

Éléments de correction de l'épreuve d'admissibilité « étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation » - option ingénierie mécanique

Partie 1 – La chaîne de télescopage

Question 1

Soient :

- G_{ctp} le centre de gravité du contrepoids ;
- G_0 , le cdg du tronçon fixe ;
- G_1 , le cdg du tronçon T1 ;
- G_2 , le cdg du tronçon T2 ;
- G_3 , le cdg du tronçon T3 ;
- G_{cam} , le cdg de la caméra et de la tête caméra.

Le centre de gravité de l'ensemble doit appartenir à la droite verticale passant par O donc :

$$-M_{ctp}OG_{ctp} - M_0OG_0 + M_1OG_1 + M_2OG_2 + M_3OG_3 + M_{cam}OG_{cam}=0$$

Où :

- $OG_{ctp} = 2 \text{ m}$;
- $OG_0 = 0,29 \text{ m}$;
- $OG_1 = 0,51 + 3,88/2 = 2,45 \text{ m}$;
- $OG_2 = 0,51 + 3,88-1,2+3,88/2 = 5,13 \text{ m}$;
- $OG_3 = 0,51 + 3,88-1,2+3,88-1,2+3,88/2 = 7,81 \text{ m}$;
- $OG_{cam} = 0,51 + 3,88-1,2+3,88-1,2+3,88 = 9,75 \text{ m}$.

$$M_{ctp} = \frac{M_1OG_1 + M_2OG_2 + M_3OG_3 + M_{cam}OG_{cam} - M_0OG_0}{OG_{ctp}}$$

Application numérique : $M_{ctp} = 855 \text{ kg}$

Question 2

Les centres de gravité sont maintenant placés à :

- $OG_{ctp} = \text{à déterminer}$;
- $OG_0 = 0,29 \text{ m}$;
- $OG_1 = 2,45 - 2,4 = 0,05 \text{ m}$;
- $OG_2 = 5,13 - 2 \times 2,4 = 0,33 \text{ m}$;
- $OG_3 = 7,81 - 3 \times 2,4 = 0,61 \text{ m}$;
- $OG_{cam} = 9,75 - 3 \times 2,4 = 2,55 \text{ m}$.

$$OG_{ctp} = \frac{M_1OG_1 + M_2OG_2 + M_3OG_3 + M_{cam}OG_{cam} - M_0OG_0}{M_{ctp}}$$

Application numérique : $OG_{ctp} = 0,12 \text{ m}$

Le contrepoids s'est déplacé de $2 - 0,12 = 1,88 \text{ m}$ alors que le tronçon T1 s'est déplacé de $2,4 \text{ m}$.
Le rapport entre les 2 est donc de $1,88/2,4 = 0,78$.

Question 3

La distance parcourue entre l'instant initial (à $t = 0$) et l'instant final (à $t = t_3$) est l'intégrale de la vitesse entre 0 et t_3 . Cela correspond à l'aire sous la courbe $V_{\text{caméra}}(t)$.

$$d = \frac{1}{2} \times t_1 \times V_{\text{max}} + (t_2 - t_1) \times V_{\text{max}} + \frac{1}{2} \times (t_3 - t_2) \times V_{\text{max}}$$

$$d = \frac{1}{2} \times (t_2 - t_1 + t_3) \times V_{\text{max}}$$

$t_3 - t_2 = t_1$ donc $t_3 - t_1 = t_2$ soit :

$$d = t_2 \times V_{\text{max}} \quad \text{d'où} \quad t_2 = \frac{d}{V_{\text{max}}}$$

Application numérique : $t_2 = \frac{7,35}{2} = 3,67$ s

$$t_1 = t_3 - t_2 = t_3 - \frac{d}{V_{\text{max}}}$$

Application numérique : $t_1 = t_3 - \frac{d}{V_{\text{max}}} = 5 - 3,67 = 1,33$ s

$$a_{\text{caméra}} = \frac{V_{\text{max}}}{t_1}$$

$$a_{\text{caméra}} = \frac{V_{\text{max}}}{t_3 - \frac{d}{V_{\text{max}}}}$$

Application numérique : $a_{\text{caméra}} = 2/1,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$a_{\text{caméra}} = 1,51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Question 4

Rapport de réduction :

$$V = V_{T_3} = 3V_{T_1} = 3 \left[\frac{230 \cdot 10^{-3}}{2\pi} \omega_{\text{roue}} \right] = 3 \left[\frac{230 \cdot 10^{-3}}{2\pi} \left(\frac{4}{58} \omega_m \right) \right]$$

$$V = 7,57 \cdot 10^{-3} \omega_m$$

$$r = \frac{V}{\omega_m} = 7,57 \cdot 10^{-3} \text{ m/rad}$$

Expression de V_{ctp} en fonction de ω_m

$$V_{\text{ctp}} = 0,78 \times V_{T_1} = \frac{0,78}{3} V = \frac{0,78}{3} r \times \omega_m$$

$$V_{\text{ctp}} = 1,97 \cdot 10^{-3} \omega_m$$

Question 5

$$E_c = \frac{1}{2} \times \left(J_{\text{mot}} + M_{\text{ctp}} \left(0,78 \times \frac{r}{3} \right)^2 + M_1 \left(\frac{1}{3} r \right)^2 + M_2 \left(\frac{2}{3} r \right)^2 + M_3 r^2 + M_{\text{cam}} r^2 \right) \omega_m^2$$

$$J_{\text{éq}} = J_{\text{mot}} + M_{\text{ctp}} \left(0,78 \times \frac{r}{3} \right)^2 + M_1 \left(\frac{1}{3} r \right)^2 + M_2 \left(\frac{2}{3} r \right)^2 + M_3 r^2 + M_{\text{cam}} r^2$$

Application numérique : $J_{\text{éq}} = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

Question 6

$$P_{\text{ext}} + P_{\text{int}} = \eta C_m \cdot \omega_m - f_{\text{éq}} \omega_m^2$$

Question 7

Expression littérale du couple moteur

$$\frac{dE_c}{dt} = P_{\text{ext}} + P_{\text{int}} \quad \text{d'où} \quad \frac{d \left(\frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega_m^2 \right)}{dt} = \eta \cdot C_m \cdot \omega_m - f_{\text{éq}} \cdot \omega_m^2 \quad \text{ce qui donne} \quad \frac{1}{2} J_{\text{éq}} \cdot 2 \cdot \omega_m = \eta C_m \omega_m - f_{\text{éq}} \omega_m^2$$

$$C_m = \frac{1}{\eta} \left(J_{\text{éq}} \frac{d\omega_m}{dt} + f_{\text{éq}} \omega_m \right)$$

Question 8

$$V=r\omega_m \text{ donc } \omega_m = \frac{V}{r} \text{ donc } \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{dV}{dt} = \frac{a_{\text{caméra}}}{r}$$

$$a_{\text{caméra}} = 1,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \text{ donc } \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1,55}{7,57 \cdot 10^{-3}} = 199 \text{ rad/s}^2.$$

Du fait des frottements visqueux le couple moteur est maximal à la fin de la phase d'accélération, quand $V = V_{\text{max}} = 2 \text{ m/s}$.

$$\text{À ce moment } \omega_{m_{\text{max}}} = \frac{2}{7,57 \cdot 10^{-3}} = 264 \text{ rad/s}$$

$$C_m = \frac{1}{0,85} \left(1,62 \cdot 10^{-2} \times 199 + 0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 264 \right) \text{ donc } C_m = 3,91 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Conclusion

Ce moteur convient, car il peut fournir un couple de 4 N·m en régime permanent pour une vitesse de rotation de 264 rad/s.

Partie 2 - L'équilibrage de la grue

Question 9

$$\Delta m = -\mu x$$

Question 10

L'ajout de longueur de câble déroulé vaut : x .

La différence de masse de câble déroulé, entre les deux configurations vaut : $\Delta m = +\mu x$

Question 11

$$+\frac{x}{2}$$

Question 12

$$\sum M_i \overrightarrow{OG_i} = \left(a\mu x + \mu \frac{x^2}{2} \right) \vec{x}$$

Question 13

On veut avoir $\sum M_i \overrightarrow{OG_i} = \vec{0}$ donc il faut que $\left(a\mu x + \mu \frac{x^2}{2} \right) + M_{\text{ctp}} x_c = 0$

$$x_c = -\frac{a\mu x + \mu \frac{x^2}{2}}{M_{\text{ctp}}}$$

Correction maximale à apporter : $x_c = -8,9 \text{ mm}$

Question 14

Résolution du codeur : $\frac{360}{5000} = 0,072^\circ$

Résolution mesure = $\frac{180}{360} \times \frac{1}{14,5} \times 0,072 = 0,0025 \text{ mm}$

On a vu précédemment que $V = 7,57 \cdot 10^{-3} \omega_m$ donc $\Delta x = 7,57 \cdot 10^{-3} \theta_m$

Δx en mm et θ_m en rad

Application numérique : $\Delta x = 7,57 \cdot 10^{-3} \times 2\pi/360 = 9,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Le défaut sera maximal quand le bras sera totalement déplié ($x = 7,350 \text{ m}$). En effet la pente de la courbe $x_c = f(x)$ est strictement décroissante.

$$\frac{dx_c}{dx} = -\frac{a\mu}{M_{\text{ctp}}} - \frac{\mu}{M_{\text{ctp}}} x \quad \text{d'où } \Delta x_c = \left(-\frac{a\mu}{M_{\text{ctp}}} - \frac{\mu}{M_{\text{ctp}}} x \right) \Delta x$$

$$\Delta x_c = -\frac{\mu}{M_{\text{ctp}}} (a+x) \Delta x$$

Application numérique : $\Delta x_c = -\frac{0,2}{855} \times (1,5+7,35) \times 0,00952$, donc $\Delta x_c = -19,7 \cdot 10^{-6}$ mm

Question 15

Le couple créé par le déséquilibre vaut :

$$C_{\text{déséq}} = M_{\text{ctp}} g |\Delta x_c| = 855 \times 9,81 \times 19,7 \cdot 10^{-9}$$

$$C_{\text{déséq}} = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{m} = 0,000165 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$C_{\text{déséq}} < 0,05 \text{ N}\cdot\text{m}$ donc le bras ne bougera pas si le machiniste le lâche.

Partie 3 - L'assistance de travelling

Question 16

Ce brevet sert à protéger l'innovation technique, et il sera valable 20 ans (en réglant chaque année une annuité).

Question 17

On sait que $l_{\text{min}} = 2,40 \text{ m}$ et $l_{\text{Max}} = 9,75 \text{ m}$

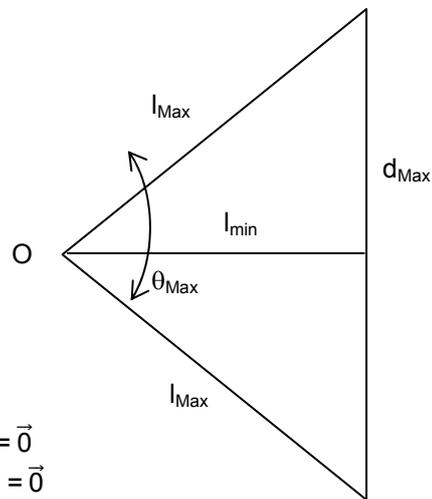
$$\cos\left(\frac{\theta_{\text{Max}}}{2}\right) = \frac{l_{\text{min}}}{l_{\text{Max}}} \text{ d'où } \theta_{\text{Max}} = 2 \cos^{-1}\left(\frac{l_{\text{min}}}{l_{\text{Max}}}\right)$$

$$\theta_{\text{Max}} = 151,5^\circ$$

$$\sin\left(\frac{\theta_{\text{Max}}}{2}\right) = \frac{d_{\text{Max}}/2}{l_{\text{Max}}} \text{ d'où } d_{\text{Max}} = 2l_{\text{Max}} \sin\left(\frac{\theta_{\text{Max}}}{2}\right)$$

$$d_{\text{Max}} = 18,9 \text{ m}$$

Il est donc possible de réaliser un travelling de 17 m.



Question 18

Expression de $l(t)$ en fonction de l_0 , α et $\theta(t)$

$$\vec{OA} + \vec{A_0A(t)} + \vec{A(t)O} = \vec{0}$$

$$l_0 \vec{x}_{10} + d(t) \vec{x}_{\text{trav}} - l(t) \vec{x}_{1t} = \vec{0}$$

Projection sur \vec{x}_{10} :

$$l_0 + d(t) \cdot \cos\alpha - l(t) \cdot \cos\theta(t) = 0$$

Projection sur \vec{y}_{10} :

$$d(t) \cdot \sin\alpha - l(t) \cdot \sin\theta(t) = 0$$

$$\begin{cases} l(t) \cdot \cos\theta(t) - l_0 = d(t) \cdot \cos\alpha & (1) \\ l(t) \cdot \sin\theta(t) = d(t) \cdot \sin\alpha & (2) \end{cases}$$

D'où $\frac{(2)}{(1)}$:

$$\tan\alpha = \frac{l(t) \cdot \sin\theta(t)}{l(t) \cdot \cos\theta(t) - l_0}$$

$$l(t) \cdot \cos\theta(t) - l_0 = \frac{l(t) \cdot \sin\theta(t)}{\tan\alpha}$$

$$l(t) \cdot \left[\cos\theta(t) - \frac{\sin\theta(t)}{\tan\alpha} \right] = l_0$$

$$l(t) = \frac{l_0}{\cos\theta(t) - \frac{\sin\theta(t)}{\tan\alpha}} = \frac{l_0 \cdot \sin\alpha}{\sin\alpha \cdot \cos\theta(t) - \cos\alpha \cdot \sin\theta(t)}$$

$$l(t) = \frac{l_0 \cdot \sin\alpha}{\sin(\alpha - \theta(t))}$$

Expression de $l(t)$ en fonction de l_0 , α et $d(t)$

$$\begin{cases} l(t) \cdot \cos\theta(t) - l_0 = d(t) \cdot \cos\alpha & (1) \\ l(t) \cdot \sin\theta(t) = d(t) \cdot \sin\alpha & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} l(t) \cdot \cos\theta(t) - l_0 = d(t) \cdot \cos\alpha & (1) \\ l(t) \cdot \sin\theta(t) = d(t) \cdot \sin\alpha & (2) \end{cases}$$

$$\text{Devient } \begin{cases} l(t) \cdot \cos\theta(t) = l_0 + d(t) \cdot \cos\alpha & (1') \\ l(t) \cdot \sin\theta(t) = d(t) \cdot \sin\alpha & (2') \end{cases}$$

$(1')^2 + (2')^2$ donne

$$\begin{aligned} [l(t) \cdot \cos\theta(t)]^2 + [l(t) \cdot \sin\theta(t)]^2 &= [l_0 + d(t) \cdot \cos\alpha]^2 + [d(t) \cdot \sin\alpha]^2 \\ l(t)^2 &= l_0^2 + d(t)^2 + 2l_0 \cdot d(t) \cdot \cos\alpha \end{aligned}$$

D'où comme $l(t) > 0$,

$$l(t) = \sqrt{l_0^2 + d(t)^2 + 2l_0 \cdot d(t) \cdot \cos\alpha}$$

Question 19

$$V_{\text{cam}(t)} = \frac{dl(t)}{dt} = \frac{2 \cdot d(t) \cdot d'(t) + 2 \cdot l_0 \cdot \cos\alpha}{2 \cdot \sqrt{l_0^2 + d(t)^2 + 2l_0 \cdot d(t) \cdot \cos\alpha}}$$

$$V_{\text{cam}(t)} = \frac{d'(t) \cdot d(t) + l_0 \cdot \cos\alpha}{\sqrt{l_0^2 + d(t)^2 + 2l_0 \cdot d(t) \cdot \cos\alpha}}$$

Question 20

La vitesse nominale du moteur est de 2700 tr/min, soit 283 rad/s. La vitesse correspondante du bras est de 2,14 m/s.

De plus on a vu partie 1 que le moteur avait été choisi de façon à permettre une accélération de 1,51 m/s² lorsque $V=2$ m/s.

Pour toutes ces raisons, le travelling se fera en environ 10 s minimum.

Question 21

18,9 m parcouru en 10 s, cela fait une vitesse de 1,89 m/s soit 6,8 km/h. Cela permet donc par exemple de suivre une personne marchant vite.

Question 22

Comportement le plus adéquat

Le réglage 3 permet un temps de réponse court et la meilleure précision. Mais la rapidité génère des oscillations lors des changements brusques, donc ce réglage ne convient pas.

Le réglage 1 est fluide mais lent et donne la plus mauvaise précision.

Le réglage 2 est le meilleur : pas d'oscillation donc le mouvement est fluide, et la précision est acceptable.

Conclusion

Le défaut de positionnement maximal de la caméra par rapport à la direction du travelling pour le réglage 2 est de 0,38 mm.

Le cahier des charges spécifiait un travelling fluide (sans godille), et avec une erreur de suivi de trajectoire inférieure à 1 mm. Le réglage 2 permet de respecter ces exigences.

Partie 4 - La structure mécanique du bras de télescope

Question 23

$$p_{(M)} = -\frac{M}{L} = \text{cte}$$

Question 24

$$\{T_{coh}\}_{G(x)} = \{T_{ext \rightarrow x}\}_{G(x)} = \{T_{pes \rightarrow x}\}_{G(x)} = \begin{pmatrix} -p(L-x)\vec{y} - Pc.\vec{y} \\ -p\frac{(L-x)^2}{2}\vec{z} - Pc(L-x)\vec{z} \end{pmatrix}$$

Question 25

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = \frac{Mfz(x)}{EI_{Gz}}$$

$$\text{Où } Mfz(x) = -p\frac{(L-x)^2}{2} - Pc(L-x)$$

et les conditions limites $\frac{dv(0)}{dx} = \theta z(0) = 0$ et $v(0) = 0$

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = \frac{Mfz(x)}{E.I_{Gz}}$$

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = -\frac{p(L-x)^2}{2EI_{Gz}} - \frac{Pc(L-x)}{EI_{Gz}}$$

$$\frac{d^2v(x)}{dx^2} = -\frac{p(L^2+x^2-2xL) + 2Pc(L-x)}{2EI_{Gz}} = -\frac{(2Pc \cdot L + pL^2) + px^2 - x(2pL+2Pc)}{2EI_{Gz}}$$

$$\frac{dv(x)}{dx} = -\frac{(2 \cdot Pc \cdot L + pL^2)x + \frac{px^3}{3} - \frac{x^2}{2}(2pL+2Pc)}{2EI_{Gz}} + A$$

où A est une constante

$$v(x) = -\frac{(2Pc \cdot L + pL^2)\frac{x^2}{2} + \frac{px^4}{12} - \frac{x^3}{6}(2pL+2Pc)}{2 \cdot EI_{Gz}} + Ax + B$$

où A et B sont des constantes

$$v(0) = 0 \text{ donc } B = 0 \text{ et } \frac{dv(0)}{dx} = 0 \text{ donc } A = 0$$

D'où :

$$v(x) = -\frac{(2Pc \cdot L + pL^2)\frac{x^2}{2} + \frac{px^4}{12} - \frac{x^3}{6}(2pL+2Pc)}{2 \cdot EI_{Gz}}$$

$$v(L) = -\frac{(2 \cdot Pc \cdot L + pL^2) \cdot \frac{L^2}{2} + \frac{pL^4}{12} - \frac{L^3}{6} \cdot (2 \cdot p \cdot L + 2 \cdot Pc)}{2 \cdot E \cdot I_{Gz}} = -\frac{pL^4}{8EI_{Gz}} - \frac{PcL^3}{3EI_{Gz}}$$

Question 26

Il faut diminuer les valeurs des termes du numérateur et augmenter ceux du dénominateur :

- p - alléger la masse du bras en agissant sur le matériau et sur la forme de la structure ;
- L - diminuer la longueur maxi du bras ; c'est IMPOSSIBLE ;
- Pc - diminuer la masse de la caméra, indépendant de l'étude ; c'est IMPOSSIBLE ;
- E - augmenter le module d'Young (choix de matériau, rejoint le premier point) ;
- I_{Gz} - augmenter le moment quadratique en jouant sur les formes des bras (rejoint également le premier point).

Question 27

Critère	Poids associé	Alliage de titane	Composite (fibres de carbone)	Composite (fibres de verre)	Acier inoxydable	Alliages d'aluminium
(1) masse minimale	3	4	1	3	5	2
(2) prix minimal	2	5	4	3	2	1
(3) impact environnemental (voir ci-dessous)	1	5	2	1	3	4
Total		$4*3+5*2+5*1$ = 27	$1*3+4*2+2*1$ = 13	$3*3+3*2+1*1$ = 16	$5*3+2*2+3*1$ = 22	$=2*3+1*2+4$ = 12

Critère (1) : pour minimiser la masse, à rigidité donnée il faut maximiser l'indice de performance $\frac{E^{1/2}}{\rho}$

Critère (2) : prix minimal, lecture sur le graphique

Critère (3) : impact environnemental, lecture sur les graphiques :

Critère	Alliage de titane	Composite (fibres de carbone)	Composite (fibres de verre)	Acier inoxydable	Alliages d'aluminium
Empreinte carbone	5	2	1	1	4
Eutrophisation de l'eau	2	1	1	3	1
Acidification de l'air	5	1	2	3	4
Énergie totale consommée	4	3	1	2	3
Total (3) impact environnemental	16	7	5	9	12
Classement	5	2	1	3	4

Le matériau répondant au mieux aux trois critères hiérarchisés est l'alliage d'aluminium.

Remarque : si aucun poids n'est affecté aux critères, les 3 matériaux – composite à fibres de carbone, composite à fibre de verre et alliage d'aluminium – arrivent à égalité. Dans ce cas, l'argument du coût de mise en forme permet de choisir l'alliage d'aluminium.

Question 28

Le module de Young de l'alliage d'aluminium n'est pas donné dans l'énoncé. Cela fait partie de la culture technologique.

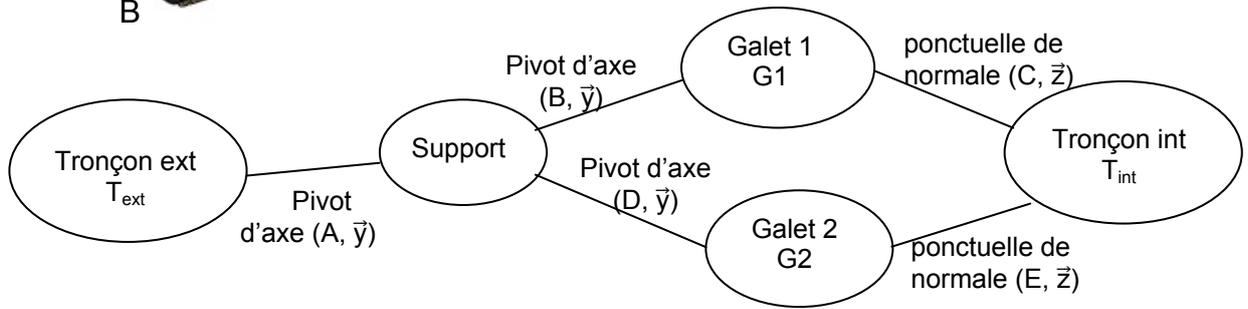
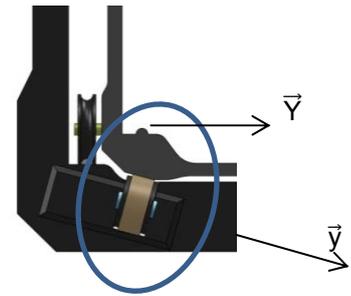
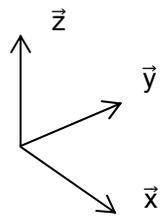
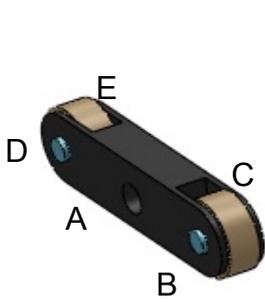
On prend ici $E = 72 \text{ GPa}$

$$v_{(L)} = v_{(9,75)} = -\frac{180 \cdot (9,75)^4}{8 \times 72 \cdot 10^9 \times 1,71 \cdot 10^{-1}} - \frac{110 \times 9,81 \times (9,75)^3}{6 \times 72 \cdot 10^9 \times 1,71 \cdot 10^{-1}}$$

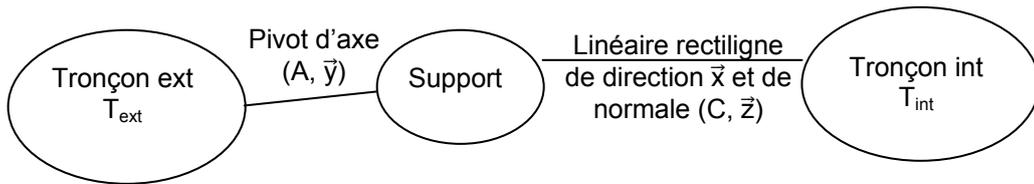
$$v_{(9,75)} = -4,36 \cdot 10^{-5} \text{ m} \quad \text{soit} \quad v_{(9,75)} = -4,36 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$

La flèche obtenue par calcul est très inférieure à 1 mm attendu dans le cahier des charges : le cahier des charges est respecté.

Question 29

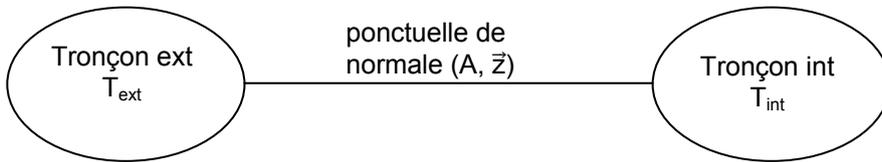


Équivalent à :

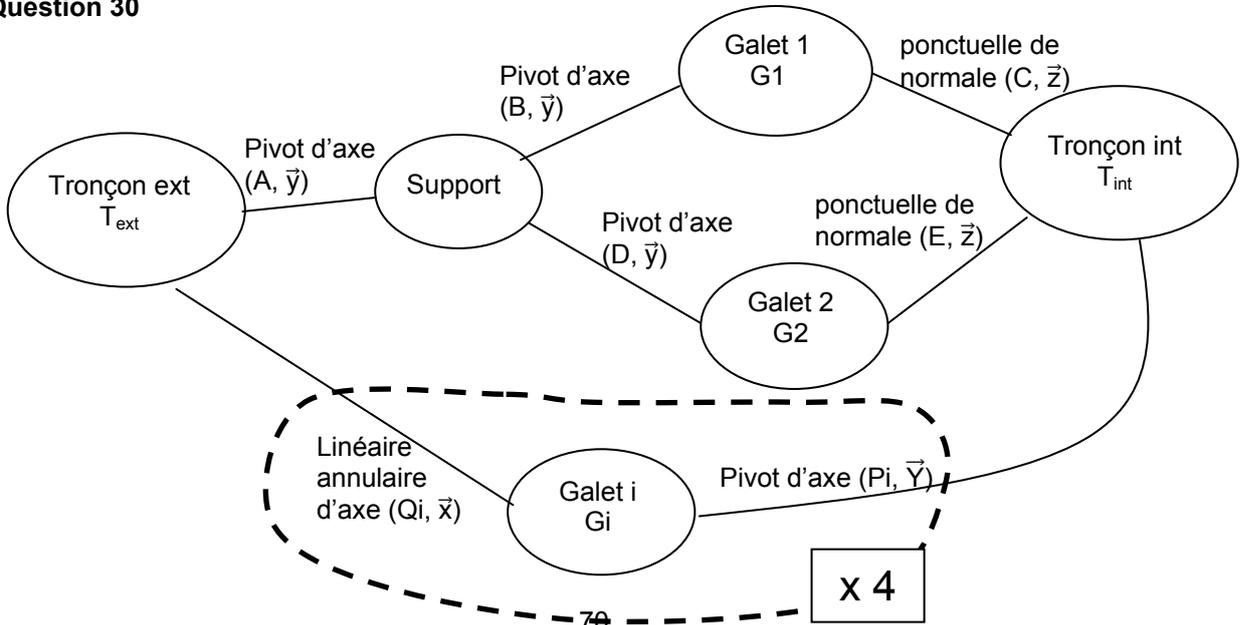


Remarque : dans la dernière norme la liaison linéaire rectiligne n'existe pas.

Équivalent à :



Question 30



$$h = I_s - 6(N-1) + m$$

$$I_s = \text{inconnues statiques} = 2 \times (5+5+5+1+1) + 4 \times (2+5) = 62$$

$$N = \text{nb de pièces} = 12$$

$$m = \text{mobilités} = 1 \text{ utile} + 8 \text{ internes (les rotations des galets autour d'eux-mêmes)}$$

$$h = 62 - 66 + 9 \text{ soit : } h = 5$$

Le guidage est hyperstatique d'ordre 5. Cela permet de garantir un guidage rigide et précis. En contrepartie, des conditions de bon fonctionnement devront être respectées.

Ces conditions seront :

- coaxialité des axes des liaisons sphère/cylindre ;
- entraxe entre les liaisons sphère cylindre précis ;
- orientation des liaisons ponctuelles par rapport aux sphère/cylindre.

Ces conditions induisent pour chacune des pièces entrant en jeu des conditions géométriques.

Question 31

Partant de plaques d'aluminium matricées pour obtenir les évidements, celles-ci sont maintenues par des profilés d'angles extrudés également en aluminium. Les rails d'angles sont en acier montés précontraints afin de maintenir les tubes en compression. Le tout assemblé par éléments filetés.

Partie 5 - Synthèse

Question 32

Question n°	Nom valeur	Valeur calculée	Données CdC
8	Couple moteur	3,91 N·m	4 N·m
15	Couple déséquilibre	$1,65 \cdot 10^{-4}$ N·m	$5 \cdot 10^{-2}$ N·m
21	Vitesse travelling	6,8 km·h ⁻¹	> 4 km·h ⁻¹
28	Flèche en bout de bras	$4,36 \cdot 10^{-2}$ mm	< 1mm

Les valeurs calculées et présentées dans le tableau ci-dessus montrent que le bras grue LOUMA satisfait aux exigences du cahier des charges.