

Proposition de corrigé

Concours : Concours Commun Polytechniques

Année : 2011

Filière : TSI

Épreuve : Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](http://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : corrigesconcours@upsti.fr.

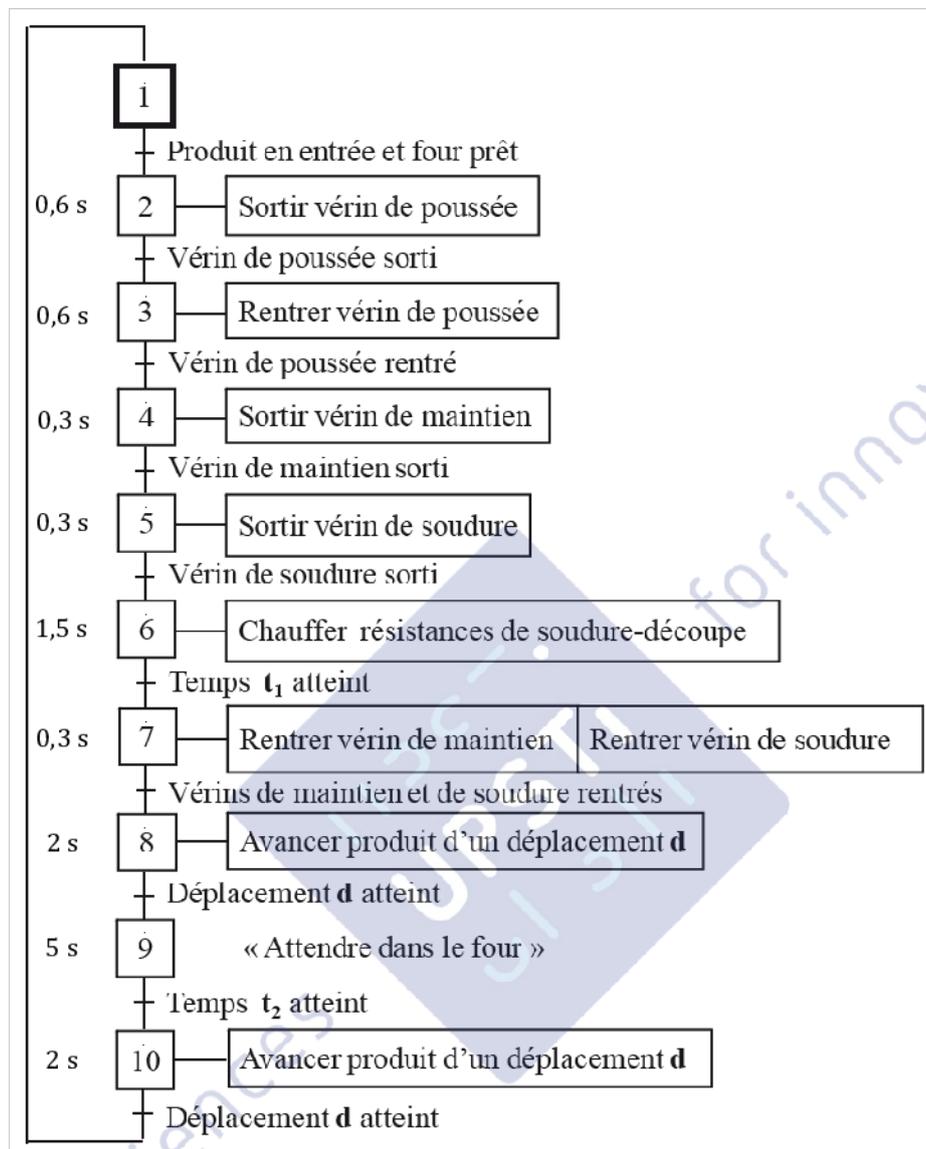
Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : www.upsti.fr

L'équipe UPSTI

Étude du comportement séquentiel :

Q 5. Temps pour fardeler un produit et cadence.



Durée totale = $0,6 + 0,6 + 0,3 + 0,3 + 1,5 + 0,3 + 2 + 5 + 2 = 12,6$ s

Cadence = n produits / h = $3600 / 12,6 \approx 285 < 500$ produits / h

Q 6. Nouveau grafctet.

Voir doc. réponse DR2

Durée totale = $5 + 2 = 7$ s

Q 7. Nouvelle cadence.

Cadence = n produits / h = $3600 / 7 \approx 514 > 500$ produits / h

Partie II : étude de la fonction FT3 : « rétracter le film sur le produit »

Choix des constituants électriques pour réaliser la FT31 :

Choix du thermocouple :

Q 8. Température maxi = 200 °C
Précision = 2 °C à 180 °C

→ Type T : - 200 °C à 350 °C ± 1 °C et 4,1 μV pour 0,1 °C

Q 9. Autres constituants ; PT 100, CTN, CTP, ...etc.

Choix des résistances de chauffe :

Q 10. Coefficient de 5 ?

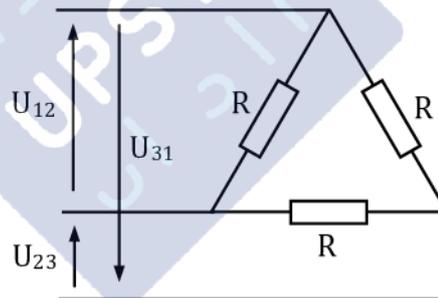
Permet d'accélérer la montée en température.

Permet de compenser les pertes de calories lors du fonctionnement du ventilateur et lors de l'entrée et sortie du produit.

$$Q 11. P = \frac{m \cdot C_p \cdot (\theta_f - \theta_i) \cdot 5}{\Delta t} = \frac{\rho \cdot V \cdot C_p \cdot (\theta_f - \theta_i) \cdot 5}{\Delta t} = \frac{1,2 \cdot 0,2 \cdot 1000 \cdot (200 - 20) \cdot 5}{600} = 360 \text{ W}$$

Pour 180 °C → P = 320 W

$$Q 12. P_{\max} = 3 \cdot \frac{U^2}{R}$$



Q 13. L = 200 mm et 400 V entre phases → code 16602 → 250 W

Q 14. P_{totale} = 3 x 250 W = 750 W

Q 15. P_{totale} = 750 W au lieu de 360 W

Cette puissance permet de remonter plus rapidement la température du four. Par contre, le dimensionnement des constituants du circuit alimentant les résistances est plus important. La consommation risque également d'augmenter.

Choix du relais statique alimentant les résistances :

Q 16. La période pour le réseau est de 50 Hz est de 20 ms (1/T).

On a donc Tc = 125 . T = 2,5 s

Ce modulateur ne convient pas pour un moteur ou un système d'éclairage car ces récepteurs ont des constantes de temps de fonctionnement assez faibles. Ces récepteurs fonctionneraient en tout ou rien : démarrages et arrêts successifs pour le moteur et clignotements pour un système d'éclairage.

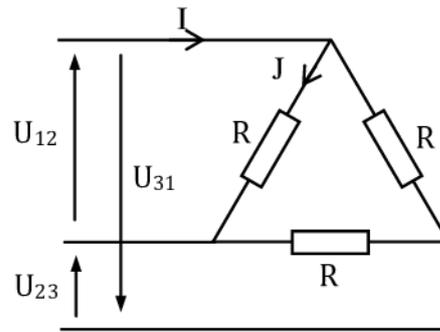
Par contre, les constantes de temps pour un système de chauffage sont très importantes.

Q 17. La période pour le réseau est de 50 Hz est de 20 ms (1/T).

$$I = \frac{P_{\text{totale}}}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{750}{400 \cdot \sqrt{3}} = 1,08 \text{ A}$$

ou $J = \frac{P_R}{U} = \frac{250}{400} = 0,625 \text{ A}$

et $I = J \cdot \sqrt{3} = 0,625 \cdot \sqrt{3} = 1,08 \text{ A}$

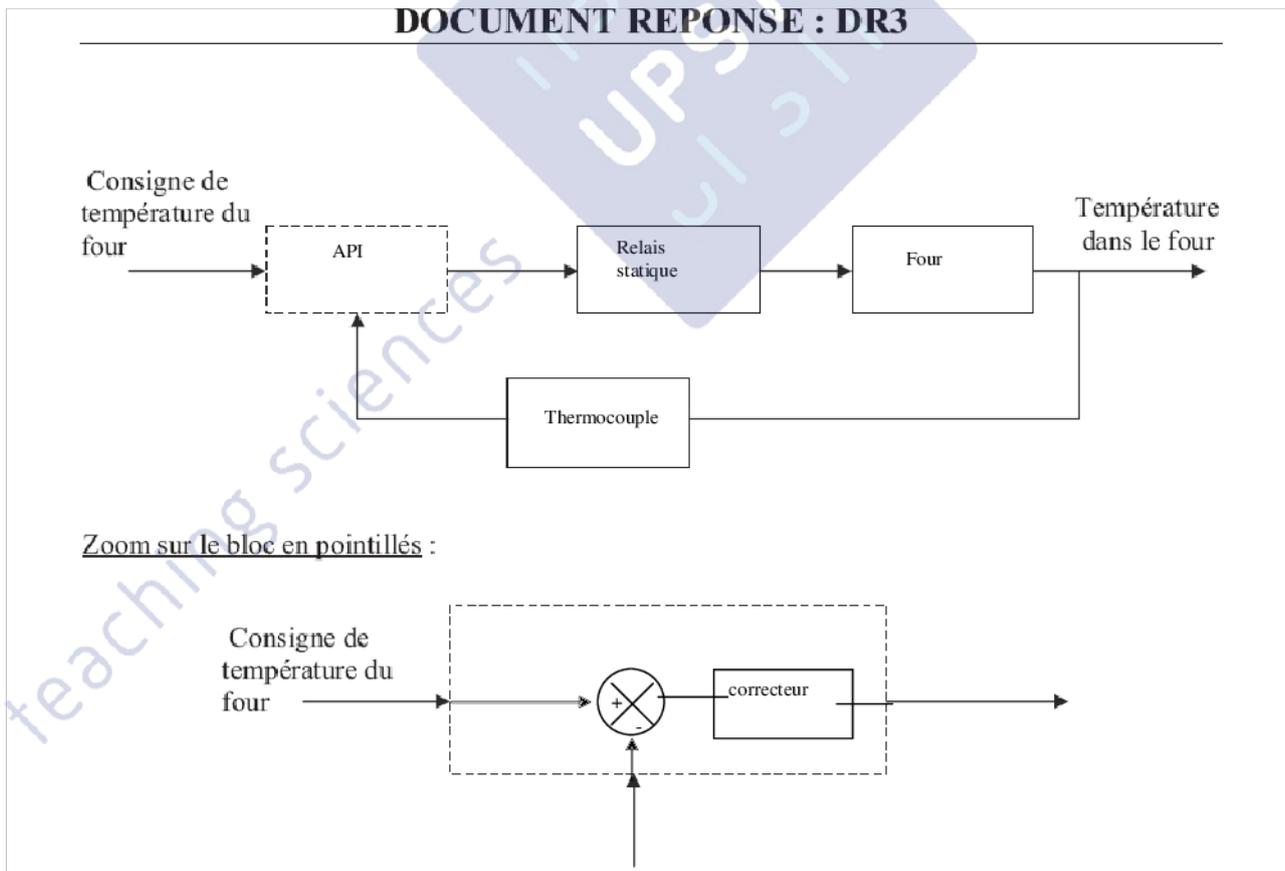


Q 18. Choix du relais statique :

- commutation au zéro de tension et 3 x 20 A
- tension de sortie : 48 - 660 V AC
- tension d'entrée : 4 - 32 V DC, commande venant de l'A.P.I., commutation au zéro de tension et 3 x 20 A

Le code est : 84 130 310

Q 19.



Causes de la perturbation : pertes thermiques avec l'extérieur (ouverture et fermeture du rideau), variation de la température extérieure et ventilation de l'air.

Modélisation du thermocouple :

Q20. Question Q8 : choix thermocouple type T donc sensibilité = $4,1 \mu\text{V}$ pour $0,1^\circ\text{C}$



Modélisation du relais statique :

Q21. Puissance moyenne dissipée dans une résistance de chauffe :

$$P_{\text{moy}} = \frac{1}{T_c} \int_0^{t_c} \frac{u^2(t)}{R} \cdot dt = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{T_c} \int_0^{t_c} u^2(t) \cdot dt = \frac{1}{R} \cdot \frac{t_c}{T_c} \cdot \frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} u^2(t) \cdot dt \quad \text{donc : } P_{\text{moy}} = \frac{\alpha \cdot U^2}{R}$$

Q22. Valeur moyenne de $(\cos 2x)$ est nulle sur n périodes car $\frac{1}{n2\pi} \int_0^{n2\pi} \cos(2x) \cdot dx = 0$

Q23. Puissance moyenne dissipée dans 3 résistances :

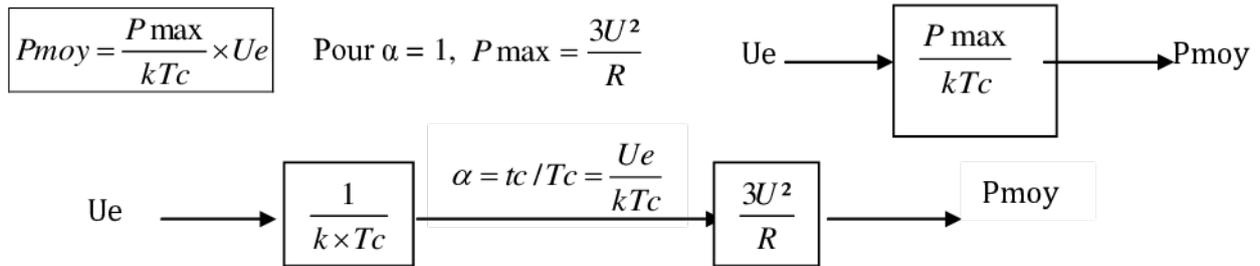
$$\text{Dans une résistance : } P_{\text{moy}}(R) = \frac{1}{T_c} \int_0^{t_c} \frac{u^2(t)}{R} \cdot dt = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{T_c} \int_0^{t_c} u^2(t) \cdot dt$$

$$\text{Ce qui donne : } P_{\text{moy}}(R) = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{T_c} \int_0^{t_c} \left(U \sqrt{2} \sin \frac{2\pi}{T} t \right)^2 \cdot dt = \frac{1}{R} \cdot \frac{2U^2}{T_c} \int_0^{t_c} \frac{1}{2} (1 - \cos 2(2 \cdot \frac{2\pi}{T} t)) \cdot dt$$

$$P_{\text{moy}}(R) = \frac{1}{R} \cdot \frac{2U^2}{T_c} \int_0^{t_c} \frac{1}{2} \cdot dt = \frac{1}{R} \cdot \frac{U^2}{T_c} \cdot t_c = \frac{\alpha \cdot U^2}{R}$$

donc : $P_{\text{moy}} = \frac{U^2}{R} \alpha$ pour une résistance et $P_{\text{moy}} = 3 \times \frac{U^2}{R} \alpha$ pour 3 résistances

Q24 –



Modélisation du four :

Q25. $P1(t) = \frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rth1}$; $P2(t) = \frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rth2}$; $P12(t) = P1(t) + P2(t) = \frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rtheq}$

$$\frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rth1} + \frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rth2} = \frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rtheq} \text{ ce qui implique que :}$$

$$Rtheq = \frac{Rth1 \times Rth2}{Rth1 + Rth2} \text{ ou } \frac{1}{Rtheq} = \frac{1}{Rth1} + \frac{1}{Rth2}$$

Les résistances Rth1 et Rth2 sont donc en parallèle.

Q26. $P(t) = (\text{énergie/temps}) + \text{pertes}$

$$P(t) = \frac{dW}{dt} + P12(t)$$

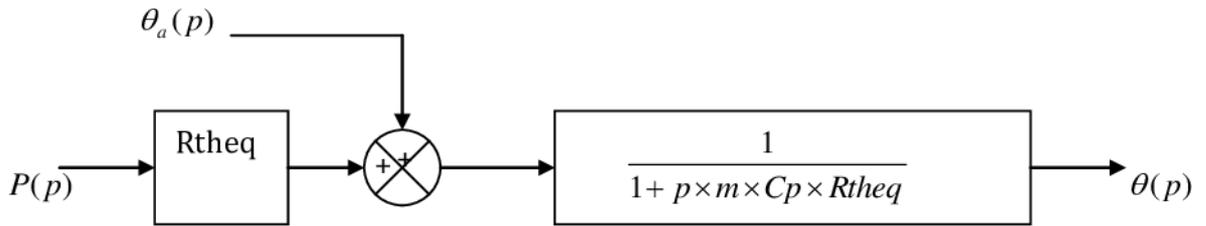
$$P(t) = m \times Cp \times \frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{\theta(t) - \theta_a(t)}{Rtheq}$$

Q27.
$$P(p) = p \times m \times Cp \times \theta(p) + \frac{\theta(p) - \theta_a(p)}{Rtheq}$$

ce qui revient à :

$$\theta(p) = \frac{RTheq}{1 + p \times m \times Cp \times Rtheq} \times P(p) + \frac{1}{1 + p \times m \times Cp \times Rtheq} \times \theta_a(p)$$

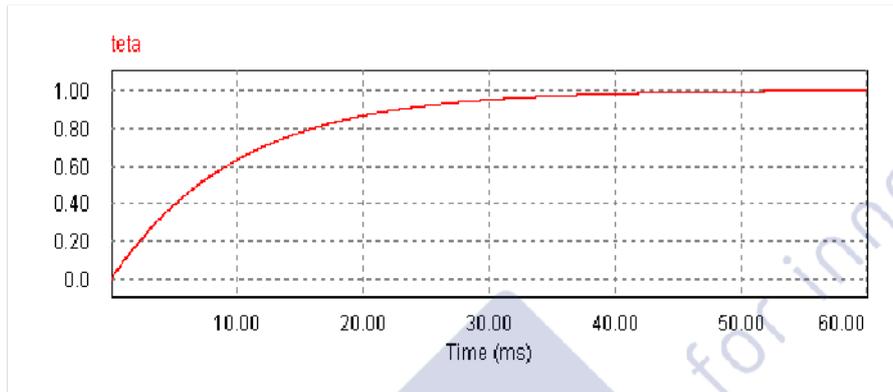
Q28.



Q 29 –

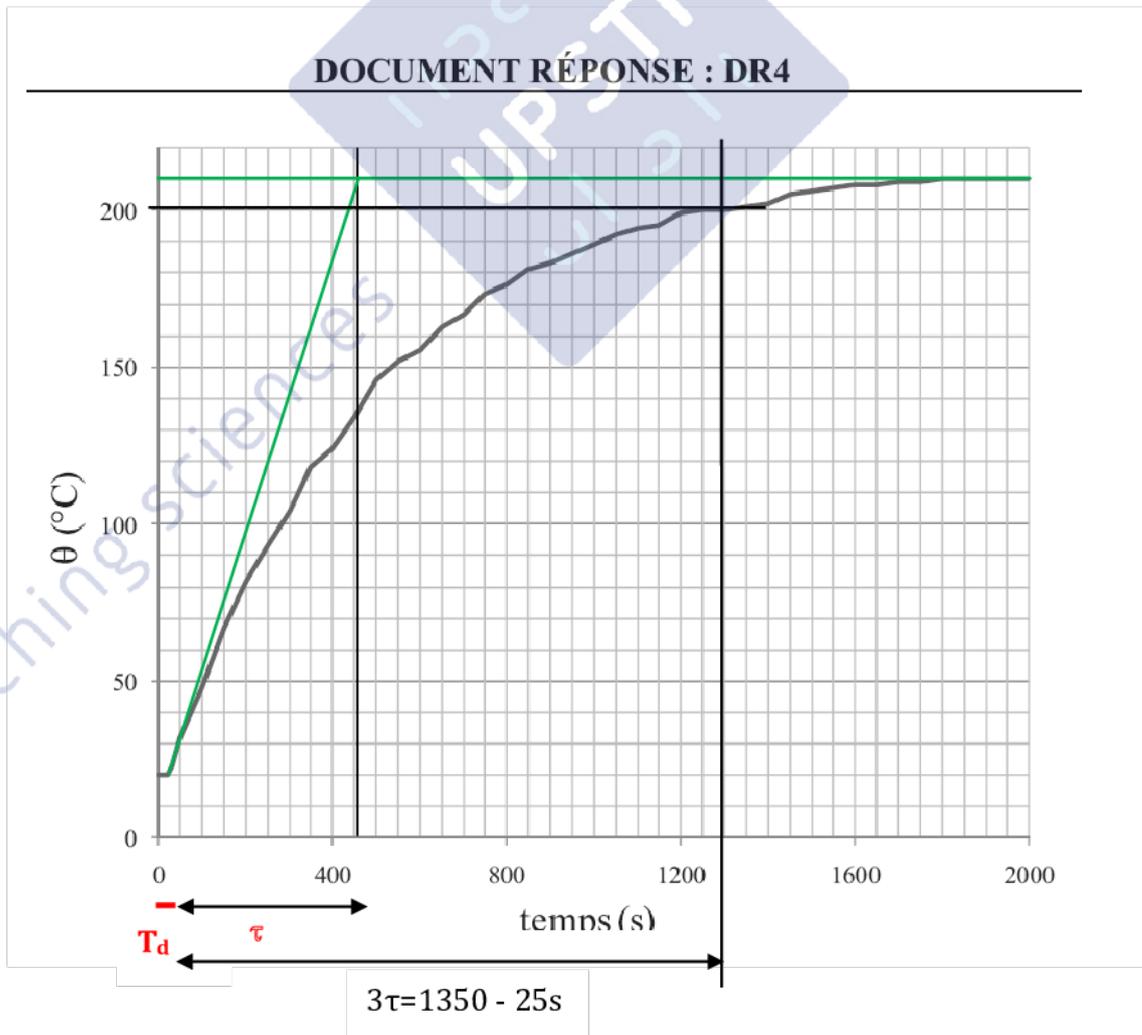
$$F1(p) = \frac{RTheq}{1 + p \times m \times Cp \times Rtheq} \quad F1(p) \text{ est d'ordre 1.}$$

Q30 –



Allure de la réponse indicielle d'un premier ordre (échelles non respectées)

Q 31 –



Le temps de retard T_d (identifié en rouge sur le document) est dû à la place du capteur dans le four. Il est évalué à environ 25 s.

Q32 – F1(p) trop éloigné du modèle : il faut prendre le retard en compte.

$$F2(p) = F1(p) e^{-T_d p}$$

Q33. voir question Q31

Q34 La constante de temps τ se déduit de la méthode des asymptotes tracée sur le graphe ou de la méthode des 95% de la sortie (correspondant à 3τ .)

τ est évalué à $500 - 25 = 475$ s ou, plus précisément, $3 \tau = 1325$ s ($\tau = 441$ s)

Rtheq est le gain statique .

Choix du correcteur et ses caractéristiques :

$$R_{theq} = \frac{\text{temperature finale} - \text{température initiale}}{\text{puissance finale} - \text{puissance initiale}} = \frac{210 - 20}{400} = 0.475^\circ\text{C/W}$$

Q35. Théorème de superposition :

$$\text{Si } \Theta_a(p)=0 \quad \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)} = \frac{R(p) \times C(p) \times H(p)}{1 + R(p) \times C(p) \times H(p)} = H1(p)$$

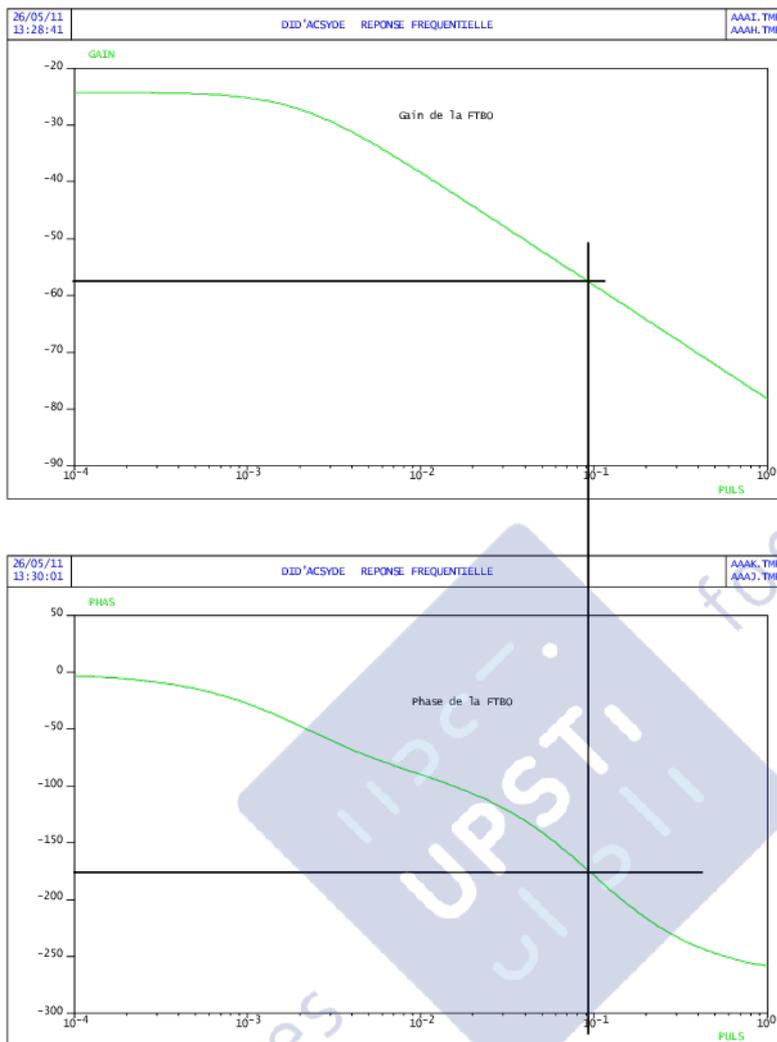
$$\text{Si } \Theta_c(p)=0 \quad \frac{\theta(p)}{\theta_a(p)} = \frac{1}{1 + R(p) \times C(p) \times H(p)} = H2(p)$$

Q 36. Les dénominateurs de H1(p) et de H2(p) étant identiques et la stabilité étant déterminée par ces dénominateurs, l'étude de H1(p) est suffisante.

$$\text{Q37.} \quad FTBO(p) = \frac{V_m(p)}{\varepsilon(p)} = R(p) \times H(p) \times C(p) = K \times \frac{G \times e^{-T_d p}}{1 + \tau p} \times R(p)$$

$$\text{A.N : } FTBO(p) = \frac{0,0615K e^{-20p}}{1 + 500p} = \frac{0,0615K}{(1 + 500p)} \times \frac{(1 - 10p)}{(1 + 10p)}$$

Q38. Diagramme de Bode pour $K = 1$



Q39. Q 40.

On veut $M_\varphi \geq 45^\circ$ et $MG \geq 6$ dB

D'après le graphe, pour $K = 1$, on relève : $MG \approx 58,5$ dB et $M_\varphi = \infty$.

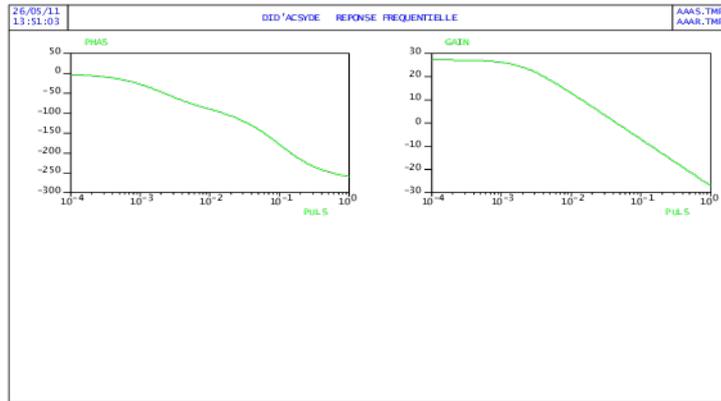
Les marges de gain et de phase sont largement respectées. Le système est stable.

Calcul de K pour obtenir $M_\varphi \geq 45^\circ$ et $MG \geq 6$ dB :

Pour $M_\varphi \geq 45^\circ$, à $\varphi = -135^\circ$, le gain est de -51,3 dB (relevé graphique).

$$20 \log K \leq 51,3 \text{ dB} \text{ donc } K \leq 10^{\frac{51,3}{20}} = 367$$

Pour cette valeur,



$$M_g = 7,2 \text{ dB.}$$

Donc, le cahier des charges est respecté tant que $K < 367$.

Q41. Utilisation du théorème de la valeur finale,

$$\text{Si } \Theta_a(p) = 0, \quad \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)} = \frac{R(p) \times C(p) \times H(p)}{1 + R(p) \times C(p) \times H(p)} = H1(p)$$

Pour un échelon de $\Delta\theta_c(t)$, la variation finale de $\Theta(t)$ sera $\Delta\Theta(t \rightarrow \infty) = H1(t \rightarrow \infty) \cdot \Delta\theta_c(t \rightarrow \infty)$

$H1(t \rightarrow \infty)$ est la valeur de $H1(p \rightarrow 0)$ (gain statique).

$$\Delta\theta(t \rightarrow \infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \Delta\theta_c(p) \times H1(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\Delta\theta_c}{p} \times H1(p) = \frac{RCH}{1 + RCH} \times \Delta\theta_c$$

$$\text{A.N : } \Delta\theta(t \rightarrow \infty) = \frac{41 \cdot 10^{-6} \times 310 \times 1500}{1 + 41 \cdot 10^{-6} \times 310 \times 1500} \times 180 = 171^\circ$$

Une variation de 180° de m entraîne une variation de 171° de $\Theta(t)$.

Q42 – De la même façon, si $\Theta_c(p) = 0$

$$\Delta\theta(t \rightarrow \infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \Delta\theta_a(p) \times H2(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\Delta\theta_a}{p} \times H2(p) = \frac{1}{1 + RCH} \times \Delta\theta_c$$

$$\text{A.N : } \Delta\theta(t \rightarrow \infty) = \frac{1}{1 + 41 \cdot 10^{-6} \times 310 \times 1500} \times 20 = 1^\circ$$

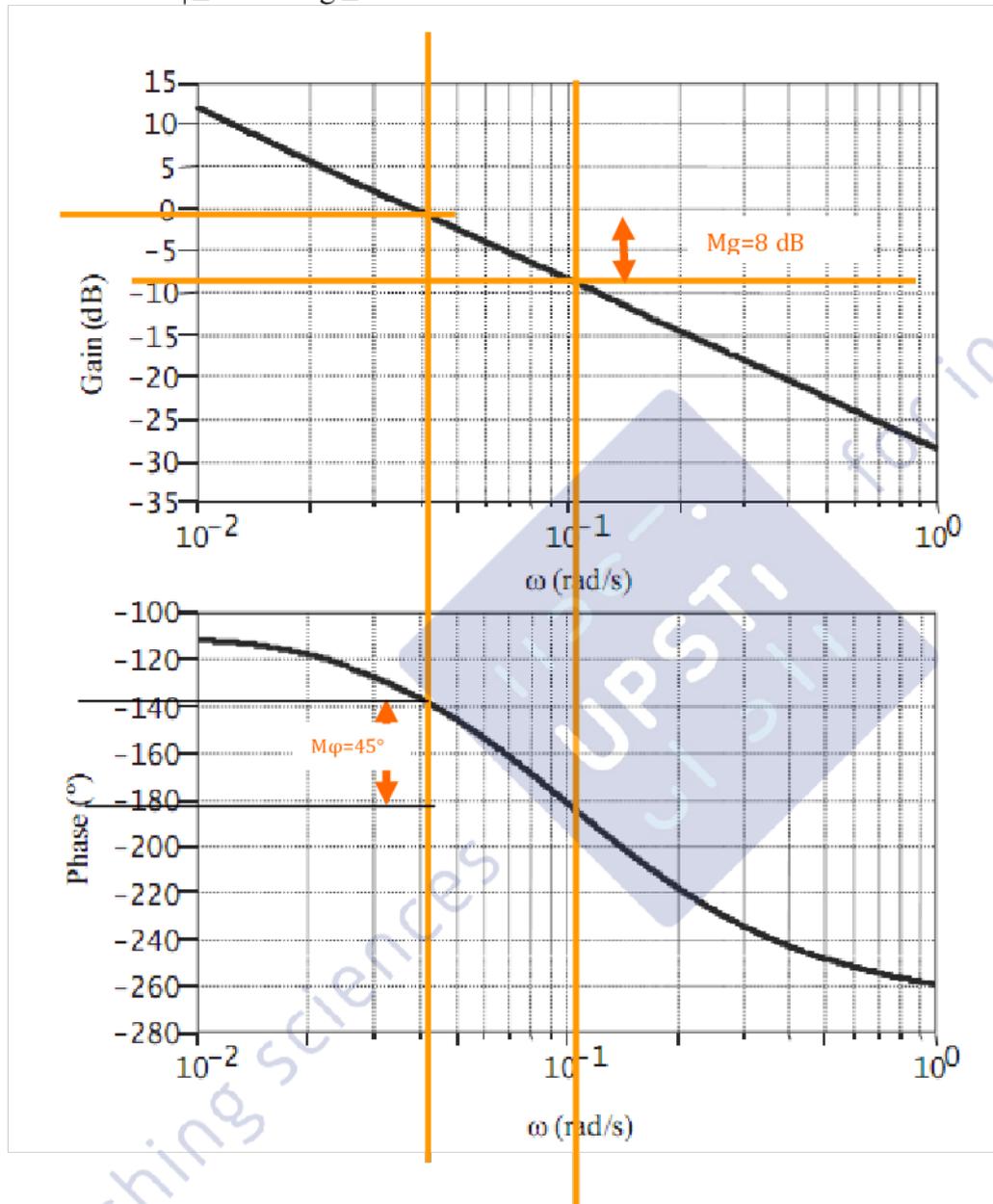
Q43. bilan : si $\Theta_a = 20^\circ \text{C}$ et qu'il y a un échelon de 180° sur Θ_c , la variation de Θ est de $171 + 1 = 172^\circ$.

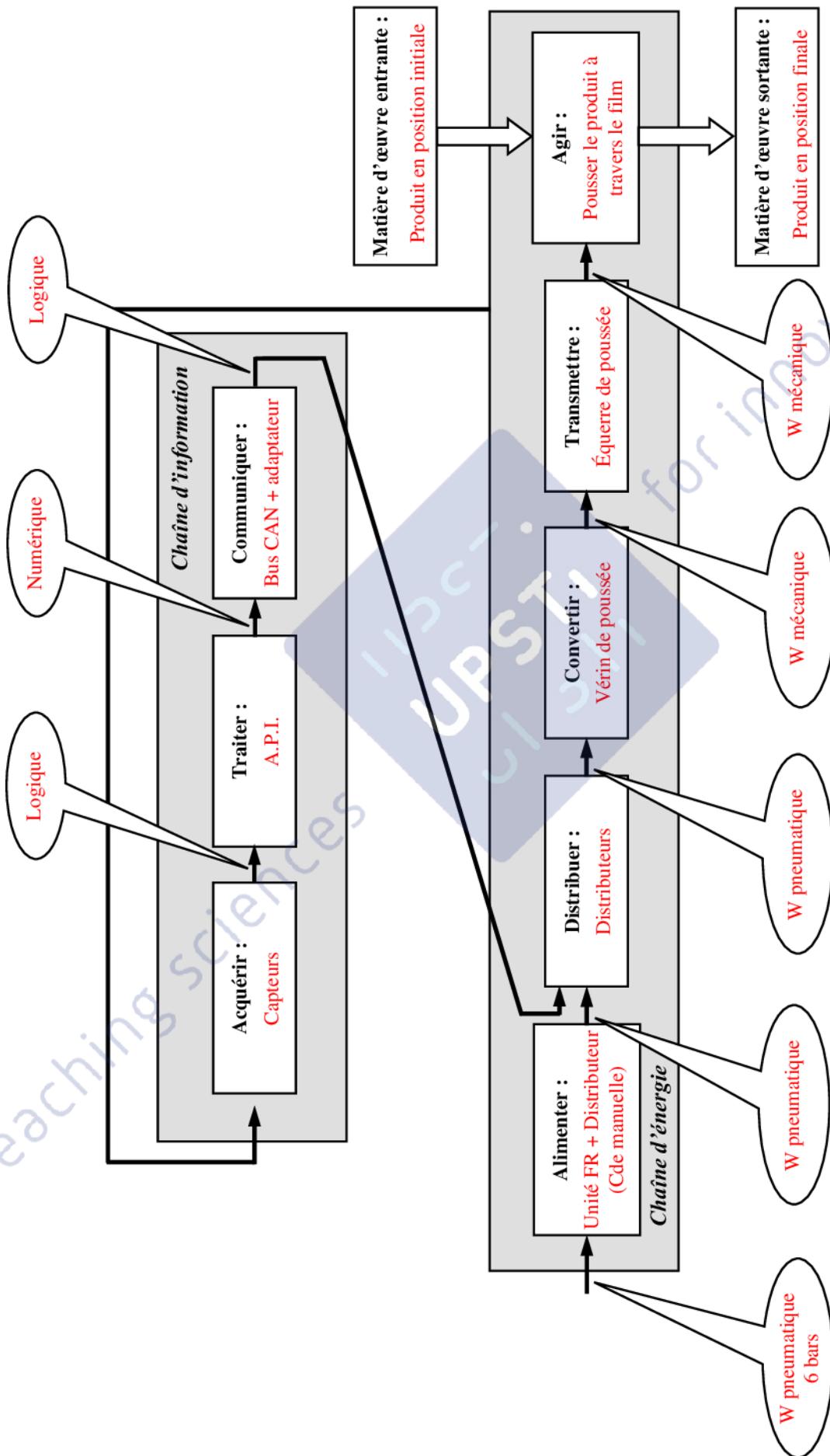
Q44. Il réside un écart de 8° à $\Theta_c = 180^\circ \text{C}$, ce qui ne correspond pas au cahier des charges (celui-ci stipule $\pm 2^\circ$)

Q45. $K(1 + \frac{1}{\tau ip})$ est l'équation d'un correcteur Proportionnel – Intégral. Ce type de correcteur permet d'annuler l'écart statique, ce qui est l'objectif recherché ici.

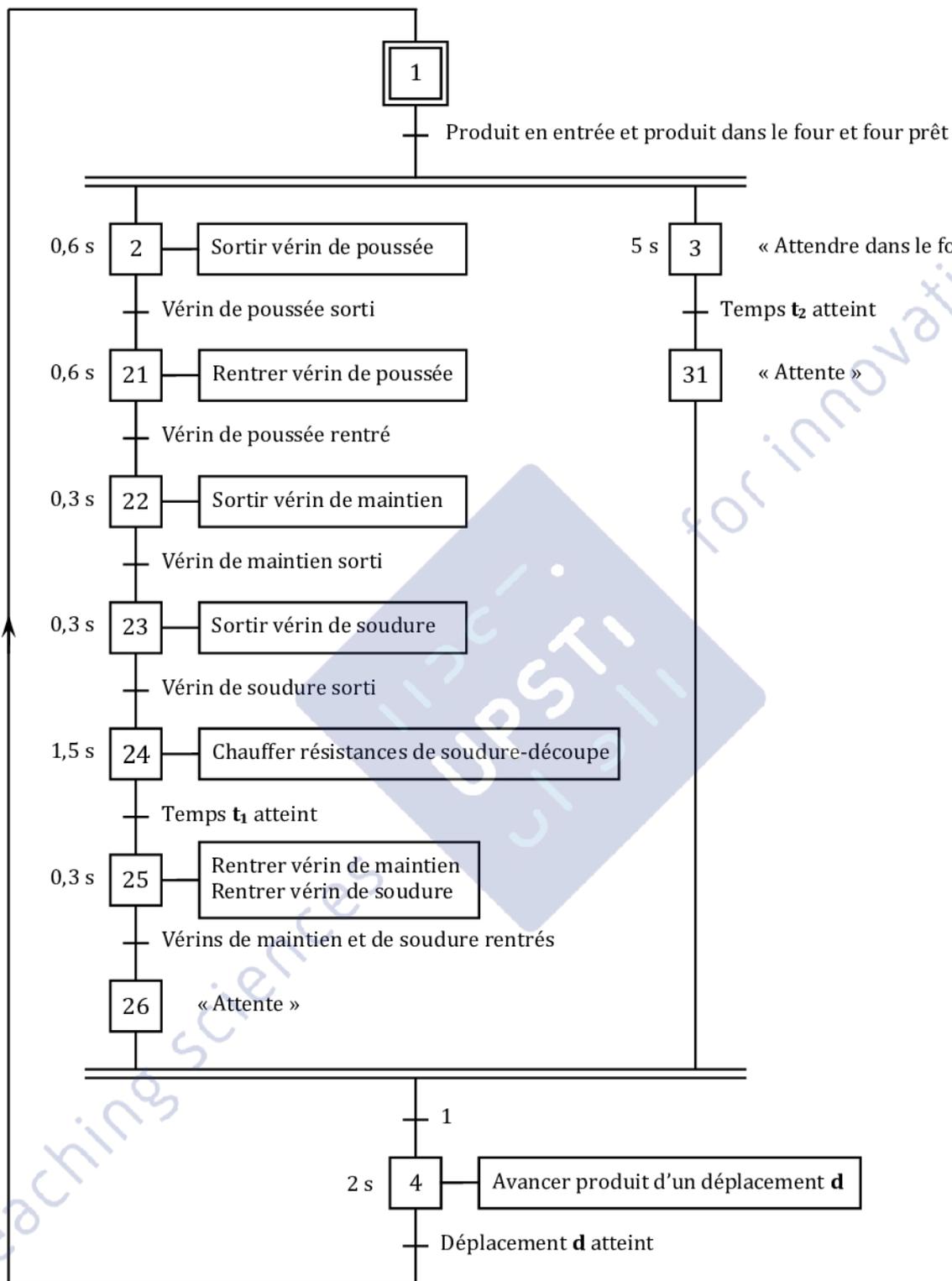
Q46. voir page suivante

Q47. Sur le graphe, $M\varphi=45^\circ$ et $Mg = 8\text{dB}$. Les réglages proposés respectent donc bien les critères demandés : $M\varphi \geq 45^\circ$ et $Mg \geq 6\text{dB}$.





Document réponse DR2



Partie III : Choix du variateur et du moteur pour la fonction FT2 : « positionner et convoier le produit »

Estimation des accélérations et vitesses pour respecter la cadence :

Q48. La distance parcourue vaut

$$d = \int_0^T V(t).dt = \text{Aire sous la courbe} = (T + t_b) \cdot \frac{V_{max}}{2} = (T + 2T/3) \cdot \frac{V_{max}}{2} \text{ d'où}$$

$$d = 5T \cdot V_{max}/6 . \text{ Or } V_{max} = \gamma \cdot t_a = \gamma \cdot T/6 \text{ soit } d = 5 \cdot T^2 \cdot \gamma / 36.$$

Q49. On a $V = R \cdot \omega_c = R \cdot r \cdot \omega_m$ et en dérivant $\gamma = R \cdot r \cdot \dot{\omega}_m$.
D'où $d = 5T \cdot R \cdot r \cdot \omega_{m,max} / 6$ et $d = 5 \cdot T^2 \cdot R \cdot r \cdot \dot{\omega}_m / 36$.

Q50. $\omega_{m,max} = \frac{6d}{5 \cdot T \cdot R \cdot r} = 315 \text{ rad/s}$ ou $N_{max} = 3015 \text{ tr/mn}$ et $\dot{\omega}_m = 36 \cdot \frac{d}{5 \cdot R \cdot r \cdot T^2} = 947 \text{ rad/s}^2$.

Q51. $N_{max} = 3015 \text{ tr/mn}$ donc moteur 2 pôles.

Choix d'un ensemble variateur et moteur pour respecter la cadence:

Q52. $\vec{T}_{support \rightarrow tapis} = -M_p \cdot g \cdot f \cdot \vec{y}$

Q53. $P_{ext} = P_{moteur} + P_{support \text{ sur tapis}} = C_m \cdot \omega_m - M_p \cdot g \cdot f \cdot V$

$P_{int} = P_{réducteur} = -(1 - \eta) \cdot C_m \cdot \omega_m$

$E_c = E_c(\text{arbre moteur}) + E_c(\text{réducteur}) + E_c(\text{arbre intermédiaire}) + E_c(\text{cylindre moteur})$
 $+ E_c(\text{cylindre tendeur}) + E_c(\text{produit})$

$E_c = \frac{1}{2} \cdot I_{am} \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2} \cdot I_r \cdot \omega_m^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{ai} \cdot \omega_c^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{cm} \cdot \omega_c^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{ct} \cdot \omega_c^2 + \frac{1}{2} \cdot M_p \cdot V^2$ avec $\omega_c = r \cdot \omega_m$ et $V = r \cdot R \cdot \omega_m$

$E_c = \frac{1}{2} \cdot (I_{am} + I_r + r^2 \cdot (I_{ai} + I_{cm} + I_{ct} + M_p \cdot R^2)) \cdot \omega_m^2$ soit
 $I_{eq} = I_{am} + I_r + r^2 \cdot (I_{ai} + I_{cm} + I_{ct} + M_p \cdot R^2)$

Q54. Le théorème de l'énergie puissance donne: $\frac{dE_c}{dt} = P_{ext} + P_{int}$

Soit ici $C_m \cdot \omega_m - M_p \cdot g \cdot f \cdot V - (1 - \eta) \cdot C_m \cdot \omega_m = \frac{d(\frac{1}{2} I_{eq} \cdot \omega_m^2)}{dt} = I_{eq} \cdot \omega_m \cdot \dot{\omega}_m$

Ou encore $\eta \cdot C_m \cdot \omega_m - M_p \cdot g \cdot f \cdot r \cdot R \cdot \omega_m = I_{eq} \cdot \omega_m \cdot \dot{\omega}_m$ et en simplifiant par ω_m

On obtient $I_{eq} \cdot \dot{\omega}_m = \eta \cdot C_m - C r_{eq}$ avec $C r_{eq} = M_p \cdot g \cdot f \cdot r \cdot R$

Q55. Pour les deux moteurs $C_{r_{eq}} = M_p \cdot g \cdot f \cdot r \cdot R = 18 \cdot 9,81 \cdot 0,2 \cdot 28,5 \cdot \frac{10^{-3}}{15} = 0,0671 N \cdot m$

Selon le moteur le couple C_m et l'inertie I_{am} varient.

Pour le moteur M71a2 :

$$I_{am} = J = 0,29 \cdot 10^{-3} kg \cdot m^2 \text{ et } C_m = C_{max} = 3,8. C_n = 3,8 \cdot 1,1 = 4,18 N \cdot m$$

$$\begin{aligned} I_{eq} &= I_{am} + I_r + r^2 \cdot (I_{ai} + I_{cm} + I_{ct} + M_p \cdot R^2) \\ &= 0,29 \cdot 10^{-3} + 1,52 \cdot 10^{-4} \\ &\quad + \frac{0,97 \cdot 10^{-4} + 9,3 \cdot 10^{-4} + 7,75 \cdot 10^{-4} + 18 \cdot (28,5 \cdot 10^{-3})^2}{15^2} = 0,000515 kg \cdot m^2 \end{aligned}$$

$$\text{Donc } \dot{\omega}_m = \frac{(\eta \cdot C_m - C_{r_{eq}})}{I_{eq}} = \frac{(0,8 \cdot 4,18 - 0,0671)}{0,00045} = 6363 rad/s^2$$

Pour le moteur M50L2 :

$$I_{am} = J = 0,3 \cdot 10^{-3} kg \cdot m^2 \text{ et } C_m = C_{max} = 3,4. C_n = 3,4 \cdot 0,25 = 0,85 N \cdot m$$

$$\begin{aligned} I_{eq} &= I_{am} + I_r + r^2 \cdot (I_{ai} + I_{cm} + I_{ct} + M_p \cdot R^2) \\ &= 0,3 \cdot 10^{-3} + 1,52 \cdot 10^{-4} \\ &\quad + \frac{0,97 \cdot 10^{-4} + 9,3 \cdot 10^{-4} + 7,75 \cdot 10^{-4} + 18 \cdot (28,5 \cdot 10^{-3})^2}{15^2} = 0,000525 kg \cdot m^2 \end{aligned}$$

$$\text{Donc } \dot{\omega}_m = \frac{(\eta \cdot C_m - C_{r_{eq}})}{I_{eq}} = \frac{(0,8 \cdot 0,85 - 0,0671)}{0,00046} = 1167 rad/s^2$$

Q56. Pour respecter les cadences du cahier des charges, on veut $\dot{\omega}_m = 947 rad/s^2$ (réponse à la question Q53). Les deux moteurs respectent l'accélération souhaitée.

Q57. Le choix est justifié par une tension monophasée et la puissance du moteur.

Q58. La commande, la gestion et la supervision de tout le dispositif (capteur, commande, distribution) peut se faire à l'aide d'un PC.

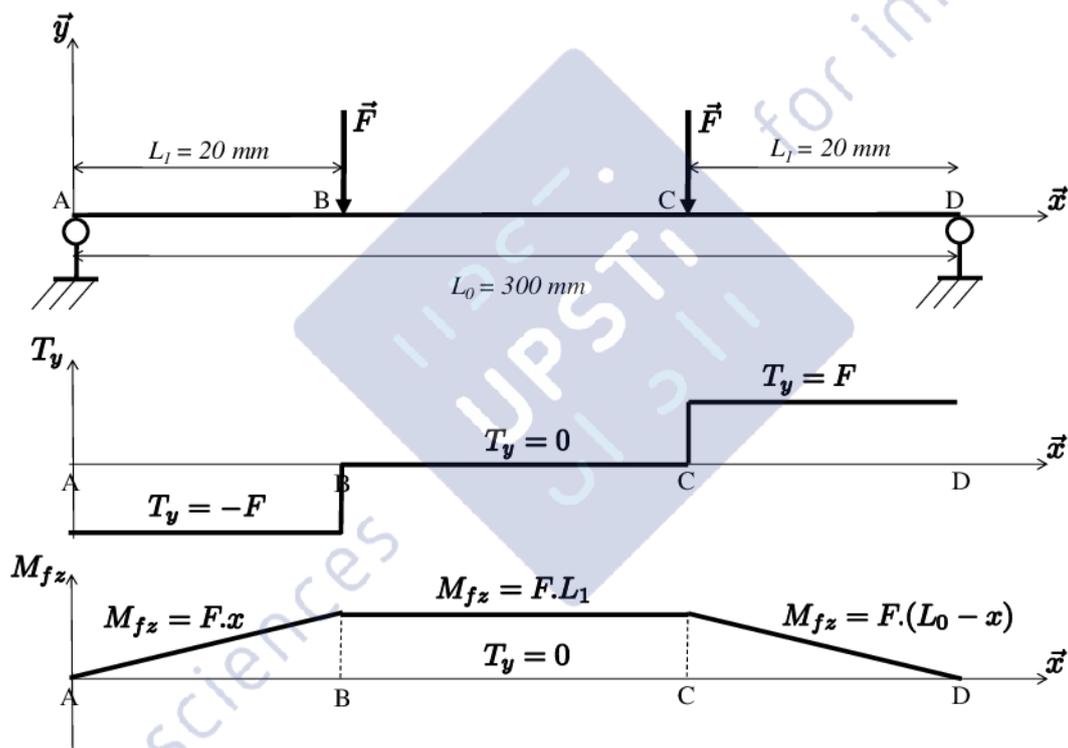
Partie IV: Dimensionnement et proposition d'une solution pour réaliser la fonction FT24: « transformer l'énergie mécanique de rotation en énergie mécanique de translation »

Dimensionnement de l'axe de la liaison pivot :

Q59. $T_0 = F$ en faisant le PFS appliqué au cylindre tendeur et en considérant un problème symétrique.

Q60. $\vec{R}_A = \vec{R}_D = F \cdot \vec{y}$ en faisant le PFS sur la poutre et en tenant compte des symétries.

Q61. Rappel : $\{\tau_{int}\}_{G(x)} = \left\{ \begin{matrix} T_{(x^+) \rightarrow (x^-)} \\ M_G(x) \end{matrix} \right\}$ pour les trois cas d'étude]AB[,]BC[puis]CD[



La poutre est soumise a de la flexion (simple sur]AB[et]CD[puis pure sur]BC[).

Q62. La zone de la poutre la plus sollicitée est la zone]BC[.

Q63. En flexion, nous avons $\sigma_{xx}(x, y) = -\frac{M_{fz}(x)y}{I_{Gz}}$. On a $\sigma_{xx_{max}}$ pour $M_{fz}(x) = F \cdot L_1$ et $y = \pm D/2$ avec $I_{Gz} = \frac{\pi d^4}{64}$. C'est-à-dire $\sigma_{xx_{max}} = \frac{F \cdot L_1 \cdot D/2}{\pi d^4/64} = \frac{32 \cdot F \cdot L_1}{\pi \cdot d^3}$

Q64. On veut $\sigma_{xx_{max}} \leq \frac{R_s}{S_0}$ soit $\frac{32 \cdot F \cdot L_1}{\pi \cdot d^3} \leq \frac{R_s}{S_c}$ d'où $d \geq \left(\frac{32 \cdot F \cdot L_1 \cdot S_c}{\pi \cdot R_s} \right)^{\frac{1}{3}}$ donc $d_{mini} = \left(\frac{32 \cdot F \cdot L_1 \cdot S_c}{\pi \cdot R_s} \right)^{\frac{1}{3}}$

Choix d'un matériau pour l'axe de la liaison pivot :

Q65. Pour l'application, un acier standard suffit, pas besoin d'acier inox ou d'aciers à haute résistance donc un C22 à l'état normalisé suffit.

Q66. Pour un acier C22 à l'état normalisé, on obtient $d_{\min i}=7,3\text{mm}$

Choix et dimensionnement des roulements :

Q67. Les efforts à transmettre par les roulements sont uniquement radiaux et de faible intensité donc des roulements rigides à billes conviennent.

Q68. $V_{\text{moy}}=400\text{mm/s}$ donc $\omega_{\text{moy}} = V_{\text{moy}}/R = 14,03 \text{ rad/s}$ et $N_{\text{moy}} = 134 \text{ tr/mn}$

Or $L_N = \left(\frac{C}{P}\right)^p$ en 10^6 tours soit $L_h = \frac{L_N \cdot 10^6}{60 \cdot N}$ ou encore $L_N = \frac{L_h \cdot 60 \cdot N}{10^6} = \frac{30000 \cdot 60 \cdot 134}{10^6} = 241,14$ en 10^6 tours

Q69. $L_N = \left(\frac{C}{P}\right)^p$ avec $P = F_r = F$ (puisque ici $F_a = 0$) soit $C_{\min i} = P \cdot (L_N)^{1/p} = 1431 \text{ N}$

On choisit le premier roulement de diamètre $d=12$ avec $C > C_{\min i}$ donc le roulement ref 6001-2RSL

Proposition d'une solution:

Q70.

