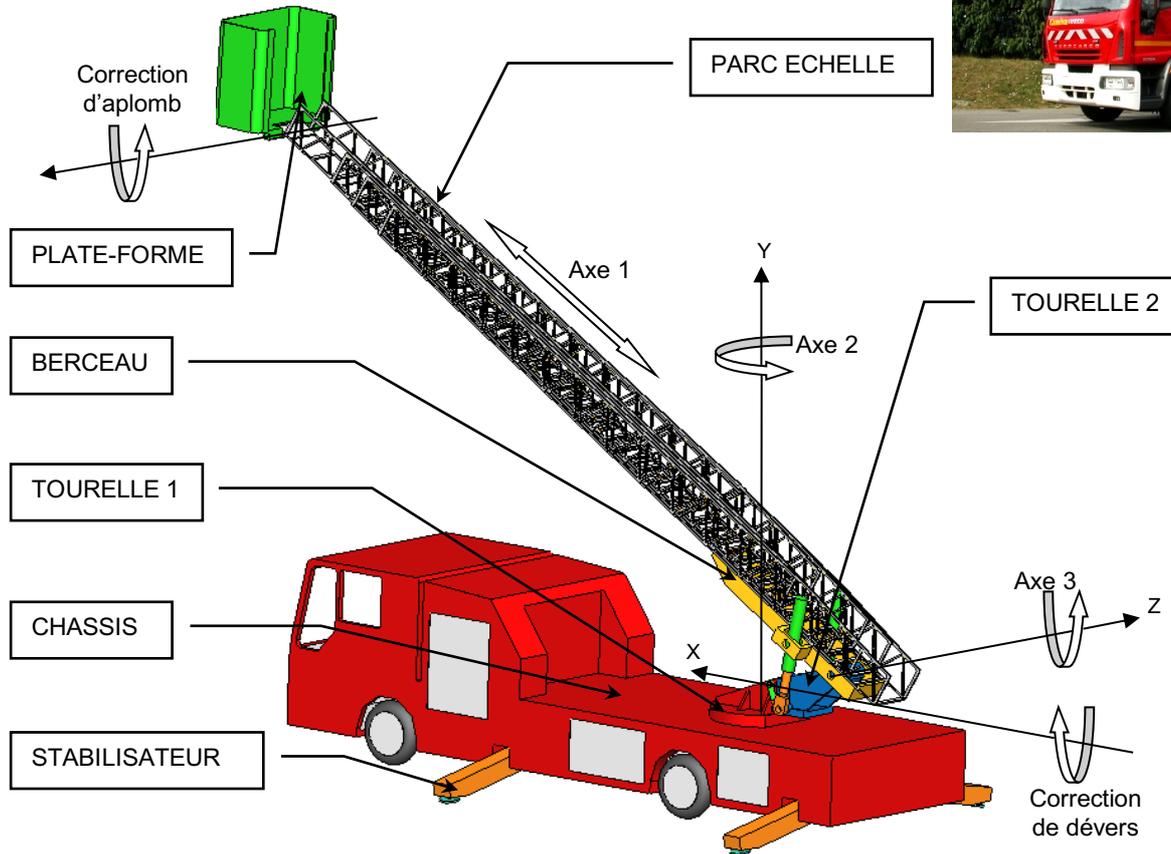


<b>Prépa VAUBAN</b>		<b>Echelle EPAS</b>	<b>DM Hiver</b>	
<b>PTSI</b>	P1/5		<b>2h</b>	

## Mise en situation :

Une E.P.A.S. est une Echelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle. Ce système conçu et commercialisé par la société CAMIVA 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.



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.

<b>Prépa VAUBAN</b>		<b>Echelle EPAS</b>	<b>DM Hiver</b>	
<b>PTSI</b>	P2/5		<b>2h</b>	

## Modélisation :

-Le solide 0, appelé Châssis, est fixe par rapport au sol. Soit  $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  un repère lié à 0

-Le solide 1, appelé Tourelle 1, est considérée pour ce sujet fixe par rapport à 0.

-Le solide 2, appelé Tourelle 2, est considérée pour ce sujet fixe par rapport à 0.

-Le solide 3, appelé Tige de vérin, est en liaison pivot d'axe  $(B, \vec{z}_0)$  avec 0.

Soit  $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$  un repère lié à 3 avec :  $\vec{O_0B} = b \cdot \vec{x}_0$        $\vec{BC} = \lambda \cdot \vec{y}_3$        $\lambda = v$   
 $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$

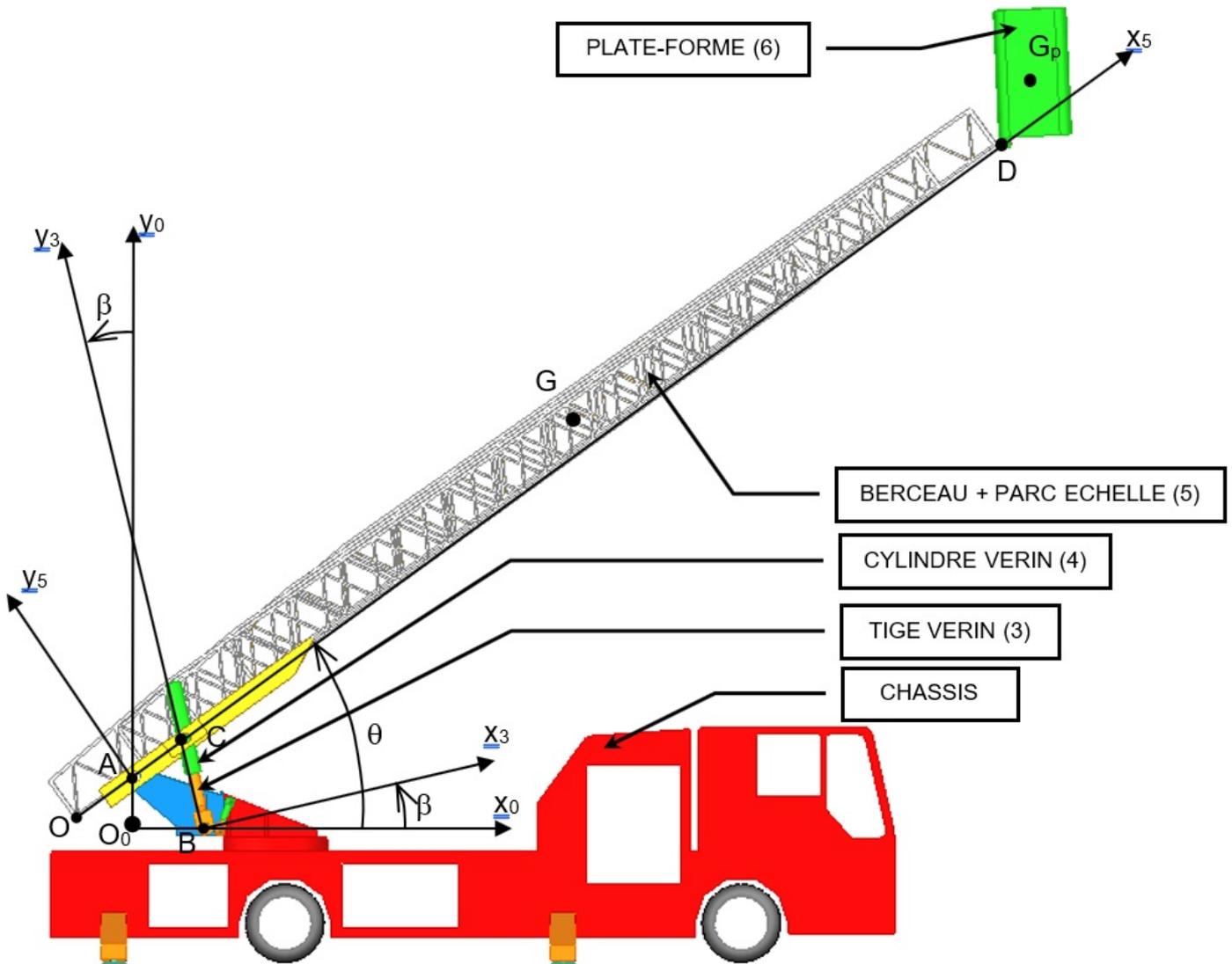
-Le solide 4, appelé Cylindre de vérin, est en liaison pivot glissant d'axe  $(B, \vec{y}_3)$  avec 3 et en liaison pivot d'axe  $(C, \vec{z}_0)$  avec 5.

Remarque : Il y a 2 vérins {3+4} sur le système nous opterons pour une modélisation plane, en faisant comme s'il n'y avait qu'un vérin.

-Le solide 5, formé du Berceau et du Parc échelle, est en liaison pivot d'axe  $(A, \vec{z}_0)$  avec 0.

Soit  $R_5(A, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$  un repère lié à 5 avec :  $\vec{O_0A} = a \cdot \vec{y}_0$        $\vec{OA} = d \cdot \vec{x}_5$        $\vec{AC} = c \cdot \vec{x}_5$   
 $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_5) = (\vec{y}_0, \vec{y}_5)$

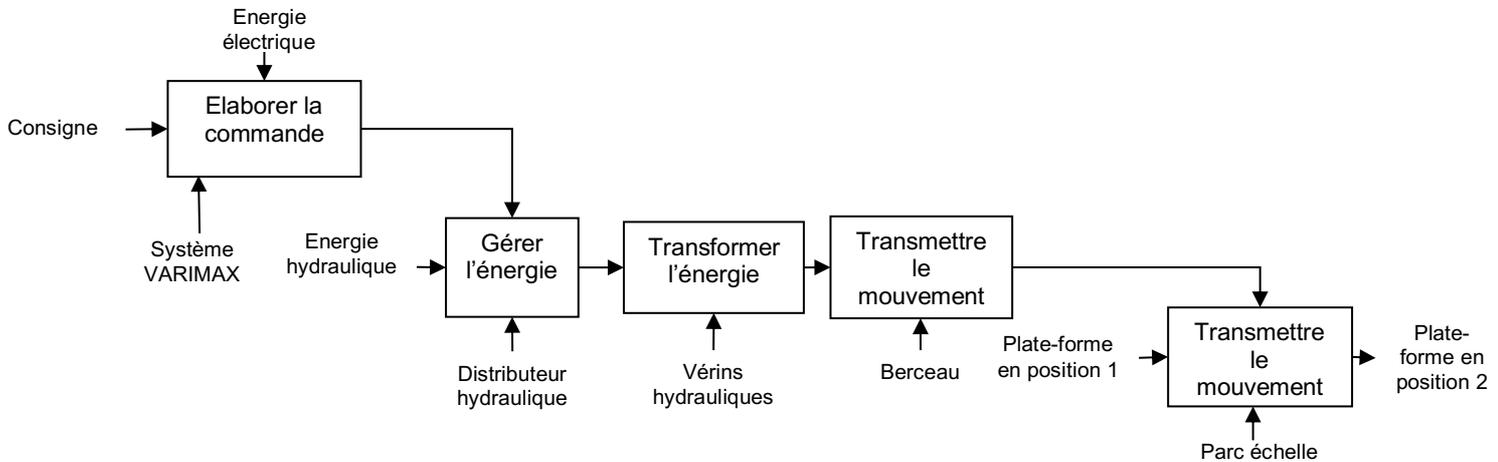
-Le solide 6, appelé Nacelle, est en liaison pivot d'axe  $(D, \vec{z}_0)$  avec 5. On a :  $\vec{AD} = H \cdot \vec{x}_5$   
6 conserve toujours la même orientation par rapport à 0 au cours du mouvement.



<b>Prépa VAUBAN</b>		<b>Echelle EPAS</b>	<b>DM Hiver</b>	
<b>PTSI</b>	P3/5		<b>2h</b>	

## Première Partie : Etude de l'axe 3

Le système de dressage/abaissement réalise la rotation de la plate-forme autour d'un axe horizontal Z.  
La chaîne d'information/énergie est donnée ci-dessous :



### 1.1. 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.

**Q1 :** Tracer le graphe de liaison du mécanisme.

Nous allons maintenant déterminer la vitesse de sortie des vérins pour que la vitesse des points de la plate-forme soit constante.

**Q2 :** Exprimer la vitesse du point D du parc échelle dans son mouvement par rapport au châssis :  $\overrightarrow{V_{D5/0}}$  en fonction de la vitesse angulaire de dressage  $\dot{\theta}$  et des paramètres géométriques.

**Q3 :** Ecrire les torseurs cinématique :  $\{V_{5/0}\}$ ,  $\{V_{3/0}\}$ ,  $\{V_{5/4}\}$  et  $\{V_{3/4}\}$  à leurs points d'expression le plus simple.

**Q4 :** En faisant une fermeture cinématique au point C (faisant intervenir les pièces 0, 3, 4 et 5), déterminer l'expression de la vitesse de sortie du vérin notée  $v$  (c'est la norme de  $\overrightarrow{V_{C4/3}}$ ) en fonction de la vitesse angulaire de dressage  $\dot{\theta}$  et des paramètres géométriques.

**Q5 :** Etablir la relation  $\tan \beta = \frac{b - c \cdot \cos \theta}{a + c \cdot \sin \theta}$  en écrivant une fermeture de chaîne géométrique.

## Deuxième Partie : Etude de l'aplomb de la plateforme

La plateforme est prévue pour recevoir deux personnes et un brancard soit une charge d'environ 270kg.

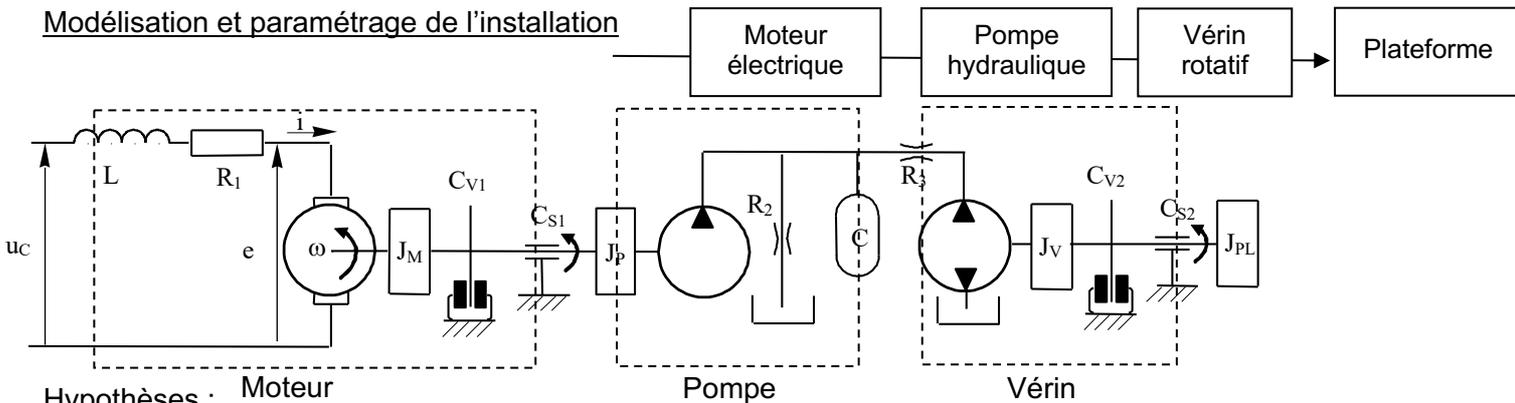
Lors des mouvements de l'échelle, la plateforme doit rester horizontale.

L'échelle étant de longueur variable, l'utilisation de l'énergie hydraulique disponible au niveau du véhicule imposerait de raccorder la plateforme avec des canalisations de longueur variable entre des valeurs très éloignées et avec des pertes de charges importantes.

La solution retenue est donc une chaîne d'action comportant un moteur électrique à courant continu, une pompe hydraulique et deux vérins rotatifs installés directement au niveau de la plateforme.

Pour éviter que les mouvements de la plateforme dus aux flexions de l'échelle résultant de sollicitations dynamiques (entre autres, les mouvements des personnes embarquées) ne sollicite inutilement le système, la consigne provient d'un capteur donnant l'angle entre l'échelle et l'horizontale. Un potentiomètre installé au niveau de la plateforme donne une image de l'angle qu'elle fait avec le parc échelle.

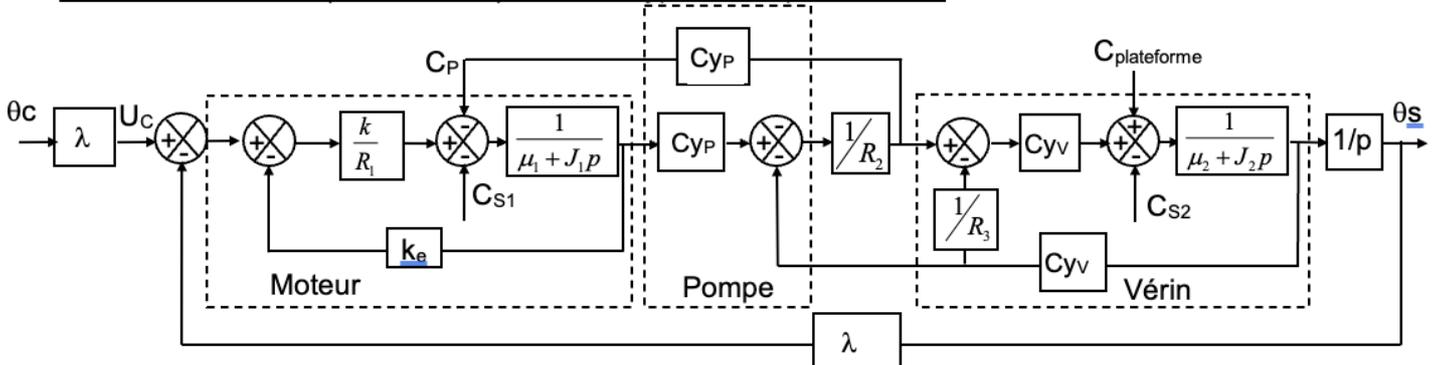
### Modélisation et paramétrage de l'installation



#### Hypothèses :

- On néglige l'inductance du moteur électrique ;
- On néglige la compressibilité du fluide et la déformation des contenants du fluide sous pression.

### Schéma fonctionnel (schéma bloc) avec les hypothèses précédentes



#### Notations :

$u_c$  : tension de commande.

$R_1$  : résistance électrique de l'induit du moteur.

$e$  : f.c.é.m. du moteur,  $\omega$  sa vitesse de rotation.

$k_e$  : constante électrique du moteur :  $e = k_e \cdot \omega$

$J_1$  : moment d'inertie du moteur et de la pompe ramené sur l'arbre moteur.

$J_2$  : moment d'inertie du vérin et de la plateforme ramené sur l'axe du vérin.

$\mu_1$  et  $\mu_2$  respectivement coefficient de frottement visqueux ( $C_{V1}$  et  $C_{V2}$ )

$C_{S1}$  : couple de frottement sec de l'ensemble moteur+pompe ramené sur l'arbre moteur.

$C_{S2}$  : couple de frottement sec de l'ensemble vérin+liaison nacelle/échelle ramené sur l'axe du vérin.

$C_{plateforme}$  : moment de l'action mécanique de la plateforme sur l'échelle suivant l'axe de rotation de la plateforme / l'échelle

$C_{yP}$ ,  $C_{yV}$  respectivement cylindrée de la pompe et du vérin.

$R_2$  coefficient de perte de charge des fuites internes du moteur.

$R_3$  coefficient de perte de charge entre la pompe et le moteur.

$\theta_c$  : angle que fait le parc échelle avec l'horizontale

$\theta_s$  : angle que fait la plateforme avec le parc échelle.

<b>Prépa VAUBAN</b>		<b>Echelle EPAS</b>	<b>DM Hiver</b>	
<b>PTSI</b>	P5/5		<b>2h</b>	

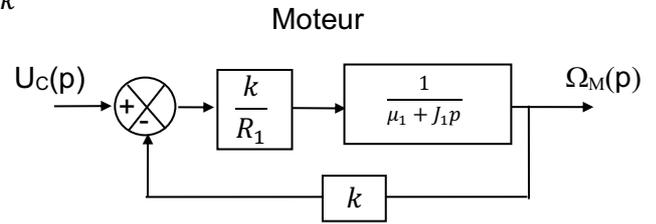
**Equations et hypothèses utilisées :**

Le moteur est supposé électriquement parfait d'où :

- Couple délivré par le moteur  $C_M = k.i$
- Constante électrique du moteur :  $k_e = k$

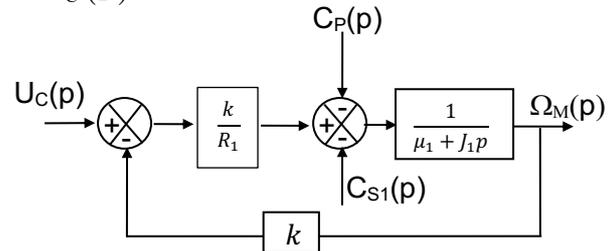
En considérant uniquement le moteur :

- Non relié à la pompe ;
- Électriquement parfait ;
- En négligeant les frottements ;



**Q6 :** Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée :  $H_0(p) = \frac{\Omega_M(p)}{U_c(p)}$  et la mettre sous forme canonique.

Le fonctionnement du système est perturbé par des frottements secs. Il est possible de modifier la tension de commande pour compenser leurs actions, et obtenir ainsi un système dont le comportement ne soit pas perturbé.



On considère que  $U_c(p) = 0$ .

**Q7 :** A partir de la figure ci-dessus, déterminer dans le cadre des hypothèses l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée :  $H_1(p) = \frac{\Omega_M(p)}{C_{s1}(p) + C_p(p)}$

*Aide : Vous pouvez déterminer cette fonction soit à l'aide du schéma bloc (en le manipulant un chouilla) soit par les équations*

La difficulté à modéliser, de façon précise le système, a conduit le fabricant à réaliser une série d'essais sur le système réel afin de déterminer les caractéristiques du correcteur à utiliser. La fonction de transfert identifiée présente les caractéristiques suivantes :

- on obtient la fonction en boucle fermée  $G(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_c(p)} = \frac{3,24}{p^2 + 3,24p + 3,24}$

Où  $\theta_c$  est l'angle de consigne (angle que fait le parc échelle avec l'horizontale) et  $\theta_s$  l'angle que fait la plateforme avec le parc échelle.

**Q8 :** Exprimer la fonction  $G(p)$  sous forme canonique et donner ses paramètres. Quel est l'ordre de ce système. Déterminer le gain,  $z$  et  $\omega_0$ .

**Q9 :** Déterminer le temps de réponse à 5% à l'aide de la question précédente et d'un abaque de  $T_{rr}$ .

**Q10 :** Montrer que l'erreur statique de ce système soumis à un échelon de consigne  $\theta_c$  est nulle.

**Q11 :** Tracer l'allure de la réponse temporelle du système en réponse à un échelon de  $10^\circ$

Pendant le dressage de l'échelle le système est soumis à une entrée en rampe de pente  $0,1 \text{ rd/s}$

**Q12 :** Calculer la valeur de l'erreur de traînage correspondant à cette entrée.