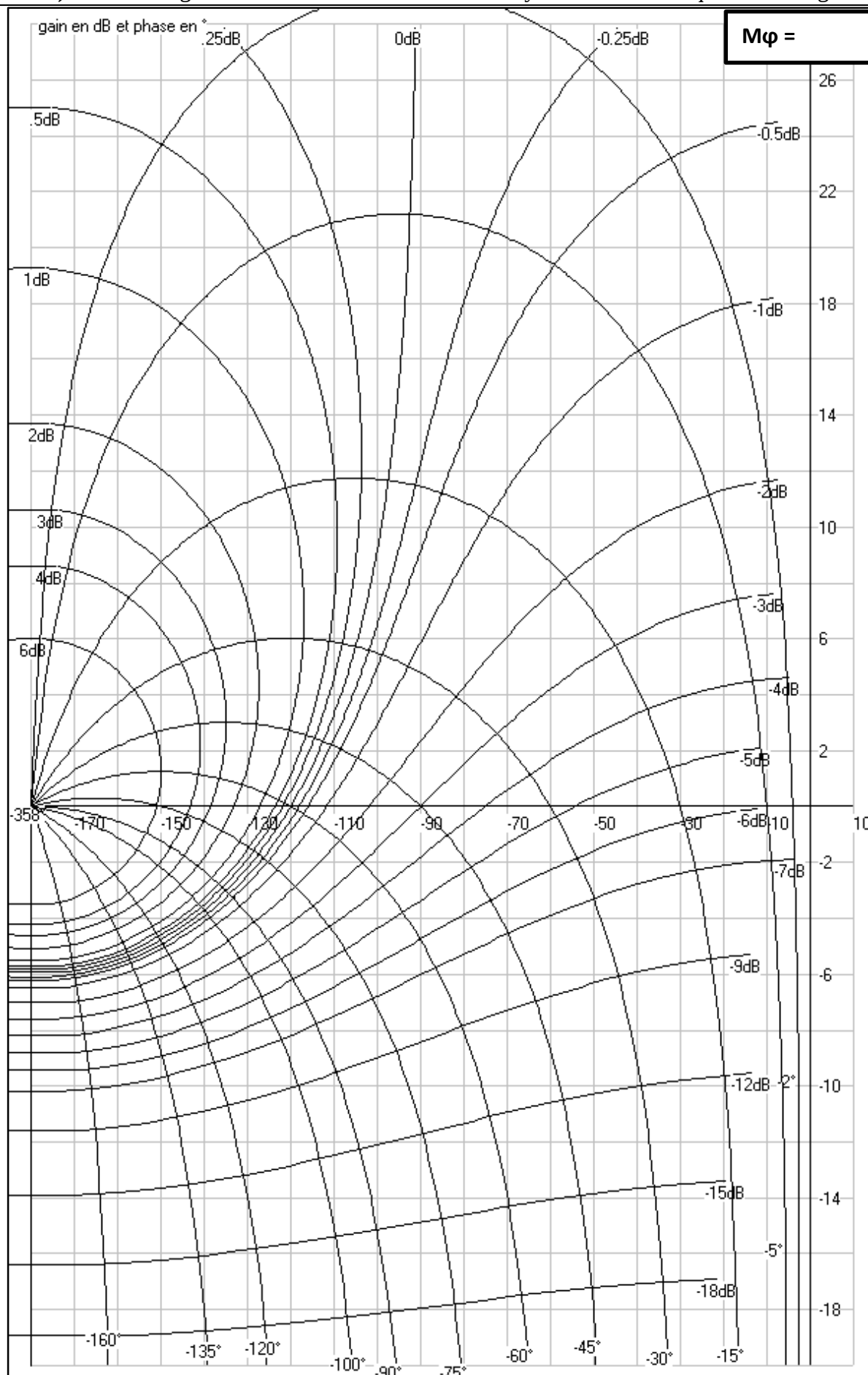
Question 3) tracer le diagramme de Bode de la FTBO de ce système, asymptotique et approché par le calcul de 5 valeurs.

ω	0	25	250	300	500
$H(j\omega)$					
$\text{Arg}(j\omega)$					

Four Cycle Semi-Log



Question 4) tracer le diagramme de Black de la FTBO de ce système. Vous indiquerez la marge de phase.



Nom :

Prénom :

Classe :

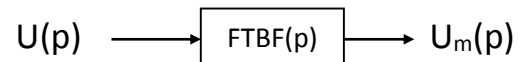
Groupe :

Question 5)

On souhaite une marge de phase 45° : quelle valeur doit prendre G_C ? (Méthode graphique à exposer)

Question 6) Tracer, à partir du tracé en BO, le diagramme de Black de la FTBF de ce système, en utilisant l'abaque de Nichols. Y a-t-il résonance ?

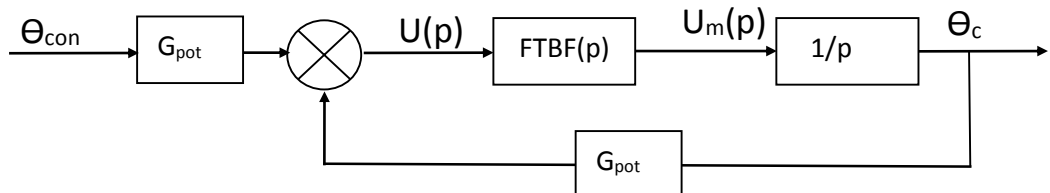
Le modèle de l'étude étant le schéma bloc ci-dessous :



Question 7) Calculer l'erreur statique de ce système.

Approche de l'asservissement de position :

La consigne est une position angulaire d'un potentiomètre. Ce dernier crée à ses bornes une tension U proportionnelle à $\Theta_{con.}$. En sortie, la position angulaire est obtenue avec un intégrateur.



Question 8) Déterminer l'erreur statique de ce système. $\varepsilon = \theta_{con} - \theta_c$ (**sans calcul**, mais avec justification !)

DOCUMENT REPONSE Mécanique

PARTIE ENERGETIQUE :

La figure 9 constitue un sous ensemble de la figure 4.

Elle représente la partie du réducteur juste avant le train épicycloïdal.

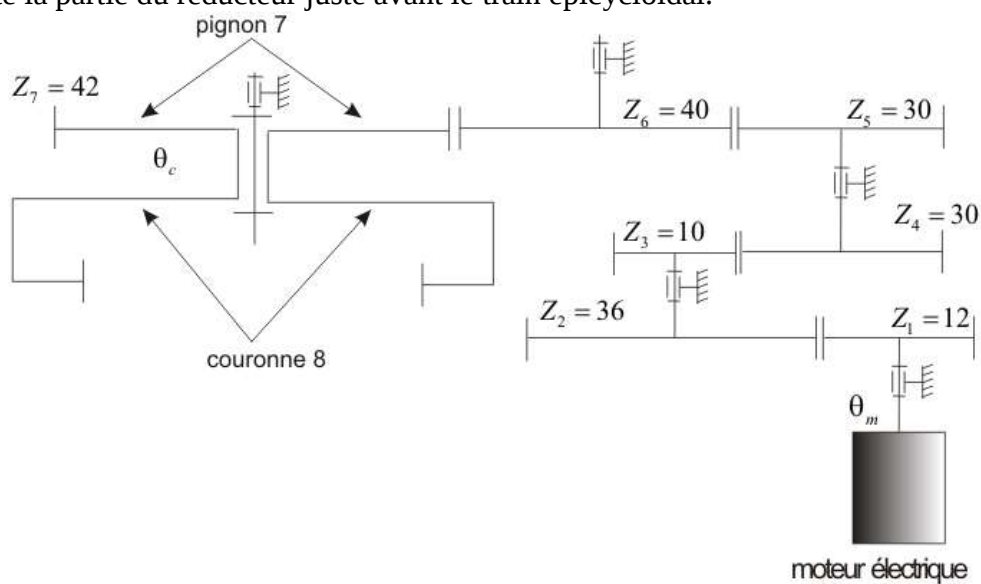


Figure 9 (Réducteur)

Question 1) Déterminer la valeur du rapport de réduction. $\frac{\Omega_c}{\Omega_m} = \frac{\theta_c}{\theta_m}$

Question 2) Déterminer le moment d'inertie (Jéquivalent) du moteur jusqu'à la couronne 8, le tout ramené sur l'arbre moteur en fonction des moments d'inertie de la couronne 8 (J_8), de celui de la roue 6 (J_6), de celui des roues 5 + 4 (J_{54}), de celui des roues 10 + 36 (J_{1056}) et de celui de la roue 12 et du rotor du moteur (J_{12m}) :

II - Etude du comparateur

La fonction comparateur est réalisée à l'aide d'un train épicycloïdal droit (figure 10) extraite de la figure 4.

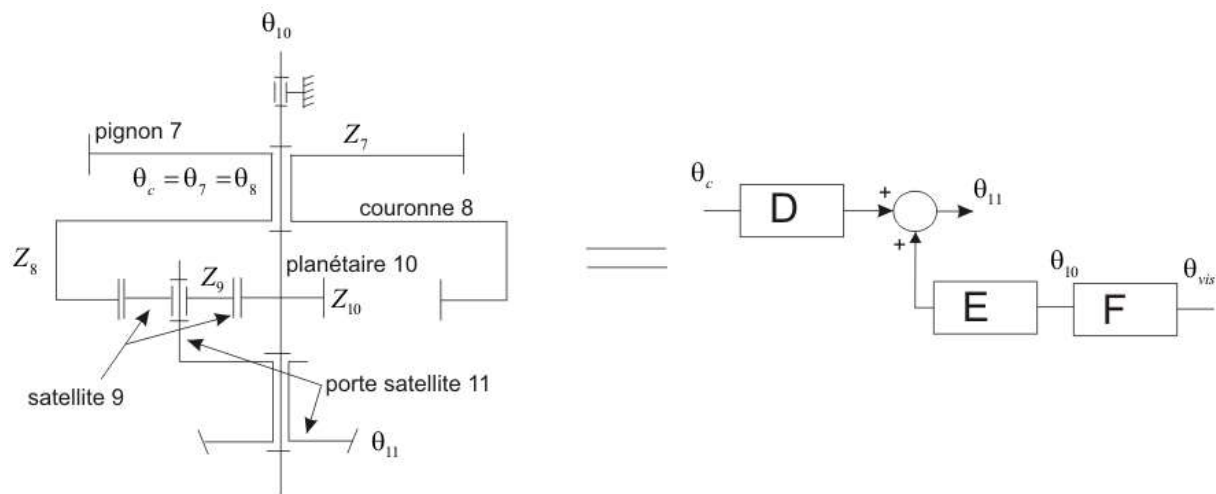


Figure 10 (Comparateur)

On a $Z_{10} = 12$ $Z_8 = 36$ $Z_{14} = 30$ $Z_{13} = 10$ Données à utiliser pour les questions 8 et 9.

Question 8) Exprimer la relation entre les angles θ_c , θ_{10} , θ_{11} (identique à la relation reliant Ω_c , Ω_{10} , Ω_{11}) et reproduire et compléter le schéma bloc ci-dessus