**CORRIGE UPSTI**

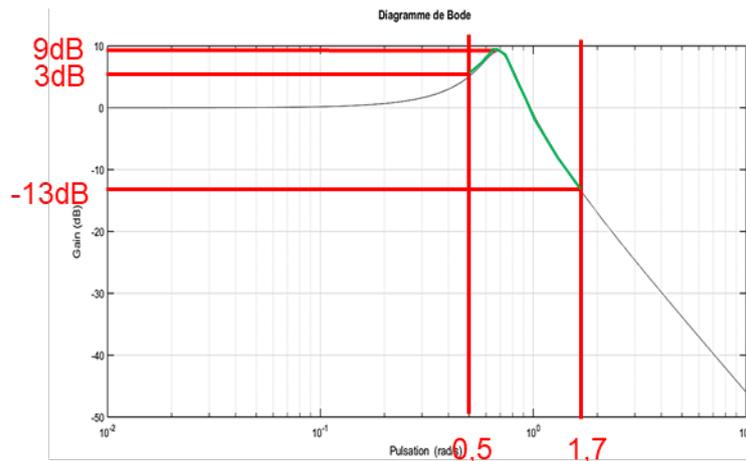
Question 1. Rappeler la définition du gain en décibel. En déduire la valeur en décibel traduisant l'exigence Id 1.1.

Définition : $G_{dB}(\omega) = 20 \cdot \log|H(j\omega)| = 20 \cdot \log\left(\frac{\text{Amplitude de sortie}}{\text{Amplitude d'entrée}}\right)$

L'exigence Id 1.1 indique 1 m maxi de déplacement du ROV pour 5 m de houle soit

$$G_{dB}(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{5}\right) = -14dB$$

Question 2. En faisant apparaître le domaine d'utilisation du système sur la figure A, montrer que le système ne répond pas à l'exigence d'atténuation d'une houle de 5m. Répondre entièrement à cette question sur le document réponse.



L'atténuation n'est jamais de 14dB. Le système amplifie la houle entre 0,5 et 1rad.s⁻¹ et l'atténue à une valeur maximale de -13dB pour 1,7rad.s⁻¹

Question 3. Déterminer la loi entrée sortie $x = f(\theta, r, l, \delta)$ par une fermeture géométrique à partir des données du schéma cinématique.

Par une fermeture géométrique $\vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CA} = 0$ soit $x \cdot \vec{u} - r \cdot \vec{j} - l \cdot \vec{x}_0 = 0$

En projection on obtient :

$$\begin{cases} \text{sur } \vec{x}_0 : x \cos \psi + r \cdot \sin(\theta + \delta) - l = 0 \\ \text{sur } \vec{y}_0 : x \sin \psi - r \cdot \cos(\theta + \delta) = 0 \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \begin{cases} x \cos \psi = -r \cdot \sin(\theta + \delta) + l \\ x \sin \psi = r \cdot \cos(\theta + \delta) \end{cases}$$

$$\text{Soit } x(\theta) = \sqrt{(l)^2 - 2 \cdot l \cdot r \cdot \sin(\theta + \delta) + (r)^2}$$

Question 4. En déduire, en justifiant les calculs, l'expression littérale et la valeur numérique de la course c du vérin.

Remarque : erreur dans l'énoncé, les signes des angles sont inversés. Selon les figures, le portique se déplace entre -53° et +12°.

La course théorique du vérin vaut alors

$$c = x_{maxi} - x_{mini} = x(-53^\circ) - x(12^\circ) = 8661,6mm - 5570,7mm$$

Soit $c = 3091mm$.

Ci-dessous le tracé issu de la fermeture géométrique sur la plage $[-53^\circ; +12^\circ]$ et la figure 6 modifiée (angles et données géométriques, $d = h$).

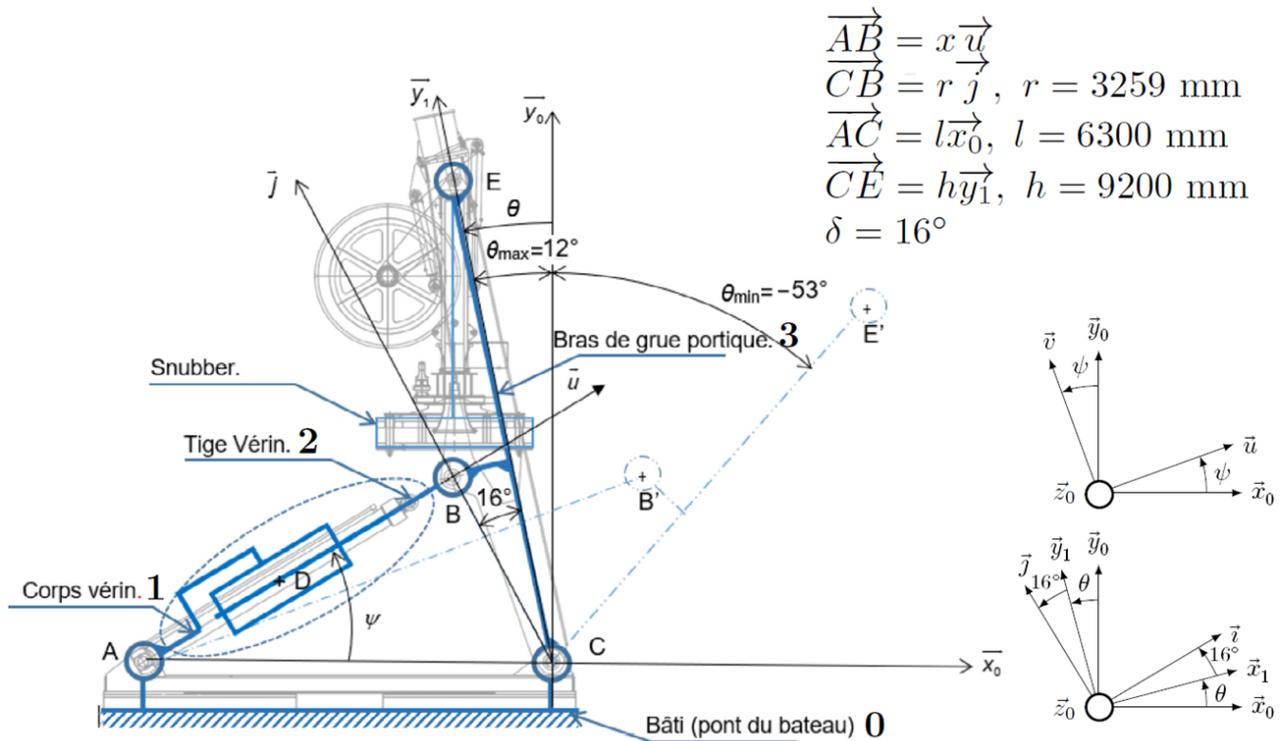
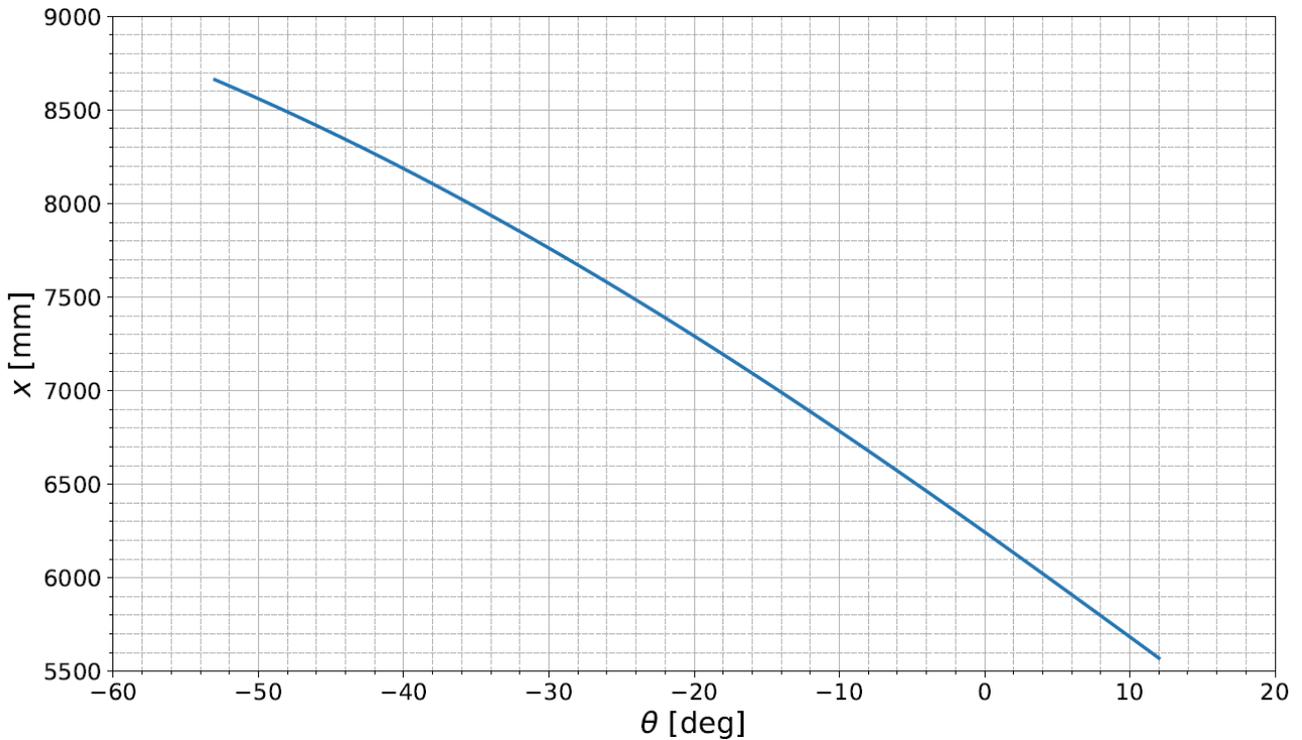
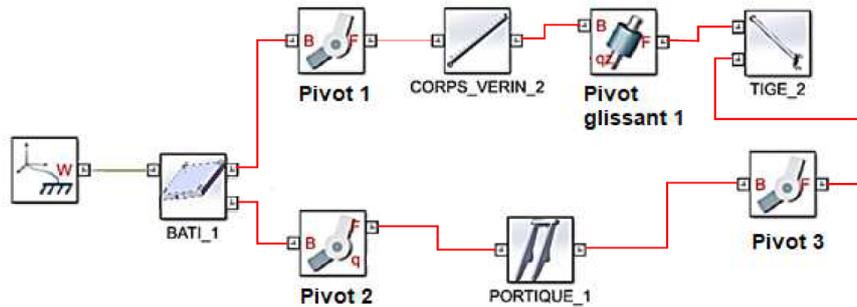


Figure 7 : Déplacement de la tige du vérin en fonction de θ

Question 5. À partir de la figure 4, et du schéma cinématique figure 6, relier les composants du modèle de simulation multiphysique de la grue portique sur la figure B du document réponse. Quel(s) ensemble(s) n'ont pas été modélisés ? Répondre entièrement à cette question sur le document réponse.

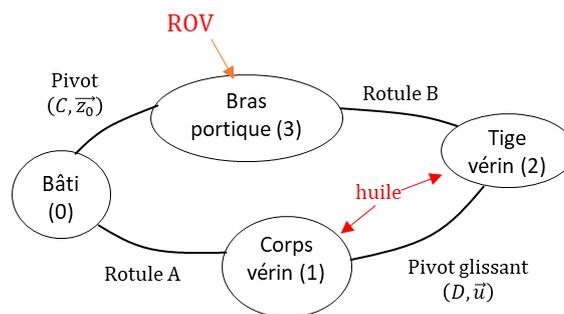
Les ensembles non modélisés sont la poulie de grue, le câble ombilical, le snubber et le ROV. (Leur poids sera appliqué au portique pour tenir compte de leur effet).



Question 6. À partir de la courbe de simulation, déterminer la course du vérin notée c . Comparer le résultat à celui obtenu à la question 4.

La course du vérin à partir de la simulation est $c = 3100\text{mm}$. Les deux valeurs sont semblables. La simulation est conforme au modèle géométrique attendu (écart $<1\%$).

Question 7. Déterminer l'expression de la résultante de l'effort de la tige du vérin sur le bras de la grue portique, noté $\vec{B}_{t\text{ige}\rightarrow\text{bras}}$. Pour cela, justifier que $\vec{B}_{t\text{ige}\rightarrow\text{bras}} = B_{t\text{ige}\rightarrow\text{bras}} \cdot \vec{u}$. Déterminer ensuite $B_{t\text{ige}\rightarrow\text{bras}}$ en fonction de θ , ψ , des paramètres dimensionnels h , r et δ et des données associées aux actions mécaniques en précisant le ou les systèmes isolés et le ou les théorèmes employés. (*erreur notation : $\|\vec{CE}\| = d = h$)



1. On isole l'ensemble du vérin $E1 = \{1 + 2\}$.

BAME : le système isolé est soumis à deux glisseurs (liaisons modélisées par des rotules).

$$\text{En B : } \{\mathcal{T}(3 \rightarrow 2)\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}(3 \rightarrow 2) \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_B \quad \text{en A : } \{\mathcal{T}(0 \rightarrow 1)\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}(0 \rightarrow 1) \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_A$$

D'après le PFS $\vec{F}(3 \rightarrow 2) = -\vec{F}(0 \rightarrow 1)$ et les deux forces sont selon la direction (AB) (soit la direction \vec{u}).
D'où $\vec{F}(2 \rightarrow 3) = -\vec{F}(3 \rightarrow 2) = F_{23} \cdot \vec{u}$

2. On isole le bras portique {3}.

BAME :

- En B : action de la tige du vérin (2) sur le bras portique (3) : $\{\mathcal{T}(2 \rightarrow 3)\} = \left\{ \begin{matrix} F_{23} \cdot \vec{u} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_B$
- En C : Action de du bati (0) sur le bras portique (3) (liaison pivot) : $\{\mathcal{T}(0 \rightarrow 3)\} = \left\{ \begin{matrix} X_{03} L_{03} \\ Y_{03} M_{03} \\ Z_{03} 0 \end{matrix} \right\}_{C,R_0}$
- En E : action du ROV sur le bras portique (3) donnée $\{\mathcal{T}(ROV \rightarrow 3)\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{F}(ROV \rightarrow 3) = -Mg\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_E$

Pour déterminer l'effort F_{23} sans faire apparaître les actions mécaniques transmissibles inconnues dans la liaison 0/3, on écrit le théorème du moment statique, au point C en projection sur l'axe \vec{z}_0 .

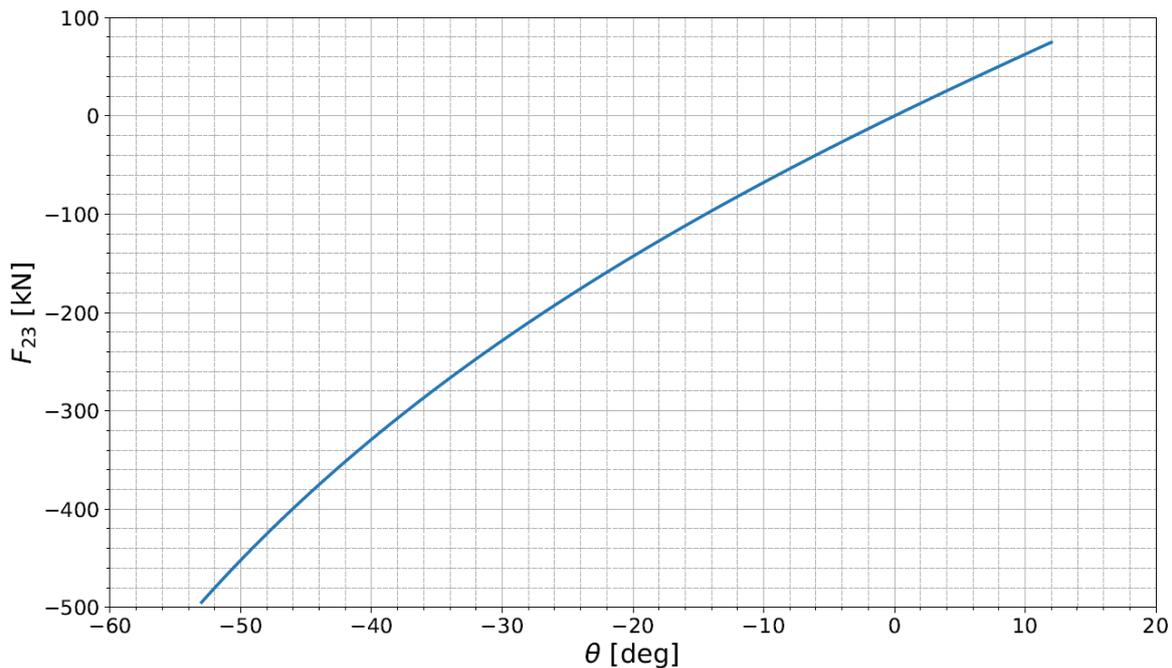
$$\left(\overrightarrow{CB} \wedge \vec{F}(3 \rightarrow 2)\right) \cdot \vec{z}_0 + \left(\overrightarrow{CE} \wedge \vec{F}(ROV \rightarrow 3)\right) \cdot \vec{z}_0 = 0$$

$$\left(r \cdot \vec{j} \wedge F_{23} \cdot \vec{u}\right) \cdot \vec{z}_0 + \left(h \cdot \vec{y}_1 \wedge (-Mg\vec{y}_0)\right) \cdot \vec{z}_0 = 0$$

$$-r \cdot F_{23} \cdot \cos(\theta + \delta - \psi) + M \cdot g \cdot h \cdot \sin \theta = 0$$

$$F_{23} = \frac{M \cdot g \cdot h \cdot \sin \theta}{r \cdot \cos(\theta + \delta - \psi)}$$

Ci-dessous le tracé de l'effort F_{23} en fonction de l'angle θ avec les signes corrigés :



Question 8. Déterminer la pression d'alimentation théorique maximale du vérin nécessaire pour assurer le maintien du portique dans la position la plus défavorable. Est-elle compatible avec le circuit hydraulique ?

Pour un effort « en poussant » (soit dans le sens de la sortie de la tige), la pression d'huile nécessaire est :

$$p = \frac{|F_{23}|}{S_{sortie}} = \frac{|F_{23}|}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}$$

De même pour un effort « de retenue » (soit dans le sens de la rentrée de la tige) :

$$p = \frac{|F_{23}|}{S_{rentrée}} = \frac{|F_{23}|}{\pi \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{4}}$$

Selon la figure corrigé, l'effort (en valeur absolue) est maximal pour $\theta = -53^\circ$, soit en rentrée de tige avec $|F_{23max}| \approx 495kN$, soit $p_{max} \approx 210 \text{ bar}$ qui est de l'ordre de grandeur de la pression disponible.

On peut vérifier le dimensionnement en sortie de tige, on a alors $|F_{23max}| \approx 80kN$, soit $p_{max} \approx 13bar$.

Question 9. Conclure sur le choix du vérin à partir des résultats des questions précédentes.

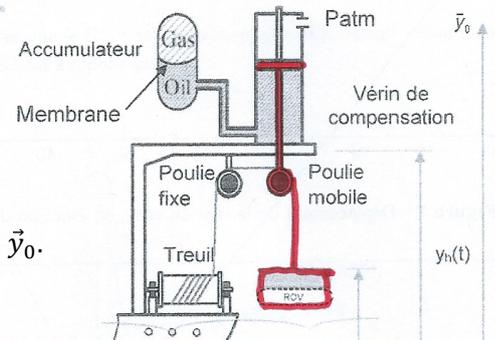
La pression maximale est atteinte dans le premier cas étudié ($\theta = -53^\circ$) et est de l'ordre de grandeur la pression maximale que peut délivrer le circuit hydraulique (attention, les effets dynamiques sont négligés

ici). D'autre part, la course nécessaire (= 3100mm) est inférieure à la course maximale du vérin (3800mm). Donc le choix du vérin est validé suivant deux critères, géométrique et statique.

Question 10. Faire l'inventaire des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur le système matériel défini par $\Sigma = \{ROV + \text{Piston vérin} + \text{Poulie mobile}\}$. Écrire la condition d'équilibre du système matériel Σ en donnant l'expression de P_{E0} en fonction de M , g , P_{atm} et A . On fera l'hypothèse que le câble entre les poulies fixe et mobile reste horizontal.

Bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à Σ :

- action du treuil $\vec{F}(\text{treuil} \rightarrow \Sigma) = -\|\vec{F}_{\text{treuil}}\| \cdot \vec{x}_0$;
- action du vérin $\vec{F}(\text{vérin} \rightarrow \Sigma) = (P_{E0} - P_{atm}) \cdot A \cdot \vec{y}_0$;
- action de la pesanteur $\vec{F}(\text{pesanteur} \rightarrow ROV) = -M \cdot g \cdot \vec{y}_0$.
- action du corps du vérin sur la tige de résultante nulle selon \vec{y}_0 .



Théorème de la résultante statique en projection sur \vec{y}_0 :

$$\left(\vec{F}(\text{treuil} \rightarrow \Sigma) + \vec{F}(\text{vérin} \rightarrow \Sigma) + \vec{F}(\text{pesanteur} \rightarrow ROV) \right) \cdot \vec{y}_0 = 0 \text{ soit } (P_{E0} - P_{atm}) \cdot A - M \cdot g = 0$$

$$\text{On en déduit : } P_{E0} = P_{atm} + \frac{Mg}{A}$$

Question 11. L'équilibre de la membrane permet d'obtenir l'égalité $P_{E0} = P_{G0} = 180\text{bar}$. En déduire la valeur de A .

$$A = \frac{Mg}{P_{E0} - P_{atm}} = \frac{26 \cdot 10^3 \times 9,81}{18 - 0,1} = 14249 \text{mm}^2$$

Question 12. En utilisant la relation obtenue à la question 10, déterminer l'équation, notée (III.3), issue du théorème de la résultante dynamique appliqué à Σ en projection sur \vec{y}_0 sous la forme :

$$\alpha \cdot \frac{d^2 y_{ROV}(t)}{dt^2} + \beta \cdot \left(\frac{dy_{ROV}(t)}{dt} - \frac{dy_h(t)}{dt} \right) = \gamma \cdot \Delta p_E(t)$$

Exprimer α , β et γ en fonction de A , M et c .

Bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à Σ :

- les précédentes plus :
- frottement visqueux au niveau du vérin (coefficient c donné dans l'énoncé) :

$$\vec{F}(\text{frottement} \rightarrow \text{vérin}) = -c \cdot \left(\frac{dy_{ROV}(t)}{dt} - \frac{dy_h(t)}{dt} \right) \cdot \vec{y}_0$$

En effet, le frottement visqueux dans le vérin a tendance à ralentir le mouvement de la tige du vérin et il est proportionnel à la vitesse de translation de la tige du vérin par rapport au bateau (mouvement de translation, cette vitesse peut être écrite en tout point) :

$$\vec{V}(M, \text{tige}/\text{bateau}) = \vec{V}(M, \text{tige}/0) - \vec{V}(M, \text{bateau}/0) = \left(\frac{dy_{ROV}(t)}{dt} - \frac{dy_h(t)}{dt} \right) \cdot \vec{y}_0$$

On calcule de plus l'accélération du système isolé : $\vec{\Gamma}(M, \Sigma/0) = \frac{d^2 y_{ROV}(t)}{dt^2}$

On applique alors le théorème de la résultante dynamique en projection sur \vec{y}_0 :

$$\left(\vec{F}(\text{treuil} \rightarrow \Sigma) + \vec{F}(\text{vérin} \rightarrow \Sigma) + \vec{F}(\text{pes} \rightarrow ROV) + \vec{F}(\text{frottement} \rightarrow \text{vérin}) \right) \cdot \vec{y}_0 = M \cdot \vec{\Gamma}(M, \Sigma/0) \cdot \vec{y}_0$$

soit :

$$(p_E(t) - P_{atm}) \cdot A - Mg - c \left(\frac{dy_{ROV}(t)}{dt} - \frac{dy_h(t)}{dt} \right) = M \frac{d^2 y_{ROV}(t)}{dt^2}$$

$$\underbrace{(p_E(t) - P_{E0}) \cdot A}_{=\Delta p_E(t)} + \underbrace{(P_{E0} - P_{atm}) \cdot A - Mg}_{=0 \text{ (équilibre)}} - c \left(\frac{dy_{ROV}(t)}{dt} - \frac{dy_h(t)}{dt} \right) = M \frac{d^2 y_{ROV}(t)}{dt^2}$$

$$\alpha \cdot \frac{d^2 y_{ROV}(t)}{dt^2} + \beta \cdot \left(\frac{dy_{ROV}(t)}{dt} - \frac{dy_h(t)}{dt} \right) = \gamma \cdot \Delta p_E(t) \quad \text{avec } \alpha = M ; \beta = c ; \gamma = A$$

Question 13. Réécrire l'équation (III.1) en tenant compte de cette hypothèse. Après avoir appliqué les transformées de Laplace aux équations (III.1) et (III.2) et en considérant les conditions initiales nulles aux équations précédentes, déterminer l'équation, notée (III.4) sous la forme :

$$\Delta P_E(p) = K_1(1 + \tau_1 \cdot p) \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$$

Exprimer K_1 et τ_1 en fonction de A, V_{G0}, r, C_{qR} et P_{G0} .

$$0 = A \cdot \left(\frac{dy_h(t)}{dt} - \frac{dy_{ROV}(t)}{dt} \right) + C_{qR}(\Delta p_G(t) - \Delta p_E(t)) \Rightarrow \Delta p_E(t) = \Delta p_G(t) + \frac{A}{C_{qR}} \cdot \left(\frac{dy_h(t)}{dt} - \frac{dy_{ROV}(t)}{dt} \right)$$

En appliquant les transformées de Laplace aux équations (III.1) et (III.2) on obtient (cdts initiales nulles) :

$$(III.1) \rightarrow \Delta P_E(p) = \Delta P_G(p) + \frac{A}{C_{qR}} p \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$$

$$(III.2) \rightarrow p \cdot \Delta P_G(p) = \frac{rP_{G0}C_{qR}}{V_{G0}} (\Delta P_E(p) - \Delta P_G(p))$$

$$\text{Et en utilisant (III.1), il vient (III.2)} \rightarrow p \cdot \Delta P_G(p) = \frac{rP_{G0}A}{V_{G0}} \cdot p \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$$

$$(III.4) \rightarrow \Delta P_E(p) = \frac{rP_{G0}A}{V_{G0}} (Y_h(p) - Y_{ROV}(p)) + \frac{A}{C_{qR}} p (Y_h(p) - Y_{ROV}(p)) = K_1(1 + \tau_1 \cdot p) (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$$

$$\text{Avec : } K_1 = \frac{rP_{G0}A}{V_{G0}} ; \tau_1 = \frac{V_{G0}}{rP_{G0}C_{qR}}$$

Question 14. Après avoir appliqué les transformées de Laplace en considérant les conditions initiales nulles à l'équation (III.3), et à l'équation (III.4), donner la fonction de transfert $H(p) = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)}$ sous forme canonique :

$$H(p) = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)} = \frac{1 + \tau p}{1 + \frac{2\zeta}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$$

Exprimer ω_n, ζ et de τ en fonction de $\alpha, \beta, \gamma, K_1$ et τ_1 .

$$(III.3) \rightarrow \alpha \cdot p^2 \cdot Y_{ROV}(p) + \beta \cdot p \cdot (Y_{ROV}(p) - Y_h(p)) = \gamma \cdot \Delta P_E(p)$$

$$(III.4) \rightarrow \Delta P_E(p) = K_1(1 + \tau_1 \cdot p) \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$$

$$\text{On obtient } \alpha \cdot p^2 \cdot Y_{ROV}(p) + \beta \cdot p \cdot (Y_{ROV}(p) - Y_h(p)) = \gamma \cdot K_1 \cdot (1 + \tau_1 \cdot p) \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$$

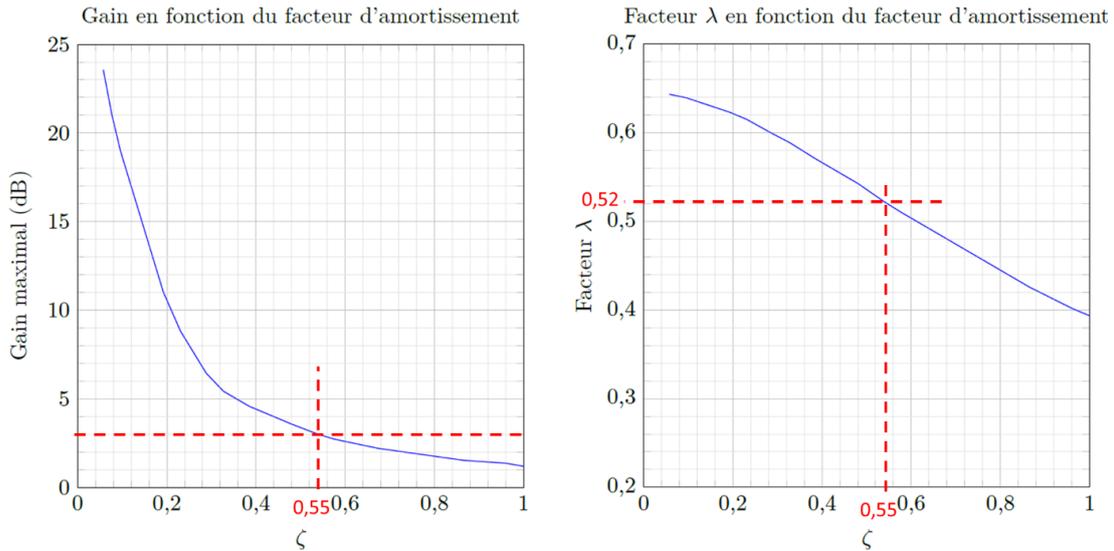
$$\text{Soit : } (\alpha \cdot p^2 + \beta \cdot p + \gamma \cdot K_1 \cdot (1 + \tau_1 \cdot p)) \cdot Y_{ROV}(p) = (\gamma \cdot K_1 \cdot (1 + \tau_1 \cdot p) + \beta \cdot p) \cdot Y_h(p)$$

$$H(p) = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)} = \frac{\gamma K_1 + (\beta + \gamma K_1 \tau_1) p}{\gamma K_1 + (\beta + \gamma K_1 \tau_1) p + \alpha p^2} = \frac{1 + \frac{\beta + \gamma K_1 \tau_1}{\gamma K_1} p}{1 + \frac{\beta + \gamma K_1 \tau_1}{\gamma K_1} p + \frac{\alpha}{\gamma K_1} p^2}$$

Par identification on obtient :

$$\begin{cases} \tau = \frac{\beta + \gamma K_1 \tau_1}{\gamma K_1} \\ \frac{1}{\omega_n^2} = \frac{\alpha}{\gamma K_1} \\ \frac{2\zeta}{\omega_n} = \frac{\beta + \gamma K_1 \tau_1}{\gamma K_1} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \tau = \frac{\beta + \gamma K_1 \tau_1}{\gamma K_1} \\ \omega_n = \sqrt{\frac{\gamma K_1}{\alpha}} \\ \zeta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\beta + \gamma K_1 \tau_1}{\sqrt{\alpha \gamma K_1}} \end{cases}$$

Question 15. En utilisant la méthode de dimensionnement du compensateur PHC, calculer les valeurs de ζ , $\lambda(\zeta)$, ω_n et V_{G0} pour ce réglage.



Par lecture graphique : $\zeta = 0,55$ et $\lambda(\zeta) = 0,52$, soit $\omega_n = \lambda(\zeta) \cdot \omega_c = 0,364 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, et

$$V_{G0} = \frac{rA}{M} \left(\frac{1}{\omega_n} \right)^2 (Mg + P_{atm}A) = 1,56 \text{ m}^3$$

Question 16. Tracer en vert, sur la figure C du document réponse, le diagramme asymptotique du gain de la fonction de transfert du compensateur PHC, $H(p) = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)}$, en faisant apparaître ses caractéristiques. Tracer en bleu, sur la même figure, l'allure du gain réel du compensateur. Préciser la valeur du gain maximal. Répondre entièrement à cette question sur le document réponse.

La fonction de transfert $H(p)$ est constituée d'un premier ordre au numérateur et d'un second ordre au dénominateur (avec résonance car $\zeta < \sqrt{2}/2$).

$$\tau = \frac{2\zeta}{\omega_n} = 3,02 \text{ s} \Rightarrow \omega_{coupure} = \frac{1}{\tau} = 0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Les deux pulsations de changement d'asymptote sont $\omega_n = 0,365 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\frac{1}{\tau} = 0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

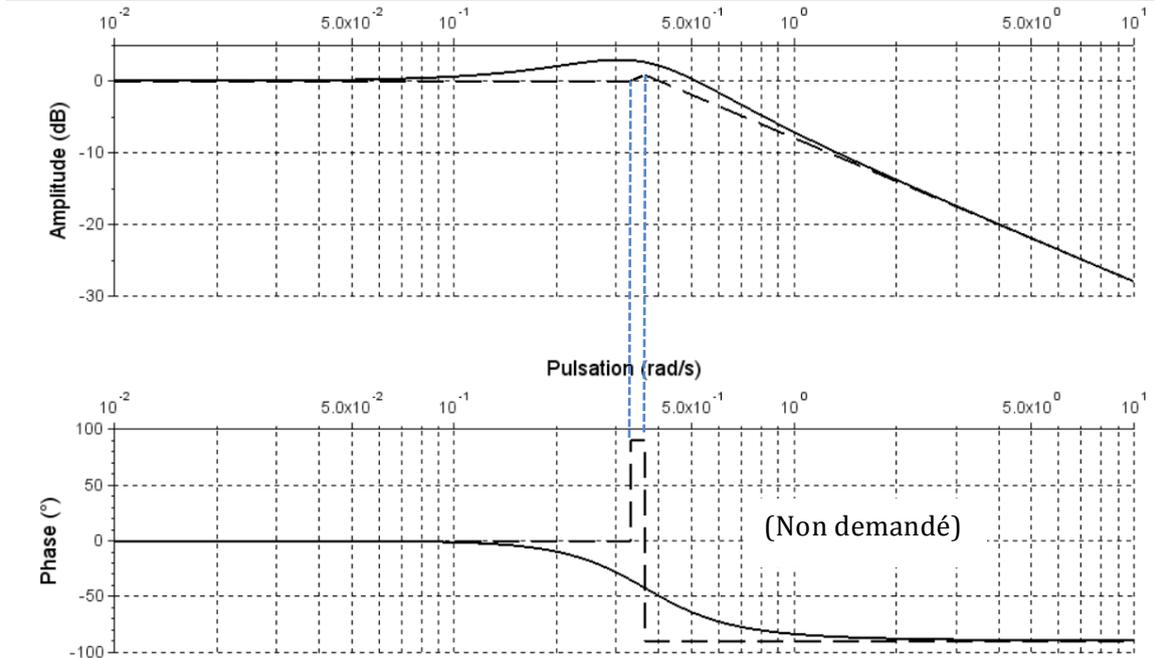
	$\omega \rightarrow 0$	$\frac{1}{\tau} = 0,33$	$\omega_n = 0,365$	$\omega \rightarrow +\infty$
Premier ordre (au numérateur)	Pente nulle		Pente +20dB/décade	
Second ordre	Pente nulle			Pente -40dB/décade
TOTAL	Pente nulle Phase nulle		Pente +20dB/décade Phase +90°	Pente -20dB/décade Phase -90°

On calcule de plus les caractéristiques de la résonance :

$$\omega_r = \omega_n \cdot \sqrt{1 - 2\zeta^2} = 0,22 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$G_{dB_{maxi}} = 20 \cdot \log \frac{1}{2\zeta \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}} = 0,73 \text{ dB}$$

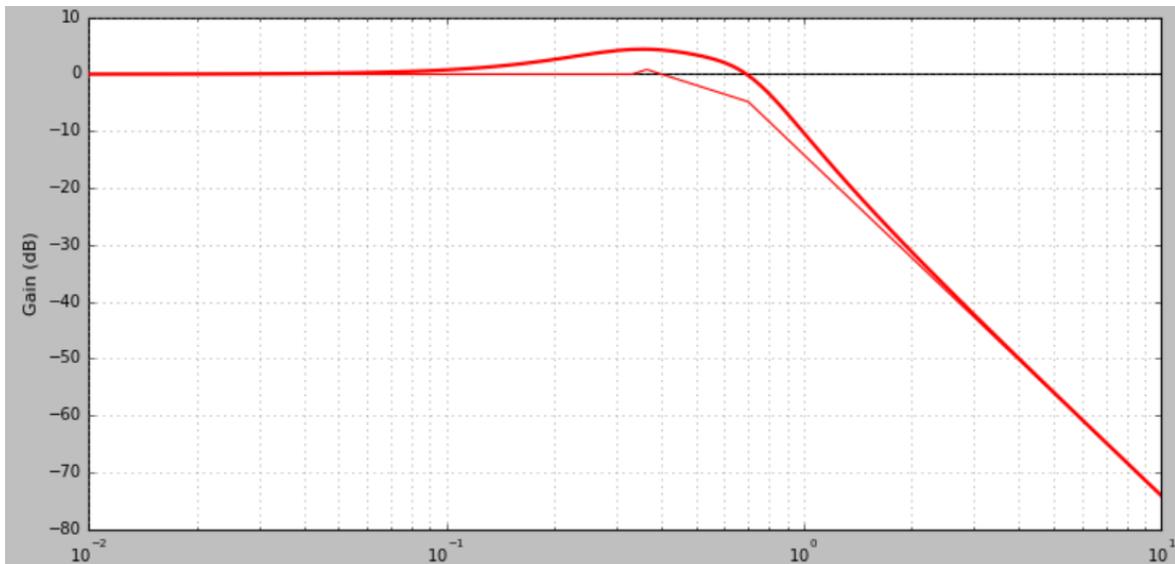
Les diagrammes asymptotiques sont tracés en pointillés et les diagrammes réels en traits continus.



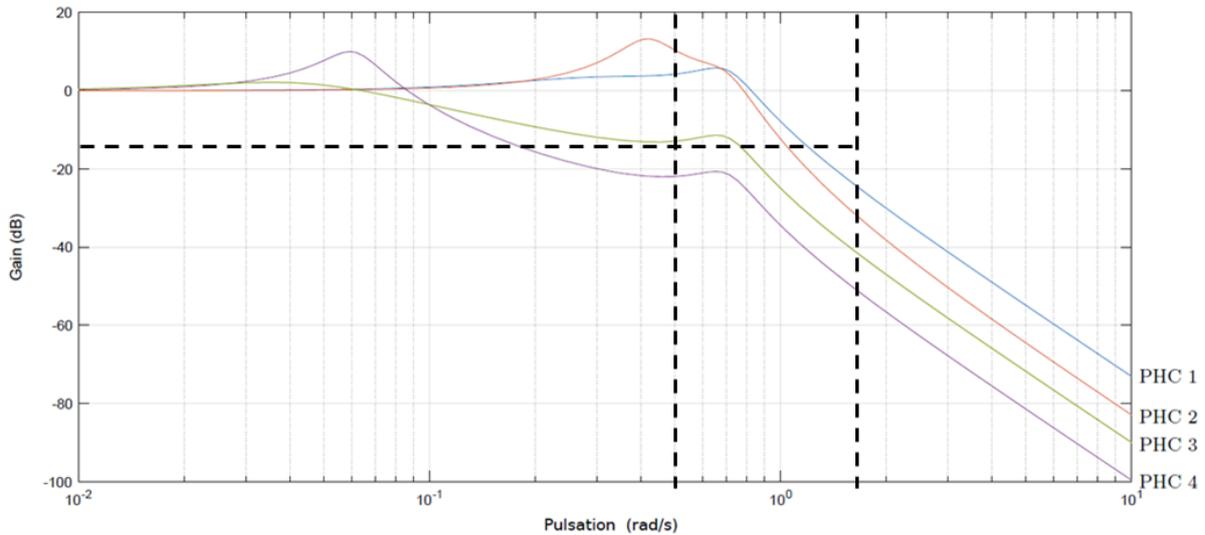
La valeur du gain maxi est de +3dB (due au premier ordre au numérateur, l'influence du dénominateur est négligeable car la résonance est faible).

Question 17. Exprimer la fonction de transfert de l'ensemble {navire support + ROV + PHC}, $G(p) = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_{vague}(p)}$ en fonction de $H(p)$ et $B(p)$. Tracer en rouge l'allure du gain du diagramme de Bode de $G(p)$ sur la figure C. Répondre entièrement à cette question sur le document réponse.

$$\text{On a la relation : } G(p) = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_{vague}(p)} = \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)} \cdot \frac{Y_h(p)}{Y_{vague}(p)} = H(p) \cdot B(p)$$



Question 18. Choisir en justifiant votre réponse le réglage du compensateur adapté à l'exigence Id1.1.



Le réglage de PHC 4 est celui qui respecte le mieux l'exigence Id1.1.

Question 19. Après avoir exprimé I_{tamb} en fonction de M_{tamb} , R_{max} et R_{min} , déterminer l'inertie équivalente notée I_{eq} ramenée sur l'arbre moteur de l'ensemble $E = \{tambour + poulie + ROV\}$ lorsque le diamètre d'enroulement est égal à D_{max} . La masse du câble déroulée sera négligée devant la masse du ROV et on admet que la poulie de guidage tourne à la même vitesse angulaire que le tambour.

$$I_{tamb} = \frac{L}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot (R_{max}^4 - R_{min}^4) \text{ avec } M_{tamb} = \rho \cdot \pi \cdot (R_{max}^2 - R_{min}^2)$$

$$\text{Soit : } I_{tamb} = \frac{L}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot (R_{max}^2 - R_{min}^2) \cdot (R_{max}^2 + R_{min}^2) \Rightarrow I_{tamb} = \frac{1}{2} \cdot M_{tamb} \cdot (R_{max}^2 + R_{min}^2)$$

Energie cinétique de l'ensemble E :

$$T(E/R_0) = T(ROV/R_0) + T(poulie/R_0) + T(tambour/R_0)$$

$$T(E/R_0) = \frac{1}{2} \cdot (M_{ROV} \cdot V(ROV/R_0)^2) + \frac{1}{2} \cdot J_{poulie} \cdot \dot{\alpha}_T + \frac{1}{2} \cdot I_{tamb} \cdot \dot{\alpha}_T$$

Avec : $V(ROV/R_0) = R_{max} \cdot k \cdot \dot{\theta}_m$ et $\dot{\alpha}_T = k \cdot \dot{\theta}_m$

$$T(E/R_0) = \frac{1}{2} \cdot [M_{ROV} \cdot k^2 \cdot R_{max}^2 + J_{poulie} \cdot k^2 + I_{tamb} \cdot k^2] \cdot \dot{\theta}_m^2$$

$$I_{eq} = M_{ROV} \cdot k^2 \cdot R_{max}^2 + J_{poulie} \cdot k^2 + I_{tamb} \cdot k^2$$

Question 20. Déterminer l'expression du couple moteur C_m par application du Théorème de l'Energie Cinétique appliqué à E en phase de montée du ROV. Le bilan des puissances sera détaillé.

$$\text{On isole l'ensemble E : } \frac{dT(E/R_0)}{dt} = \sum P(ext \rightarrow E) + \sum P(int, i \leftrightarrow j)$$

Bilan des puissances extérieures :

- $P(pes \rightarrow ROV/R_0) = -M_{ROV} \cdot g \cdot V(ROV/R_0) = -M_{ROV} \cdot g \cdot R_{max} \cdot k \cdot \dot{\theta}_m$
- $P(pes \rightarrow poulie/R_0) = 0$ car le poids passe par l'axe de rotation
- $P(pes \rightarrow tambour/R_0) = 0$ car le poids passe par l'axe de rotation
- $P(pes \rightarrow cable/R_0) = 0$ car la masse du câble est négligée
- $P(mot \rightarrow E/R_0) = C_m \cdot \dot{\theta}_m$

Bilan des puissances intérieures :

$P(int, i \leftrightarrow j) = 0$ car les liaisons sont parfaites

Soit : $I_{eq} \cdot \dot{\theta}_m \cdot \ddot{\theta}_m = C_m \cdot \dot{\theta}_m - M_{ROV} \cdot g \cdot R_{max} \cdot k \cdot \dot{\theta}_m \Leftrightarrow I_{eq} \cdot \ddot{\theta}_m = C_m - M_{ROV} \cdot g \cdot R_{max} \cdot k$

$$C_m = I_{eq} \cdot \ddot{\theta}_m + M_{ROV} \cdot g \cdot R_{max} \cdot k$$

Question 21. À partir des équations données précédemment et après avoir appliqué les transformées de Laplace en considérant les conditions initiales nulles, déterminer les fonctions de transfert $H_i(p)$ ainsi que K_{adapt} définis sur le schéma bloc figure 15 pour que l'écart soit l'image de l'erreur $T_c(p) - T(p)$.

Pour que l'écart soit bien l'image de l'erreur $T_c(p) - T(p)$, on impose $K_{adapt} = K_{capt}$

Transformées de Laplace des équations (cdts initiales nulles) :

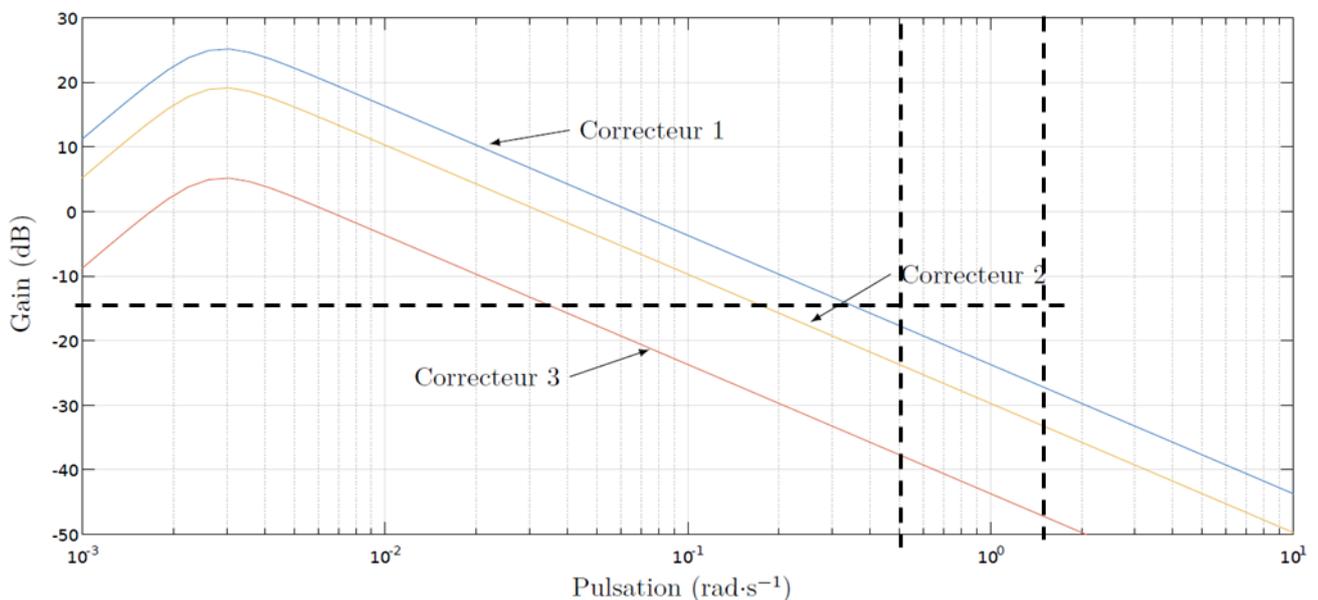
$$I_{eq} \cdot \ddot{\theta}_m = C_m - M_{ROV} \cdot g \cdot k \cdot R_{max} \Rightarrow I_{eq} \cdot p^2 \cdot \theta_m(p) = C_m(p) - M_{ROV} \cdot g \cdot k \cdot R_{max}$$

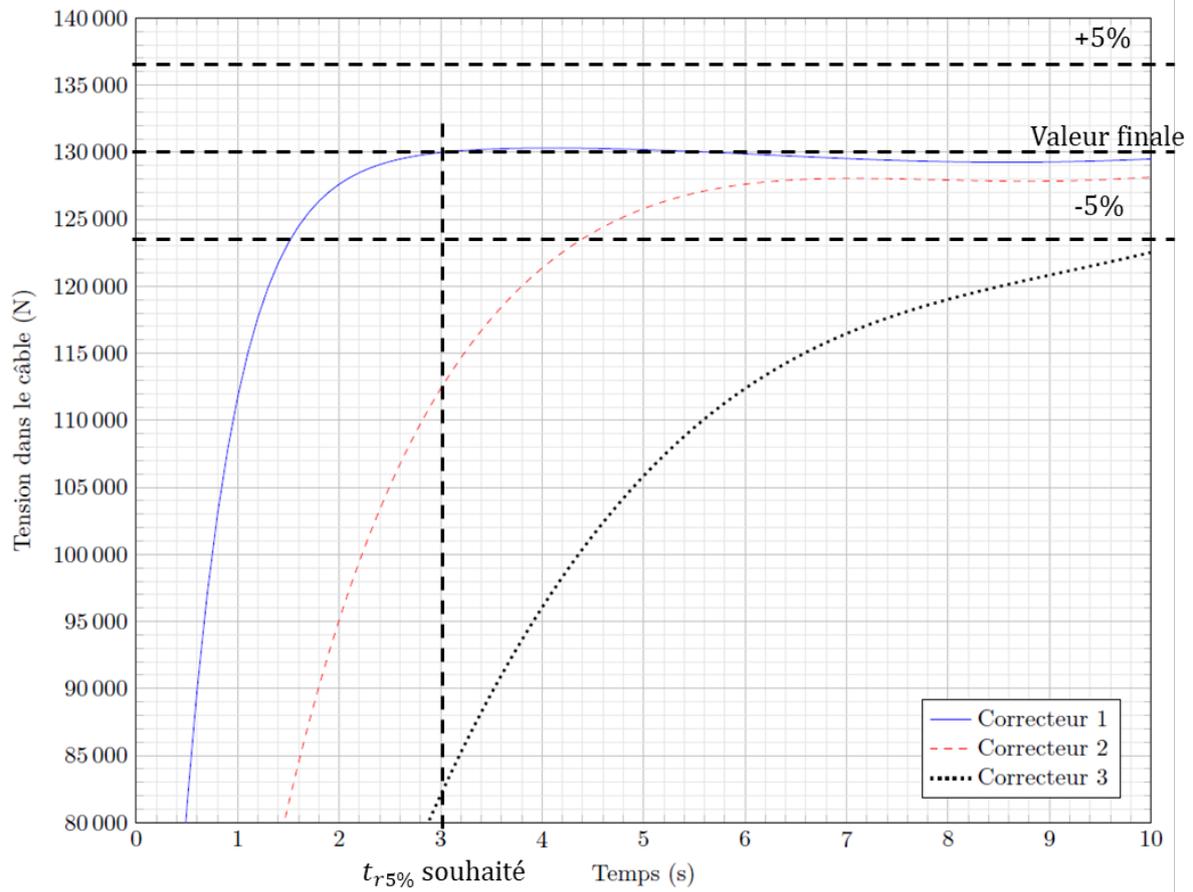
$$Q_m = Q_p - \frac{V}{\beta} \cdot \frac{dPm}{dt} \Rightarrow Q_m = Q_p - \frac{V}{\beta} \cdot p \cdot Pm$$

Fonction $H_i(p)$:

$$H_1(p) = \frac{\beta}{V \cdot p} ; H_2(p) = c ; H_3(p) = \frac{1}{I_{eq} \cdot p^2} ; H_4(p) = c \cdot p$$

Question 22. Par analyse des figures 16 et 17, choisir le correcteur du système actif le plus adapté pour satisfaire à l'exigence d'atténuation de 15 dB et à l'exigence Id 1.2 du cahier des charges. Faire apparaître clairement les traits de construction sur la figure D du document réponse. Répondre entièrement à cette question sur le document réponse.





Par analyse du diagramme de Bode on voit que les trois correcteurs permettent d'atténuer de 14 dB dans la bande $0,5 \text{ rad. s}^{-1}$ à $1,7 \text{ rad. s}^{-1}$.

L'exigence Id 1.2 impose un $t_{r5\%}$ de 3s que seul le correcteur 1 permet d'obtenir. On choisit donc le correcteur 1.

Question 23. Appliquer le théorème de la résultante dynamique au ROV en projection sur l'axe vertical ascendant et en déduire la relation entre $T(t)$, action du câble sur le ROV, la masse M_{ROV} du ROV, g , l'accélération de la pesanteur, et $\ddot{\Delta}y(t)$, l'accélération du ROV sur l'axe vertical ascendant.

$$T(t) - M \cdot g = M \cdot \ddot{\Delta}y(t)$$

Question 24. Déterminer analytiquement l'expression de $\Delta y(t)$ en fonction de M_{ROV} , masse du ROV et ω , pulsation de la houle. Les constantes d'intégration seront considérées nulles et on prendra $g = 10 \text{ m. s}^{-2}$. Calculer la pulsation ω exprimée en rad. s^{-1} et conclure quant au respect de l'exigence Id 1.1 du cahier des charges pour cet essai.

$$T(t) - M \cdot g = M \cdot \ddot{\Delta}y(t) \text{ avec } T(t) = 130\,000 + 5\,500 \cdot \sin(\omega t).$$

Donc $M \cdot \ddot{\Delta}y(t) = 130\,000 + 5\,500 \cdot \sin(\omega t) - M \cdot g$ et $M \cdot \ddot{\Delta}y(t) = 5\,500 \cdot \sin(\omega t)$ en remarquant que $M \cdot g = 130\,000 \text{ N}$.

$$\text{Soit : } \ddot{\Delta}y(t) = \frac{5500}{13000} \sin(\omega \cdot t) \Rightarrow \Delta y(t) = -\frac{5500}{13000} \cdot \frac{1}{\omega^2} \sin(\omega \cdot t) + C_1 \cdot t + C_2$$

Et comme les constantes d'intégration sont supposées nulles :

$$\Delta y(t) = -\frac{5500}{13000} \cdot \frac{1}{\omega^2} \sin(\omega \cdot t) \text{ et } |\Delta y_{\text{maxi}}| = \frac{5500}{13000} \cdot \frac{1}{\omega^2} = 0,97 \text{ m} \left(\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{9,5} = 0,66 \text{ rad. s}^{-1} \right)$$

Le critère Id1.1 impose une variation maximale de 1m pour une amplitude de houle de 5m, le fonctionnement peut donc être validé dans les conditions de fonctionnement de l'essai.

Question 25. La validation des performances de l'AHC à partir de la mesure expérimentale de la figure 18 est-elle suffisante ? Une réponse justifiée et argumentée est attendue. Dans le cas d'une réponse négative, une démarche permettant la validation de l'exigence Id 1.1 est attendue.

Le système actif permet de valider le cahier des charges dans les conditions d'essais de la figure 18. Cependant, l'essai n'est pas effectué sur la bande de pulsation complète du cahier des charges mais pour une seule ($0,66rad.s^{-1}$). Pour valider Id 1.1 il faut faire une série d'essais entre $0,5rad.s^{-1}$ et $1,7rad.s^{-1}$.

• • • FIN • • •
