

3- Etude du cas d'utilisation : « Installer sur zone de production et entretenir »**3.1- Etude en configuration remorquage****Question 1**

Bilan des actions mécaniques extérieures s'appliquant sur la bouée :

$$\text{☞ Poids de la partie inférieure : Force } -m_1 \cdot g \cdot \vec{z} \text{ appliquée en } G_1 : \quad \{\mathbf{T}_{\text{pes} \rightarrow 1}\} = \mathbf{G}_1 \begin{Bmatrix} -m_1 \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\text{☞ Poids de la partie supérieure : Force } -m_2 \cdot g \cdot \vec{z} \text{ appliquée en } G_2 : \quad \{\mathbf{T}_{\text{pes} \rightarrow 2}\} = \mathbf{G}_2 \begin{Bmatrix} -m_2 \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\text{☞ Poids du flotteur : Force } -m_3 \cdot g \cdot \vec{z} \text{ appliquée en } G_3 : \quad \{\mathbf{T}_{\text{pes} \rightarrow 3}\} = \mathbf{G}_3 \begin{Bmatrix} -m_3 \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\text{☞ Poussé d'Archimède sur la partie inférieure : Force } \rho \cdot g \cdot \frac{V_1}{2} \cdot \vec{z} \text{ appliquée en } A_1$$

$$\text{avec } \vec{G_1 A_1} // \vec{z} \text{ donc } \vec{G_1 A_1} \wedge \rho \cdot g \cdot \frac{V_1}{2} \cdot \vec{z} = \vec{0} \quad \text{On en déduit : } \quad \{\mathbf{T}_{\text{eau} \rightarrow 1}\} = \mathbf{G}_1 \begin{Bmatrix} \rho \cdot g \cdot \frac{V_1}{2} \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\text{☞ Poussé d'Archimède sur la partie supérieure : Force } \rho \cdot g \cdot \frac{V_2}{2} \cdot \vec{z} \text{ appliquée en } A_2$$

$$\text{avec } \vec{G_2 A_2} // \vec{z} \text{ donc : } \vec{G_2 A_2} \wedge \rho \cdot g \cdot \frac{V_2}{2} \cdot \vec{z} = \vec{0} \quad \text{On en déduit : } \quad \{\mathbf{T}_{\text{eau} \rightarrow 2}\} = \mathbf{G}_2 \begin{Bmatrix} \rho \cdot g \cdot \frac{V_2}{2} \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

$$\text{☞ Poussé d'Archimède sur le flotteur : Force } \rho \cdot g \cdot \frac{V_3}{2} \cdot \vec{z} \text{ appliquée en } A_3$$

$$\text{avec } \vec{G_3 A_3} // \vec{z} \text{ donc : } \vec{G_3 A_3} \wedge \rho \cdot g \cdot \frac{V_3}{2} \cdot \vec{z} = \vec{0} \quad \text{On en déduit : } \quad \{\mathbf{T}_{\text{eau} \rightarrow 3}\} = \mathbf{G}_3 \begin{Bmatrix} \rho \cdot g \cdot \frac{V_3}{2} \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$$

Question 2

La bouée étant à l'équilibre l'application du théorème du moment statique en G_1 donne :

$$\vec{G_1 G_2} \wedge -m_2 \cdot g \cdot \vec{z} + \vec{G_1 G_3} \wedge -m_3 \cdot g \cdot \vec{z} + \vec{G_1 G_2} \wedge \rho \cdot g \cdot \frac{V_2}{2} \cdot \vec{z} + \vec{G_1 G_3} \wedge \rho \cdot g \cdot \frac{V_3}{2} \cdot \vec{z} = \vec{0}$$

Sachant que : $\vec{G_1 G_2} = 21,52 \cdot \vec{x}$ et : $\vec{G_1 G_3} = \lambda \cdot \vec{x}$ On obtient en projection sur \vec{y} :

$$21,52 \cdot m_2 \cdot g + \lambda \cdot m_3 \cdot g - 21,52 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{V_2}{2} - \lambda \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{V_3}{2} = 0 \quad \text{Soit : } \quad \lambda = 21,52 \cdot \frac{\rho \cdot V_2 - 2 \cdot m_2}{2 \cdot m_3 - \rho \cdot V_3}$$

$$\text{Application numérique : } \quad \lambda = 21,52 \cdot \frac{1025 \times 62,20 - 2 \times 120\,000}{2 \times 25\,000 - 1025 \times 165,87}$$

$$\lambda = 31,60 \text{ m}$$

3.2- Etude en configuration production d'énergie**Question 3**

La partie immergée du lest a un volume $V_{\text{im}} = V_1 + V_2 - 4 \cdot \pi \cdot \frac{d_2^2}{4}$

$$\text{D'où la poussée d'Archimède sur le lest : } \quad \vec{F}_A = \rho \cdot \left(V_1 + V_2 - 4 \cdot \pi \cdot \frac{d_2^2}{4} \right) \cdot g \cdot \vec{z}$$

$$\text{Application numérique : } \quad \vec{F}_A = 1025 \times \left(123,15 + 62,20 - 4 \cdot \pi \cdot \frac{1,5^2}{4} \right) \times 9,81 \cdot \vec{z} \quad \vec{F}_A = F_A \cdot \vec{z}$$

$$\text{Avec : } \quad \mathbf{F}_A = 1,79 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Question 4

Bilan des actions mécaniques extérieures s'appliquant sur le lest :

- ☞ Poids du lest : Force : $-(m_1 + m_2).g. \vec{z}$
- ☞ Poussée d'Archimède : Force : $\vec{F}_A = F_A. \vec{z}$ en N
- ☞ Action du flotteur sur le lest due à la liaison glissière de direction \vec{z}
- ☞ Poids de l'eau dans les ballasts : Force : $-\rho.g.V_{eau}. \vec{z}$

L'application du théorème de la résultante statique en projection sur l'axe \vec{z} donne :

$$1,79.10^6 - (m_1 + m_2).g - \rho.g.V_{eau} = 0$$

Soit :
$$V_{eau} = \frac{F_A - (m_1 + m_2).g}{\rho.g}$$

Application numérique :
$$V_{eau} = \frac{1,79.10^6 - (120\,000 + 35\,000) \times 9,81}{1025 \times 9,81}$$

$$V_{eau} = 26,8 \text{ m}^3$$

$$V_{eau} \leq V_b = 30 \text{ m}^3 \text{ Donc le volume des ballast est suffisant.}$$

4- Etude du cas d'utilisation : « Recevoir de l'énergie électrique produite à partir de l'énergie houlomotrice »

4.3- Modélisation hydrodynamique et validation des dimensions du flotteur

Question 5

Les périodes qui ont 50 relevés au moins sont comprises entre 8 et 14 s. D'où la bande passante :

$$\left[\frac{2.\pi}{14}, \frac{2.\pi}{8} \right] = [0,44, 079] \text{ en rad.s}^{-1}$$

Le plus grand nombre de relevé est pour le période de 12 s. D'où la pulsation dominante :

$$\omega_n = \frac{2.\pi}{12} = 0,52 \text{ rad.s}^{-1}$$

Question 6

On isole le flotteur. Bilan des actions mécaniques extérieures appliquée sur ce flotteur :

- ☞ Force hydrostatique : Force : $f_{HS}(\vec{t}) = -\rho.g.S.z(t). \vec{z}$
- ☞ Force d'excitation : Force : $f_e(\vec{t}) = f_e(t). \vec{z} = -\rho.g.S.\frac{H}{2}. \sin(\omega.t). \vec{z}$
- ☞ Force de radiation : Force : $f_r(\vec{t}) = -A.\ddot{z}. \vec{z} - B.\dot{z}. \vec{z}$
- ☞ Action du vérin hydraulique sur le flotteur : Force : $f_v(\vec{t}) = -C.\dot{z}. \vec{z}$

L'application du théorème de la résultante dynamique en projection sur l'axe \vec{z} donne :

$$f_{HS}(\vec{t}) + f_e(\vec{t}) + f_r(\vec{t}) + f_v(\vec{t}) = m.\ddot{z}. \vec{z} \quad \text{Soit : } f_e(t) = a_2.\ddot{z} + a_1.\dot{z} + a_0$$

Avec :
$$a_2 = m + A \quad a_1 = B+C \quad a_0 = \rho.g.S$$

Question 7

Cette équation passée dans le domaine de Laplace nous donne : $F_e(p) = (a_0 + a_1.p + a_2.p^2).Z(p)$

D'où la fonction de transfert du flotteur :

$$H_B(p) = \frac{Z(p)}{F_e(p)} = \frac{1}{a_0 + a_1.p + a_2.p^2}$$

Soit encore sous sa forme canonique :

$$H_B(p) = \frac{\frac{1}{a_0}}{1 + \frac{a_1}{a_0}.p + \frac{a_2}{a_0}.p^2}$$

Question 8

Fonction de transfert du 2nd ordre de :

Gain statique : $K = \frac{1}{a_0} = \frac{1}{\rho \cdot g \cdot S} = 7,91 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{N}^{-1}$

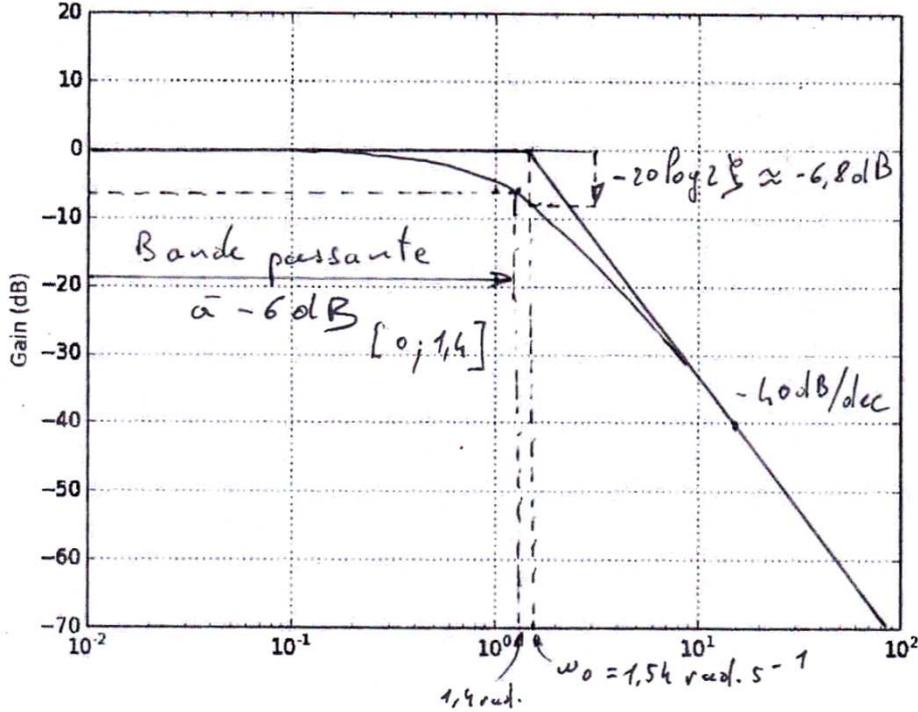
De pulsation propre :

$\omega_0 = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot S}{m + A}} = 1,54 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Et facteur d'amortissement :

$\xi = \frac{\omega_0 \cdot a_1}{2 \cdot a_0} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} \cdot \frac{a_1}{a_0} = \frac{a_1}{2 \cdot \sqrt{a_0 \cdot a_2}} = \frac{B + C}{2 \cdot \sqrt{\rho \cdot g \cdot S \cdot (m + A)}} = 1,1$

Question 9 et 10

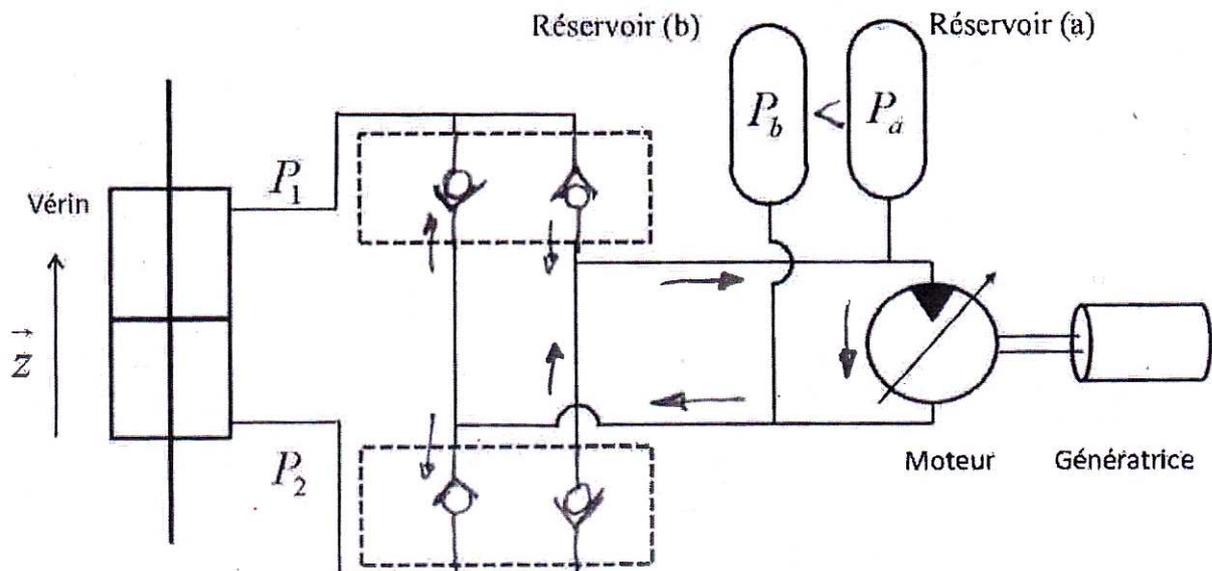


La pulsation dominante $\omega_n = 0,52 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ appartient bien à la bande passante : $[0 ; 1,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}]$. Donc la système parviendra bien a capter l'énergie de la houle pour cette pulsation dominante.

De même pour toutes les autres pulsations déterminées à la question 5 : $[0,44 ; 0,79] \subset [0 ; 1,4]$.

4.4- Modélisation, validation et otimisation du système de conversion d'énergie

Question 11



Question 12

On isole le moteur hydraulique. Son énergie cinétique est : $E_C(\text{mot/bati}) = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_m^2(t)$

Les puissances des actions extérieures sont :

☞ La puissance hydraulique : $P_{mh}(t) = Q_m(t) \cdot \Delta P = x_m(t) \cdot D_m \cdot \Delta P$

☞ La puissance du couple résistant : $P(C_g \rightarrow \text{mot/bati}) = -f_{Cg}(t) \cdot \omega_m(t) \cdot \omega_m(t)$

Les puissances des actions intérieures sont nulles.

L'application du théorème de l'énergie cinétique donne donc :

$$\frac{d E_C(\text{mot/bati})}{dt} = P(C_g \rightarrow \text{mot/bati}) + P_{mh}(t) \Leftrightarrow J \cdot \frac{d \omega_m(t)}{dt} = -f_{Cg}(t) \cdot \omega_m(t) + x_m(t) \cdot D_m \cdot \Delta P$$

Question 13

En régime établi: $\frac{d \omega_m(t)}{dt} = 0$ On a donc : $0 = -f_{Cg}(t) \cdot \omega_m(t) + x_m(t) \cdot D_m \cdot \Delta P$

Soit pour $x_m(t) = 1$ $\omega_m = \frac{D_m \cdot \Delta P}{f_{Cg}}$ Or : $\begin{cases} \Delta P_{\max} = 120 \text{ b} = 1,2 \cdot 10^7 \text{ Pa} \\ \Delta P_{\min} = 30 \text{ b} = 3 \cdot 10^6 \text{ Pa} \end{cases}$

On a donc :

$$\begin{cases} \omega_{m,\max} = \frac{9,55 \cdot 10^{-6} \times 1,2 \cdot 10^7}{0,19} = 603 \text{ rad.s}^{-1} = 6\,760 \text{ tr.min}^{-1} \\ \omega_{m,\min} = \frac{9,55 \cdot 10^{-6} \times 3 \cdot 10^6}{0,19} = 151 \text{ rad.s}^{-1} = 1\,440 \text{ tr.min}^{-1} \end{cases}$$

Or l'exigence de vitesse nominale de la génératrice impose que celle-ci ait une vitesse fixe de 1 500 tr.min⁻¹. Il faut donc adapter la cylindrée du moteur ($x_m(t) \neq 1$) pour satisfaire cette exigence.

Question 14

La fermeture géométrique du cycle 0-1-2-0 s'écrit : $\vec{OA} = \vec{OH} + \vec{HI} + \vec{IA}$

Soit : $r \cdot \vec{z}_1 = -e \cdot \vec{z}_0 + \lambda \cdot \vec{x}_0 + L \cdot \vec{z}_0 = 0$ Soit en projection sur $\frac{\vec{x}_0}{z_0}$ $\begin{cases} r \cdot \sin \alpha = \lambda \\ r \cdot \cos \alpha = L - e \end{cases}$

On obtient donc : $\tan \alpha = \frac{\lambda}{L - e}$ $\lambda = (L - e) \cdot \tan \alpha$

Question 15

On sait que : $x_m \cdot D_m = K_\alpha \cdot \tan \alpha$ Donc : $x_m \cdot D_m = K_\alpha \cdot \frac{\lambda}{L - e}$

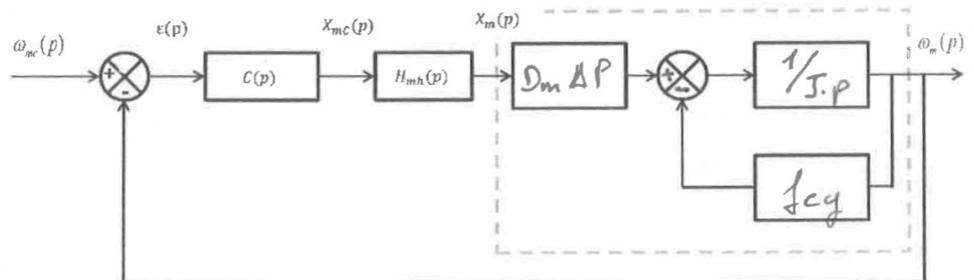
Soit : $x_m \cdot D_m = K_m \cdot \lambda$ avec : $K_m = \frac{K_\alpha}{L - e}$

Donc K_m est une constante d'où le système est bien linéaire.

Question 16

Par hypothèse on a des conditions initiales nulles l'équation de la question 12 dans le domaine de Laplace donne donc : $J \cdot p \cdot \Omega_m(p) = D_m \cdot \Delta P \cdot X(p) - f_{Cg} \cdot \Omega_m(p) \Rightarrow \Omega_m(p) = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (D_m \cdot \Delta P \cdot X(p) - f_{Cg} \cdot \Omega_m(p))$

D'où le schéma bloc :



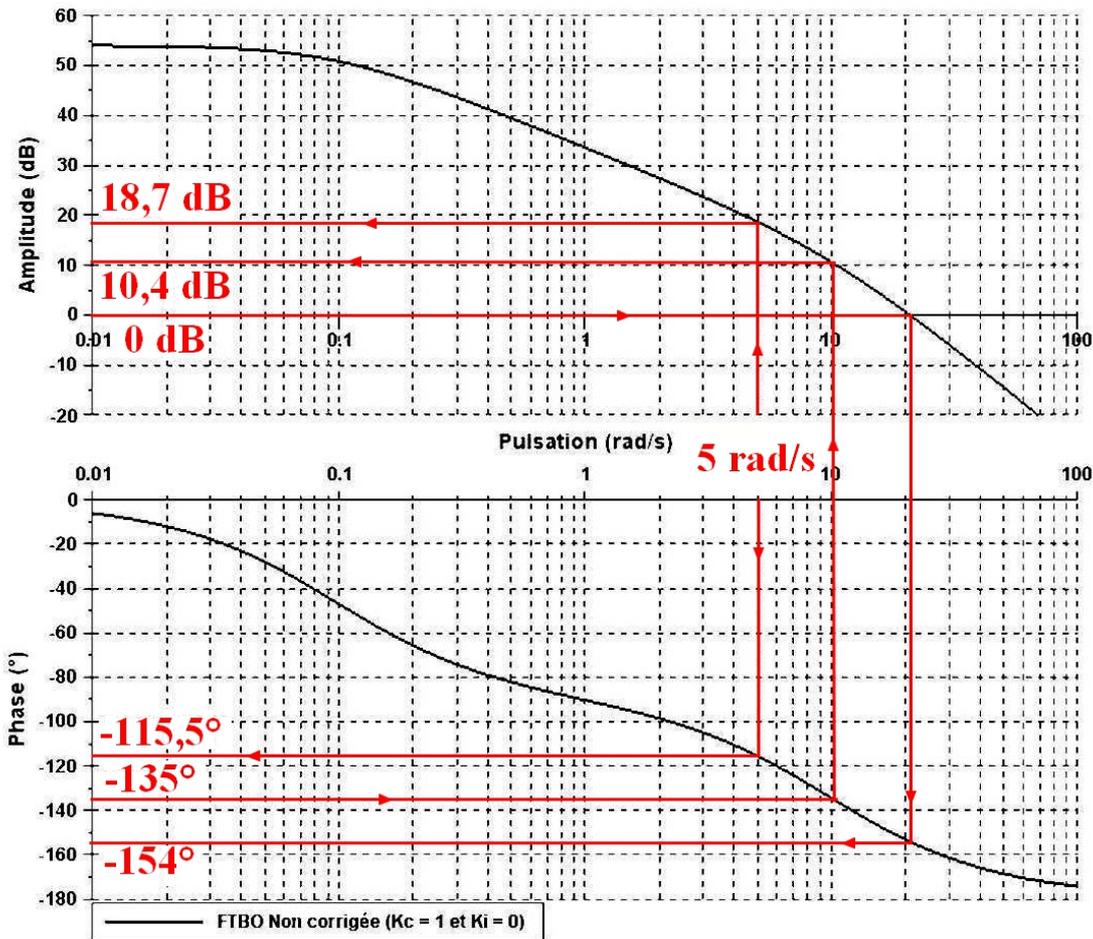
Question 17

Pour $K_i = 0$ la FTBO s'écrit : $FTBO(p) = K_C \cdot H_{mh}(p) \cdot D_m \cdot \Delta P \cdot \frac{1/J \cdot p}{1 + f_{cg}/J \cdot p} = K_C \cdot H_{mh}(p) \cdot D_m \cdot \Delta P \cdot \frac{1/f_{cg}}{1 + \frac{J}{f_{cg}} \cdot p}$

Soit pour : $H_{mh}(p) = \frac{K_{mh}}{1 + \tau_{mh} \cdot p}$ $FTBO(p) = \frac{K_C \cdot K_{mh} \cdot D_m \cdot \Delta P / f_{cg}}{(1 + \tau_{mh} \cdot p) \cdot (1 + \frac{J}{f_{cg}} \cdot p)}$

Application numérique : $FTBO(p) = \frac{503 \cdot K_C}{(1 + 0,1 \cdot p) \cdot (1 + 10,5 \cdot p)}$

Question 18



Pour $K_p = 1$ et $K_i = 0$ ($C(p) = 1$)

Marge de gain : $\forall \omega$ on a : $\varphi_{BO}(\omega) > -180^\circ$ Donc : $M_G = +\infty$

Marge de phase : pour $G_{dbBO}(\omega) = 0$ dB on a $\varphi_{BO}(\omega) = -154^\circ$ Donc : $M_\phi = 180^\circ - 154^\circ = 26^\circ$

Conclusion : Le cahier des charges impose une marge de phase supérieure à 45° donc le système non corrigé n'est pas conforme au cahier des charges

Question 19

Pour l'exigence de stabilité : $M_\phi = 180^\circ + \varphi_{BO}(\omega_{0dB}) \geq 45^\circ$ il faut : $\varphi_{BO}(\omega_{0dB}) \geq 45 - 180 = -135^\circ$

Soit par lecture graphique : $G_{dbBONC}(\omega_{0dB}) \geq 10,4$ dB (où $G_{dbBONC}(\omega_{0dB})$ est le gain dynamique de la FTBO non corrigée). Or $G_{dbBO}(\omega_{0dB}) = G_{dbBONC}(\omega_{0dB}) + G_{dbBCor}(\omega_{0dB})$ (où $G_{dbBO}(\omega_{0dB})$ et $G_{dbBCor}(\omega_{0dB})$ sont les gains dynamiques de la FTBO et du correcteur) $\Leftrightarrow G_{dbBONC}(\omega_{0dB}) = G_{dbBO}(\omega_{0dB}) - G_{dbBCor}(\omega_{0dB})$.

Donc : $G_{dbBO}(\omega_{0dB}) - G_{dbBCor}(\omega_{0dB}) \geq 10,4$ dB. Or $G_{dbBO}(\omega_{0dB}) = 0$ Soit : $G_{dbBCor}(\omega_{0dB}) \leq -10,4$ dB.

Soit pour $C(p) = K_p$ $20 \cdot \log K_p \leq -10,4$ dB $K_p \leq 10^{(-10,4/20)} = 0,302$

Question 20

$$C(p) = \frac{K_i}{p} + K_p = \frac{K_i + K_p \cdot p}{p} \quad \text{Soit : } C(p) = \frac{K \cdot (1 + \tau_C \cdot p)}{p} \quad \text{Avec : } K = K_i \quad \text{et} \quad \tau_C = \frac{K_p}{K_i}$$

Ce correcteur grâce à son intégrateur permet d'annuler l'erreur de la FTBF.

Question 21

Le gain dynamique $G_{dB\text{BONC}}(\omega_{0dB})$ et la phase $\varphi_{\text{BONC}}(\omega_{0dB})$ à la pulsation $\omega_{0dB} = 5 \text{ rad.s}^{-1}$ sont :

$$G_{dB\text{BONC}}(\omega_{0dB}) = 20 \cdot \log 503 - 10 \cdot \log(1 + (0,1 \times 5)^2) - 10 \cdot \log(1 + (10,5 \times 5)^2) = 18,7 \text{ dB}$$

$$\varphi_{\text{BONC}}(\omega_{0dB}) = - \arctan(0,5 \times 5) - \arctan(10,5 \times 5) = - 115,5^\circ$$

Remarque : Cela peut être lu graphiquement sur le diagramme de Bode de la page précédente.

Pour respecter le critère de stabilité : **Marge de phase de 45° à la pulsation $\omega_{0dB} = 5 \text{ rad.s}^{-1}$** , il faut donc que :

$$180^\circ + \varphi_{\text{Cor}}(\omega_{0dB}) - 115,5^\circ = 45^\circ \quad \Leftrightarrow \quad \varphi_{\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = - 19,5^\circ$$

$$\text{Et : } 18,7 \text{ dB} + G_{dB\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = 0 \text{ dB} \quad \Leftrightarrow \quad G_{dB\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = - 18,7 \text{ dB}$$

Question 22

$$\text{a- } C(p) = \frac{K \cdot (1 + \tau_C \cdot p)}{p} \Rightarrow \begin{cases} G_{dB\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = 20 \cdot \log K - 20 \cdot \log \omega_{0dB} + 10 \cdot \log(1 + (\tau_C \cdot \omega_{0dB})^2) \\ \varphi_{\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = - 90^\circ - \arctan(\tau_C \cdot \omega_{0dB}) \end{cases}$$

b- Pour respecter le critère de stabilité : **Marge de phase de 45° à la pulsation $\omega_{0dB} = 5 \text{ rad.s}^{-1}$** , il faut donc que :

$$\varphi_{\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = - 19,5^\circ \quad \Leftrightarrow \quad - 90^\circ - \arctan(\tau_C \cdot \omega_{0dB}) = - 19,5^\circ$$

Soit :
$$\tau_C = \frac{\tan(90^\circ - 19,5^\circ)}{\omega_{0dB}} = 0,565 \text{ s}$$

D'autre part on doit avoir : $G_{dB\text{Cor}}(\omega_{0dB}) = - 18,7 \text{ dB}$

$$\Leftrightarrow 20 \cdot \log K - 20 \cdot \log \omega_{0dB} + 10 \cdot \log(1 + (\tau_C \cdot \omega_{0dB})^2) = - 18,7 \text{ dB}$$

$$\Leftrightarrow 20 \cdot \log K = - 18,7 + 20 \cdot \log \omega_{0dB} - 10 \cdot \log(1 + (\tau_C \cdot \omega_{0dB})^2) = - 14,3 \text{ dB}$$

Soit :
$$K = 10^{(-14,3/20)} = 0,193$$

c- Sachant que $K = K_i$ et $\tau_C = \frac{K_p}{K_i}$ et que l'unité de $C(p)$ est des s.rad^{-1} (car x_{mC} s.u. et ω_C en rad.s^{-1})

On obtient : $K_i = 0,193 \text{ rad}^{-1}$ et : $K_p = \tau_C \cdot K_i = 0,109 \text{ s.rad}^{-1}$

Question 23

La courbe de la figure 11 montre que le paramètre x_m évolue (pour le système linéaire simulé) de -2 à $+14$. Or par construction du système $x_m \in [0,1 ; 1]$.

Donc pour une simulation numérique plus proche du système réel il faut ajouter au schéma bloc de l'asservissement un bloc de saturation après le bloc $H_{mh}(p)$.

Question 24

On a montré à la question 13 qu'en régime établi : $\omega_m = \frac{x_m \cdot D_m \cdot \Delta P}{f_{Cg}}$. on obtient donc :

<p style="text-align: center;"><u>Pour $\Delta P = 30 \text{ b}$</u></p> $x_m = \frac{\omega_m \cdot f_{Cg}}{D_m \cdot \Delta P} = \frac{\frac{1\,500 \cdot \pi}{30} \times 0,19}{9,55 \cdot 10^{-6} \times 30 \cdot 10^5} = 1,04$	<p style="text-align: center;"><u>Pour $\Delta P = 120 \text{ b}$</u></p> $x_m = \frac{\omega_m \cdot f_{Cg}}{D_m \cdot \Delta P} = \frac{\frac{1\,500 \cdot \pi}{30} \times 0,19}{9,55 \cdot 10^{-6} \times 120 \cdot 10^5} = 0,26$
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Or $x_m \in [0,1 ; 1]$. Donc pour avoir un régime établi de la génératrice de $1\,500 \text{ tr.min}^{-1}$ quelque soit $\Delta P \in [30 \text{ b} ; 120 \text{ b}]$, il faudrait une cylindrée D_m légèrement plus élevée d'environ 5%.

Question 25

On a : $v(t) = \frac{dz(t)}{dt}$ Avec des conditions initiales nulles : $V(p) = p.Z(p)$ Or : $H_B(p) = \frac{Z(p)}{F_e(p)}$

Donc : $V(p) = p.H_B(p).F_e(p)$ Donc en régime harmonique : $V(j.\omega) = j.\omega.H_B(j.\omega).F_e(j.\omega)$

Question 26

Le maximum de puissance captée est obtenue pour une valeur de C telle que : $\frac{d P_{cap}(C)}{dC} = 0$

Question 27

$P_{cap}(C) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot |j.\omega.H_B(j.\omega).F_e(j.\omega)|^2 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \omega^2 \cdot |H_B(j.\omega)|^2 \cdot |F_e(j.\omega)|^2$ Or $F_e(j.\omega)$ ne dépend pas de C

Donc : $\frac{d P_{cap}(C)}{dC} = 0 \Leftrightarrow \frac{d C \cdot |H_B(j.\omega)|^2}{dC} = 0$ Avec : $H_B(p) = \frac{c_0}{c_1 + c_2.p + c_3.p^2}$ et : $c_2 = B + C$

Soit : $\frac{d C \cdot |H_B(j.\omega)|^2}{dC} = \frac{d \frac{C \cdot c_0^2}{(c_1 - c_3.\omega^2)^2 + (C + B)^2 \cdot \omega^2}}{dC}$

$\frac{d C \cdot |H_B(j.\omega)|^2}{dC} = \frac{c_0^2 \cdot [(c_1 - c_3.\omega^2)^2 + (C + B)^2 \cdot \omega^2] - 2 \cdot C \cdot (C + B) \cdot \omega^2 \cdot c_0}{[(c_1 - c_3.\omega^2)^2 + (C + B)^2 \cdot \omega^2]^2}$

D'où : $\frac{d P_{cap}(C)}{dC} = 0 \Leftrightarrow (c_1 - c_3.\omega^2)^2 + (C + B)^2 \cdot \omega^2 - 2 \cdot C \cdot (C + B) \cdot \omega^2 = 0$

$$\Leftrightarrow (c_1 - c_3.\omega^2)^2 + (C^2 + B^2 + 2 \cdot B \cdot C - 2 \cdot C^2 - 2 \cdot B \cdot C) \cdot \omega^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow (c_1 - c_3.\omega^2)^2 + B^2 \cdot \omega^2 - C \cdot \omega^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow C^2 = \frac{(c_1 - c_3.\omega^2)^2 + B^2 \cdot \omega^2}{\omega^2}$$

C étant un coefficient d'amortissement (donc $C \geq 0$) On en déduit que

$P_{cap}(C)$ présente un maximum pour : $C = C_{opt} = \frac{\sqrt{(c_1 - c_3.\omega^2)^2 + B^2 \cdot \omega^2}}{\omega}$

Question 28

Trivialement : $\Phi(t) = \Delta P \cdot S_p$

Par une lecture de la figure 12 on voit que la valeur maximale de Φ_{opt} est obtenue pour une période de 18 s et est de $\Phi_{opt,max} = 81$ KN.

Or le moteur peut avoir une différence de pression maximale de : $\Delta P_{max} = 350 \text{ b} - 10 \text{ b} = 3,4 \cdot 10^7 \text{ Pa}$.
Donc il permet un effort maximal de : $\Phi_{max} = 3,4 \cdot 10^7 \times 7 \cdot 10^{-3} = 238 \cdot 10^3 \text{ N}$

Donc le moteur permet un effort maximal de : $\Phi_{max} = 238$ kN supérieur à l'effort maximal nécessaire pour optimiser la puissance captée $\Phi_{opt,max} = 81$ KN. Donc ce moteur a la capacité à imposer la valeur maximale de l'effort optimal.

Question 29

La figure 12 montre que la valeur maximale de C_{opt} est obtenue pour une période de 18 s et est de $C_{opt,max} = 350 \text{ KN.s.m}^{-1} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ S.I}$ or : $C = \left(\frac{S_p}{x_m \cdot D_m} \right)^2 \cdot f_{cg}$

Donc pour imposer la valeur maximale de C_{opt} , la génératrice doit avoir un facteur de couple de :

$$f_{cg} = C_{opt,max} \cdot \left(\frac{x_m \cdot D_m}{S_p} \right)^2 = 3,5 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{0,3 \times 9,55 \cdot 10^{-6}}{7 \cdot 10^{-3}} \right)^2 = 0,0586 \text{ N.m.s.rad}^{-1}$$

Cette valeur de facteur de couple nécessaire reste inférieure à la valeur maximale du facteur de couple que la génératrice permet d'obtenir : $f_{cg,max} = 0,19 \text{ N.m.s.rad}^{-1}$. Donc la génératrice permet d'imposer la valeur maximale de C_{opt} .

5- Synthèse : Simulation en condition réelles de houle**Question 30**

Les sources de non linéarité sont :

- ☞ la houle qui n'est pas régulière
- ☞ α_m qui est limité à l'intervalle $[0,1 ; 1]$
- ☞ Les accumulateurs hydrauliques : Réservoirs (a) et (b) du document réponse de la question 11.

Les sources de perte d'énergie sont :

- ☞ Les frottements dans le vérin
- ☞ Les pertes de charges dans le circuit hydraulique notamment au niveau des clapets.
- ☞ Les pertes dans le moteur hydraulique
- ☞ Les pertes par effet Joule dans la génératrice asynchrone

Question 31

C'est la troisième stratégie qui est la mieux adaptée, car elle permet le meilleur rendement.

L'asservissement en vitesse de la génératrice en faisant varier la cylindrée (avec $\alpha_m(t)$) permet notamment d'éviter les vitesses trop faibles de la génératrice pour lesquelles le rendement est nul.

Question 32

La puissance générée est constante alors que celle de la houle varie beaucoup.

C'est l'inertie des pièces en mouvement ainsi que les accumulateur hydrauliques (Réservoirs (a) et (b)) qui permettent d'uniformiser la puissance générée.

Question 33

On a 11 maximums pour la hauteur de houle espacés d'environ 90 s (du premier au 11^{ème}).

Donc on a une période de houle d'environ $\frac{90}{11-1} = 9$ s

On relève pour cette période de 9 s Un effort $\Phi = 72,5$ KN. Alors que la simulation numérique donne un effort $\Phi \approx 40$ KN. Difficile de savoir à quoi est due cette différence sans ne savoir plus sur le modèle numérique utilisé pour la simulation.

Question 34

Le sujet a permis de montrer en partie l'aptitude du système à générer l'énergie électrique. Les exigences validées concernent :

- ☞ Celles liées à la flottabilité verticale et horizontale.
- ☞ Celles liées à l'adaptation aux conditions de houle par simulation numérique
- ☞ Celles liées à l'asservissement en vitesse de la génératrice