

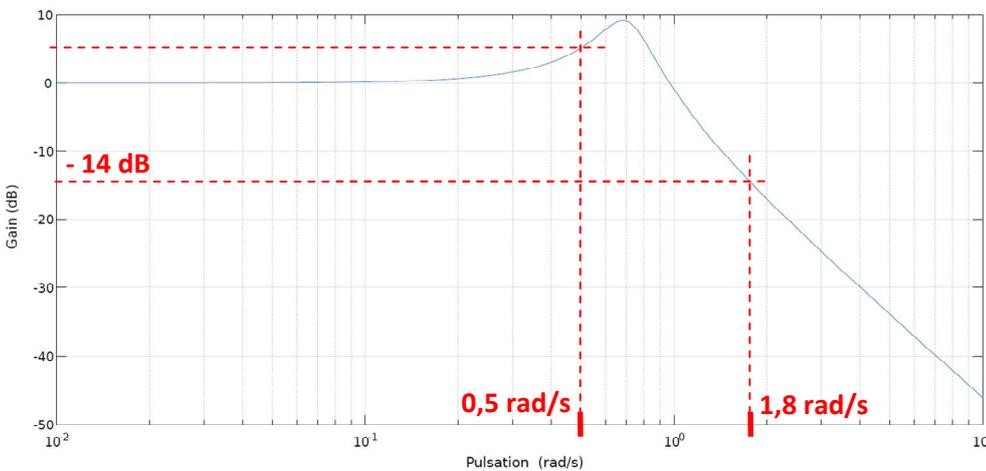
## ROV - Corrigé

**Q.1.** Le gain en décibels représente l'amplification en décibels.  $G_{dB} = |H(j\omega)|_{dB} = 20 \cdot \log \frac{S_0}{E_0}$  où  $S_0$  et  $E_0$  représentent les amplitudes en sortie et entrée lors d'une réponse harmonique.

L'exigence impose une compensation des mouvements de 1 m pour une houle d'amplitude de 5 m  
 $\rightarrow G_{dB} < 20 \cdot \log \frac{1}{5} = -14dB$

le rapport des amplitudes  $\frac{S_0}{E_0}$  appelé gain du système et qui représente l'amplification du système,

**Q.2.** Ce n'est qu'à partir de 1,8 rad/s que l'amplification est inférieure à -14 dB  $\rightarrow$  exigence 1.1 non validée.



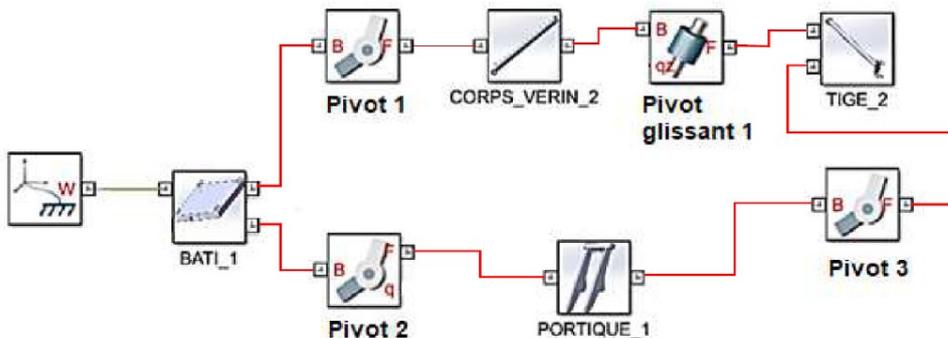
**Q.3.** Fermeture géométrique :  $\vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CA} = \vec{0} \rightarrow x \cdot \vec{u} - r \cdot \vec{j} - l \cdot \vec{x}_0 = \vec{0} \rightarrow \begin{cases} x \cdot \cos \psi + r \cdot \sin(\theta + \delta) - l = 0 \\ x \cdot \sin \psi - r \cdot \cos(\theta + \delta) = 0 \end{cases}$   
 $\rightarrow x = \sqrt{(r \cdot \sin(\theta + \delta) - l)^2 + r^2 \cdot \cos^2(\theta + \delta)} \rightarrow \boxed{x = \sqrt{r^2 - 2 \cdot l \cdot r \cdot \sin(\theta + \delta) + l^2}}$

**Q.4.** On a  $-53^\circ \leq \theta \leq 12^\circ \rightarrow x_{min} = \sqrt{3,259^2 - 2 \times 6,3 \times 3,259 \cdot \sin(12 + 16) + 6,3^2} = 5,57m$

$\rightarrow x_{max} = \sqrt{3,259^2 - 2 \times 6,3 \times 3,259 \cdot \sin(-53 + 16) + 6,3^2} = 8,66m$

$\rightarrow$  course :  $\boxed{c = x_{max} - x_{min} = 3,1m}$

**Q.5.**



C'est le même modèle que celui figure 6 et utilisé questions précédentes avec juste le vérin et le bras de grue portique.

**Q.6.** Sur la figure 7 on lit une course de 3,1 m → c'est la même valeur que celle obtenue question 4.

**Q.7.** On isole le vérin seul → solide soumis à 2 glisseurs. Ces 2 glisseurs sont directement opposés et de normes égales (direction = AB)

On isole le bras de grue portique + BAME. On applique le PFS sur ce bras en C.

$$\rightarrow \text{TMS } C / \vec{z} : (\vec{CB} \wedge \vec{B}_{\text{tige} \rightarrow \text{bras}} \cdot \vec{u} + \vec{CE} \wedge -M \cdot \vec{g} \cdot \vec{y}_0) \cdot \vec{z} = 0$$

$$\rightarrow (r \cdot \vec{j} \wedge \vec{B}_{\text{tige} \rightarrow \text{bras}} \cdot \vec{u} + d \cdot \vec{y}_1 \wedge -M \cdot \vec{g} \cdot \vec{y}_0) \cdot \vec{z} = 0 \rightarrow -r \cdot B_{\text{tige} \rightarrow \text{bras}} \cdot \cos(\delta + \theta - \psi) + d \cdot M \cdot g \cdot \sin \theta = 0$$

$$\rightarrow B_{\text{tige} \rightarrow \text{bras}} = \frac{d \cdot M \cdot g \cdot \sin \theta}{r \cdot \cos(\delta + \theta - \psi)}$$

**Q.8.** La pression est maximale lorsque l'effort  $B_{\text{tige} \rightarrow \text{bras}}$  est maximal soit 420 000 N. De plus compte tenu de l'architecture du système, la pression est maximale dans la chambre droite du vérin.

$$\rightarrow P_{\text{max}} = \frac{420000}{\pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4}\right)} = \frac{420000}{\pi \cdot \left(\frac{250^2}{4} - \frac{180^2}{4}\right)} = 17,8 \text{ MPa} = 178 \text{ Bars} < 200 \text{ Bars} \rightarrow \text{le vérin est correctement dimensionné.}$$

**Q.9.** Le vérin est convenablement dimensionné pour sa course (3,1 m < 3,8 m maxi) et d'un point de vue pression hydraulique (178 Bars < 200 Bars).

**Q.10.** On isole  $\Sigma$  + BAME :

- $\vec{g} \rightarrow \text{ROV}$
- $P_{\text{atm}} \rightarrow \text{tige}$
- $P_{E0} \rightarrow \text{tige}$
- liaison corps de vérin → tige (supposée parfaite)
- câble poulie fixe → poulie mobile (supposée portée par  $\vec{x}_0$ )

On applique le PFS sur  $\Sigma \rightarrow \text{TRS} / \vec{y}_0 : -M \cdot g + P_{E0} \cdot A - P_{\text{atm}} \cdot A = 0 \rightarrow P_{E0} = P_{\text{atm}} + \frac{M \cdot g}{A}$

**Q.11.**  $P_{E0} = P_{\text{atm}} + \frac{M \cdot g}{A} = 180 \text{ MPa} \rightarrow A = \frac{M \cdot g}{P_{E0} - P_{\text{atm}}} \rightarrow A = \frac{26000 \times 9,81}{18 - 0,1} = 15250 \text{ mm}^2$

**Q.12.** On applique le PFD sur  $\Sigma \rightarrow \text{TMD} / \vec{y}_0 : -M \cdot g + p_E(t) \cdot A - P_{\text{atm}} \cdot A - c \cdot \vec{V}_{A, \text{tige} / \text{bateau}} \cdot \vec{y}_0 = M \cdot \vec{\Gamma}_{G, \text{ROV} / 0} \cdot \vec{y}_0$

avec  $\vec{V}_{A, \text{tige} / \text{bateau}} = \vec{V}_{A, \text{tige} / 0} - \vec{V}_{A, \text{bateau} / 0} = \left(\frac{d}{dt} y_{\text{ROV}}(t) - \frac{d}{dt} y_h(t)\right) \cdot \vec{y}_0$  et  $\vec{\Gamma}_{G, \text{ROV} / 0} = \frac{d^2}{dt^2} y_{\text{ROV}}(t) \cdot \vec{y}_0$

$$\rightarrow -M \cdot g + p_E(t) \cdot A - P_{\text{atm}} \cdot A - c \cdot \left(\frac{d}{dt} y_{\text{ROV}}(t) - \frac{d}{dt} y_h(t)\right) = M \cdot \frac{d^2}{dt^2} y_{\text{ROV}}(t)$$

$$\rightarrow -M \cdot g + p_E(t) \cdot A - P_{E0} \cdot A + P_{E0} \cdot A - P_{\text{atm}} \cdot A - c \cdot \left(\frac{d}{dt} y_{\text{ROV}}(t) - \frac{d}{dt} y_h(t)\right) = M \cdot \frac{d^2}{dt^2} y_{\text{ROV}}(t)$$

avec  $-M \cdot g + P_{E0} \cdot A - P_{\text{atm}} \cdot A = 0$  et  $\Delta p_E(t) = p_E(t) \cdot A - P_{E0} \cdot A \rightarrow \Delta p_E(t) \cdot A - c \cdot \left(\frac{d}{dt} y_{\text{ROV}}(t) - \frac{d}{dt} y_h(t)\right) = M \cdot \frac{d^2}{dt^2} y_{\text{ROV}}(t)$

Par identification, on trouve  $\alpha = M$ ,  $\beta = c$  et  $\gamma = A$

**Q.13.** III.1 :  $A \cdot \left( \frac{d}{dt} y_h(t) - \frac{d}{dt} y_{ROV}(t) \right) + C_{qR} \cdot (\Delta p_G(t) - \Delta p_E(t)) = 0$

$\mathcal{L} \rightarrow A \cdot (p \cdot Y_h(p) - p \cdot Y_{ROV}(p)) + C_{qR} \cdot (\Delta P_G(p) - \Delta P_E(p)) = 0$

III.2 :  $\frac{d}{dt} \Delta p_G(t) = \frac{r \cdot P_{G0} \cdot C_{qR}}{V_{G0}} \cdot (\Delta p_E(t) - \Delta p_G(t)) \xrightarrow{\mathcal{L}} p \cdot \Delta P_G(p) = \frac{r \cdot P_{G0} \cdot C_{qR}}{V_{G0}} \cdot (\Delta P_E(p) - \Delta P_G(p))$

On pose  $B = \frac{r \cdot P_{G0} \cdot C_{qR}}{V_{G0}} \rightarrow p \cdot \Delta P_G(p) + B \cdot \Delta P_G(p) = B \cdot \Delta P_E(p) \rightarrow \Delta P_G(p) = \frac{B}{p+B} \Delta P_E(p)$

On remplace dans III.1  $\rightarrow A \cdot p \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p)) + C_{qR} \cdot \left( \frac{B}{p+B} \cdot \Delta P_E(p) - \Delta P_E(p) \right) = 0$

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

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

$\rightarrow \frac{A \cdot B}{C_{qR}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{B} p \right) \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p)) = \Delta P_E(p)$

On retrouve bien l'expression demandée avec  $K_1 = \frac{A \cdot B}{C_{qR}} = \frac{A \cdot r \cdot P_{G0}}{V_{G0}}$  et  $\tau_1 = \frac{V_{G0}}{r \cdot P_{G0} \cdot C_{qR}}$

**Q.14.** III.3  $\rightarrow \alpha \cdot \frac{d^2}{dt^2} y_{ROV}(t) + \beta \cdot \left( \frac{d}{dt} y_{ROV}(t) - \frac{d}{dt} y_h(t) \right) = A \cdot \Delta p_E(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} \alpha \cdot p^2 \cdot Y_{ROV}(p) + \beta \cdot (p \cdot Y_{ROV}(p) - p \cdot Y_h(p)) = A \cdot \Delta P_E(p)$

On remplace  $\Delta P_E(p)$  par l'expression obtenue question précédente :

$\rightarrow \alpha \cdot p^2 \cdot Y_{ROV}(p) + \beta \cdot (p \cdot Y_{ROV}(p) - p \cdot Y_h(p)) = A \cdot K_1 \cdot (1 + \tau_1 \cdot p) \cdot (Y_h(p) - Y_{ROV}(p))$

$\rightarrow \alpha \cdot p^2 \cdot Y_{ROV}(p) + \beta \cdot p \cdot Y_{ROV}(p) + A \cdot K_1 \cdot (1 + \tau_1 \cdot p) \cdot Y_{ROV}(p) = A \cdot K_1 \cdot (1 + \tau_1 \cdot p) \cdot Y_h(p) + \beta \cdot p \cdot Y_h(p)$

$\rightarrow (\alpha \cdot p^2 + (A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta) \cdot p + A \cdot K_1) \cdot Y_{ROV}(p) = (A \cdot K_1 + (A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta) \cdot p) \cdot Y_h(p)$

$\rightarrow \frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)} = \frac{1 + \frac{A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta}{A \cdot K_1} \cdot p}{\frac{\alpha}{A \cdot K_1} \cdot p^2 + \frac{A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta}{A \cdot K_1} \cdot p + 1}$  avec :

$\tau = \frac{A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta}{A \cdot K_1}$  ;  $\frac{1}{\omega_n^2} = \frac{\alpha}{A \cdot K_1} \rightarrow \omega_n = \sqrt{\frac{A \cdot K_1}{\alpha}}$  ;  $\frac{2 \cdot \xi}{\omega_n} = \frac{A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta}{A \cdot K_1} \rightarrow \xi = \frac{1}{2} \cdot \frac{A \cdot K_1 \cdot \tau_1 + \beta}{\sqrt{A \cdot K_1 \cdot \alpha}}$

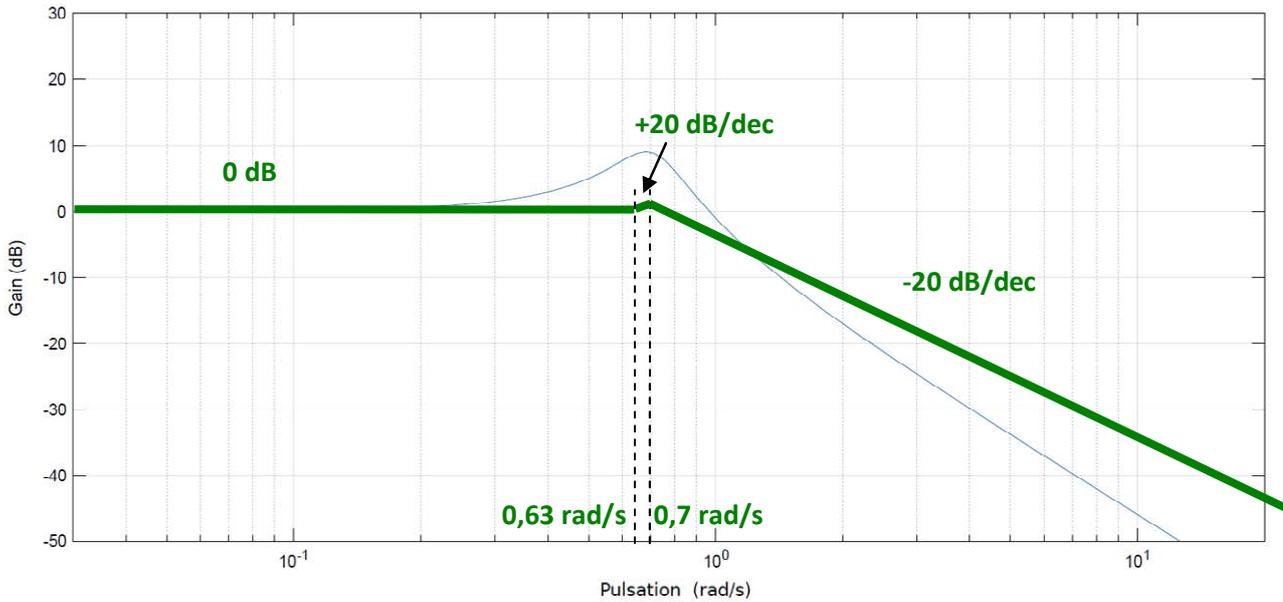
**Q.15.** Graphiquement on lit sur la figure 11  $\xi = 0,55$  pour un gain de 3 dB et  $\lambda = 0,52$  pour  $\xi = 0,55$ .

On a ensuite  $\omega_n = \lambda \cdot \omega_c = 0,52 \times 0,7 = 0,364$  rad/s. Ce qui permet de trouver finalement :

$V_{G0} = \frac{r \cdot A}{M \cdot \omega_n^2} \cdot (M \cdot g + P_{atm} \cdot A) = \frac{1,33 \times 0,015}{26000 \times 0,364^2} \cdot (26000 \times 9,81 + 10^5 \times 0,015) \rightarrow V_{G0} = 1,48 \text{ m}^3$

**Q.16.**  $\frac{Y_{ROV}(p)}{Y_h(p)} = \frac{1 + 1,57 \cdot p}{\frac{1}{0,7^2} \cdot p^2 + \frac{2 \times 0,55}{0,7} \cdot p + 1} = \left( 1 + \frac{1}{0,63} \cdot p \right) \cdot \frac{1}{\frac{1}{0,7^2} \cdot p^2 + \frac{2 \times 0,55}{0,7} \cdot p + 1} \rightarrow$  inverse d'ordre 1 de pulsation

0,63 rad/s x ordre 2.



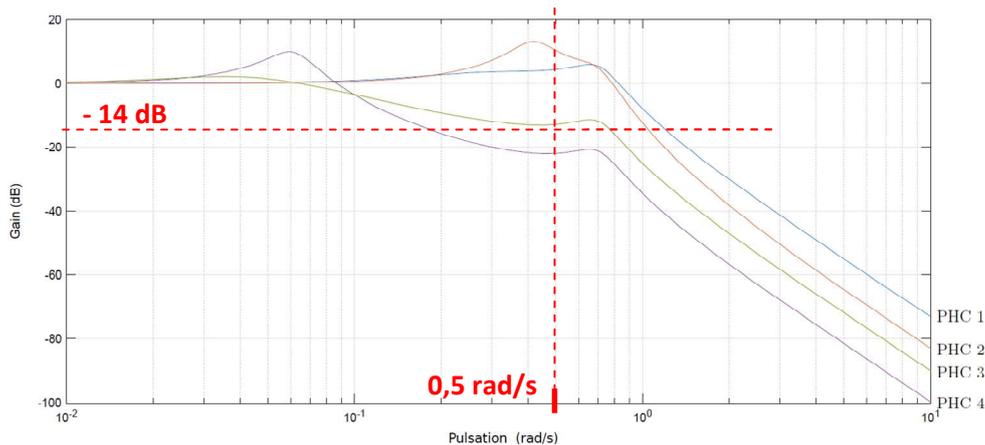
Pour le second ordre comme on a  $\xi = 0,55$ , on va retrouver une résonance  $Q_{dB} = 20 \cdot \log \frac{1}{2\zeta \cdot \sqrt{1-\xi^2}} = 0,73 \text{ dB}$

à la pulsation de résonance  $\omega_R = \omega_n \cdot \sqrt{1-2\xi^2} = 0,44 \text{ rad/s}$ .

Pour l'inverse d'ordre 1, on a un gain de +3dB à la pulsation 0,63 rad/s. L'apport de gain du 2nd ordre est négligeable à 0,7 rad/s compte tenu de la faible résonance → Comme souhaité, on a donc un gain maxi de l'ordre de 3dB.

**Q.17.** On a  $G(p) = H(p) \cdot B(p)$ . Il faut donc sommer les gains des 2 fonctions de transfert  $H(p)$  et  $B(p)$  pour obtenir le tracé en gain de  $G(p)$ .

**Q.18.** Il faut une amplification au moins inférieure à -14 dB sur la plage 0,5 rad/s ; 1,7 rad/s. Seul le réglage PHC 4 respecte l'exigence du cahier des charges.



**Q.19.** On a  $I_{\text{tamb}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot L \cdot \pi \cdot (R_{\text{max}}^4 - R_{\text{min}}^4)$  et le tambour a pour masse  $M_{\text{tamb}} = \rho \cdot L \cdot \pi \cdot (R_{\text{max}}^2 - R_{\text{min}}^2)$ .

$$\rightarrow I_{\text{tamb}} = \frac{M_{\text{tamb}}}{2} \cdot (R_{\text{max}}^2 + R_{\text{min}}^2)$$

Remarque : le sujet propose de supposer le bateau comme étant un référentiel galiléen, cette hypothèse discutable compte tenu du mouvement du bateau.

$$E_c(E/0) = E_c(\text{poulie}/0) + E_c(\text{tambour}/0) + E_c(\text{ROV}/0)$$

$$\text{On suppose que la poulie a pour diamètre } R_{\max} \rightarrow 2.E_c(E/0) = J_{\text{poulie}} \cdot \dot{\alpha}_T^2 + J_{\text{tambour}} \cdot \dot{\alpha}_T^2 + M_{\text{ROV}} \cdot V_{\text{ROV}}^2$$

$$\rightarrow 2.E_c(E/0) = (J_{\text{poulie}} + J_{\text{tambour}}) \cdot k^2 \cdot \dot{\theta}_m^2 + M_{\text{ROV}} \cdot R_{\max}^2 \cdot k^2 \cdot \dot{\theta}_m^2 \rightarrow J_{\text{eq}} = (J_{\text{poulie}} + J_{\text{tambour}}) \cdot k^2 + M_{\text{ROV}} \cdot R_{\max}^2 \cdot k^2$$

**Q.20.** On isole tout le système en mouvement sauf le bâti et on applique le TEC :

$$J_{\text{eq}} \cdot \ddot{\theta}_m \cdot \dot{\theta}_m = C_m \cdot \dot{\theta}_m - M_{\text{ROV}} \cdot g \cdot R_{\max} \cdot k \cdot \dot{\theta}_m \rightarrow C_m = J_{\text{eq}} \cdot \ddot{\theta}_m + M_{\text{ROV}} \cdot g \cdot R_{\max} \cdot k$$

**Q.21.**  $K_{\text{adapt}} = K_{\text{capt}}$

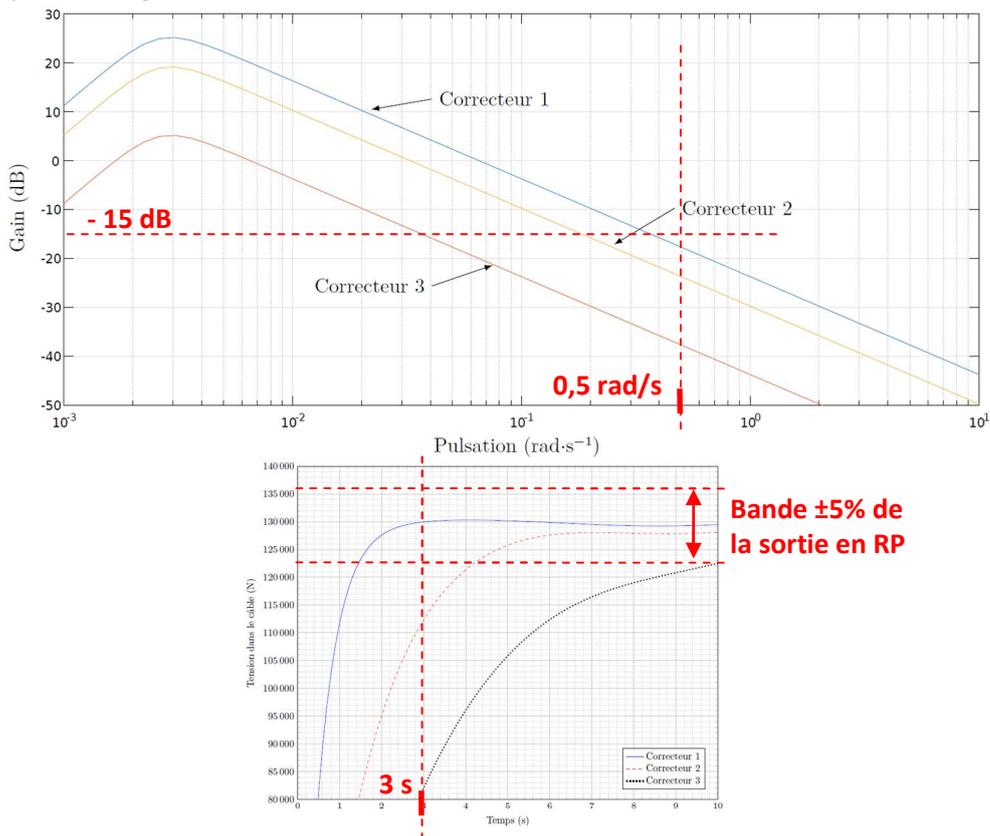
$$\text{Eq. hydraulique 1} \xrightarrow{\mathcal{L}} Q_p(p) - Q_m(p) = \frac{V}{\beta} \cdot p \cdot P_m(p) \rightarrow H_1(p) = \frac{P_m(p)}{Q_p(p) - Q_m(p)} = \frac{\beta}{V \cdot p}$$

$$H_2(p) = c$$

$$\text{Eq. TEC} \xrightarrow{\mathcal{L}} C_m(p) - M_{\text{ROV}} \cdot g \cdot R_{\max} \cdot k = J_{\text{eq}} \cdot p^2 \cdot \theta_m(p) \rightarrow H_3(p) = \frac{1}{J_{\text{eq}} \cdot p^2}$$

$$H_4(p) = c \cdot p$$

**Q.22.** Les 3 correcteurs apportent l'atténuation suffisante mais seule la réponse temporelle avec le correcteur permet de respecter l'exigence 1.2.



**Q.24.** On applique le PFD sur ROV  $\rightarrow \text{TRD} / \bar{y}_0 : -M_{\text{ROV}} \cdot g + T(t) = M_{\text{ROV}} \cdot \Delta \ddot{y}(t)$

$$\rightarrow 5500 \cdot \sin \omega t = M_{\text{ROV}} \cdot \Delta \ddot{y}(t) \text{ (en prenant } g \approx 10)$$

**Q.25.** On intègre 2 fois avec des CI donnant des constantes d'intégration nulles :

$$\Delta \ddot{y}(t) = \frac{5500}{M_{\text{ROV}}} \cdot \sin \omega t \rightarrow \Delta \dot{y}(t) = -\frac{5500}{M_{\text{ROV}} \cdot \omega} \cdot \cos \omega t \rightarrow \Delta y(t) = -\frac{5500}{M_{\text{ROV}} \cdot \omega^2} \cdot \sin \omega t$$

$$\text{avec } \omega = \frac{2\pi}{T_p} = \frac{2\pi}{9,5} = 0,66 \text{ rad/s, on en déduit } \Delta y(t) = -\frac{5500}{13000 \times 0,66^2} \cdot \sin \omega t = 0,97 \cdot \sin \omega t$$

→ l'amplitude est inférieure à 1 m pour une houle de 5 m ici → exigence validée.

**Q.26.** On a validé l'exigence 1.1 question précédente pour une pulsation de 0,66 rad/s. Il faudrait effectuer d'autres tests de ce type avec différentes houles d'amplitude 5 m et de pulsation variant sur l'ensemble de la plage de pulsation 0,5 rad/s à 1,7 rad/s afin de valider complètement l'exigence 1.1.