Concours commun Mines-Ponts, France

Session 2009, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : analyse fonctionnelle
- Partie II : assurer le mouvement en tangage
- Partie III : assurer le mouvement de lacet
- Partie IV : gérer le fonctionnement
- Partie V : guider les podes en roulis

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/mines/psi/2009/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

A 2009 SI-PSI

ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES,
ECOLES NATIONALES SUPERIEURES DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE,
DES TECHNIQUES AVANCEES, DES TELECOMMUNICATIONS,
DES MINES DE PARIS, DES MINES DE SAINT-ETIENNE, DES MINES DE NANCY,
DES TELECOMMUNICATIONS DE BRETAGNE.
ECOLE POLYTECHNIQUE (FILIERE TSI)

CONCOURS D'ADMISSION 2009

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES
Filière : PSI

SUJET MIS A LA DISPOSITION DES CONCOURS : CYCLE INTERNATIONAL, ENSTIM, INT, TPE-EIVP

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice est autorisé

Cet énoncé comporte 16 pages numérotées de 1 à 16 et un document annexe de 6 pages. Le travail doit être reporté sur un document-réponse de 4 copies (16 pages) distribuées avec le sujet. Un seul document-réponse est fourni au candidat. Le renouvellement de ce document en cours d'épreuve est interdit. Pour valider ce document-réponse, chaque candidat doit obligatoirement y inscrire à l'encre, à l'intérieur du rectangle d'anonymat situé en haut de chaque copie, ses nom, prénoms (souligner le prénom usuel), numéro d'inscription et signature, avant même d'avoir commencé l'épreuve. Il est conseillé de lire la totalité de l'énoncé avant de commencer l'épreuve.

Les questions sont organisées au sein d'une progression logique caractéristique de la discipline, certaines questions étant partiellement dépendantes : Il est donc souhaitable de les traiter dans l'ordre. La rédaction des réponses sera la plus concise possible : on évitera de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

ROBUROC 6 : PLATE-FORME D'EXPLORATION TOUT TERRAIN

Le robuROC 6 (photographie ci-contre) est un robot mobile développé par la société ROBOSOFT. Cette plate-forme robotisée a été conçue pour des applications de recherche et d'exploration en milieu extérieur. Elle est équipée de 6 roues motrices indépendantes, de même diamètre, montées par paires sur 3 podes articulés en tangage et en roulis (**figure 3**). La cinématique permet à la plate-forme de se conformer au relief parcouru et de franchir des obstacles du type trottoirs, escaliers… Le robuROC 6 a été conçu pour se déplacer en zones urbaines et peut aussi s'adapter à tous types de milieux.

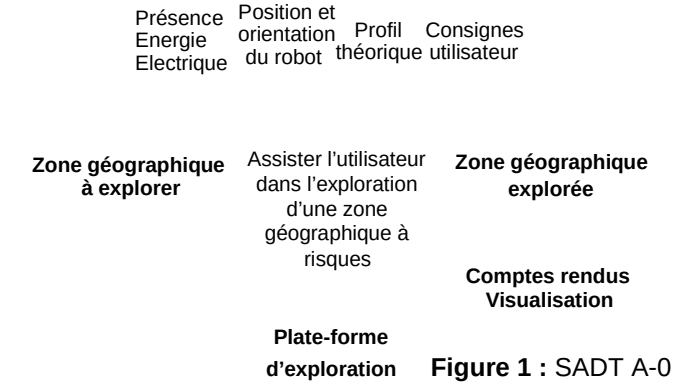


Figure 1 : SADT A-0

Afin d'explorer la zone géographique à risques, les 3 podes peuvent être équipés, selon les besoins de l'utilisateur, de caméras d'observation haute définition à 360°, de systèmes infrarouges de visualisation nocturne, ainsi que de bras de robot articulés pour manipuler des éléments de la zone à explorer. Les diagrammes SADT A-0 (**figure 1**) et FAST (**annexe 1**) recensent les fonctions remplies par la plate-forme.

Les déplacements de la plate-forme sont coordonnés

par l'intermédiaire de deux microcontrôleurs placés dans les podes avant et arrière. Ces microcontrôleurs communiquent entre eux et dialoguent avec l'extérieur suivant deux modes de conduite :

- Le mode **joystick** : l'utilisateur pilote manuellement la plate-forme par l'intermédiaire d'une télécommande;
- Le mode **automatique** : la plate-forme traite les informations du logiciel de supervision notamment le suivi d'un profil théorique.

Pour se repérer dans l'espace, la plate-forme est équipée de capteurs relatifs positionnés sur chacune des six roues, d'inclinomètres et d'un système de positionnement absolu par GPS. Des capteurs à ultrasons et des « bumpers » (détecteurs de collision) participent à la sécurité matérielle et à la détection des obstacles.

La motorisation principale est assurée par six moteurs électriques équipés de réducteurs épicycloïdaux permettant de transmettre l'énergie mécanique aux six roues. Le franchissement des obstacles est facilité par un système hydraulique permettant le soulèvement des podes avant et arrière. Ce système est constitué de quatre vérins disposés de part et d'autre du pode central (**figure 3)** et d'une centrale hydraulique alimentée par une pompe à engrenage (**annexe 2**). La plate-forme peut se déplacer, sous conditions, en mode 6 roues ou 4 roues pour certaines applications particulières (**figure 2**). L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement est stockée dans des batteries occupant la plus grande partie du volume interne des trois podes. Une unité de gestion électrique optimise la consommation d'énergie.

« Mode 6 roues » *« Mode 4 roues Déplacement »* *« Mode 4 roues Observation »*

Figure 2 : Mode de déplacement de la plate-forme

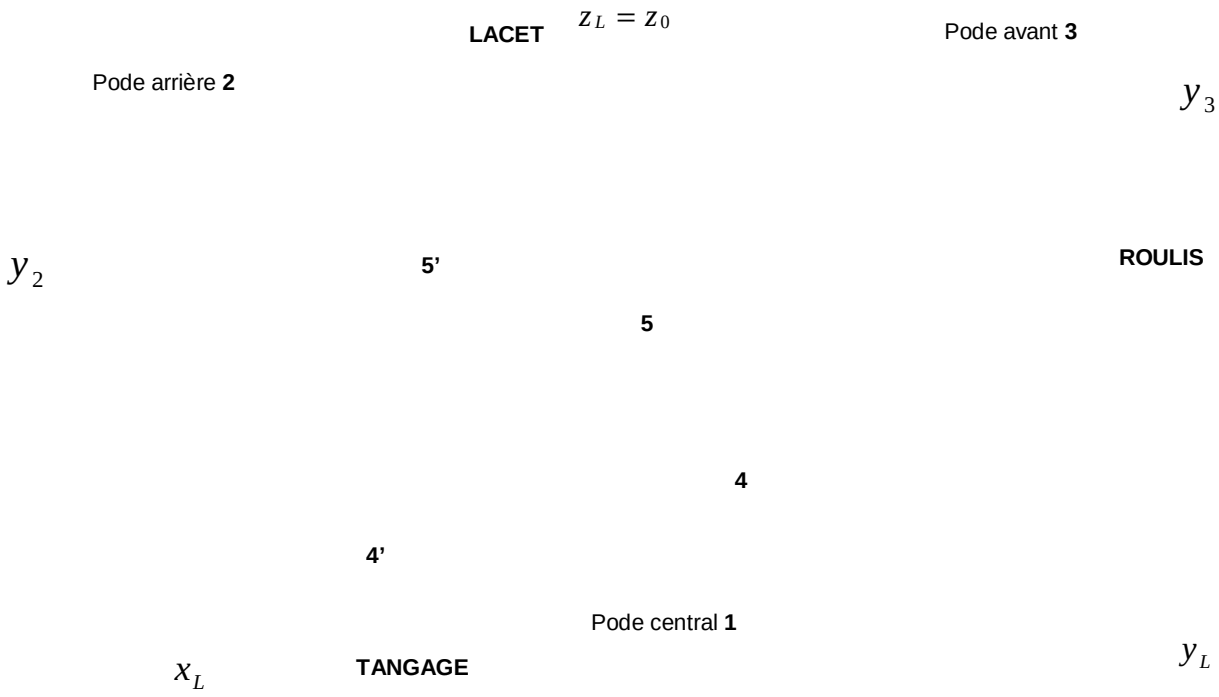


Figure 3 *(roue centrale et roue avant droite supprimées pour plus de visibilité)*

Les trois podes sont articulés en tangage et en roulis (**figure 3**). Le mouvement de **tangage** est guidé par deux liaisons pivot (d'axe de direction x_L), respectivement entre le bras d'articulation avant **4** et le pode central **1** et entre le bras d'articulation arrière **4'** et le pode central **1**. Le système hydraulique de suspension permet l'amortissement (mode passif) et la motorisation de ce mouvement (mode actif). Les vérins **5** (côté droit) et **6** (côté gauche) sont en liaison avec le bras d'articulation avant **4** et le pode central **1**. Les vérins **5'** (côté droit) et **6'** (côté gauche) sont en liaison avec le bras d'articulation arrière **4'** et le pode central **1**. Le mouvement de **roulis** est assuré par deux liaisons pivot entre le pode avant **3** et le bras d'articulation avant **4** (liaison d'axe de direction y_3) d'une part, et entre le pode arrière **2** et le bras d'articulation arrière **4'** (liaison d'axe de direction y_2) d'autre part. Ce mouvement n'est pas motorisé.

Extrait du cahier des charges fonctionnel (d'après le diagramme FAST en annexe 1):

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
	Vitesse de déplacement de la plate-forme	13,7 km/h	Valeur maximale
	Hauteur de franchissement d'un obstacle de type « trottoir » (D_{max})	40 cm	Valeur minimale
	Pente du relief à vide	45 °	Valeur maximale
FT3 : Assurer le déplacement	Débattement angulaire en tangage du bras **4** par rapport au pode central **1**	de -45°à +30°	-----
	Débattement angulaire en tangage du bras **4'** par rapport au pode central **1**	de +45°à -30°	-----
	Débattement angulaire en roulis du pode avant **3** par rapport au bras **4**	de -45°à +45°	-----
	Débattement angulaire en roulis du pode arrière **2** par rapport au bras **4'**	de +45°à -45°	-----
FT4 : Analyser la zone géographique à explorer	Charge utile répartie sur les trois podes	100Kg	Valeur maximale
	Hauteur d'observation (H_{obs})	85 cm	Valeur minimale
FT6 : Fournir l'énergie électrique	Autonomie d'utilisation	4h	+/- 1h selon les conditions

I. ANALYSE FONCTIONNELLE

Q1: *Compléter le diagramme FAST de la plate-forme d'exploration présenté en **annexe 1** en indiquant les solutions techniques associées aux fonctions techniques référencées dans le tableau du document-réponse.*

II. FONCTION TECHNIQUE FT32 : ASSURER LE MOUVEMENT EN TANGAGE

Hypothèses :

- Dans toute la **partie II**, le mouvement de roulis est fixé à une valeur nulle. Ainsi le bras d'articulation avant **4** et le pode avant **3** sont solidaires et de la même manière, le bras d'articulation arrière **4'** et le pode arrière **2** sont aussi solidaires. D'autre part, le mouvement de lacet n'est pas considéré.

- Les éléments hydrauliques placés du côté gauche (vérins **6** et **6'**) agissent exactement de la même manière que les éléments placés du côté droit (vérins **5** et **5'**). L'étude suivante du circuit hydraulique sera donc réalisée uniquement du côté droit.

II.1. Fonctionnement du circuit hydraulique

Les fonctions à remplir par le circuit hydraulique (**annexe 2**) sont principalement de :

- synchroniser les mouvements de tangage des podes avant et arrière afin de se conformer au relief ;
- amortir les mouvements de tangage ;
- piloter les mouvements de tangage.

a. Synchroniser et amortir les mouvements de tangage des trois podes

Dans un premier temps, la centrale hydraulique n'est pas activée (**annexe 2**). Il s'agit donc d'étudier le comportement de la plate-forme en mode passif (suivi du relief et amortissement des mouvements sans pilotage).

Les vérins utilisés, tous identiques, sont des vérins à double effet et tige traversante. Chaque vérin possède deux chambres à volume variable remplies d'huile. Deux répartiteurs hydrauliques (un répartiteur placé du côté gauche et l'autre du côté droit) assurent la circulation de l'huile entre les vérins avant et arrière en croisant l'alimentation des chambres des vérins avant et arrière.

Un schéma cinématique du montage des vérins est fourni en **annexe 3** et est complété par la représentation des principales fonctionnalités du répartiteur hydraulique droit.

Q2: *Sur le document-réponse (**questions 2 et 3**), indiquer en hachurant, les chambres des vérins qui sont en communication ainsi que le flexible permettant de les relier. Vous adopterez un type de hachures par volume d'huile en communication.*

A partir d'une position plane de la plate-forme (position du document-réponse **questions 2 et 3**), considérons que le pode avant **3** commence un mouvement de CABRAGE (montée du pode avant **3** et du bras d'articulation **4** par rapport au pode central **1**) suite à un obstacle. On note β l'angle de tangage entre le bras d'articulation **4** et le pode central **1** engendré par ce mouvement.

Q3: *Sur le document-réponse (**questions 2 et 3**), indiquer par des flèches le sens de circulation de l'huile dans les flexibles au cours de ce mouvement de CABRAGE. Indiquer quel est le mouvement engendré entre l'ensemble {pode arrière **2** + bras d'articulation **4'**} et le pode central **1**, ainsi que son amplitude suite au mouvement de CABRAGE du pode avant d'un angle β.*

b. Piloter les mouvements de tangage.

Le système hydraulique est conçu de telle sorte que les angles de tangage entre le pode central **1** d'une part et les podes avant / arrière d'autre part soient opposés à chaque instant. Ainsi, l'utilisateur n'a besoin de définir qu'un seul angle de tangage β défini entre le pode central **1** et le pode avant **3** par $\beta = \left(\overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{y_3}\right) = \left(\overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{z_3}\right)$ (**annexe 5**). L'angle β varie entre - 45° et +30°. Les valeurs négatives co rrespondent à un mouvement de PLONGEE du pode avant, les valeurs positives à un mouvement de CABRAGE.

Afin de piloter l'angle de tangage β conformément aux consignes des microcontrôleurs, la centrale hydraulique est activée. Un schéma de principe de cette centrale est fourni sur le document-réponse (**question 4**). La circulation d'huile est générée par une pompe à engrenage entraînée par un moteur électrique. Les consignes électriques de CABRAGE ou de PLONGEE agissent sur un distributeur 4/3 (4 orifices et 3 positions) afin de réaliser le mouvement

attendu au niveau des vérins (description du fonctionnement et de la normalisation d'un distributeur 4/3 disponible en **annexe 4**).

Q4: *Sur le document-réponse (**question 4**), relier les orifices de sortie du distributeur 4/3 aux flexibles d'alimentation des vérins afin de respecter les ordres de PLONGEE et de CABRAGE.*

II.2. Validation des performances du circuit hydraulique

La position de PLONGEE maximale, permet au pode central **1** d'atteindre son point culminant par rapport au sol. Seuls les podes avant **3** / arrière **2** sont alors en contact avec le sol horizontal. Cette position, appelée *« Mode 4 roues Observation »* (**figure 2**), permet à l'utilisateur d'observer le milieu environnant à l'aide d'une caméra placée sur le plan supérieur du pode central. La position de CABRAGE maximale, permet quant à elle de soulever le pode avant le plus haut possible afin de franchir un obstacle (*« Mode 4 roues Déplacement »* (**figure 2**)). Dans cette position, seuls le pode arrière **2** et le pode central **1** sont en contact avec le sol.

a. Etude du CABRAGE

Sur le document-réponse (**question 5**), le pode central **1** est représenté en *« Mode 4 roues Déplacement »*. Les podes **2** et **3** ont été représentés en pointillés dans leur position initiale pour un angle de tangage nul. Les points C_{3i} et C_{2i} définissent respectivement les positions initiales du centre de la roue avant et du centre de la roue arrière.

Q5: *Représenter, sur le document-réponse (**question 5**), pour la position de CABRAGE maximal ($\beta_{\max} = 30°$) :*

- *les positions du centre de la roue avant, appelé C_{3C} et du centre de la roue arrière, appelé C_{2C} ;*
- *les cercles représentant les roues avant et arrière ainsi qu'une droite représentant le sol ;*
- *la hauteur de franchissement maximal $D_{\max}$ mesurée perpendiculairement au sol jusqu'au bas de la roue avant.*

Mesurer $D_{\max}$ et comparer cette valeur au cahier des charges.

b. Dimensionnement des vérins

Le choix des vérins assurant le mouvement de tangage est délicat. En effet, l'encombrement très réduit oblige le concepteur à positionner l'axe de fixation des vérins avec les bras **4** et **4'** très près de l'axe de rotation en tangage $\left(O_1, \overrightarrow{x_L}\right)$. L'objectif de cette partie est de déterminer la course des vérins en fonction de l'amplitude du mouvement ainsi que la pression maximale $p_{\max i}$ dans le circuit hydraulique. Pour cette étude, nous considèrerons la configuration d'essai suivante où le pode central **1** est fixe et placé parallèlement au sol. L'ensemble E={bras d'articulation avant **4** + pode avant **3** + roues avant} est soulevé par les vérins avant **5** et **6** placés de part et d'autre du pode central **1**. Le modèle cinématique retenu est défini sur l'**annexe 6**.

Le mécanisme est constitué :

- du pode central fixe **1** : repère associé $R_1 = \left(O_1, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1}\right)$;
- de l'ensemble E={bras d'articulation avant **4** + pode avant **3** + roues avant} : repère associé $R_3 = \left(O_1, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_3}, \overrightarrow{z_3}\right)$ avec $\beta = \left(\overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{y_3}\right) = \left(\overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{z_3}\right)$;

- du vérin **5** constitué du corps **5_1** et de la tige **5_2** : repère associé $R_5 = \left(A, \vec{x}_1, \vec{y}_5, \vec{z}_5\right)$ avec $\gamma = \left(\vec{y}_3, \vec{y}_5\right) = \left(\vec{z}_3, \vec{z}_5\right)$;
- du vérin **6** non représenté car ayant le même comportement que le vérin **5**.

Paramétrage :

- $\overrightarrow{O_1A} = d_4.\vec{y}_3$; $\overrightarrow{AB} = \lambda.\vec{y}_5$; $\overrightarrow{O_1B} = d_1.\vec{y}_1 + h_1.\vec{z}_1$.

Valeurs numériques :

- $d_4 = 70$ mm ; $h_1 = 292$ mm ; $d_1 = 76$ mm ; $\beta \in [-45°, +30°]$.

Q6: *Exprimer λ en fonction de d_4, h_1, d_1 et β.*

Q7: *Calculer les valeurs numériques d'élongation minimale $\lambda_{\min}$, maximale $\lambda_{\max}$ ainsi que la course du vérin **5**.*

L'objectif suivant est d'évaluer les pressions maximales s'exerçant dans le circuit hydraulique dans la configuration d'essai décrite précédemment à savoir :

- le pode central **1** est fixe et placé parallèlement au sol ;
- les podes avant **3** et arrière **2** ne sont pas en contact avec le sol et un angle de tangage est alors imposé aux podes avant et arrière par rapport au pode central.

Sur l'**annexe 8**, l'évolution du rapport entre les efforts exercés par les vérins avant **5** et **6** et le poids de l'ensemble E a été tracée en fonction de l'angle de tangage β. La masse de l'ensemble E est $m_E = 60$ kg.

Q8: *A partir du tracé de l'**annexe 8** et du plan du vérin **annexe 7**, déterminer la valeur de la différence de pression maximale $\Delta P_{\max}$ entre les deux chambres des vérins avant 5 et 6.*

La pression minimale dans le circuit hydraulique est supposée constante et égale à p_0 ($p_0 = 1$ bar). Des limiteurs de pression tarés à 150 bars sont placés en sortie du distributeur 4/3.

Q9: *Déterminer l'expression de la pression maximale p_{maxi} dans le circuit hydraulique en fonction de p_0 et $\Delta P_{\max}$. Réaliser l'application numérique et comparer cette valeur à la pression de tarage des limiteurs.*

III. FONCTION TECHNIQUE FT 31 : ASSURER LE MOUVEMENT DE LACET

Hypothèses :

- De la même manière que dans la **partie II**, dans toute la **partie III**, le mouvement de roulis n'est pas considéré. Il est fixé à une valeur nulle.

Les 6 roues de la plate-forme (notée PF) sont motorisées permettant ainsi de se déplacer sur des reliefs très accidentés. Cependant, la plate-forme ne comporte pas de systèmes spécifiques de direction. Le changement de direction est imposé par une rotation différentielle des roues du pode central **1**. Les roues avant et arrière doivent alors avoir des vitesses de rotation compatibles avec celles du pode central **1**. Lorsque le rayon de courbure de la trajectoire suivie par la plate-forme devient inférieur à 4 mètres, le groupe hydraulique est actionné pour passer en « *Mode 2 roues instable* ». La plate-forme ne tenant pas en équilibre sur 2 roues, elle retombe dès le début du mouvement sur les roues arrière ou les roues avant, passant donc en « *Mode 4 roues Déplacement* ». Cette intervention du groupe hydraulique permet ainsi de soulager le contact entre les roues des podes avant / arrière et le sol. Pour cette étude,

nous considèrerons que la plate-forme retombe sur les roues arrière (**annexe 9**) et nous nous placerons dans le cas d'un rayon de courbure nul. Le mouvement de lacet étudié est donc une rotation autour de l'axe $\left(C_1, \overrightarrow{z_0}\right)$ d'angle φ, appelé *angle de lacet*.

Ce mouvement est défini par le torseur cinématique suivant :

$$\{V(PF/0)\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{\Omega}(PF/0) = \dot{\varphi}.\overrightarrow{z_0} \\ \vec{0} \end{array}\right\}_{C_1}$$

L'objectif de cette partie est de valider l'aptitude du système à respecter la loi de vitesse de la **figure 4**.

Le modèle cinématique retenu est représenté sur l'**annexe 9**.

Les roues centrales et les roues arrière sont en contact avec le sol. Dans ce mode, seules les roues centrales R_{1d} et R_{1g} sont motrices. Elles roulent sans glisser sur le sol en I_{1d} et I_{1g}. Les roues du pode avant **3** et du pode arrière **2** sont bloquées (**figure 5**).

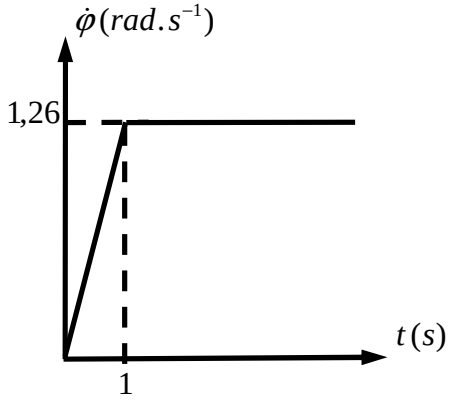
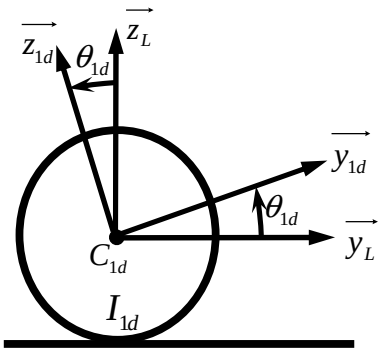


Figure 4 : *Loi de commande de vitesse*

Paramétrage : (**annexe 9**)

- $R_0 = \left(O_0, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$ lié au sol **0** et supposé « galiléen » ;
- $R_L = \left(C_1, \overrightarrow{x_L}, \overrightarrow{y_L}, \overrightarrow{z_L}\right)$ lié à la plate-forme PF tel que $\varphi = \left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_L}\right) = \left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_L}\right)$ appelé angle de lacet ;
- $R_1 = \left(C_1, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1}\right)$ lié au pode central **1** tel que $\beta = \left(\overrightarrow{y_L}, \overrightarrow{y_1}\right) = \left(\overrightarrow{z_L}, \overrightarrow{z_1}\right)$;

  β est l'angle de tangage ; $\beta = 2°$ (supposé constant pendant tout le mouvement de lacet) ;
- $R_3 = \left(C_3, \overrightarrow{x_3}, \overrightarrow{y_3}, \overrightarrow{z_3}\right)$ lié au pode avant **3** tel que $2\beta = \left(\overrightarrow{y_L}, \overrightarrow{y_3}\right) = \left(\overrightarrow{z_L}, \overrightarrow{z_3}\right) = 4°$;
- $\overrightarrow{C_1C_3} = b.\overrightarrow{y_3}$ et $\overrightarrow{C_1C_2} = -b.\overrightarrow{y_L}$ avec $b = 553mm$;
- La **figure 5** permet de définir le paramétrage de chacune des roues de la plate-forme en contact avec le sol avec l'exemple de la roue centrale droite R_{1d}.



	Nom	Centre de gravité	Point de contact avec le sol	Vitesse de rotation / au pode central	Repère associé
Roue centrale droite	R_{1d}	C_{1d}	I_{1d}	$\dot{\theta}_{1d}$	$R_{1d} = \left(C_{1d}, \overrightarrow{x_L}, \overrightarrow{y_{1d}}, \overrightarrow{z_{1d}}\right)$
Roue centrale gauche	R_{1g}	C_{1g}	I_{1g}	$\dot{\theta}_{1g}$	$R_{1g} = \left(C_{1g}, \overrightarrow{x_L}, \overrightarrow{y_{1g}}, \overrightarrow{z_{1g}}\right)$
Roue arrière droite	R_{2d}	C_{2d}	I_{2d}	nulle	----------
Roue arrière gauche	R_{2g}	C_{2g}	I_{2g}	nulle	----------

Figure 5 : *Paramétrage des roues en contact avec le sol*

Caractéristiques géométriques et d'inertie des solides :

- Le mouvement de roulis étant nul et le mouvement de tangage étant fixé à une valeur constante, il est possible de définir l'ensemble rigide Σ constitué des trois podes **1**, **2** et **3**, des deux roues avant, des deux roues arrière et des bras d'articulation **4** et **4'**. Pour chaque constituant de cet ensemble, la masse est supposée répartie uniformément.

Centre de gravité de Σ	**Masse de Σ**	**Matrice d'inertie de Σ en C_1**
G tel que $\overrightarrow{C_1G} = a_G.\overrightarrow{z_1}$ $a_G = 85\,mm$	$m_\Sigma = 152kg$	$I(C_1,\Sigma) = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{\left(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_1}\right)}$ $A = 30{,}2\,kg.m^2$ $B = 8{,}2\,kg.m^2$ $C = 32{,}3\,kg.m^2$

- Roue droite ou gauche + axe de roue : $R_{i\,d\,ou\,g}$ (i correspond au numéro du pode)

Centre de gravité de $R_{i\,d\,ou\,g}$	**Masse de $R_{i\,d\,ou\,g}$**	**Matrice d'inertie de $R_{i\,d\,ou\,g}$ respectivement en $C_{i\,d\,ou\,g}$**
$C_{i\,d\,ou\,g}$ tel que l'entraxe $C_{ig}C_{id} = 2e$ $\overrightarrow{C_iC_{id}} = e.\overrightarrow{x_L}$ et $\overrightarrow{C_iC_{ig}} = -e.\overrightarrow{x_L}$ $e = 340\,mm$	$m_r = 4kg$ Rayon d'une roue $R = 225\,mm$	$I(C_{id\,ou\,g},R_{i\,d\,ou\,g}) = \begin{bmatrix} A_r & 0 & 0 \\ 0 & B_r & 0 \\ 0 & 0 & B_r \end{bmatrix}_{\left(\overrightarrow{x_L},-,-\right)}$ Valable dans toute base orthonormée directe qui contient $\overrightarrow{x_L}$ $A_r = 0{,}1kg.m^2 \quad B_r = 0{,}04\,kg.m^2$

- Axe des moteurs du pode central :

Les deux motoréducteurs centraux sont constitués chacun d'un moteur à courant continu alimenté en 48V associé à un réducteur épicycloïdal de rapport de réduction $k = +1/25$. La matrice d'inertie en C_1 d'un axe moteur droit M_{1d} ou gauche M_{1g} (en rotation suivant $(C_1,\overrightarrow{x_L})$) est :

$$I(C_1,M_{1d}\,ou\,M_{1g}) = \begin{bmatrix} A_m & 0 & 0 \\ 0 & B_m & 0 \\ 0 & 0 & B_m \end{bmatrix}_{\left(\overrightarrow{x_L},-,-\right)} \text{ avec } \begin{cases} A_m = 795.10^{-7}\,kg.m^2 \\ B_m = 8.10^{-3}\,kg.m^2 \end{cases}$$

- Les masses et inerties des autres pièces seront négligées.

Modélisation du contact roue / sol :

- Les roues centrales R_{1d} et R_{1g} sont motrices, elles roulent sans glisser aux points de contact I_{1d} et I_{1g} . On pose $\overrightarrow{C_{1d}I_{1d}} = -R.\overrightarrow{z_L}$ et $\overrightarrow{C_{1g}I_{1g}} = -R.\overrightarrow{z_L}$. Le contact avec le sol **0** est modélisé par le torseur suivant :

$$\{T(0\to R_{1d})\} = \left\{\begin{matrix} \overrightarrow{R}_{0\to R_{1d}} = Y_{1d}\overrightarrow{y_L} + Z_{1d}\overrightarrow{z_L} \\ \vec{0} \end{matrix}\right\}_{I_{1d}} \text{ et } \{T(0\to R_{1g})\} = \left\{\begin{matrix} \overrightarrow{R}_{0\to R_{1g}} = Y_{1g}\overrightarrow{y_L} + Z_{1g}\overrightarrow{z_L} \\ \vec{0} \end{matrix}\right\}_{I_{1g}}$$

- Les roues arrière R_{2d} et R_{2g} sont bloquées, leur vitesse de rotation par rapport au pode arrière **2** est nulle. Le contact avec le sol **0** est modélisé par le torseur suivant :

$\{T(0 \to R_{2d})\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{0 \to R_{2d}} = T_{2d}\,\overrightarrow{n_d} + Z_{2d}\,\overrightarrow{z_L} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{I_{2d}}$ et $\{T(0 \to R_{2g})\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{0 \to R_{2g}} = T_{2g}\,\overrightarrow{n_g} + Z_{2g}\,\overrightarrow{z_L} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{I_{2g}}$ avec

$\overrightarrow{n_d}$ et $\overrightarrow{n_g}$ deux vecteurs unitaires opposés aux vitesses de glissement des roues R_{2d} et R_{2g} par rapport au sol **0** respectivement en I_{2d} et I_{2g}. On pose $\overrightarrow{C_{2d}I_{2d}} = -R.\overrightarrow{z_L}$ et $\overrightarrow{C_{2g}I_{2g}} = -R.\overrightarrow{z_L}$.

$T_{2d} = f.Z_{2d}$ et $T_{2g} = f.Z_{2g}$; f est le facteur de frottement constant au contact roue/sol ; $f = 0{,}6$.

Autres liaisons :

Toutes les autres liaisons de la plate-forme sont supposées parfaites (sans jeu, sans frottement).

Motoréducteur centraux :

- L'action mécanique développée par le motoréducteur sur la roue centrale droite R_{1d} est notée :

$$\{T(moteur \to R_{1d})\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{0} \\ -C_m\,\overrightarrow{x_L} \end{matrix} \right\}_{C_1}$$

- L'action mécanique développée par le motoréducteur sur la roue centrale gauche R_{1g} est notée :

$$\{T(moteur \to R_{1g})\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{0} \\ C_m\,\overrightarrow{x_L} \end{matrix} \right\}_{C_1}$$

Q10: *Justifier la forme de la matrice d'inertie de l'ensemble* Σ *au point* C_1 *dans la base* $\left(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1}\right)$.

Dans un premier temps, l'objectif est de déterminer la somme des efforts normaux $Z_{2d} + Z_{2g}$ s'exerçant sur les roues arrière. Isolons l'ensemble de la plate-forme PF, soit l'ensemble Σ, les roues centrales et les motoréducteurs. Plaçons nous dans le plan médian $\left(C_1, \overrightarrow{y_L}, \overrightarrow{z_L}\right)$ de la plate-forme PF. Nous définissons le projeté I_1 des points de contact I_{1d} et I_{1g} dans ce plan. I_1 est défini par le vecteur : $\overrightarrow{C_1I_1} = -R.\overrightarrow{z_L}$. D'autre part, nous avons $\overrightarrow{C_2I_1} = b.\overrightarrow{y_L} - R.\overrightarrow{z_L}$ et $\overrightarrow{C_3I_1} = -b.\overrightarrow{y_3} - R.\overrightarrow{z_L}$. Nous ferons l'hypothèse que le moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{I_1}(PF/0)}.\overrightarrow{x_L}$ est négligeable devant les actions mécaniques.

Q11: *En appliquant le théorème du moment dynamique à la plate-forme* PF *en mouvement par rapport au référentiel galiléen* R_0 *en* I_1 *en projection sur* $\overrightarrow{x_L}$*, déterminer l'expression littérale de la somme des efforts normaux de contact* $Z_{2d} + Z_{2g}$*, entre les roues arrière et le sol. Réaliser l'application numérique et comparer la valeur obtenue à la somme des efforts normaux s'exerçant sur les roues arrière lorsque la plate-forme est immobile en appui sur ses six roues sur un sol plan, à savoir* $\left(Z_{2d} + Z_{2g}\right)_{\text{Repos}} = (m_2 + 2m_r)g$ *avec* $m_2 = 52\,kg$ *la masse du pode arrière* ***2****.*

L'objectif est dans un second temps de valider l'aptitude des moteurs à suivre la loi de vitesse en lacet exigée. Il est proposé de déterminer l'expression du couple moteur C_m par une approche énergétique.

Q12: *Déterminer l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble des solides en mouvement. Le résultat sera mis sous la forme* $\frac{1}{2}.J.\dot{\varphi}^2$ *où* J *est à exprimer sous forme littérale en fonction des données du problème.*

Q13: *Mettre en œuvre le théorème de l'énergie cinétique afin de déterminer l'expression du couple moteur. Vous donnerez le résultat sous la forme* $C_m = k_2.\left(J \cdot \ddot{\varphi} + k_1 \cdot \left(T_{2d} + T_{2g}\right)\right)$ *où* k_1 *et* k_2 *sont à exprimer sous forme littérale en fonction des données du problème. Vous veillerez à bien faire apparaître les différentes étapes de votre raisonnement et à fournir des expressions littérales.*

Pour la **question 14**, vous prendrez $J = 34\ \ kg.m^2$, $k_1 = 0{,}65\,m$ et $k_2 = 1{,}3 \cdot 10^{-2}$ sans unité.

Q14: *Calculer le couple moteur maximal :* C_m *maxi. A partir du graphe de fonctionnement du moteur (document-réponse* ***question 14****), conclure quand à l'aptitude de la motorisation à générer le mouvement de lacet désiré.*

IV. FONCTION TECHNIQUE FT 2 : GÉRER LE FONCTIONNEMENT

IV.1. La commande de la plate-forme

Pour coordonner les déplacements, la plate-forme est équipée de deux parties commandes supportées par deux microcontrôleurs placés respectivement dans les podes avant et arrière (**figure 6**). Chaque microcontrôleur commande trois roues et l'un des deux génère les ordres envoyés à la centrale hydraulique afin de piloter les mouvements de tangage.

Ces 2 microcontrôleurs communiquent entre eux et dialoguent avec l'extérieur suivant deux modes de conduite :

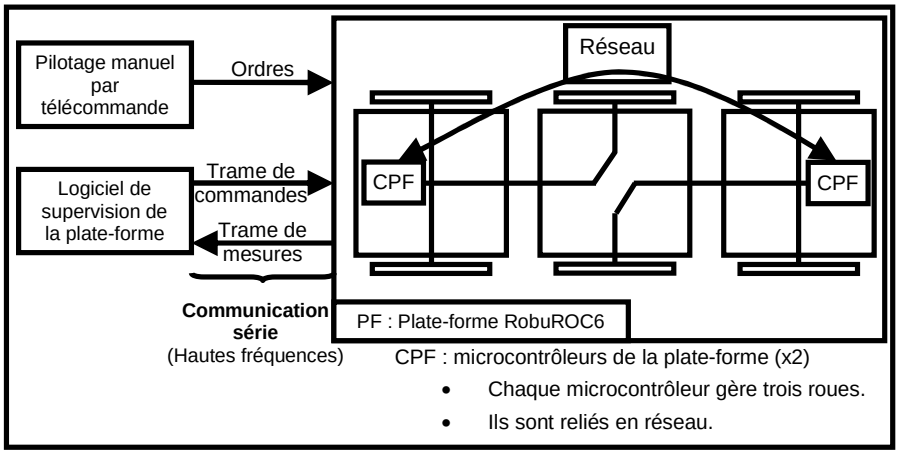


Figure 6 : Architecture de la commande de la plate-forme

- Le mode **joystick** : l'utilisateur pilote manuellement la plate-forme par l'intermédiaire d'une télécommande ;
- Le mode **automatique** : La plate-forme traite les commandes du logiciel de supervision.

Le pilotage en mode automatique est prioritaire sur le mode joystick.

Les principales fonctions à remplir par la partie commande sont :

- communiquer avec l'utilisateur ou le superviseur ;
- gérer les séquences de pilotage, notamment celle de cabrage ;
- asservir les déplacements de la plate-forme.

IV.2. Gérer le pilotage séquentiel du CABRAGE en *« Mode 2 roues instable »*

Lorsque le rayon de courbure est inférieur à 4 mètres et que la vitesse de la plate-forme est inférieure à une vitesse limite, la partie commande de la plate-forme active le « *Mode 2 roues instable* » (**Rotation 2 roues=1**). En «*Mode 2*

roues instable», la partie commande génère les lois de pilotage à appliquer aux roues centrales et pilote la centrale hydraulique afin de **CABRER** les podes avant et arrière suivant une séquence prédéfinie.

L'objectif de cette partie est de proposer un GRAFCET de gestion de la séquence CABRAGE en *« Mode 2 roues instable »*. La table des entrées-sorties de cette séquence est la suivante :



Description de la séquence associée au CABRAGE en *« Mode 2 roues instable »* :

1. Lorsque **Rotation 2 roues=1**, une consigne **CABRER** est envoyée à la centrale hydraulique pendant **1 seconde** (temps nécessaire pour imposer un angle de tangage de l'ordre de 2° aux podes avant et arrière par rapport au pode central).
2. Le système hydraulique actuel ne permet pas de bloquer en permanence les podes avant et arrière en position CABRER. En effet, les pressions importantes présentes dans le circuit pour maintenir les podes en position génèrent un débit de fuite interne qui ramène progressivement les podes en position initiale. Il a été mesuré qu'au bout de 5 secondes (temps nécessaire pour effectuer de 1 à 2 tours sur place en fonction de la nature du sol), les podes avant et arrière sont à nouveau pleinement en contact avec le sol.
3. Si le « *Mode 2 roues instable* » (**Rotation 2 roues=1)** est maintenu pendant plus de 5 secondes (à partir de son activation) alors la séquence prévoit de rétablir à nouveau la consigne **CABRER** (retour à l'étape 1).
4. A tout moment, le « *Mode 2 roues instable* » peut être désactivé (**Rotation 2 roues=0).** Si une consigne **CABRER** est en cours, elle est immédiatement arrêtée et la séquence de gestion de la centrale hydraulique en « *Mode 2 roues instable* » est réinitialisée. Le débit de fuite dans le circuit assure le retour progressif en position initiale des podes avant et arrière.

Q15: *Réaliser un (ou plusieurs) GRAFCET(s) correspondant à* la séquence de fonctionnement associée au CABRAGE en «Mode 2 roues instab*le ». Un début de GRAFCET est fourni sur le document-réponse (**question 15**). Vous veillerez en particulier à :*

- *respecter les normes de construction d'un GRAFCET ;*
- *utiliser uniquement les entrées-sorties fournies ;*
- *mettre en place les temporisations nécessaires ;*
- *ajouter des commentaires aux étapes qui ne pilotent pas directement une action afin de définir leur rôle.*

IV.3. Asservir les déplacements de la plate-forme

Les déplacements de la plate-forme sont contrôlés de la manière suivante :

- au niveau de chacun des 6 moteurs, des boucles de vitesse assurent l'asservissement dit « bas niveau » ;
- à partir d'informations sur la position absolue de la plate-forme via le système GPS par exemple, un asservissement en position de la plate-forme peut être mis en place (asservissement dit « haut niveau »).

L'objectif dans cette partie est de déterminer les paramètres de réglage de chacune des boucles d'asservissement en vitesse de la plate-forme par rapport au sol.

Hypothèses et modélisation :

Afin de régler l'asservissement en vitesse de la plate-forme par rapport au sol :

- un déplacement en ligne droite de la plate-forme est considéré (consigne de vitesse $V_C(t)$, les paramètres angulaires de lacet, tangage et roulis restent nuls) ;

- le contact entre chaque pneumatique et le sol est considéré avec roulement sans glissement ;
- pour la modélisation du fonctionnement des moteurs, nous supposerons une équi-répartition de la charge extérieure sur chacun des six moteurs. Ainsi, pour une vitesse $V(t)$ de la plate-forme, les six moteurs tourneront à la même vitesse $\Omega_{Mot}(t)$. Ils seront alimentés par une même tension de commande $U(t)$ et devront fournir un même couple moteur $C_{Mot}(t)$;
- les efforts de perturbations (action mécanique de la pesanteur sur une pente…) seront répartis sur chacun des axes des six moteurs et seront donc modélisés par un même couple de perturbation équivalent $C_{equ}(t)$ appliqué sur chacun des axes moteurs ;
- les caractéristiques inertielles de la plate-forme seront représentées au niveau de chaque axe moteur par un moment d'inertie équivalent $\frac{J_{equ}}{6}$;
- le comportement individuel d'un des six moteurs peut donc être approché par celui d'un moteur à courant continu avec les équations électromécaniques suivantes :

Equation électrique : $U(t) = E(t) + r.I(t) + L.\frac{dI(t)}{dt}$ **Equation mécanique** : $\frac{J_{equ}}{6}.\frac{d\Omega_{Mot}(t)}{dt} = C_{Mot}(t) - C_{equ}(t)$

Equations de couplage : $E(t) = k_e.\Omega_{Mot}(t)$ et $C_{Mot}(t) = k_c.I(t)$

Symbole	Désignation	Valeur, unités
$U(t)$	Tension d'alimentation d'un moteur	[V]
$E(t)$	Tension contre électromotrice dans un moteur	[V]
$I(t)$	Intensité dans un moteur	[A]
V(t)	Vitesse de déplacement de la plate-forme	[m/s]
$\Omega_{Mot}(t)$	Vitesse de rotation de chacun des six moteurs	[rad/s]
$C_{Mot}(t)$	Couple moteur appliqué par chacun des six moteurs	[Nm]
$C_{equ}(t)$	Couple de perturbation équivalent appliqué à chacun des six axes moteurs	[Nm]
r	Résistance de l'induit d'un moteur	2,2 Ω
L	Inductance de l'induit d'un moteur	4,62 mH
k_e	Constante de vitesse d'un moteur	0,12 V/(rad/s)
k_c	Constante de couple d'un moteur	0,12 Nm/A
J_{equ}	Inertie équivalente de la plate-forme ramenée sur l'axe d'un des six moteurs	$14{,}4.10^{-3}$ kg.m^2

Description de l'asservissement en vitesse de la plate-forme par rapport au sol (figure 7 et 8):

Pour une vitesse de consigne $V_C(t)$ [m/s], les microcontrôleurs de pilotage génèrent une vitesse de rotation de consigne à appliquer à chaque moteur $\Omega_{C_{Mot}}(t)$ [rad/s] qui est convertie en une tension de consigne $U_C(t)$ [V]. Un capteur de vitesse monté sur l'axe de chaque moteur fournit une tension mesurée $U_m(t)$ [V], image de la vitesse de rotation réelle $\Omega_{Mot}(t)$. Un correcteur (défini par la suite) adapte le signal écart entre la tension de consigne et la

tension mesurée, ce qui permet après amplification de définir la tension d'alimentation $U(t)$ à appliquer aux moteurs. La vitesse réelle de la plate-forme $V(t)$ est déterminée à partir de $\Omega_{Mot}(t)$ en l'absence de glissement.

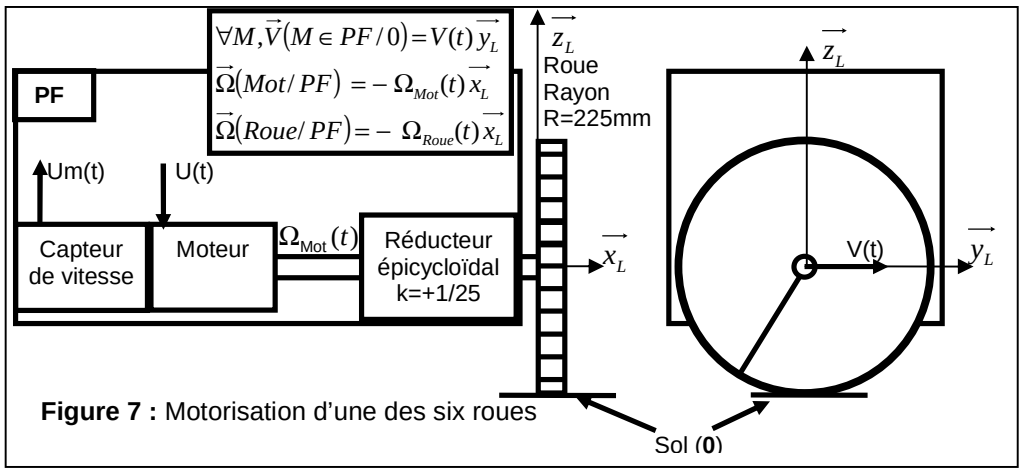


Figure 7 : Motorisation d'une des six roues

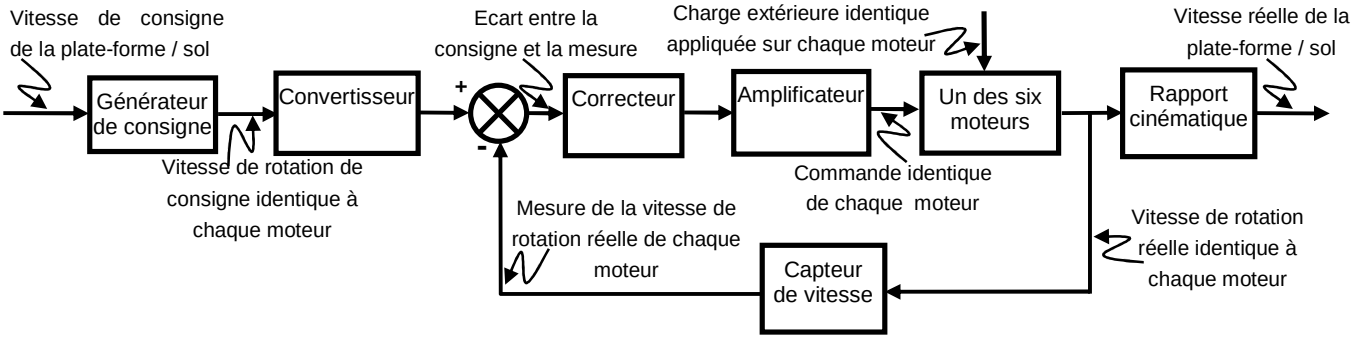


Figure 8 : *Schéma bloc fonctionnel de l'asservissement en vitesse d'un des six moteurs*

Blocs	Fonctions de transfert
Générateur de consigne	K_G (à déterminer)
Convertisseur	K_{conv} (à déterminer)
Correcteur	C(p) (réglé par la suite)
Amplificateur	$K_A = 20$ sans unité
Capteur de vitesse	$K_{Capt} = 5.10^{-3}$ V/(rad/s)
Rapport cinématique	K_R (à déterminer)

Figure 9 : *Fonctions de transfert*

Cahier des charges à respecter :

Fonction	Critères	Niveaux
Asservir en vitesse la plate-forme par rapport au sol	**STABILITE**	
	• Marge de gain	MG= 6dB mini
	• Marge de phase	Mφ= 45° mini
	PRECISION	
	en poursuite	
	• Erreur statique à un échelon de vitesse	Nulle
	en régulation	
	• Influence d'un échelon en couple de perturbation en régime permanent	Nulle
	RAPIDITE	
	• Temps de réponse à 5% (à une entrée en échelon de vitesse)	0,5 secondes

Q16: *Déterminer les valeurs numériques et unités des gains associés au générateur de consigne (noté K_G), au rapport cinématique (K_R) et au convertisseur (K_{conv}) en sachant, que lorsque la vitesse réelle de la plate-forme $V(t)$ est égale à la vitesse de consigne de la plate-forme $V_C(t)$, l'écart $\varepsilon(t)$ doit être nul.*

Q17: *Compléter le schéma bloc sur le document-réponse (**question 17**) en y faisant figurer les fonctions de transfert sous forme littérale dans le domaine de Laplace avec des conditions initiales nulles, ainsi que les signes des sommateurs.*

A partir de la modélisation des blocs, un schéma bloc à retour unitaire est tracé :

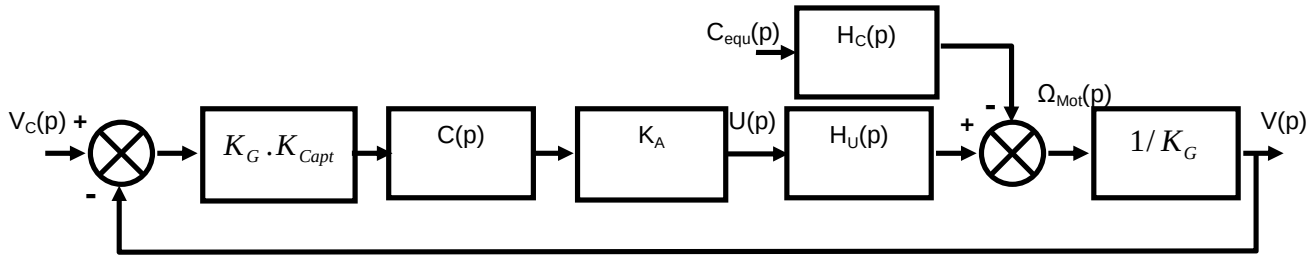


Figure 10 : *Schéma bloc à retour unitaire*

$H_U(p)$ et $H_C(p)$ sont les fonctions de transfert caractéristiques d'un des six moteurs. Nous retiendrons :

$$H_U(p)=\frac{K_U}{(T_1p+1)(T_2p+1)} \text{ et } H_C(p)=\frac{K_C(1+\frac{L}{r}p)}{(T_1p+1)(T_2p+1)}$$

avec $K_U=8{,}3\ rad.s^{-1}.V^{-1}$, $K_C=152{,}7\ rad.s^{-1}.N^{-1}.m^{-1}$, $T_1=2{,}1\ ms$ et $T_2=0{,}36\ s$

Etude des performances sans correction : $C(p)=1$

Nous distinguerons dans la suite :

- l'étude en poursuite : Le couple de perturbation équivalent $C_{equ}(t)$ est nul. $V_c(t)$ varie ;
- l'étude en régulation : La vitesse de consigne de la plate-forme $V_c(t)$ est nulle. $C_{equ}(t)$ varie.

Les diagrammes de Bode de la Fonction de Transfert en Boucle Ouverte $FTBO(p)$ non corrigée sont fournis sur le document-réponse (**Bode non corrigé page 12**) pour $C(p)=1$.

Q18: *Le système étudié est-il stable théoriquement ? Justifier vos réponses.*

Q19: *Etudier l'aptitude du système sans correction à respecter les critères de précision. Vous déterminerez notamment les expressions littérales de l'erreur statique en poursuite pour une consigne de vitesse de la plate-forme $V_c(t)$ en échelon d'amplitude V_{CO} : $V_c(t)=V_{CO}.u(t)$ (avec $u(t)$ l'échelon unitaire) et de l'influence en régulation d'une perturbation $C_{equ}(t)$ en échelon d'amplitude C_0, sur la vitesse réelle $V(t)$ de la plate-forme en régime permanent.*

Etude des performances avec un correcteur de fonction de transfert : $C(p)=\frac{K_I}{p}$

Q20: *Indiquer quelle est la nature de la correction effectuée par ce correcteur (ou désignation du correcteur) ? Indiquer pour quelle(s) raison(s) principale(s) ce correcteur a été choisi. Valider ce choix vis à vis du cahier des charges. Sans calcul, donner l'influence de ce correcteur sur les autres performances attendues.*

Reprenons le diagramme de Bode de la Fonction de Transfert en Boucle Ouverte $FTBO(p)$ non corrigée (**Bode non corrigé page 12**).

Q21: *Compléter le document-réponse (**Bode non corrigé page 12**) en traçant les diagrammes de Bode du correcteur avec $K_I = 1\ s^{-1}$. Déterminer alors la valeur de K_I maximale notée $K_{I\max}$ permettant de respecter les marges de stabilité énoncées dans le cahier des charges.*

Afin d'évaluer analytiquement le temps de réponse à 5%, Il est proposé d'adopter une modélisation simplifiée du comportement du moteur en conservant uniquement le mode associé au pôle «dominant». On donne $T_{5\%\text{mini}}.\omega_0 = 3$ avec ω_0 la pulsation propre non amortie d'un système fondamental du second ordre.

Q22: *En analysant les valeurs numériques des pôles de la fonction de transfert du moteur en poursuite $H_U(p)$, préciser quel est le pôle dominant et proposer alors un modèle simplifié de la fonction de transfert $H_U(p)$. Déterminer alors la valeur numérique de K_I notée $K_{I5\%}$ minimisant le temps de réponse à 5% pour une entrée échelon en poursuite. Calculer alors la valeur approchée du temps de réponse à 5% minimale $T_{5\%\text{mini}}$ et comparer la au cahier des charges.*

<u>Etude des performances avec un correcteur proportionnel intégral :</u> $C(p) = K_P\left(1 + \dfrac{1}{T_I p}\right)$

Le correcteur est remplacé par un correcteur proportionnel intégral. Des réponses temporelles du système corrigé sont tracées sur le document-réponse (**question 23**) avec :

- une consigne de vitesse unitaire de la plate-forme $V_c(t) = u(t)$ (avec $u(t)$ l'échelon unitaire) ;
- une perturbation sous la forme d'un échelon unitaire retardé de 5 secondes $C_{equ}(t) = u(t-5)$;
- un gain du correcteur $K_p = 1$;
- différentes valeurs de T_I.

Q23: *Parmi les différentes valeurs de T_I, choisir celle qui assure le temps de réponse à 5% le plus faible. Vous ferez apparaître ce temps de réponse sur la figure (**question 23**).*

La valeur de T_I déterminée à la question précédente est retenue pour le réglage du correcteur proportionnel intégral. Il s'agit alors de choisir le gain du correcteur K_p à partir des simulations proposées sur le document-réponse (**question 24**).

Q24: *Parmi les différentes valeurs de K_p, choisir la valeur qui assure un temps de réponse à 5% au plus près de la valeur fournie dans le cahier des charges.*

Avec le couple de valeurs (T_I et K_p) obtenu, la réponse fréquentielle du système en boucle ouverte a été tracée sur le document réponse (**question 25**).

Q25: *Conclure quant à la capacité de ce correcteur à respecter tous les critères du cahier des charges.*

V. FONCTION TECHNIQUE FT33 : GUIDER LES PODES EN ROULIS

L'objet de cette partie est d'étudier les solutions constructives assurant le guidage des podes en roulis. Ce guidage est réalisé par deux liaisons identiques, une pour le pode avant **3** et une pour le pode arrière **2**. Dans la suite, une seule des deux liaisons sera détaillée.

V.1. Description de la première solution constructive (annexe 10)

Les podes sont constitués d'un caisson creux dans lequel l'ensemble des éléments techniques prend place. Les caissons sont réalisés par assemblage et collage de plaques de composites de type « sandwich ». L'utilisation de ce type de matériau garantit une bonne résistance aux efforts tout en maîtrisant la masse.
Pour des raisons d'encombrement (place à l'intérieur des podes), la liaison en roulis s'effectue uniquement sur l'épaisseur de la plaque en relation avec le bras d'articulation. Un insert métallique a été incorporé dans la plaque au niveau de la liaison avec le bras. Cette liaison réalisée par contact bilatéral direct peut être modélisée par l'association de deux liaisons en parallèle.

- D'une part, une liaison appui plan réalisée par contact bilatéral entre l'insert lié au pode et deux rondelles liées au bras d'articulation ;
- D'autre part, par une liaison sphère cylindre (linéaire annulaire) modélisant le centrage court entre l'insert lié au pode et le palier de roulis lié au bras d'articulation.

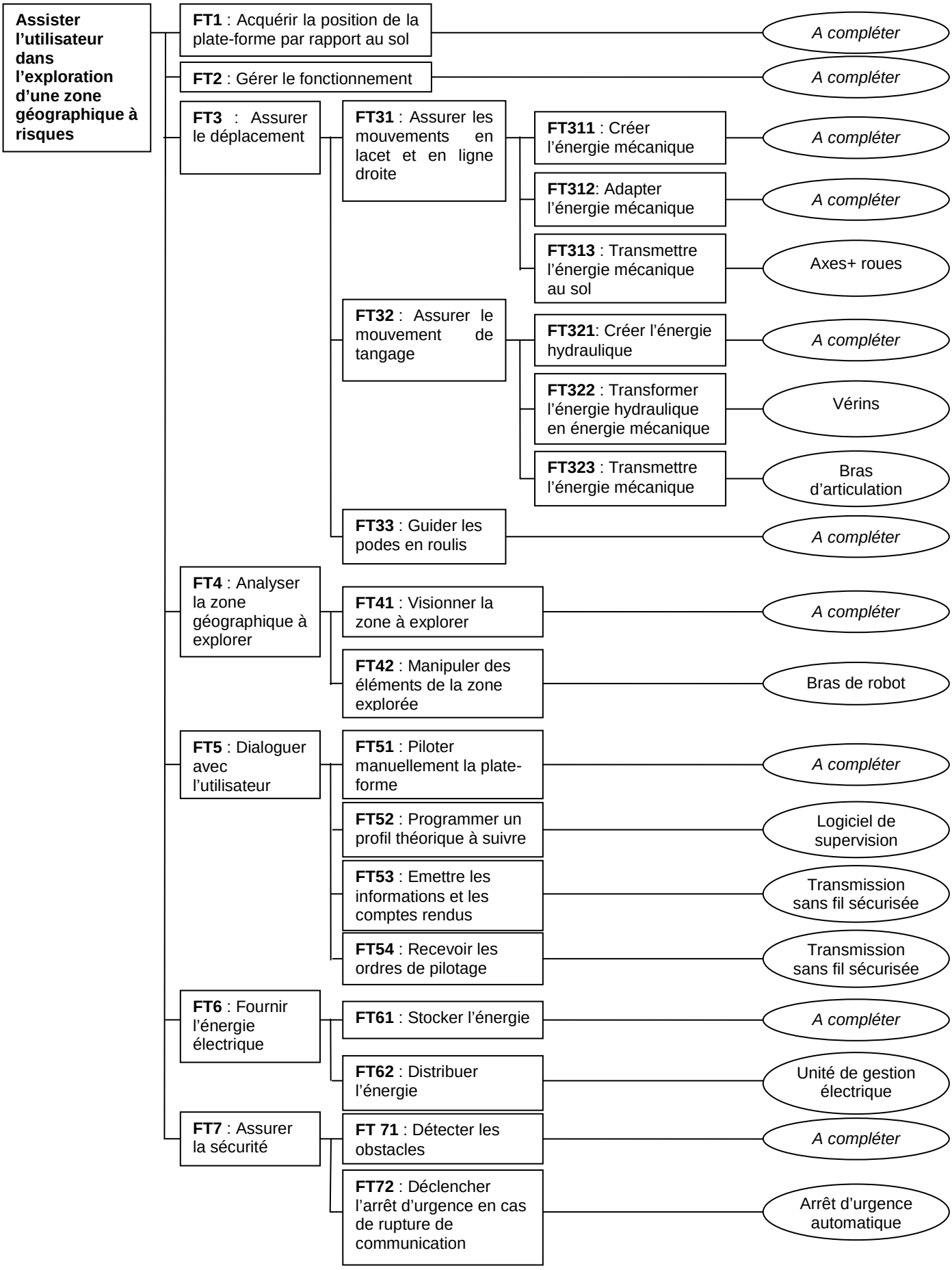
Q26: *Proposer un schéma cinématique représentant l'association des deux liaisons en parallèle. L'orientation des liaisons sera déterminée à partir de l'analyse technologique de la liaison. Montrer que la modélisation adoptée conduit alors à une liaison équivalente pivot isostatique.*

V.2. Amélioration de la solution constructive (annexe 11)

Lors des premiers essais, des détériorations localisées au niveau de l'insert métallique des plaques composites ont pu être observées, notamment en présence de moments importants dans la liaison autour de l'axe vertical. Afin de renforcer la liaison, Il a été décidé de rajouter sur chaque pode avant / arrière deux pistes circulaires métalliques et sur chaque bras deux plots venant glisser respectivement sur chacune des pistes et récupérer une partie des efforts.
Dans un premier temps, chaque plot est considéré solidaire du bras d'articulation (liaison complète) et chaque contact entre un plot et une piste circulaire est modélisé par une liaison appui plan.

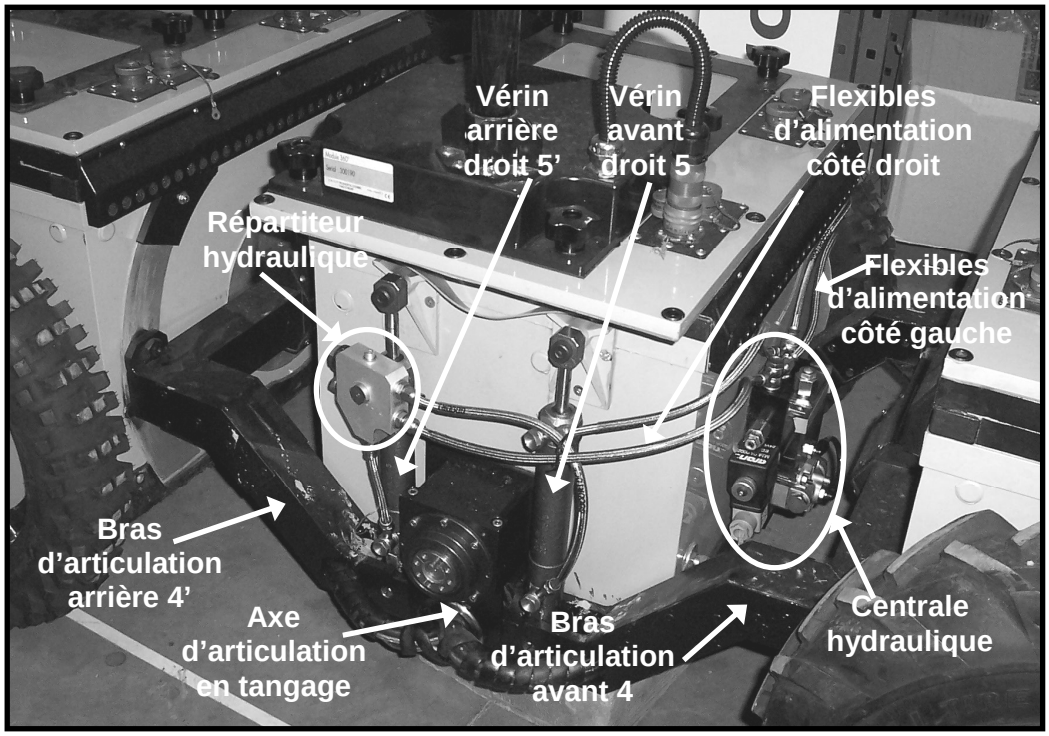
Q27: *Déterminer le degré d'hyperstatisme de cette nouvelle solution. Proposer alors une solution modifiée sous la forme d'un schéma d'architecture (ou cinématique) permettant de réaliser les réglages géométriques nécessaires afin d'assurer un contact surfacique optimal entre chaque plot et la piste circulaire.*

DIAGRAMME FAST

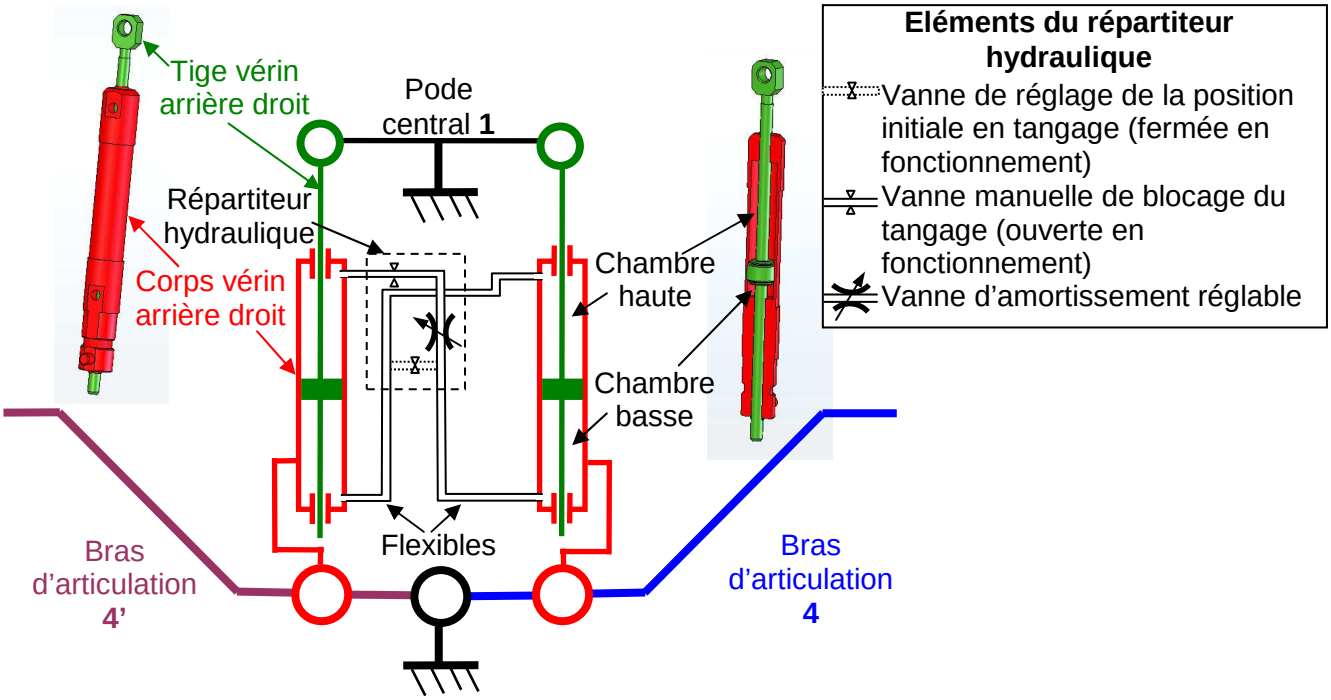


Annexe 1 : Diagramme FAST partiel de la plate-forme d'exploration

CIRCUIT HYDRAULIQUE



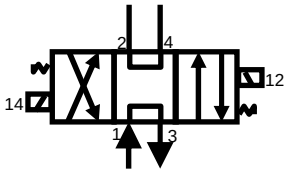
Annexe 2 : Description du circuit hydraulique complet (fixé sur le pode central **1)**
(La roue centrale droite a été démontée pour faciliter la visibilité)



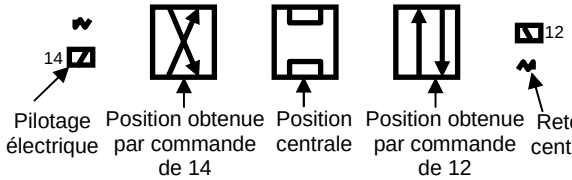
Annexe 3 : Schéma cinématique du montage des vérins de tangage (côté droit) et représentation du circuit hydraulique en mode passif (synchronisation et amortissement)

Fonction : Permettre de distribuer l'énergie hydraulique disponible suivant les ordres de commande

4 orifices : repères 1, 2, 3 et 4

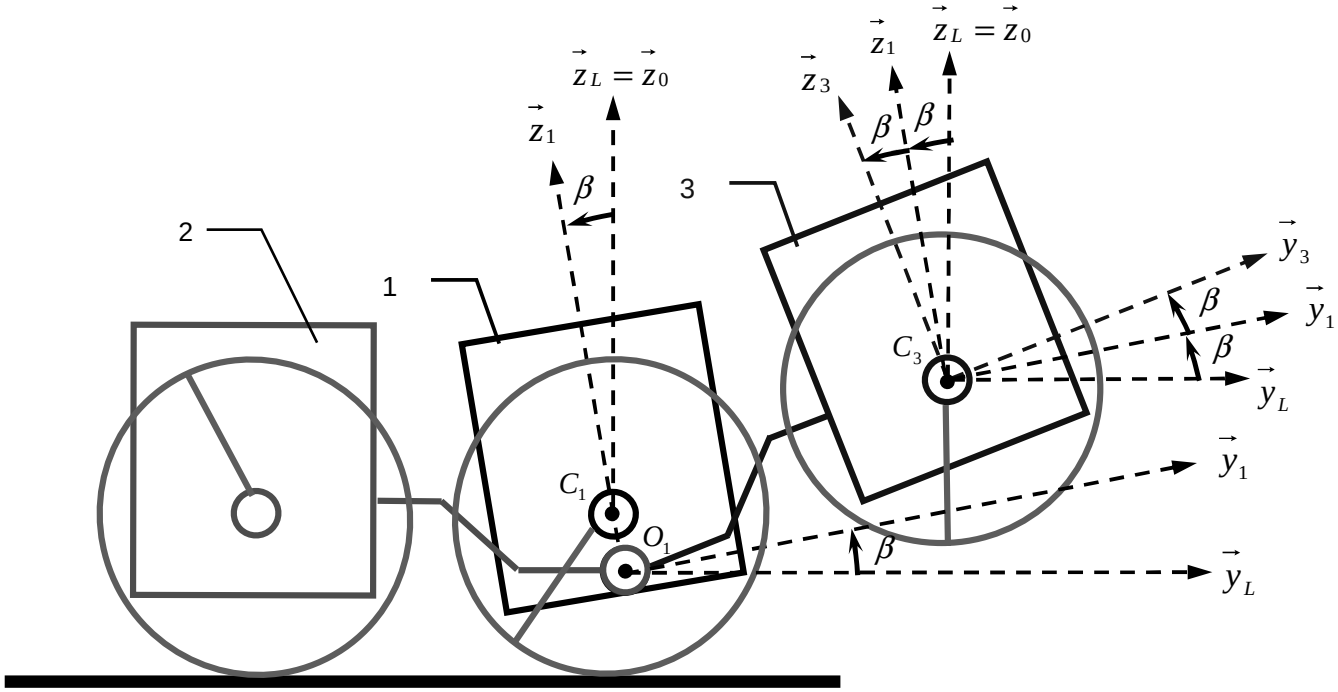


3 positions = 3 états possibles du distributeur

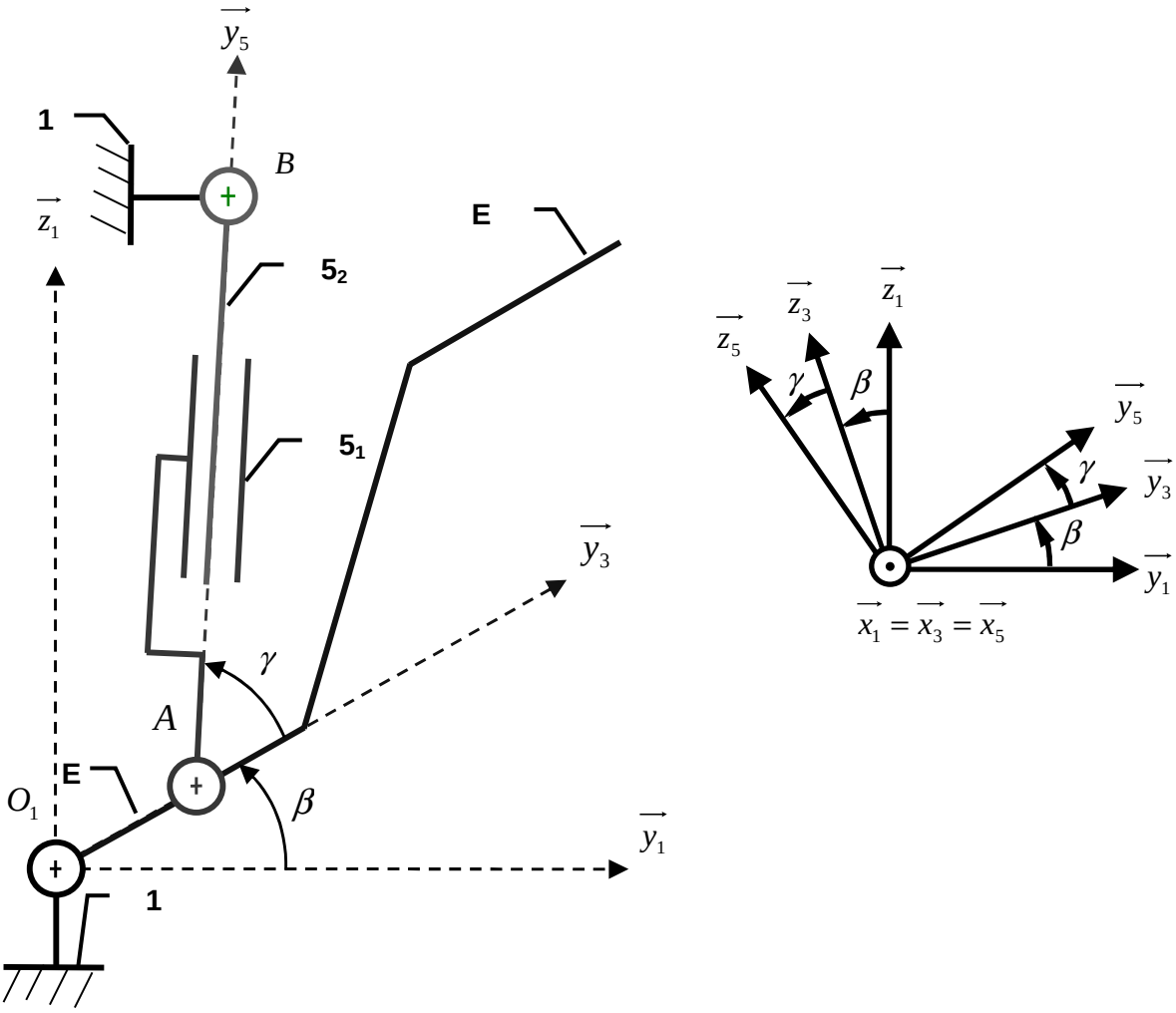


Annexe 4 : Normalisation et fonctionnement d'un **distributeur 4/3**

PARAMETRAGE CINEMATIQUE

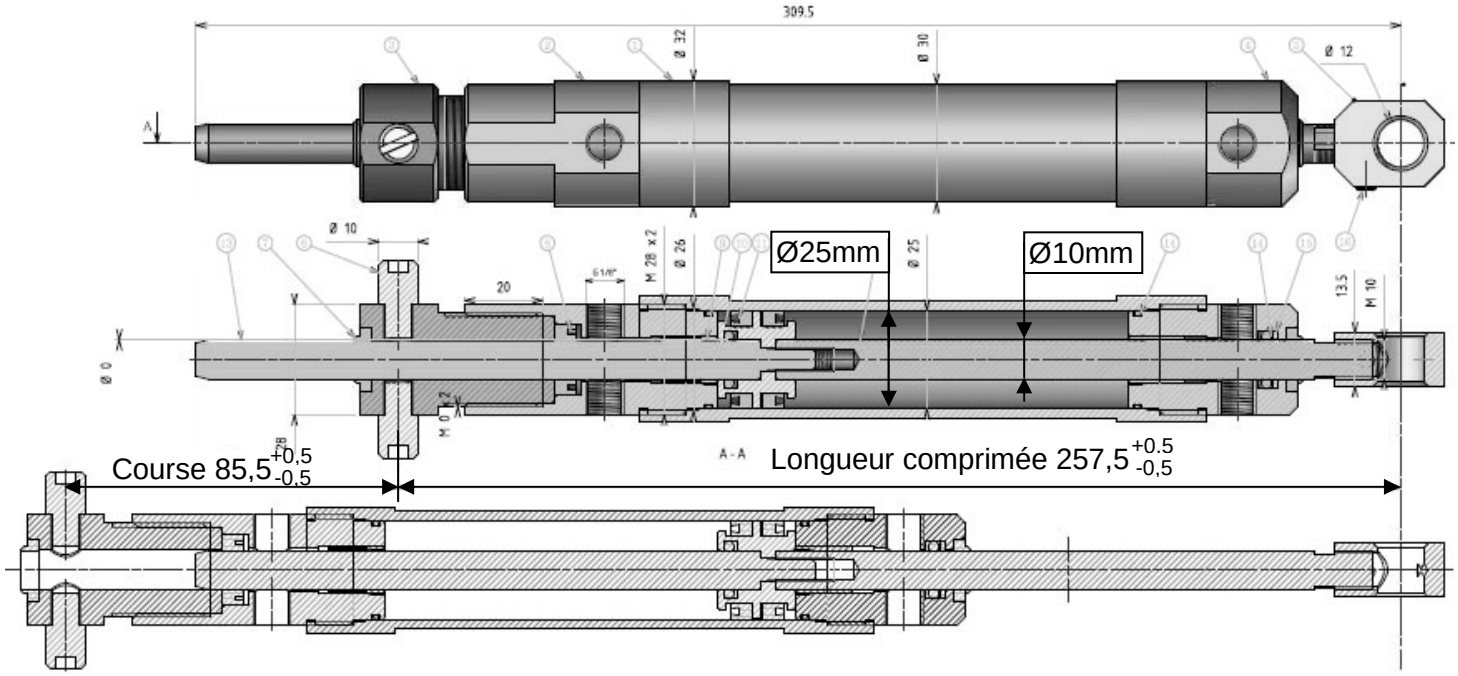


Annexe 5 : Paramétrage du mouvement de tangage β

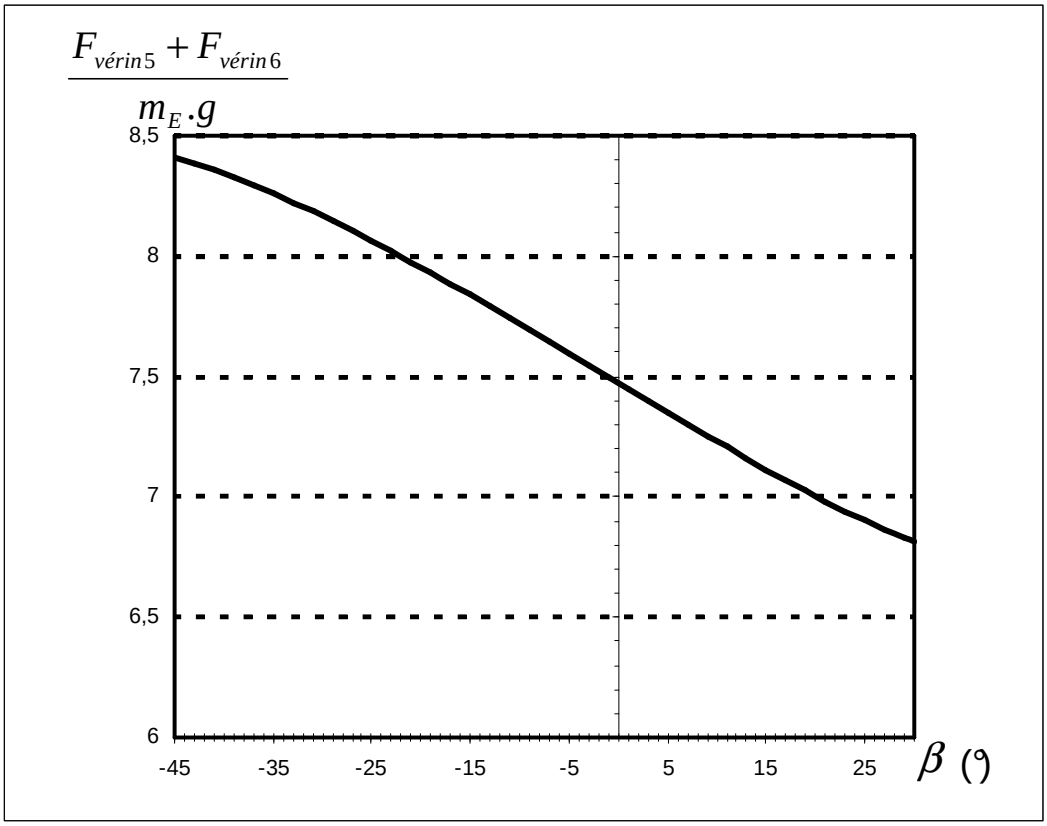


Annexe 6 : Schéma cinématique du mouvement de tangage du pode avant **3** / pode central **1**

Dimensionnement des vérins

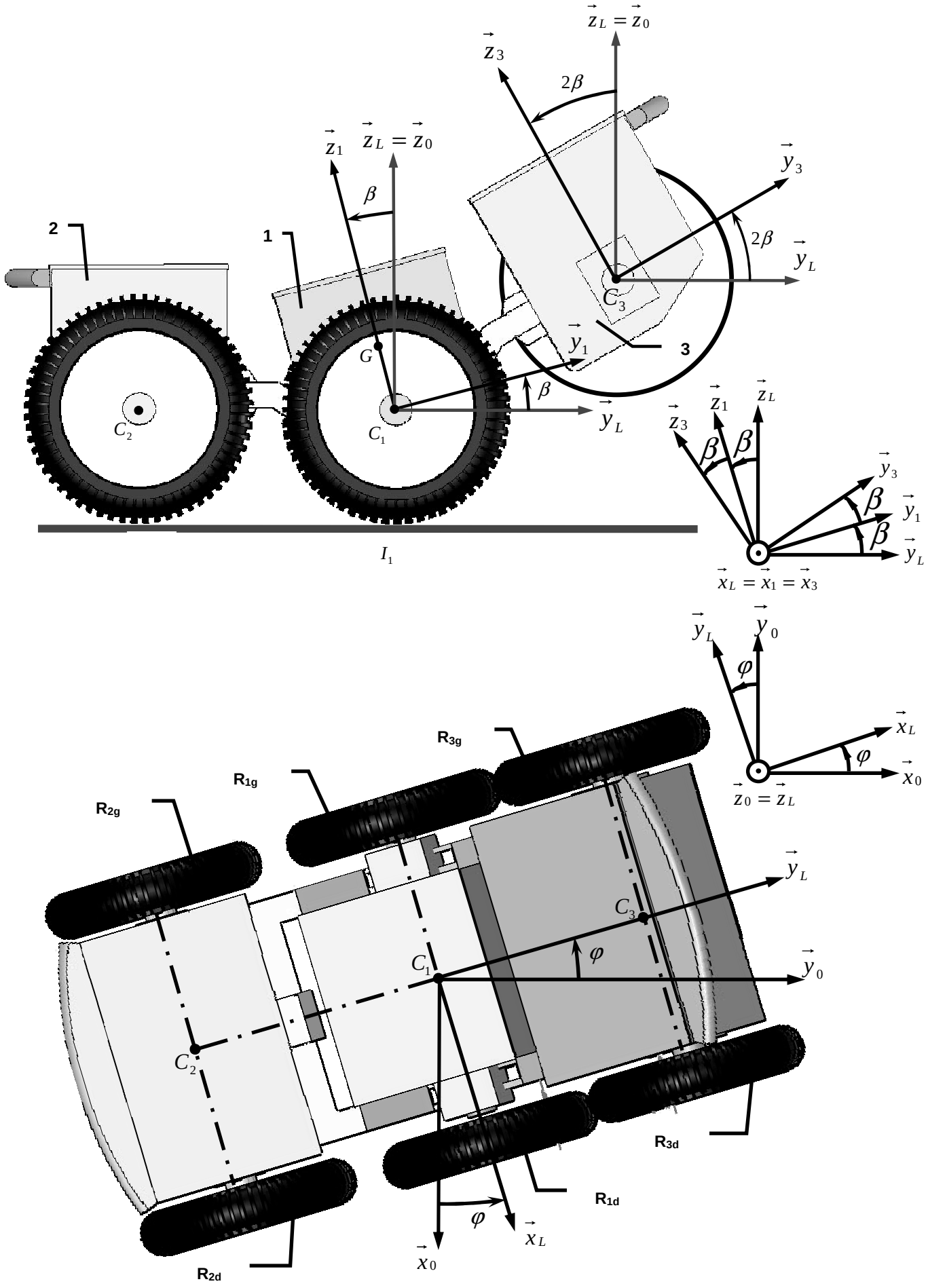


Annexe 7 : Plan d'un des quatre vérins



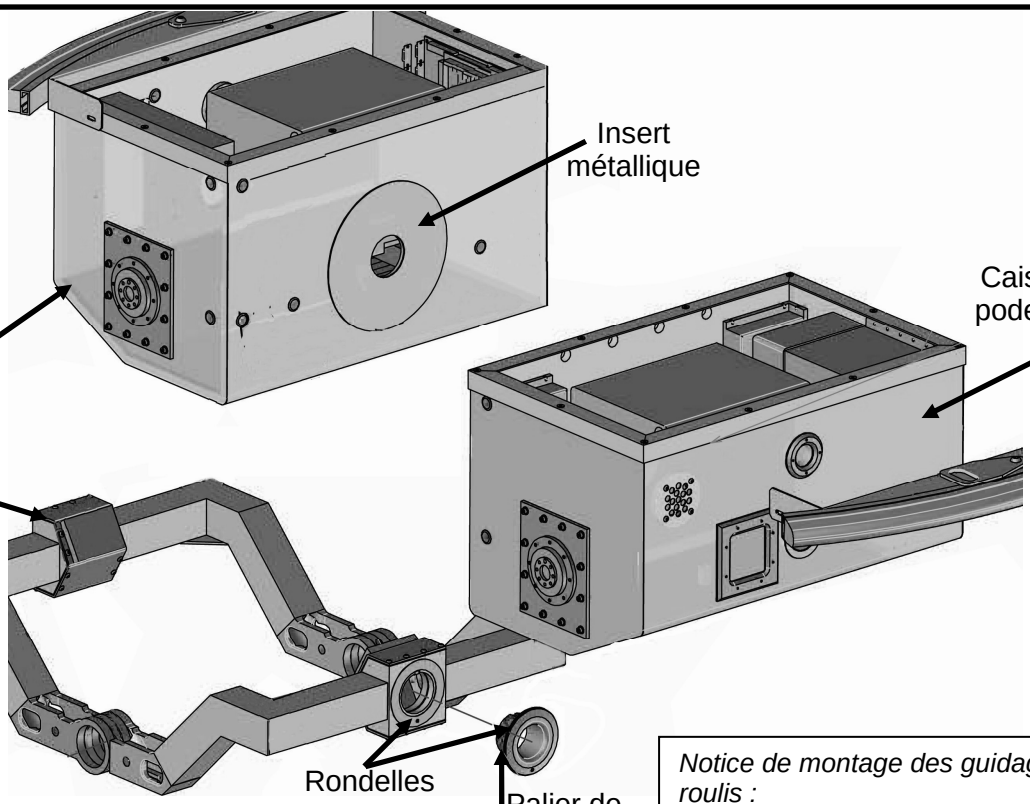
Annexe 8 : Evolution du rapport entre les efforts dans les vérins **5** et **6** et le poids de E en fonction de l'angle de tangage β en degrés

ETUDE DYNAMIQUE



Annexe 9 : Modélisation pour l'étude dynamique de la rotation de lacet

GUIDER LES PODES EN ROULIS

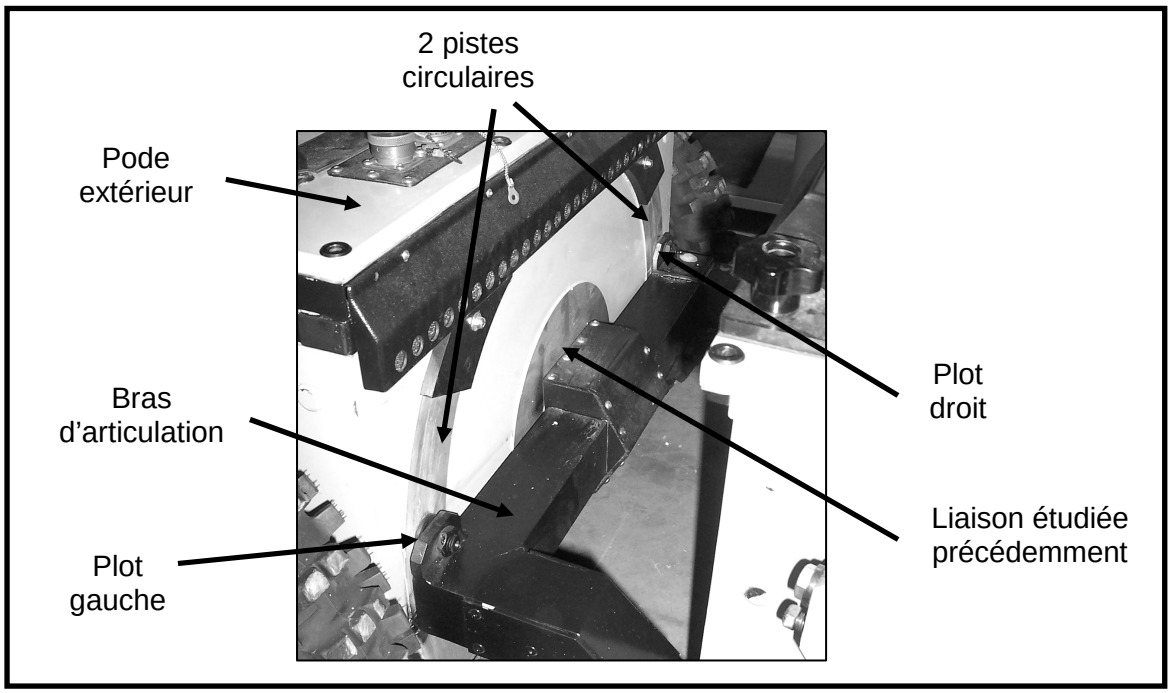


Vue en coupe de la liaison montée sans l'écrou de serrage

Notice de montage des guidages en roulis :

Le palier de roulis est inséré par l'intérieur des caissons. Il est maintenu au bras par un écrou vissé en bout de palier.
Les rondelles viennent alors en appui de chaque côté de l'insert métallique.

Annexe 10 : Guidage en roulis : solution initiale



Annexe 11 : Guidage en roulis : solution retenue

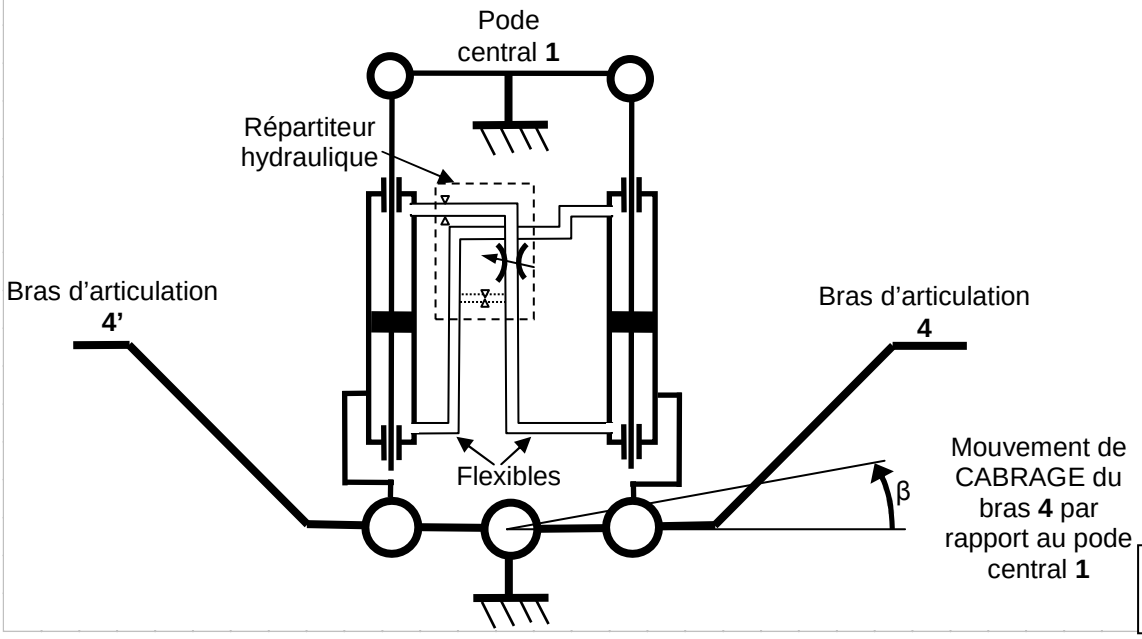
Dans l'espace réponse réservé à chaque partie
<u>le candidat identifiera clairement le numéro de la question à laquelle il répond</u>.

I– ANALYSE FONCTIONNELLE [Q1 : FAST]

Fonctions techniques (voir annexe 1)	Solutions techniques (à compléter)	Fonctions techniques (voir annexe 1)	Solutions techniques (à compléter)
FT1		**FT33**	
FT2		**FT41**	
FT311		**FT51**	
FT312		**FT61**	
FT321		**FT71**	

II– ASSURER LE MOUVEMENT DE TANGAGE [Q2 à Q4 : circuit hydraulique]

Questions 2 et 3 : circuit hydraulique en mode passif (synchronisation et amortissement)



Question 4 : Pilotage des vérins en mode actif (synchronisation, amortissement et pilotage)

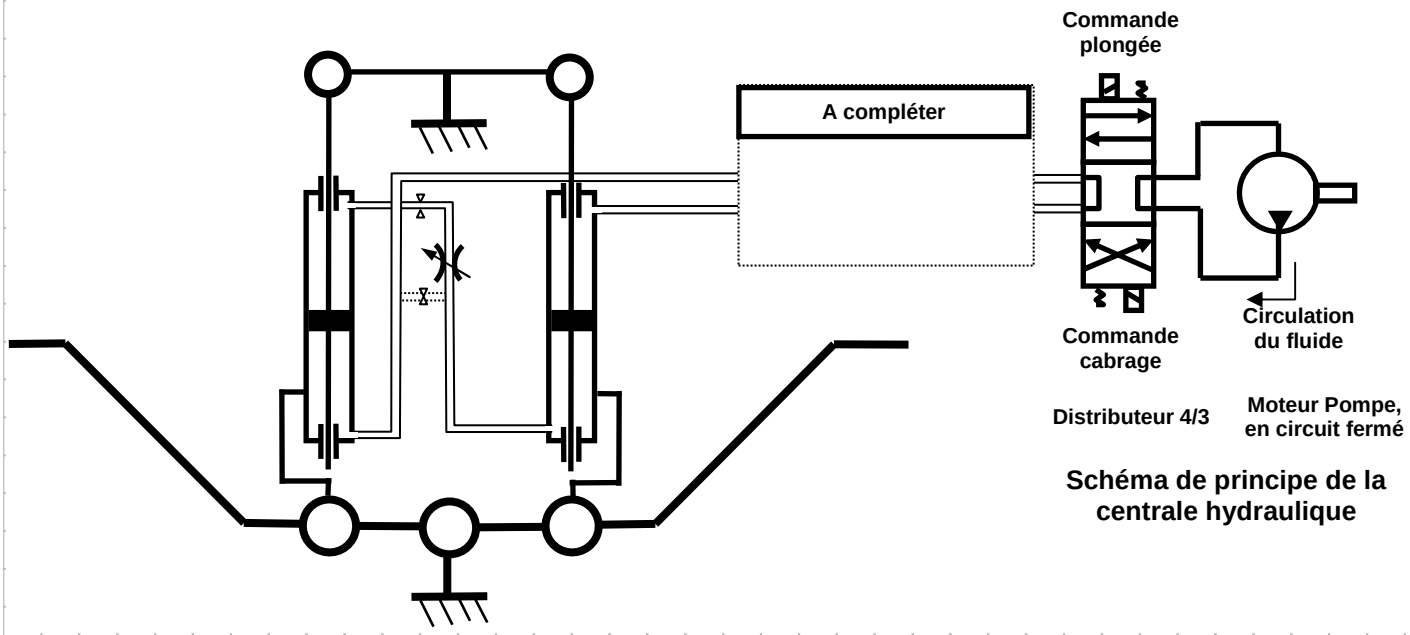


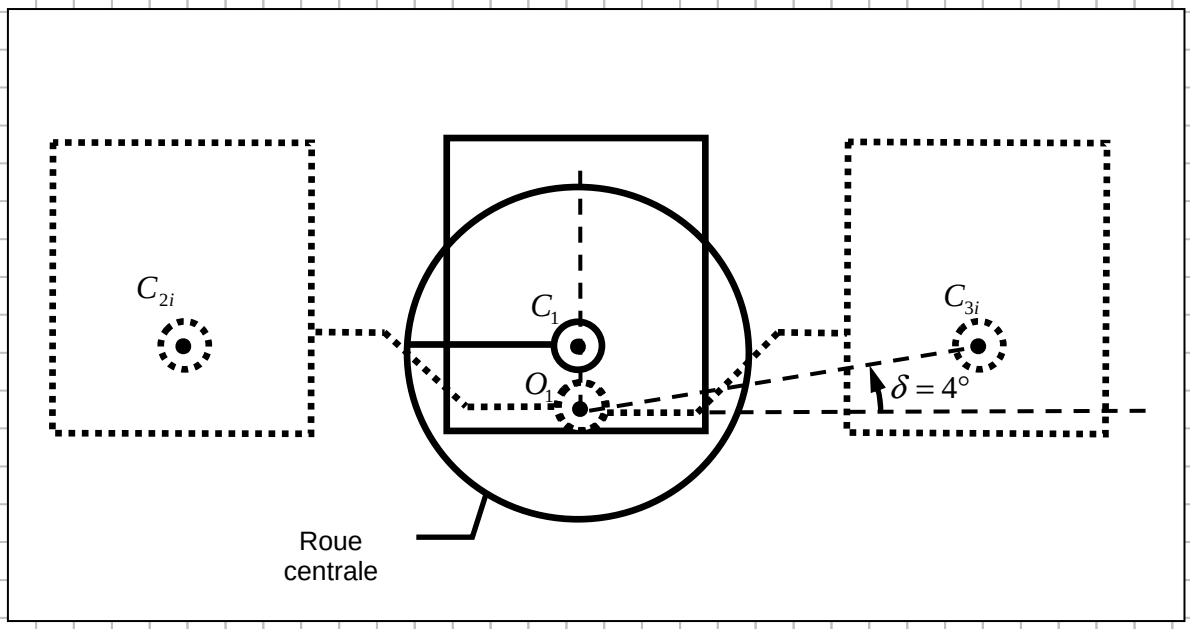
Schéma de principe de la centrale hydraulique

II-2 VALIDATION DES PERFORMANCES DU CIRCUIT HYDRAULIQUE [Q5 à Q9]

Question 5 : Position de CABRAGE maximal

Echelle graphique 1:10

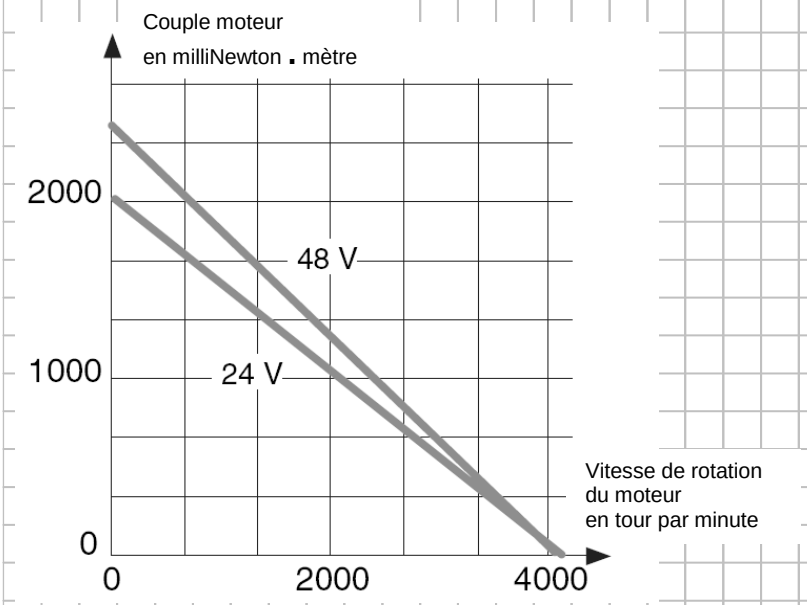
(1 cm sur le dessin correspond à 10 cm dans la réalité)



Questions 6, 7, 8 et 9 : Dimensionnement des vérins

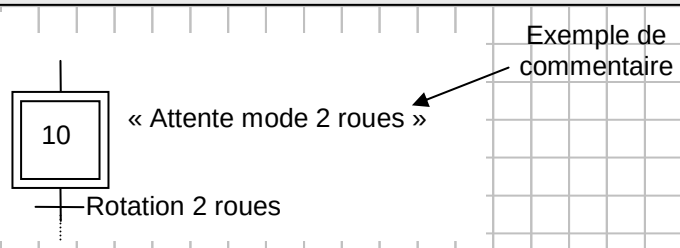
II– ASSURER LE MOUVEMENT DE LACET [Q10 à Q14 : aptitude à suivre une loi de vitesse]

Question 14 :



IV-2 GERER LE PILOTAGE SEQUENTIEL DU CABRAGE EN « MODE 2 ROUES INSTABLE » [Q15]

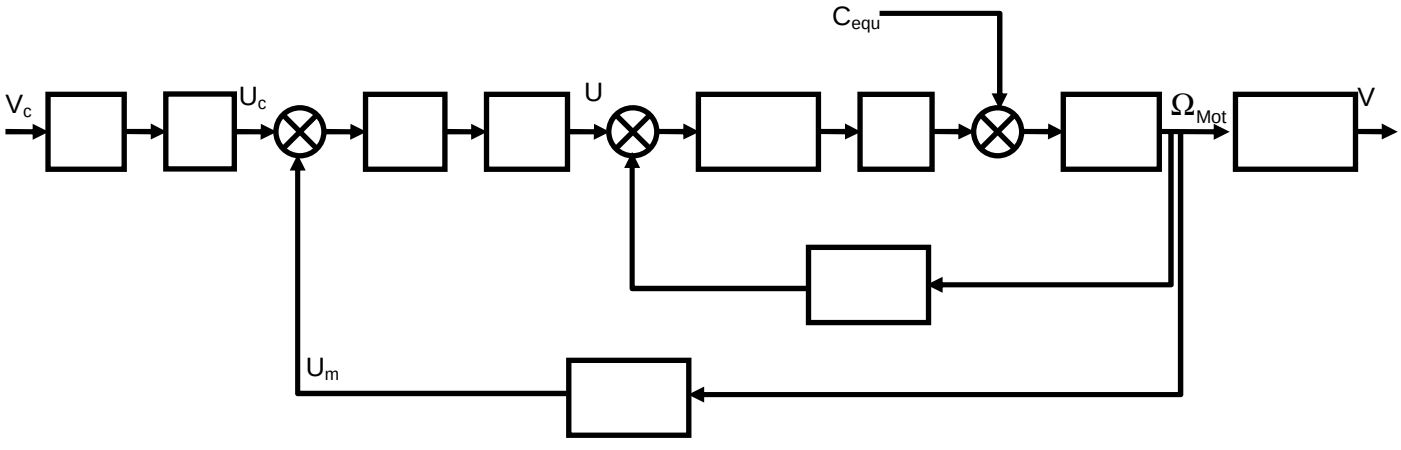
Question 15 :



IV–3 ASSERVIR LES DEPLACEMENTS DE LA PLATE-FORME [Q16 à Q25]

Question 16

Question 17



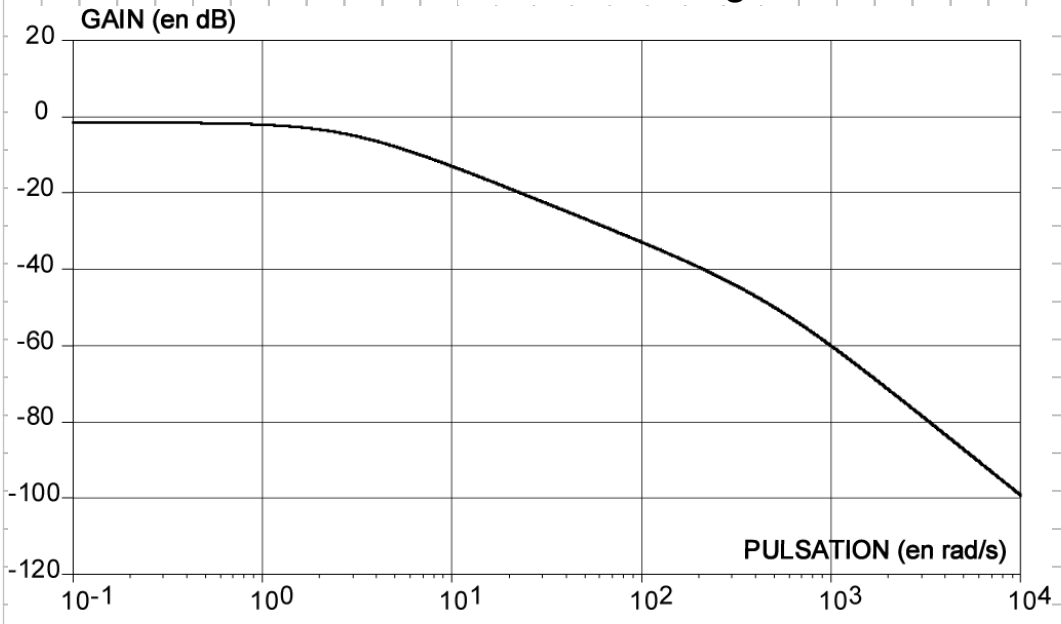
Question 18

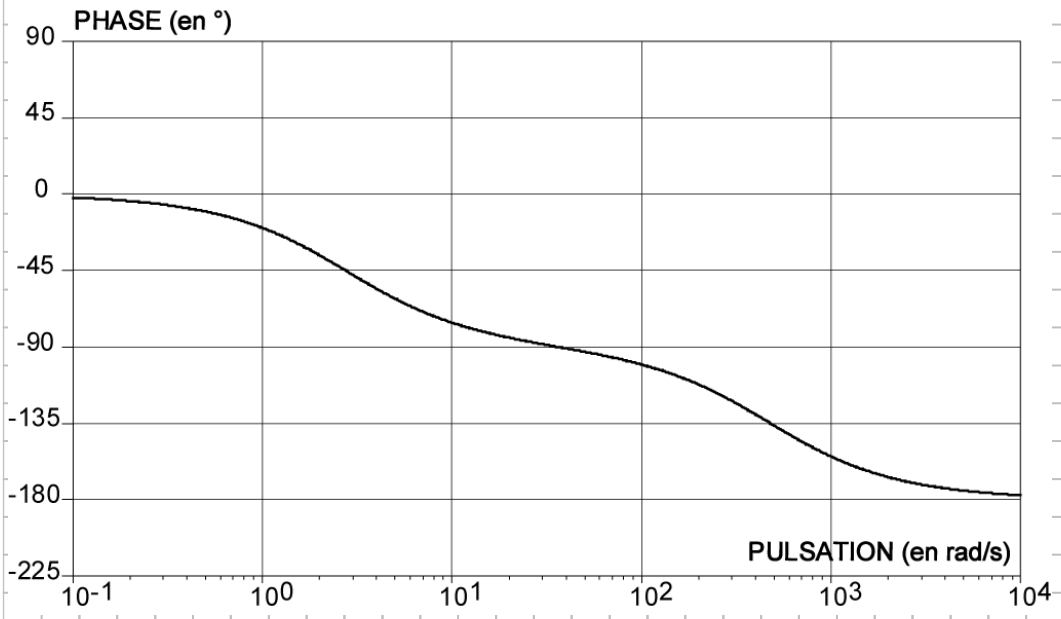
Question 19

Question 20

Question 21

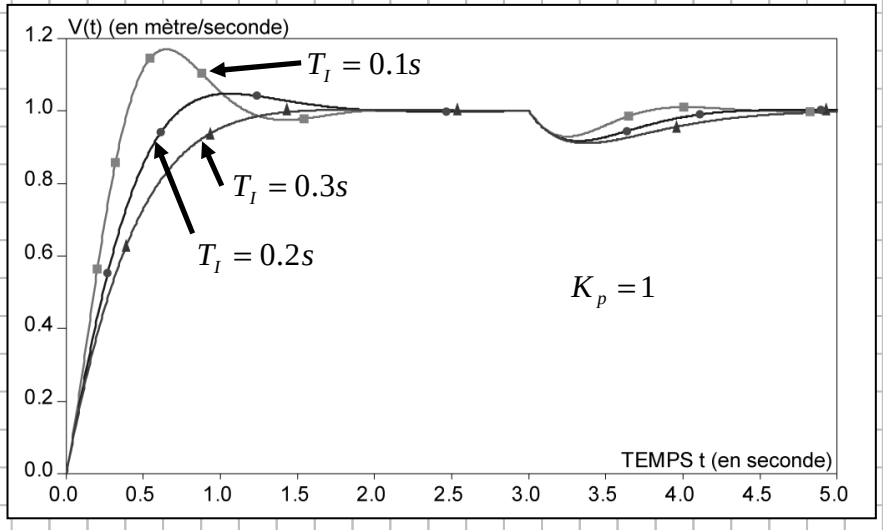
Bode non corrigé



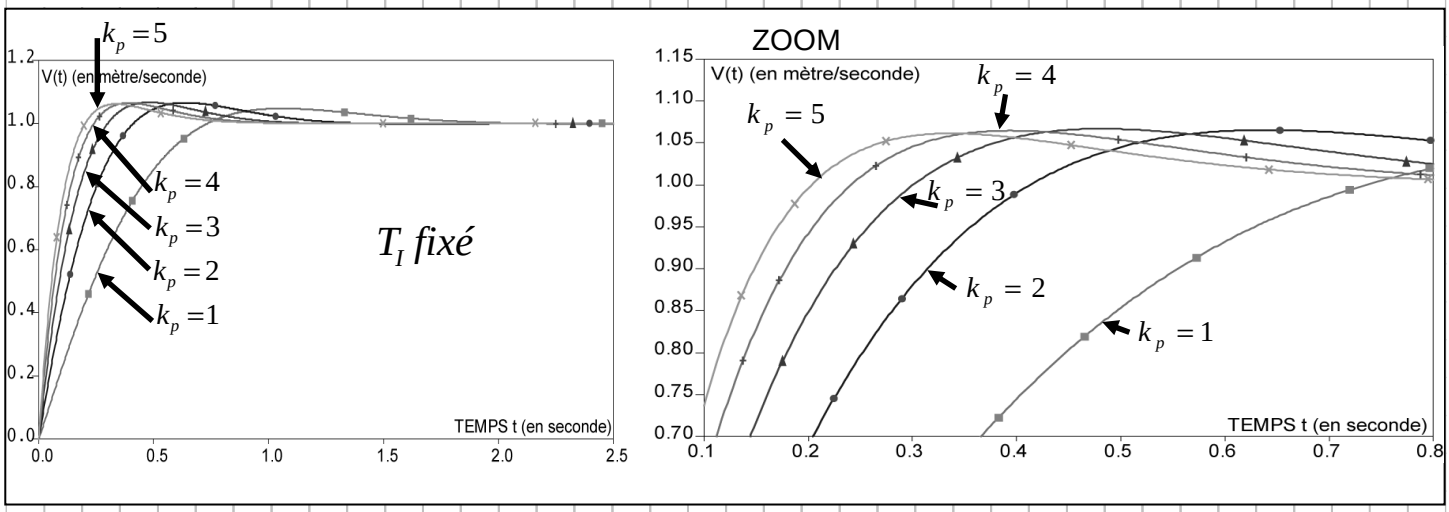


Question 22

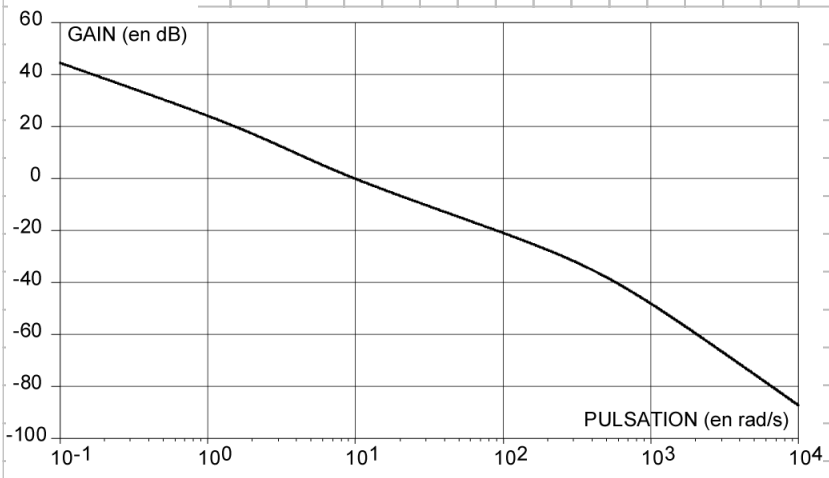
Question 23

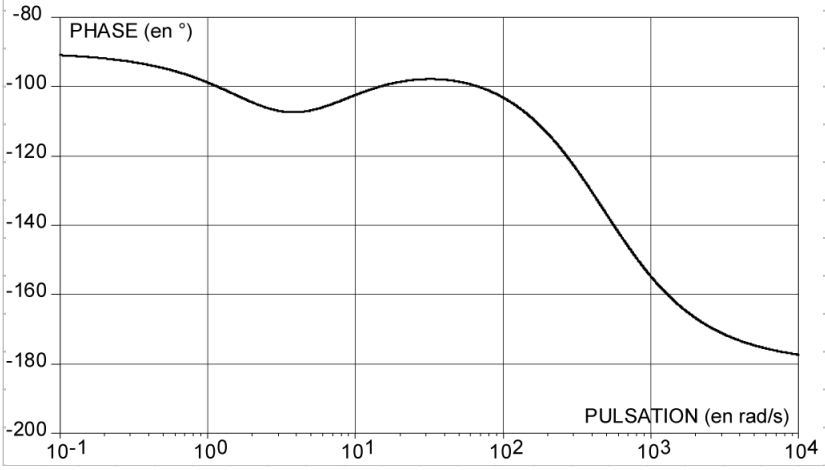

V(t) (en mètre/seconde)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
$T_I = 0.1s$
$T_I = 0.3s$
$T_I = 0.2s$
$K_p = 1$
TEMPS t (en seconde)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0

Question 24



Question 25





III– GUIDER LES PODES EN ROULIS [Q26, Q27 : analyse de la liaison]

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Géométrie des masses : centre d'inertie, matrice d'inertie, théorème de Huygens
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/mines/psi