



Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement
QR Code

Filière : PSI

Session : 2023

Épreuve de : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Consignes

- Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer
- Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir
- Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)
- Numéroté chaque page (cadre en bas à droite)
- Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre

PSI7SI

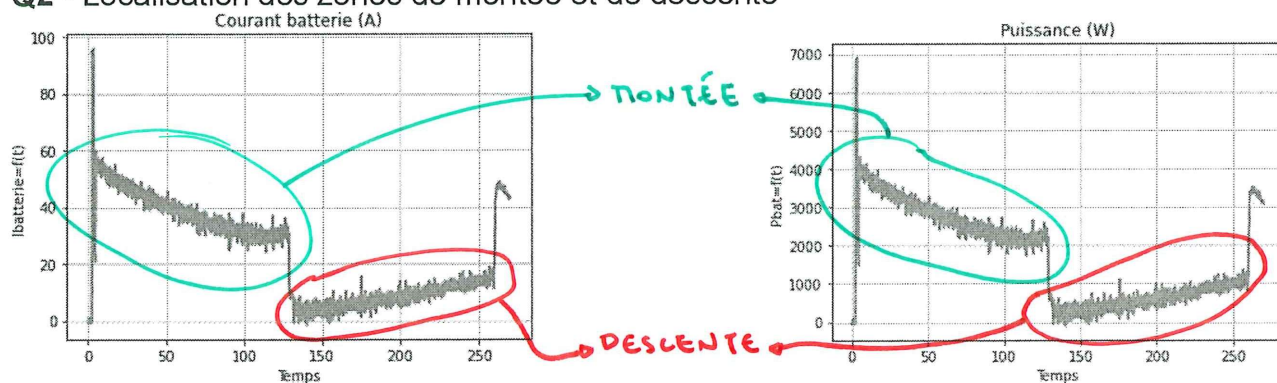
DOCUMENT RÉPONSE

Ce Document Réponse doit être rendu dans son intégralité.

Q1 - Tableau bilan sur les flux

Identification	Type MEI	Flux	Effort
1	Énergie	i	U
2	Énergie	ω	C
3	information		
4	Énergie	v	F

Q2 - Localisation des zones de montée et de descente



Q3 - Compléter à partir de la ligne 35. Définition de la fonction energie(p,t)

```
29 #Lecture des données depuis le fichier csv
30 for i in range (n):
31     # ajout d'un élément au tableau t
32     t.append(float(feuille.cell_value(i+1,0)))
33     # ajout d'un élément au tableau lbat.
34     lbat.append(float(feuille.cell_value(i+1,1)))
35     Pbat.append(float(feuille.cell_value(i+1,2)) * Ubat)
```

def energie(p, t) :

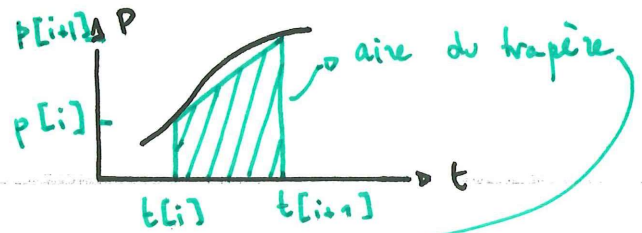
$$W = 0$$

$$n = \text{len}(p)$$

for i in range(0, n-1):

$$W = W + (p[i+1] + p[i]) * (t[i+1] - t[i]) / 2$$

return W



Q4 - Nombre d'opérations de pose-dépose avec la batterie. Conclusion

Pour un cycle complet, il faut une énergie: $W = W_{\text{cycle}} + W_{\text{déplacement}}$
 ce qui nécessite une capacité: $C = \frac{W}{U_{\text{bat}}} \approx 38,9 \cdot 10^3 \text{ W.s}$

La capacité disponible est $C_{\text{dispo}} = 0,8 \times 52 \approx 41,6 \text{ W.h}$
 $\approx 41,6 \text{ W. (3600 s)}$
 $\approx 14,9 \cdot 10^4 \text{ W.s}$

On peut donc réaliser $\frac{C_{\text{dispo}}}{C} \approx 3,85$ cycles ce qui répond à l'exigence (qui impose 3 cycles).

Q5 - Expression des distances $H(t)$ et $\lambda(t)$ en fonction de $\theta(t)$ et de L

D'un point : $\vec{OB} + \vec{BC} + \vec{CO} = \vec{0}$ ce qui donne

$$H = 2 \cdot L \cdot \sin \theta$$

D'autre point : $\vec{OB} + \vec{BA} + \vec{AO} = \vec{0}$ même à

$$\lambda = 2 \cdot L \cdot \cos \theta$$

Q6 - Écriture de la fermeture géométrique. Expression des constantes A_3 , B_3 , C_3 et D_3

J'écris la fermeture $\vec{ON} + \vec{NN} + \vec{NA} + \vec{AO} = \vec{0}$

$$\text{Et donc } l_1 \cdot \vec{n}_1 + e_1 \cdot \vec{q}_1 + l_2 \cdot \vec{n}_2 - l_2 \cdot \vec{n}_2 - e_2 \cdot \vec{q}_2 - \lambda \cdot \vec{n}_3 = \vec{0}$$

$$\text{Avec } \beta = \pi - \theta \text{ et } \lambda = L \cdot L \cdot \cos \theta$$

On obtient la forme demandée avec:

$$A_3 = 2 \cdot L - l_1 - l_2$$

$$B_3 = l_1 - l_2$$

$$C_3 = -l_1 - l_2$$

$$D_3 = l_2 - l_1$$

Q7 - Course utile du vérin

On veut $l \in [375; 1540]$ (en mm), ce qui donne une course du vérin $\|C = l_{\max} - l_{\min} \approx \underline{375 \text{ mm}}$

Q8 - Justification de la longueur filetée de la vis

Il faut une longueur filetée : $l > c + L_{\text{écrou}}$

Ici $l = 510 \text{ mm}$ et $c + L_{\text{écrou}} \approx 440 \text{ mm}$

La longueur filetée est donc bien suffisante (environ 7 cm de marge).

Q9 - Relation entre $v_{43}(t)$ et $N_m(t)$

Je sais que $v_{43} = \frac{P}{2 \cdot \pi} \cdot \omega_{vis} = \frac{P}{2 \cdot \pi} \cdot n \cdot \omega_m$

rad/s $\downarrow$ $\uparrow$ tr/min

Où $\omega_m = N_m \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60}$ donc $\|v_{43} = \frac{P}{60} \cdot n \cdot N_m$

Q10 - Expression des torseurs $\{V_{1/0}^B\}$ et $\{V_{2/0}^B\}$

Je sais que $\{V_{1/0}^B\} = \begin{cases} \vec{\Omega}_{1/0} = \dot{\theta} \cdot \vec{z}_1 \\ \vec{V}_{O_{B \in 1/0}} = \vec{0} \end{cases}$ et $\vec{J}_{B \in 1/0} = \vec{J}_{O_{B \in 1/0}} + \vec{r}_{O_{B \in 1/0} \rightarrow B} \wedge \vec{\Omega}_{1/0}$
 $= -L \cdot \vec{z}_1 \wedge (\dot{\theta} \cdot \vec{z}_1)$
 $= L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1$

Donc $\| \{V_{1/0}^B\} = \begin{cases} \vec{\Omega}_{1/0} = \dot{\theta} \cdot \vec{z}_1 \\ \vec{V}_{O_{B \in 1/0}} = L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1 \end{cases}$ Et $\vec{J}_{2/0} = \dot{\beta} \cdot \vec{z}_1 = -\dot{\theta} \cdot \vec{z}_1$
 $\vec{V}_{B \in 2/0} = \vec{V}_{B \in 2/1} + \vec{V}_{B \in 1/0}$

Donc $\| \{V_{2/0}^B\} = \begin{cases} \vec{\Omega}_{2/0} = -\dot{\theta} \cdot \vec{z}_1 \\ \vec{V}_{B \in 2/0} = L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1 \end{cases}$

Q11 - Expression des deux relations vectorielles. Valider l'expression de $v_{43}(t)$

On a: $\vec{V}_{B \in 4/0} = \vec{V}_{B \in 4/2} + \vec{V}_{B \in 2/0} = \vec{V}_{B \in 2/0} + \vec{\omega}_B \wedge \vec{r}_{B/0}$

Et $\vec{V}_{B \in 3/0} = \vec{V}_{B \in 3/1} + \vec{V}_{B \in 1/0} = \vec{V}_{B \in 1/0} + \vec{\omega}_B \wedge \vec{r}_{B/0}$
 $= \vec{V}_{B \in 2/0} + \vec{\omega}_B \wedge \vec{r}_{B/0}$

Donc $v_{43} = (\vec{V}_{B \in 2/0} + \vec{\omega}_B \wedge \vec{r}_{B/0} - \vec{V}_{B \in 2/0} - \vec{\omega}_B \wedge \vec{r}_{B/0}) \cdot \vec{e}_3$
 $= -[(\vec{\omega}_B + \vec{\omega}_B) \wedge \vec{r}_{B/0}] \cdot \vec{e}_3 \quad (\vec{\omega}' \wedge \vec{r} = -\vec{r} \wedge \vec{\omega})$

$\vec{V}_{43} = -[\vec{r}_{B/0} \wedge (\vec{\omega}_B + \vec{\omega}_B)] \cdot \vec{e}_3$

Q12 - Expression de l'énergie cinétique $T_{1/0}$. Expression de J_1

Le solide 1 est en rotation autour de $(O, \vec{e}_1)$ donc

$T_{1/0} = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot \dot{\theta}^2$

J_1 (moment d'inertie autour de l'axe de rotation)

Q13 - Expression du torseur $\{V_{2/0}^{G_2}\}$. Démonstration de l'expression de $\vec{V}_{G_2/0}$

$\vec{r}_{2/0} = -\dot{\theta} \cdot \vec{e}_1 \cdot (q_{10})$ et $\vec{V}_{G_2 \in 2/0} = \vec{V}_{B \in 2/0} + \vec{\omega}_B \wedge \vec{r}_{B/0}$

Donc $\vec{V}_{G_2 \in 2/0} = L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1 - a_2 \cdot \vec{x}_2 \wedge (-\dot{\theta} \cdot \vec{e}_1) = L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1 - a_2 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2$
 $= L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(2\theta) \cdot \vec{x}_2 - L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(2\theta) \cdot \vec{y}_2 - a_2 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2$

$\vec{V}_{G_2 \in 2/0} = L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(2\theta) \cdot \vec{x}_2 - (L \cdot \cos(2\theta) + a_2) \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2$

Q14 - Expression du torseur $\{C_{2/0}^{G_2}\}$

On a: $\vec{T}_{G_2, 2/0} = [I_{G_2}(2)] \cdot \vec{r}_{2/0} + m_2 \cdot \vec{r}_{G_2/0} \wedge \vec{V}_{G_2 \in 2/0}$
 $= 0 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2 - C \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{e}_2$

Donc $\{C_{2/0}^{G_2}\} = \int \vec{r}_{2/0} = m_2 [L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(2\theta) \cdot \vec{x}_2 - (L \cdot \cos(2\theta) + a_2) \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2]$
 $\vec{T}_{G_2, 2/0} = 0 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2 - C \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{e}_2$

Q15 - Expression de l'énergie cinétique $T_{2/0}$. Expression de J_2

Calculons: $T_{2/0} = \frac{1}{2} \cdot \{C_{2/0}^{G_2}\} \cdot \{V_{G_2/0}\}$
 $= \frac{1}{2} \cdot C \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot L^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin^2(2\theta)$
 $+ \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot (L \cdot \cos(2\theta) + a_2)^2 \cdot \dot{\theta}^2$

(espace libre page suivante)

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement
QR Code

Filière : PSI

Session : 2023

Épreuve de : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Consignes

- Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer
- Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir
- Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)
- Numéroté chaque page (cadre en bas à droite)
- Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre

PSI7SI

$$T_{2/0} = \frac{1}{2} \cdot J_2 \cdot \dot{\theta}^2 \text{ avec } J_2 = C + (L^2 \cdot \sin^2(2 \cdot \theta) + L^2 \cdot \cos^2(2 \cdot \theta) + a_2^2 + 2 \cdot L \cdot \cos(2 \cdot \theta)) \cdot m_2$$

$$\boxed{J_2 = C + m_2 \cdot (L^2 + a_2^2 + 2 \cdot L \cdot \cos(2 \cdot \theta))}$$

Q16 - Expression de $\vec{V}_{C,2/0}$. Expression de l'énergie cinétique $T_{M_{ch}/0}$. Expression de $J_{M_{ch}}$

$$\begin{aligned} \vec{J}_{C,2/0} &= \vec{J}_{O,2/0} + \vec{OC} \wedge \vec{\Pi}_{2/0} = L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1 - L \cdot \vec{x}_2^0 \wedge (-\dot{\theta} \cdot \vec{z}_2^0) \\ &= L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_1 - L \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{y}_2^0 \\ &= L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \vec{y}_3^0 - L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta \cdot \vec{z}_3^0 \\ &\quad - L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(\pi - \theta) \cdot \vec{y}_3^0 - L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(\pi - \theta) \cdot \vec{z}_3^0 \\ &= \underline{2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \vec{y}_3^0} \\ &= v_c \end{aligned}$$

$$\text{Donc } T_{M_{ch}/0} = \frac{1}{2} \cdot M_{ch} \cdot v_c^2 = \frac{1}{2} \cdot M_{ch} \cdot 4 \cdot L^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos^2 \theta$$

$$= \frac{1}{2} \cdot J_{M_{ch}} \cdot \dot{\theta}^2$$

$$\text{où } \boxed{J_{M_{ch}} = M_{ch} \cdot 4 \cdot L^2 \cdot \cos^2 \theta}$$

Q17 - Expression de l'énergie cinétique $T_{mot/0}$, puis expression de $T_{\Sigma/0}$. Expression de J_{Σ}

$$\text{On a directement : } T_{mot/0} = \frac{1}{2} \cdot J_m \cdot \omega_m^2 = \frac{1}{2} \cdot J_m \cdot \frac{1}{k^2} \cdot \dot{\theta}^2$$

$$\text{Et donc } T_{\Sigma/0} = \frac{1}{2} \cdot \left[J_1 + J_2(t) + J_{M_{ch}}(t) + \frac{J_m}{k^2(t)} \right] \cdot \dot{\theta}^2$$

$$\boxed{J_{\Sigma}(t)}$$

Q18 - Bilan des puissances. Expression de $C_{pes}(t)$

• Puissances intérieures : $P_{moteur} = C_m \cdot \omega_m$
 Autres puissances nulle car liaisons parfaites

• Puissance extérieure : $P_{sauter \rightarrow \pi ch / o} = -v_c \cdot M_{ch} \cdot g$
 $= -2 \cdot L \cdot \cos \theta \cdot M_{ch} \cdot g \cdot \dot{\theta}$
 $= -2 \cdot L \cdot \cos \theta \cdot M_{ch} \cdot g \cdot k \cdot \omega_m$

$P_{sauter \rightarrow 1 / o} = 0$ (négligée)
 $P_{sauter \rightarrow 2 / o} = 0$ (négligée)

On obtient : $P_{ps} = C_{ps} \cdot \omega_m$ où $C_{ps} = -2 \cdot L \cdot \cos \theta \cdot M_{ch} \cdot g \cdot k$

Q19 - Conclusion sur les termes de l'expression de $C_m(t)$

On peut conclure que C_a est négligeable (peu d'influence de l'accélération).
 Le terme $\frac{dJ}{dt} \cdot \omega_m$ est aussi négligeable car il y a peu de variation et lorsque la vitesse varie.
 Le terme C_{ps} est prépondérant.

Q20 - Définition de la fonction $C_{therm}(C, t)$

```
from math import *

def Ctherm(C, t):
    n = len(C)
    Cth = 0
    for i in range(0, n-1):
        Cth = Cth + ((C[i])**2) * (t[i+1] - t[i])

    Cth = Cth / (t[-1] - t[0])
    Cth = sqrt(Cth)

    return Cth
```

Q21 - Conclusion sur le choix du moteur

On a d'une part : $C_{therm} < 2,9 \text{ N.m}$: couple nominal valide
 " d'autre part : $\underline{4,4 \text{ N.m}} < 9,9 \text{ N.m}$: " maximal "
 Le moteur est bien adapté à l'utilisation choisie.

Q22 - Calcul du degré d'hyperstatisme. Critère satisfait

R : rotule

$$h = E_c - I_c + m$$

$E_c = 12$

$I_c = 6 \times 3 + 2 = 20$

$m = m_u + m_i$

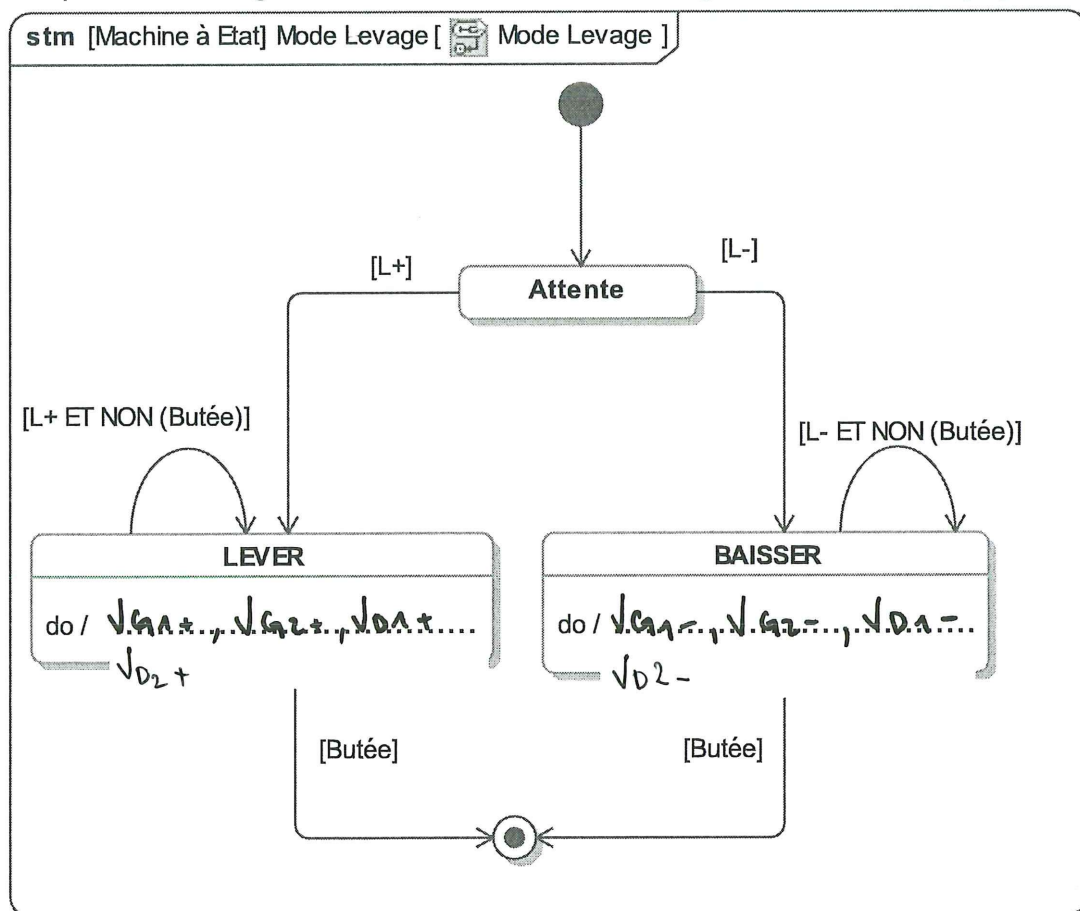
$m_u = 2$ (commandes en translation de 21 et 22)

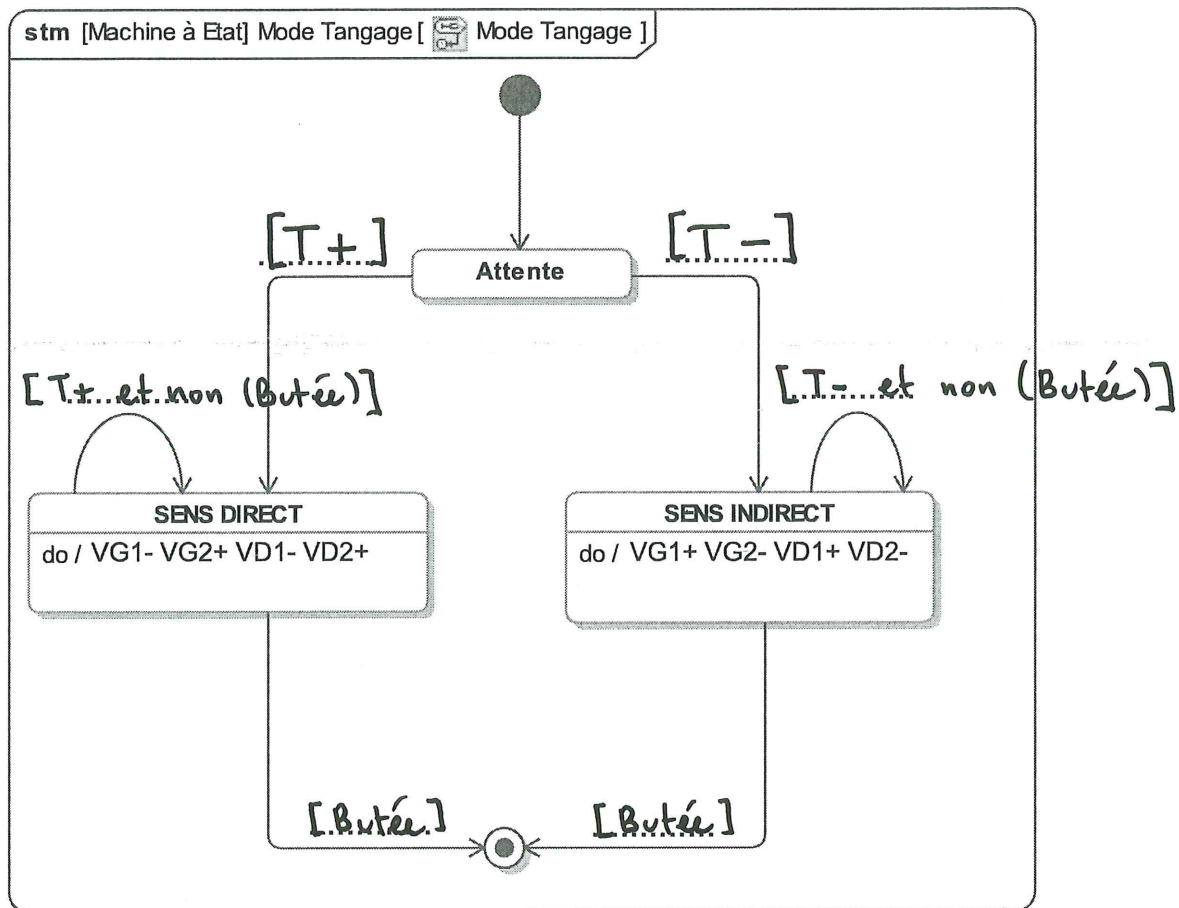
$+ 3$ (sujet) = 5

$m_i = 3$ (rotation de chaque pièce G_i sur elle-même)

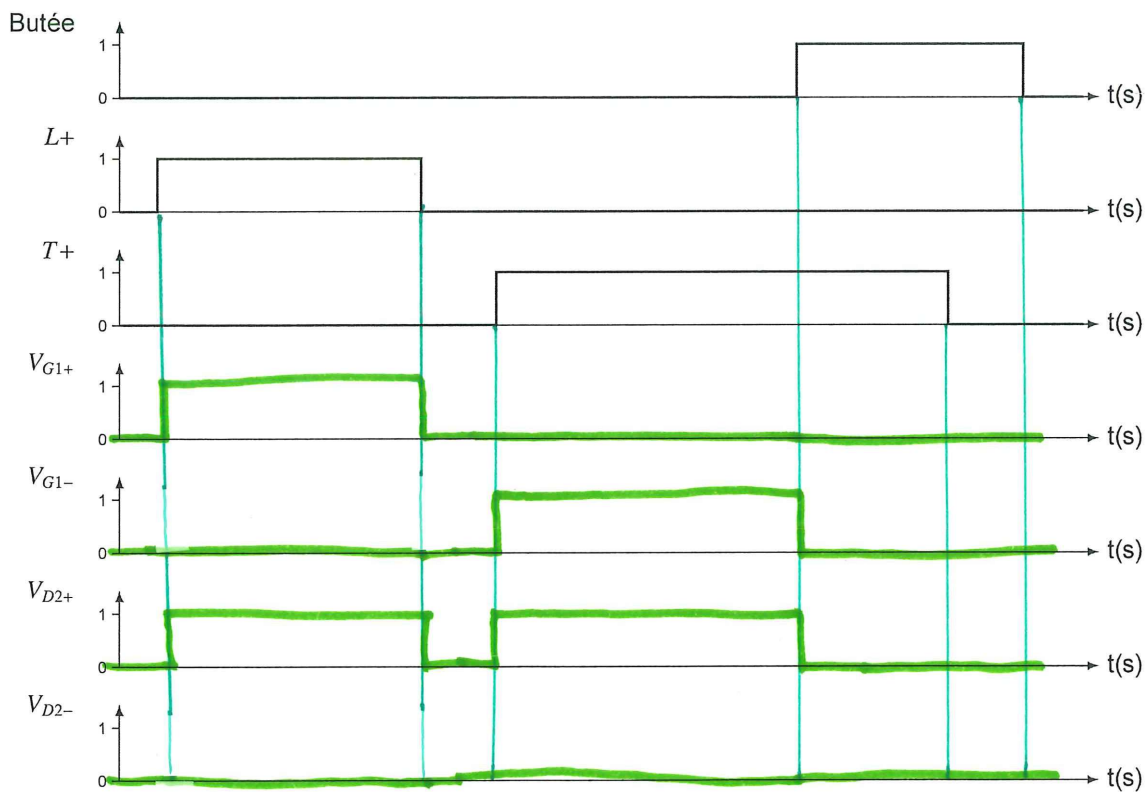
On a bien $h = 0$ (montage isostatique), ce qui permet de respecter l'exigence 5.2.

Q23 - Compléter des diagrammes d'états du Mode Levage et du Mode Tangage





Q24 - Compléter le chronogramme



Consignes

- Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer
- Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir
- Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)
- Numéroté chaque page (cadre en bas à droite)
- Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre

PSI7SI

 Q25 - Hypothèse formulée. Valeur de J_z

On peut faire l'hypothèse que J_z est constant et dans ce cas $J_z \approx 173 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$

 Q26 - Expression de $FTBF(p)$. Conclusion

$$FTBF(p) = \frac{1}{1 + \frac{K_e \cdot K_c + R \cdot f}{K_b \cdot K_R \cdot K_V \cdot K_c} p + \frac{R \cdot J_z + L \cdot f}{K_b \cdot K_R \cdot K_V \cdot K_c} p^2 + \frac{L \cdot J_z}{K_b \cdot K_R \cdot K_V \cdot K_c} p^3}$$

L'erreur statique s'écrit : $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} l_z(t) - l_z(t)$
 Amplitude de l'échelon d'entrée $\rightarrow$ Gain statique de FTBF $\rightarrow$ 1 $\times l_{zco} = 0$

L'exigence $id = 4, 3, 1$ est bien respectée (erreur statique nulle).

Q27 -

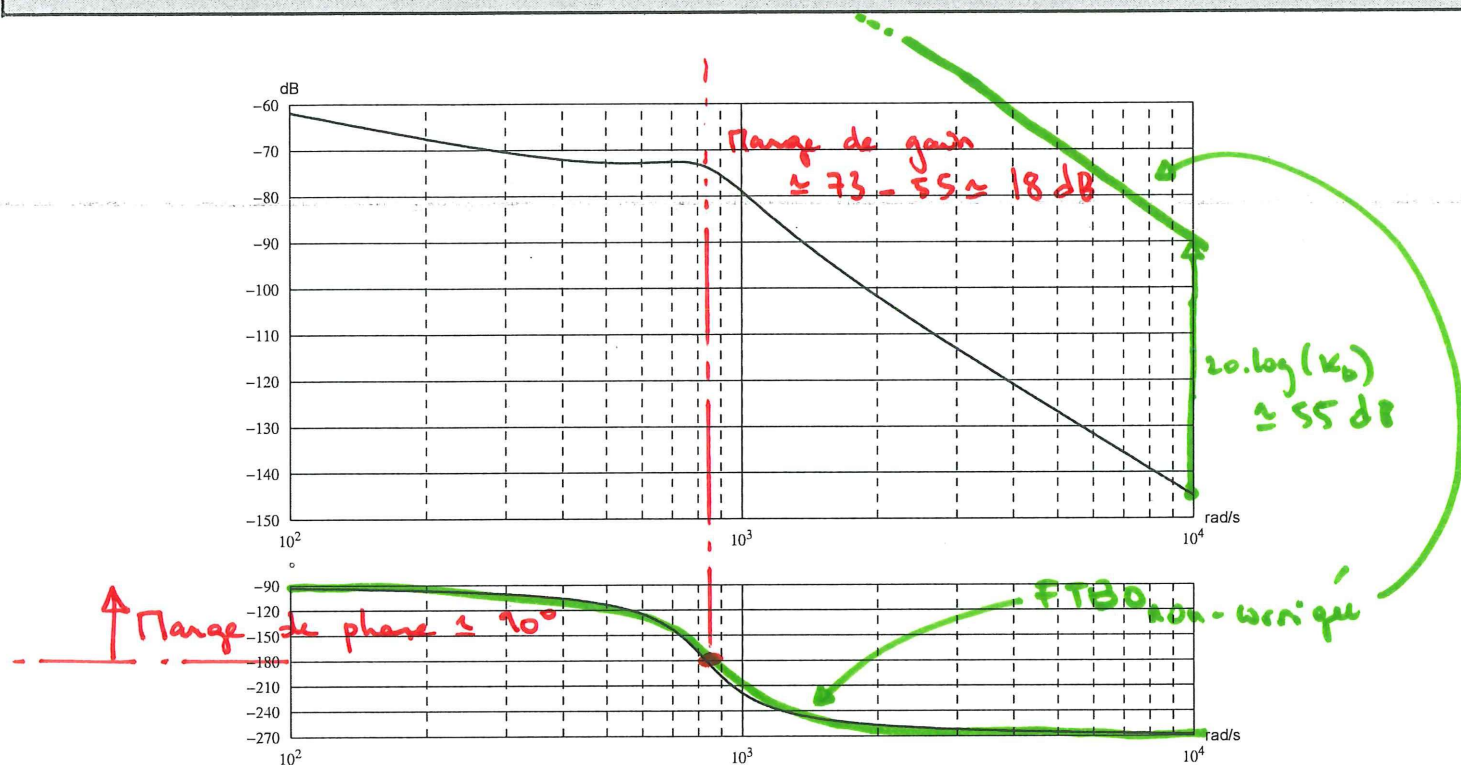
$$FTBO(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{K_b \cdot K_R \cdot K_V \cdot K_c}{K_e \cdot K_c + R \cdot f} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R \cdot J_z + L \cdot f}{K_e \cdot K_c + R \cdot f} p + \frac{L \cdot J_z}{K_e \cdot K_c + R \cdot f} p^2}$$

• $|FTBO_c(p)| = K_b \cdot |FTBO_{nc}(p)|$
 corrigée $\rightarrow$ non-corrigée
 donc $G_{dBc} = 20 \cdot \log(K_b) + G_{dBnc}$

• $\arg(FTBO_c(j \cdot \omega)) = \arg(FTBO_{nc}(j \cdot \omega))$

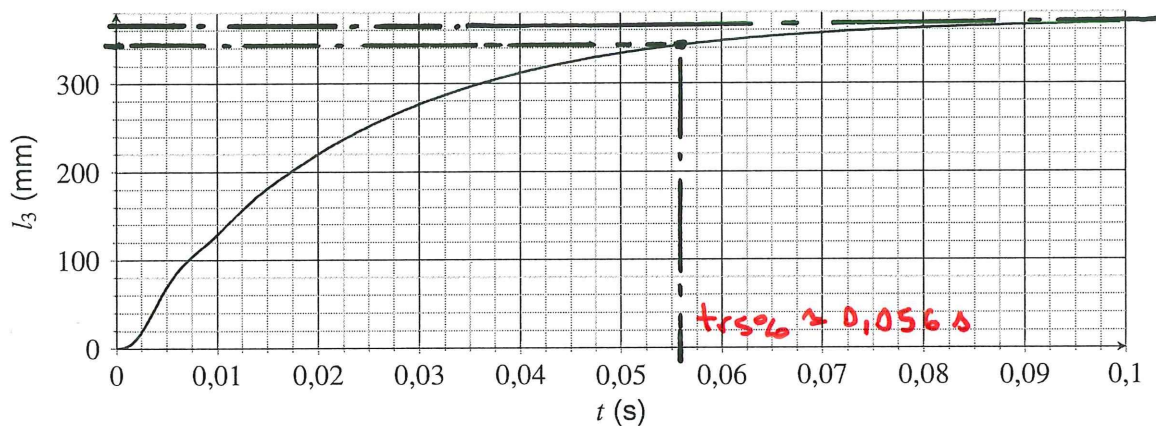
On a donc $\pi_G \geq 18 \text{ dB}$ et $\pi_G \geq 60^\circ$ (ce qui valide l'exigence de stabilité (voir graphique)).

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE



Diagrammes de Bode de $F(p)$ avec $K_D = 1$

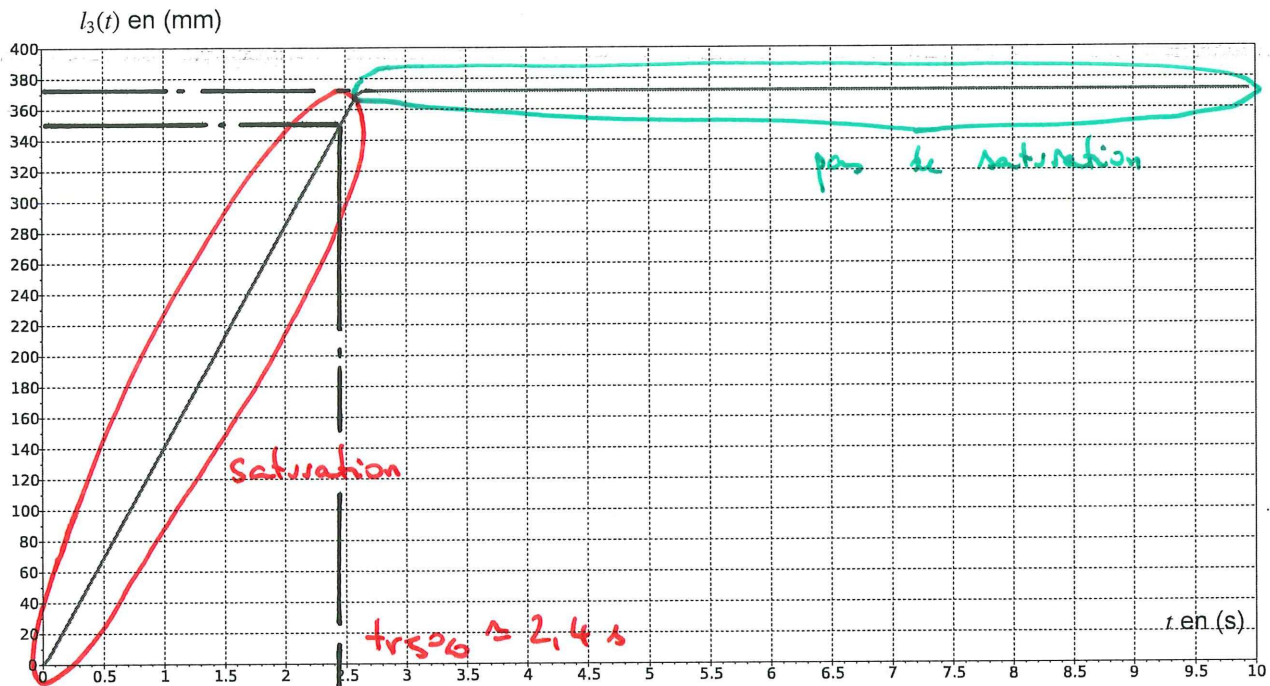
Q28 - Temps de réponse à 5 %. Justification de la valeur maximale de la tension. Conclusion



La figure 15 donne $u(0^+) \approx 200\,000 \text{ V}$. On remarque que $u(0^+) \gg 72 \text{ V}$. Le modèle n'est pas valide, il faudrait prendre en compte la saturation de la tension.

Q29 - Zones de comportement saturé et non saturé. Temps de réponse à 5 %. Conclusion

On a $t_{rs0.6} \ll 120$ s donc l'exigence de rapidité est largement validée.



Q30 - Détermination de la fonction de transfert $G(p)$

Je remarque que $G(p) = - \frac{R + L \cdot p}{K_c \cdot K_b} \cdot F + B F(p)$.

On a donc :

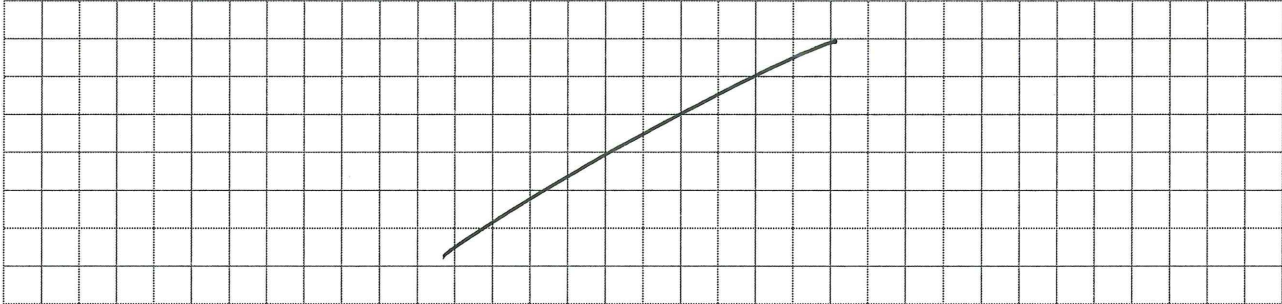
$$G(p) = - \frac{R}{K_c \cdot K_b} \cdot \frac{1 + \frac{L}{R} \cdot p}{1 + \frac{K_b \cdot K_c + R \cdot f}{K_b \cdot K_R \cdot K_v \cdot K_c} \cdot p + \frac{R \cdot J_2 + L \cdot f}{K_b \cdot K_R \cdot K_v \cdot K_c} \cdot p^2 + \frac{L \cdot J_2}{K_b \cdot K_R \cdot K_v \cdot K_c} \cdot p^3}$$

Q31 - Expression de $l_{3\infty}$. Application numérique. Conclusion

On a :
$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \lim_{t \rightarrow +\infty} l_{3c}(t) - l_3(t) = \lim_{p \rightarrow 0^+} p \cdot (L_{3c}(p) - L_3(p)) \\ &= \lim_{p \rightarrow 0^+} -p \cdot G(p) \cdot C_R(p) \quad (\text{ici } L_{3c}(p) = 0) \\ \varepsilon_s &= + \frac{R}{K_c \cdot K_0} \cdot C_{R0} = -4,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ici $\varepsilon_s \neq 0$ donc l'exigence $id = 4.3.2$ n'est pas validée.

Q32 - Nom et justification du choix du correcteur



Q33 - Conclusion sur le choix du correcteur

Je note qu'ici :

- L'erreur est nulle en présence d'une entrée en échelon
- " " " " " perturbant en échelon

Le correcteur permet de valider les deux exigences de précision.

Q34 - Entourer les bonnes réponses et compléter

Identifier le mode le plus énergivore	Pose d'un moteur	Dépose d'un moteur	Roulage
Identifier les termes prépondérants dans l'expression du couple moteur	Couple dû à la charge	Couple dû à l'accélération	
Identifier les commandes des vérins identiques lors d'une rotation de type Roulis dans le sens positif	$V_{G1} = V_{G2}$ = $V_{D1} = V_{D2}$	$V_{G1} = V_{G2}$ et $V_{D1} = V_{D2}$	$V_{G1} = V_{D1}$ et $V_{G2} = V_{D2}$
Préciser l'influence (amélioration, pas de changement, dégradation) du deuxième correcteur sur les exigences suivantes	Id 4.3.1	Id 4.3.2	Id 4.2
	Pas de changement	Amélioration	Dégradation

FIN