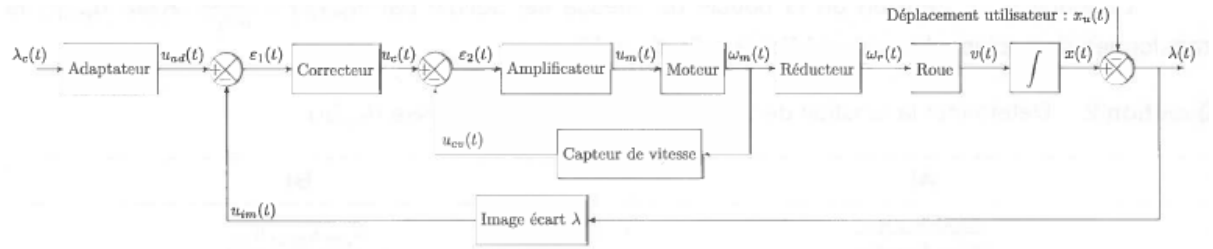


Question 1. Réponse E

Il faut $K_{ad} = K_{im}$ pour que l'asservissement « fonctionne », c'est-à-dire que l'écart soit nul lorsque la sortie est égale à la consigne.

Question 2. Réponse C.



$$H_{bv}(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_c(p)} = \frac{D(p)}{1 + D(p) \cdot R(p)} \text{ avec } D(p) = K_{am} \cdot \frac{K_{mot}}{1 + \frac{2\xi_{mot}}{\omega_{mot}} p + \frac{1}{\omega_{mot}^2} p^2} \text{ et } R(p) = K_{cv}$$

$$\begin{aligned} \text{Soit : } H_{bv}(p) &= \frac{\frac{K_{am} \cdot K_{mot}}{1 + \frac{2\xi_{mot}}{\omega_{mot}} p + \frac{1}{\omega_{mot}^2} p^2}}{1 + \frac{K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot}}{1 + \frac{2\xi_{mot}}{\omega_{mot}} p + \frac{1}{\omega_{mot}^2} p^2}} = \frac{K_{am} \cdot K_{mot}}{1 + \frac{2\xi_{mot}}{\omega_{mot}} p + \frac{1}{\omega_{mot}^2} p^2 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot}} \\ &= \frac{K_{am} \cdot K_{mot} / (1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot})}{1 + \frac{2\xi_{mot}}{\omega_{mot} (1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot})} p + \frac{1}{\omega_{mot}^2 (1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot})} p^2} \end{aligned}$$

Question 3. Réponse D.

$t_{r5\%}$ minimum pour $\xi=0,69$

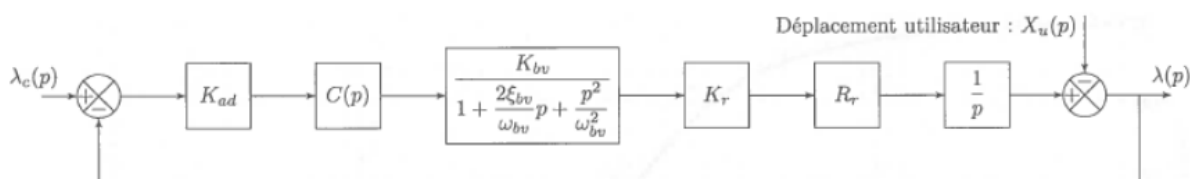
$$\omega_{bv} = \omega_{mot} \sqrt{1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot}}$$

$$\frac{2\xi_{mot}}{\omega_{mot} (1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot})} = \frac{2\xi_{bv}}{\omega_{bv}} \rightarrow \xi_{bv} = \frac{\xi_{mot}}{\sqrt{1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot}}} = 0,69$$

$$\text{Soit : } \frac{\xi_{mot}^2}{1 + K_{cv} \cdot K_{am} \cdot K_{mot}} = 0,69^2 \rightarrow K_{am} = \left(\frac{\xi_{mot}^2}{0,69^2} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_{cv} \cdot K_{mot}}$$

$$\text{Remarque : } \frac{\sqrt{2}}{2} \neq 0,69$$

Question 4. Réponse B.



La réponse B correspond à la FTBO demandée

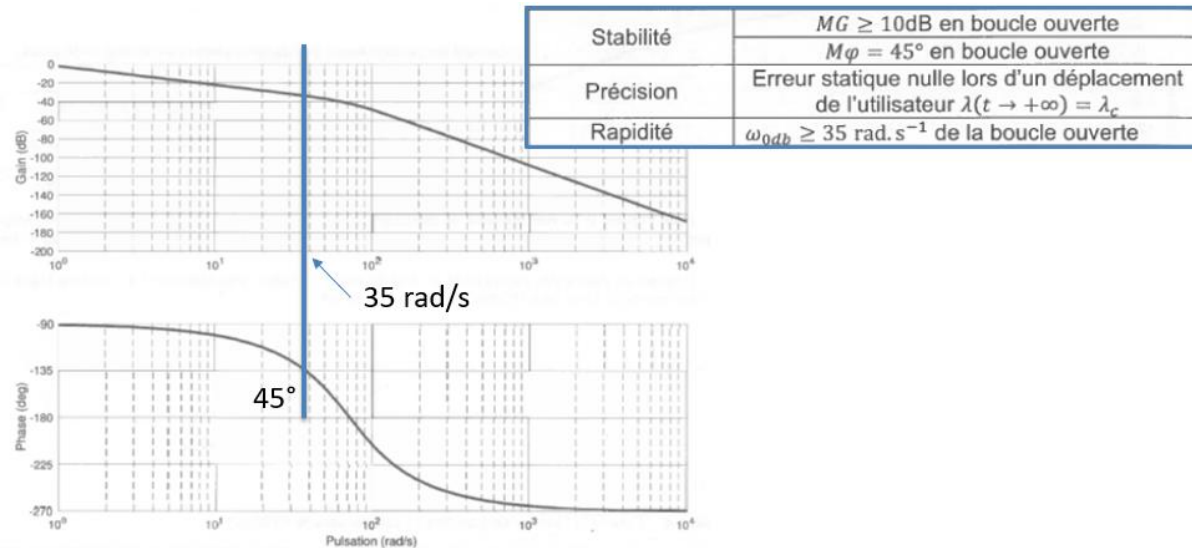
Question 5. Réponses A et B.

La classe vaut 1 → D'après le cours, l'asservissement est précis sans perturbation.

L'intégrateur est en amont de la perturbation $Xu(p)$ modélisée par une rampe → D'après le cours, l'erreur est non nulle mais finie.

Question 6. Réponse D.

D'après la figure 3, si on vérifie le critère marge de phase, alors la bande passante est validée.



Question 7. Réponse A.

$$\text{Arg}(FTBO(j\omega)) = -90^\circ - \arctan\left(\frac{\frac{2\xi_{bv}}{\omega_{bv}}\omega}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_{bv}^2}}\right)$$

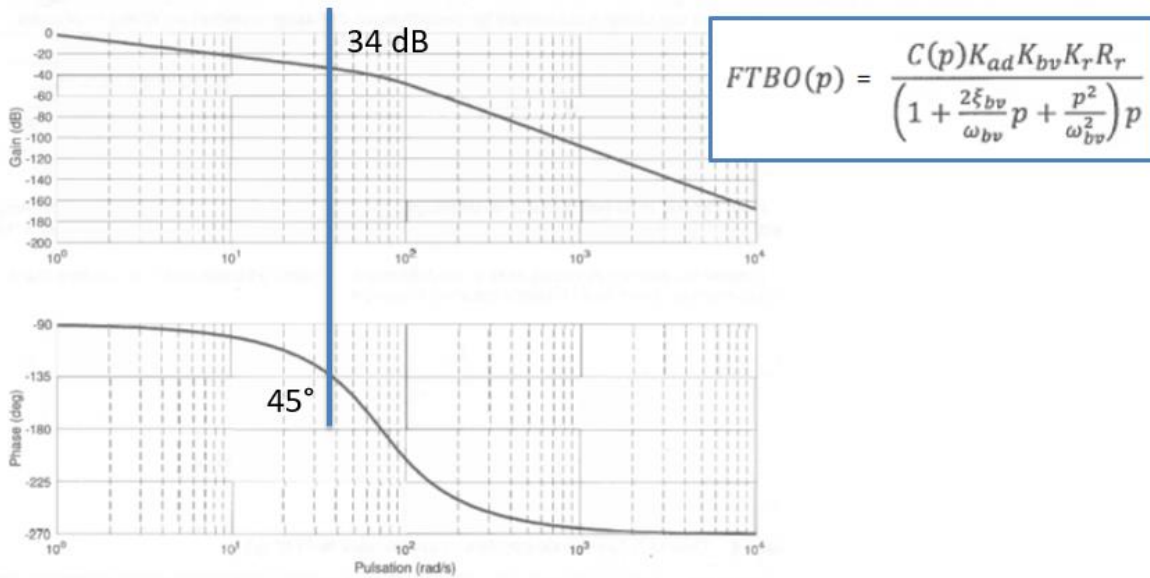
$$\omega_{-135^\circ} \text{ est tel que } \frac{2\xi_{bv}}{\omega_{bv}}\omega_{-135^\circ} = 1 - \frac{\omega_{-135^\circ}^2}{\omega_{bv}^2} \text{ soit } \omega_{-135^\circ}^2 + \frac{2\xi_{bv}}{\omega_{bv}}\omega_{bv}^2\omega_{-135^\circ} - \omega_{bv}^2 = 0$$

$$\omega_{-135^\circ} = -\xi_{bv}\omega_{bv} + \sqrt{(\xi_{bv}\omega_{bv})^2 + \omega_{bv}^2} = \left(\sqrt{\xi_{bv}^2 + 1} - \xi_{bv}\right)\omega_{bv}$$

Question 8. Réponse B

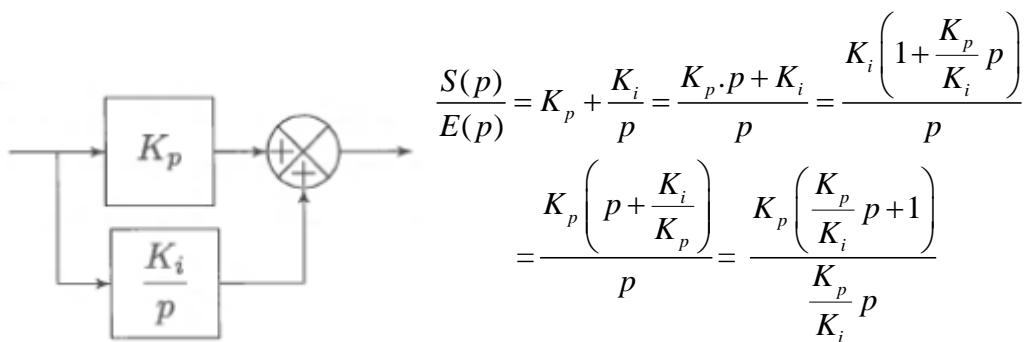
Exigence	Critères	Niveaux
Suivre un utilisateur à une distance imposée	Stabilité	$MG \geq 10\text{dB}$ en boucle ouverte
		$M\varphi = 45^\circ$ en boucle ouverte
	Précision	Erreur statique nulle lors d'un déplacement de l'utilisateur $\lambda(t \rightarrow +\infty) = \lambda_c$
	Rapidité	$\omega_{0db} \geq 35 \text{ rad.s}^{-1}$ de la boucle ouverte

Question 9. Réponses A et D.



L'expression littérale D et la valeur numérique A correspondent à un gain K_p permettant de vérifier le critère marge de phase.

Question 10. Réponse C.



Question 11. Réponse A.

$$\frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K_p \left(\frac{K_p}{K_i} p + 1\right)}{\frac{K_p}{K_i} p} = \frac{K_p (T_i p + 1)}{T_i p}$$

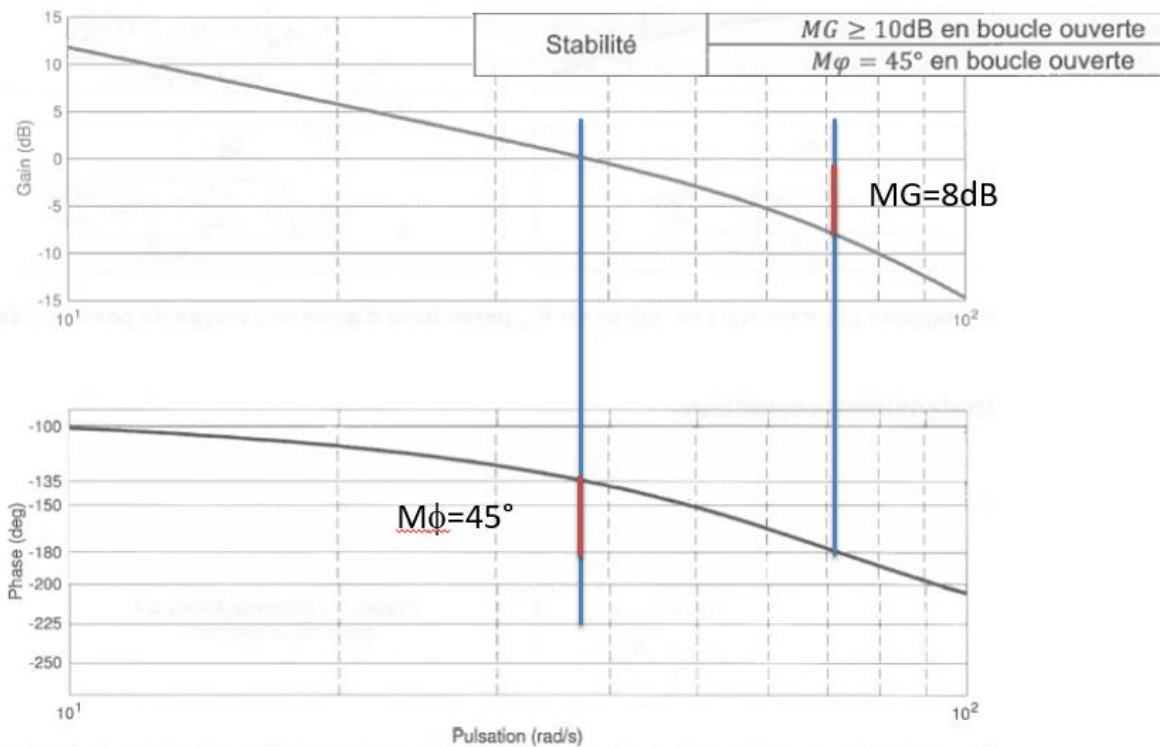
$$K_p = 10^{34/20} \approx 50$$

$$\omega_{0dB} \approx 35 \text{ rad/s}$$

K_p permet d'avoir une marge de phase de 45° .

Il faut choisir T_i ne modifiant pas trop cette marge de phase, c'est-à-dire $1/T_i$ très petit devant ω_{0dB} .

Question 12. Réponse B.



Le critère de marge de phase n'est pas vérifié mais elle est néanmoins positive donc le système est stable en boucle fermée.

Question 13. Réponse D.

Un correcteur de fonction $K \cdot \frac{1+aTp}{1+Tp}$ avec $a>1$ permettra de conserver la marge de phase tout en augmentant la marge de gain si K , a et T sont bien choisis.

Question 14. Réponse D.

Phénomène de saturation

Question 15. Réponse C .

$$\left. \begin{aligned} \tan(\phi) &= \frac{MF}{\rho} \\ \tan(q\phi) &= \frac{RM}{\rho} \end{aligned} \right\} \rightarrow RM = MF \cdot \frac{\tan(q\phi)}{\tan(\phi)}$$

Question 16. Réponses B et D.

$$\tan(\phi) = \frac{MF}{\rho} \quad \tan(q\phi) = \frac{RM}{\rho} \quad RM + MF = L \rightarrow MF = L \frac{\tan(\phi)}{\tan(\phi) + \tan(q\phi)} \quad \text{et} \quad RM = L \frac{\tan(q\phi)}{\tan(\phi) + \tan(q\phi)}$$

$$RM = L \frac{\tan(q\phi)}{\tan(\phi) + \tan(q\phi)} = L \frac{\frac{\sin(q\phi)}{\cos(q\phi)}}{\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi)} + \frac{\sin(q\phi)}{\cos(q\phi)}} = L \frac{\frac{\sin(q\phi)}{\cos(q\phi)} \cos(q\phi) \cos(\phi)}{\sin(q\phi) \cos(\phi) + \cos(q\phi) \sin(\phi)} = L \frac{\sin(q\phi) \cos(\phi)}{\sin(\phi + q\phi)}$$

$$MF = L \frac{\tan(\phi)}{\tan(\phi) + \tan(q\phi)} = L \frac{\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi)}}{\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi)} + \frac{\sin(q\phi)}{\cos(q\phi)}} = L \frac{\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi)} \cos(q\phi) \cos(\phi)}{\sin(q\phi) \cos(\phi) + \cos(q\phi) \sin(\phi)} = L \frac{\cos(q\phi) \sin(\phi)}{\sin(\phi + q\phi)}$$

Question 17. Réponse B.

$$\left. \begin{array}{l} \tan(\phi) = \frac{MF}{\rho} \\ MF = L \frac{\tan(\phi)}{\tan(\phi) + \tan(q\phi)} \end{array} \right\} \rightarrow \rho = L \frac{1}{\tan(\phi) + \tan(q\phi)}$$

Question 18. Réponse A.

$$\left. \begin{array}{l} \tan(\Phi_g^{th}) = \frac{L/2}{\rho - v_a/2} \\ \tan(\Phi_d^{th}) = \frac{L/2}{\rho + v_a/2} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rho = \frac{v_a}{2} + \frac{L/2}{\tan(\Phi_g^{th})} \\ \rho = -\frac{v_a}{2} + \frac{L/2}{\tan(\Phi_d^{th})} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \tan(\Phi_g^{th}) = \frac{L/2}{-\frac{v_a}{2} + \frac{L/2}{\tan(\Phi_d^{th})} - \frac{v_a}{2}} = \frac{L \tan(\Phi_d^{th})}{L - 2v_a \tan(\Phi_d^{th})} \\ \tan(\Phi_d^{th}) = \frac{L/2}{\frac{v_a}{2} + \frac{L/2}{\tan(\Phi_g^{th})} + \frac{v_a}{2}} = \frac{L \tan(\Phi_g^{th})}{L + 2v_a \tan(\Phi_g^{th})} \end{array} \right.$$

Question 19. Réponse B.

$$\overrightarrow{OI} + \overrightarrow{IB_d} + \overrightarrow{B_dC_d} + \overrightarrow{C_dD_d} + \overrightarrow{D_dO} = \vec{0}$$

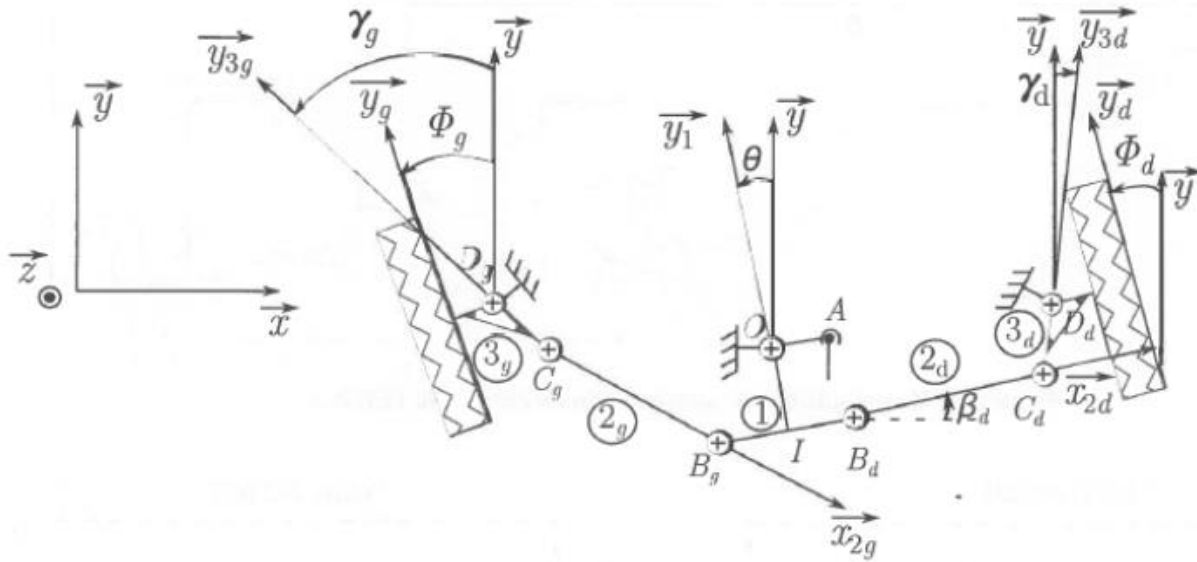
$$-r\vec{y}_1 + b\vec{x}_1 + c\vec{x}_{2d} + d\vec{y}_{3d} - \frac{v_a}{2}\vec{x} - e\vec{y} = \vec{0}$$

$$\left. \begin{array}{l} proj / \vec{x} : r \sin \theta + b \cos \theta + c \cos \beta_d - d \sin \gamma_d - \frac{v_a}{2} = 0 \\ proj / \vec{y} : -r \cos \theta + b \sin \theta + c \sin \beta_d + d \cos \gamma_d - e = 0 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \beta_d = \arcsin \left(\frac{r \cos \theta - b \sin \theta - d \cos \gamma_d + e}{c} \right) \\ r \sin \theta + b \cos \theta + c \cos \left(\arcsin \left(\frac{r \cos \theta - b \sin \theta - d \cos \gamma_d + e}{c} \right) \right) - d \sin \gamma_d - \frac{v_a}{2} = 0 \end{array} \right.$$

$$\overrightarrow{OI} + \overrightarrow{IB_g} + \overrightarrow{B_gC_g} + \overrightarrow{C_gD_g} + \overrightarrow{D_gO} = \vec{0}$$

$$-r\vec{y}_1 - b\vec{x}_1 - c\vec{x}_{2g} + d\vec{y}_{3g} + \frac{v_a}{2}\vec{x} - e\vec{y} = \vec{0}$$

$$\left. \begin{array}{l} proj / \vec{x} : r \sin \theta - b \cos \theta - c \cos \beta_g - d \sin \gamma_g + \frac{v_a}{2} = 0 \\ proj / \vec{y} : -r \cos \theta - b \sin \theta - c \sin \beta_g + d \cos \gamma_g - e = 0 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \beta_g = \arcsin \left(\frac{-r \cos \theta - b \sin \theta + d \cos \gamma_g - e}{c} \right) \\ r \sin \theta - b \cos \theta - c \cos \left(\arcsin \left(\frac{-r \cos \theta - b \sin \theta + d \cos \gamma_g - e}{c} \right) \right) - d \sin \gamma_g + \frac{v_a}{2} = 0 \end{array} \right.$$



Question 20. Réponse B.

$$\phi_g = \gamma_g + \delta_g$$

$$\gamma_g = \phi_g - \delta_g \text{ avec } \delta_g < 0$$

$$\phi_d = \gamma_d + \delta_d$$

$$\gamma_d = \phi_d - \delta_d \text{ avec } \delta_d > 0$$

$$\phi_g = \vec{y}, \vec{y}_g = \vec{y}, \vec{y}_{3g} + \vec{y}_{3g}, \vec{y}_g = \gamma_g + \delta_g$$

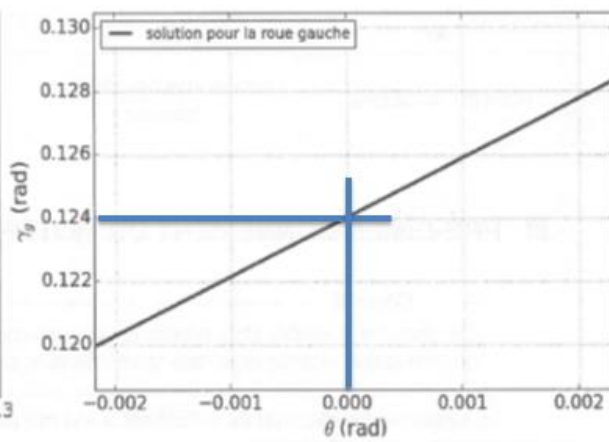
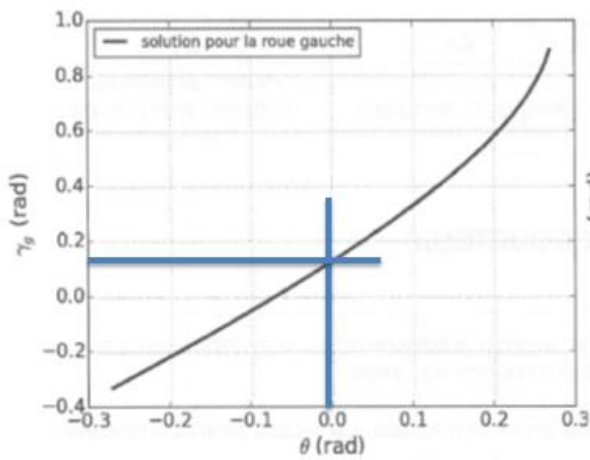
$$\theta = 0 \rightarrow \phi_g = 0 \rightarrow \gamma_g = -\delta_g \text{ avec } \delta_g < 0$$

$$\phi_d = \vec{y}, \vec{y}_d = \vec{y}, \vec{y}_{3d} + \vec{y}_{3d}, \vec{y}_d = \gamma_d + \delta_d$$

$$\theta = 0 \rightarrow \phi_d = 0 \rightarrow \gamma_d = -\delta_d \text{ avec } \delta_d > 0$$

$$\phi_g = \gamma_g - 0,124$$

$$\phi_d = \gamma_d + 0,124$$



Question 21. Réponse C.

Risque de dérapage

Question 22. Réponse D

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{react} ds \vec{z} - f p_{react} ds \vec{e}_\alpha \\ -r_{SC} p_{react} ds \vec{e}_\alpha - f p_{react} r_{SC} ds \vec{z} \end{array} \right\}_{O_{SC}}$$

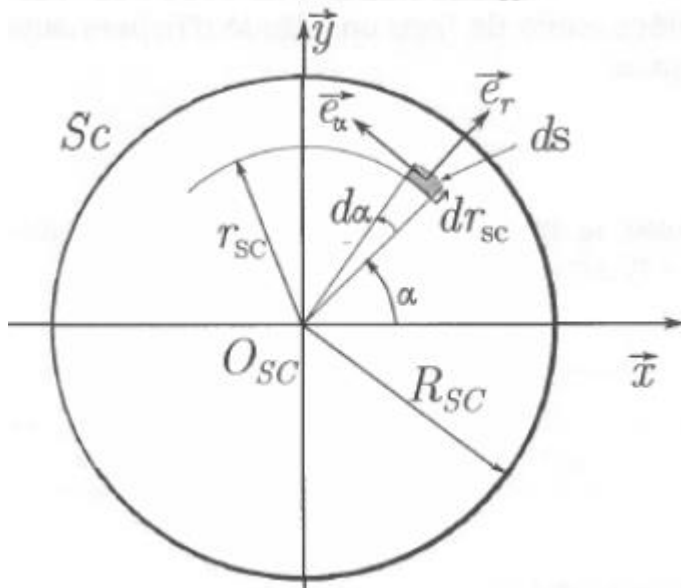
Question 23. Réponses B et D.

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{react} ds \vec{z} - f p_{react} ds \vec{e}_\alpha \\ -r_{SC} p_{react} ds \vec{e}_\alpha - f p_{react} r_{SC} ds \vec{z} \end{array} \right\}_{O_{SC}}$$

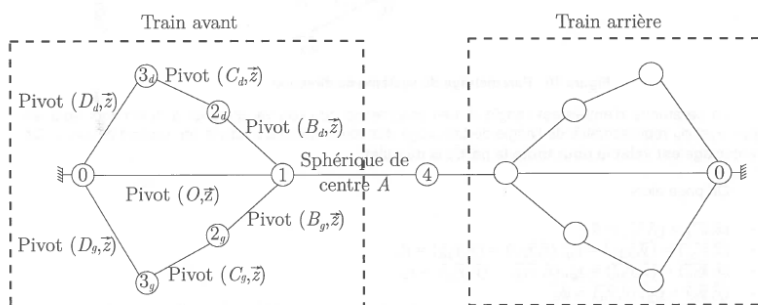
Modèle local :

Un calcul intégral classique sur le disque donne la réponse D ou la réponse B (réponses identiques) :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{react} = p_{react} \pi R_{SC}^2 \vec{z} \\ C_{react} = -2f p_{react} \frac{R_{SC}^3}{3} \pi \vec{z} \end{array} \right\}_{O_{SC}} \quad \left\{ \begin{array}{l} F_{react} = p_{react} \pi R_{SC}^2 \vec{z} \\ C_{react} = -\frac{2}{3} f R_{SC} F_{react} \vec{z} \end{array} \right\}_{O_{SC}}$$



Question 24. Réponse D.

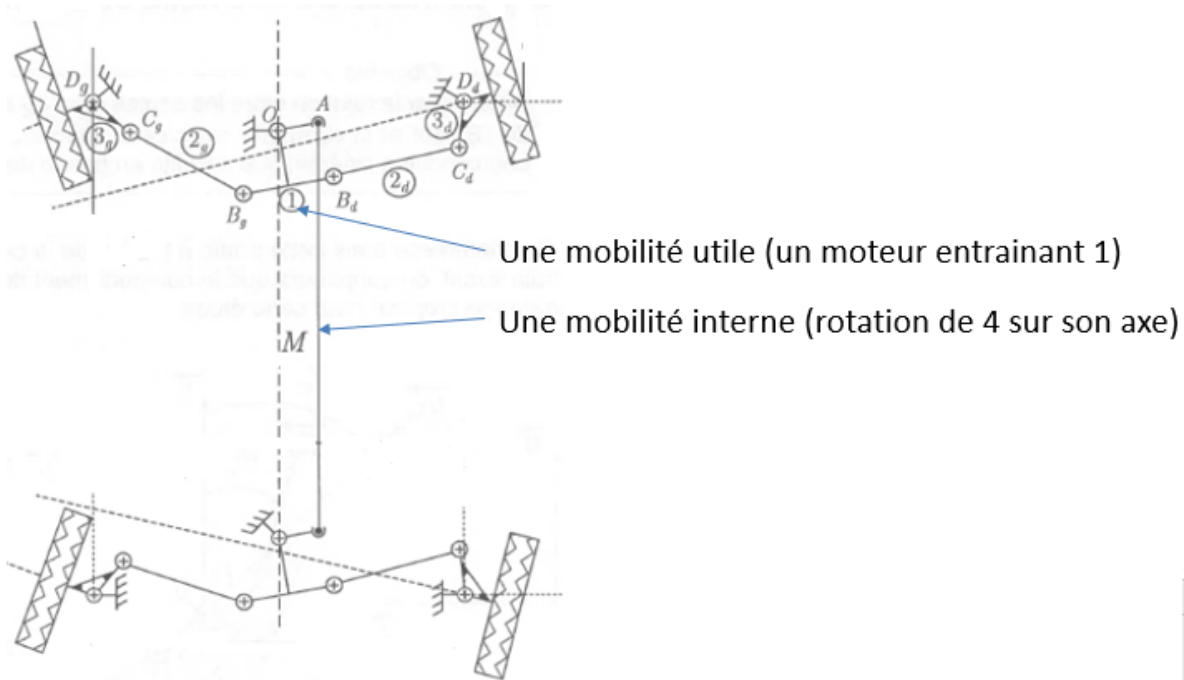


2*7 pivots + 2 rotules

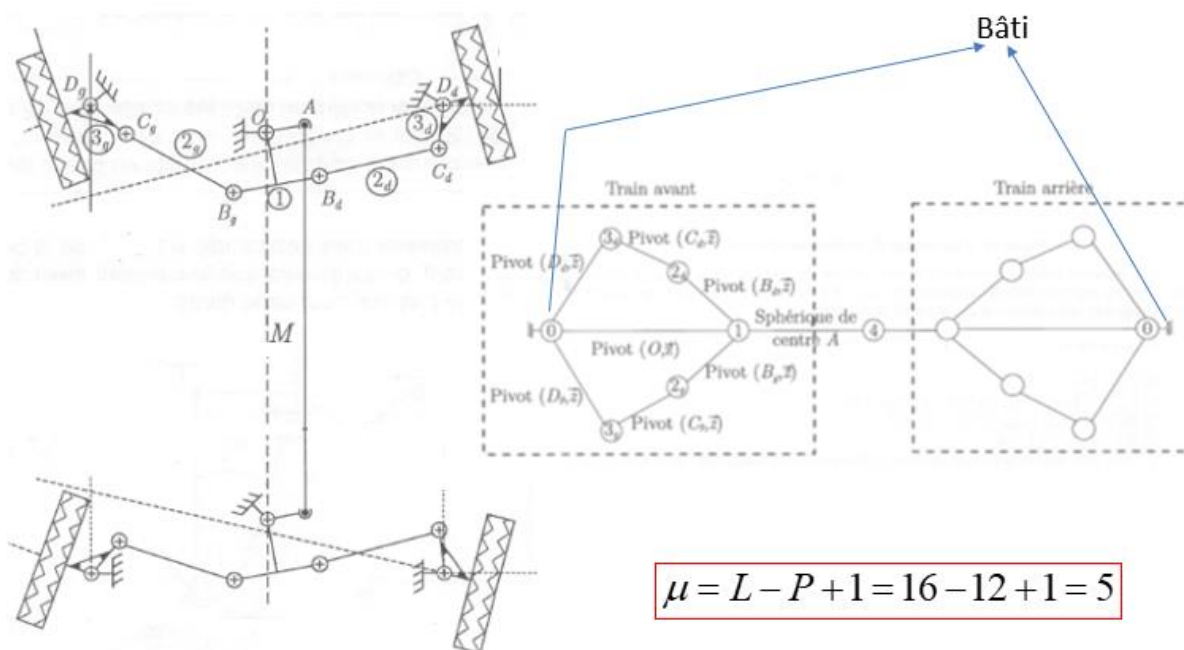
2*7+2*3=20

lc = 20

Question 25. Réponse B.



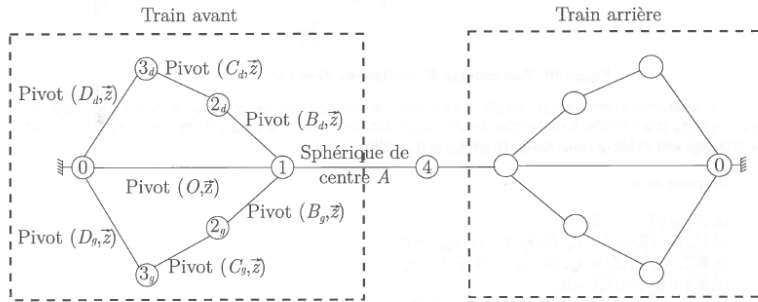
Question 26. Réponse C.



Question 27. Réponse B

$$h = m + 6\mu - I_c = 2 + 30 - (14 + 6) = 12$$

$$14 \text{ pivots} + 2 \text{ rotules} \rightarrow I_c = 14 + 6$$



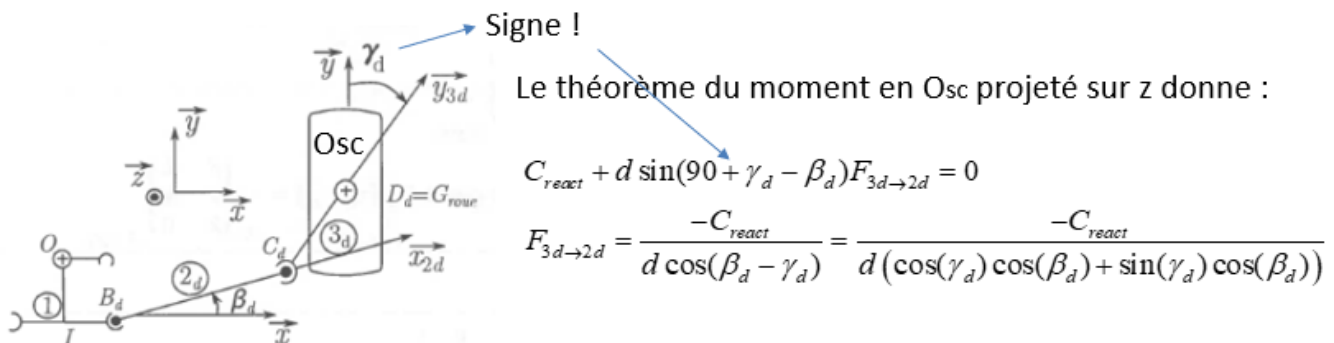
Question 28. Réponses A et D.

La biellette 2d est soumise à deux glisseurs en Bd et Cd et est supposée à l'équilibre par rapport à un repère galiléen. D'après le PFS, les résultantes de ces glisseurs sont portées par la droite BdCd.

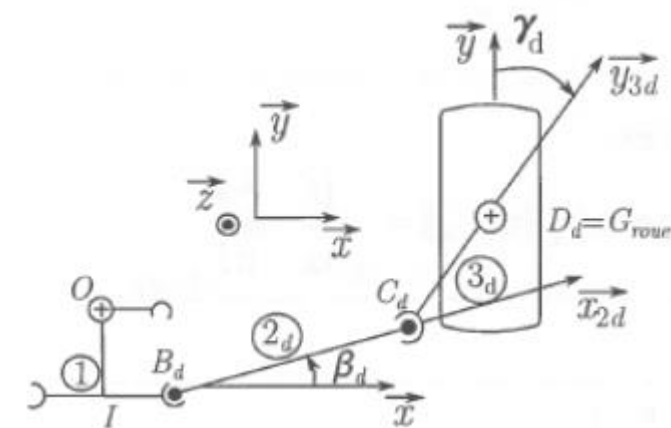
Question 29. Réponses C et D.

L'ensemble isolé est soumis à trois actions. La réponse à la question précédente donne les réponses C ou D suivant le choix du repère de projection du torseur de l'action de la biellette 2d. (F_{2z} est nul d'après la question 28)

Question 30. Réponse A



Question 31. Réponse A.



$$\vec{OI} = -r \vec{y}_1 \quad (\text{Le point O est le centre de rotation de la pièce 1 par rapport au bâti})$$

$$\vec{IB_g} = -b \vec{x}_1, \quad \vec{IB_d} = b \vec{x}_1$$

Le rapport de transmission entre l'arbre moteur et le pignon de la pièce 1 (voir figure 7) est noté $k_{trans} < 1$. De ce fait, $\frac{\dot{\theta}}{\omega} = k_{trans}$ avec ω vitesse de rotation du moteur et $\dot{\theta}$ vitesse de rotation de la pièce 1.

Couple induit par F_2 en 0 : $C_o = (r \cos(\beta_d) + b \sin(\beta_d)) F_2$

$$\frac{C_o}{C_{rd}} = \frac{1}{k_{trans}}$$

Question 32. Réponse C

$$E = \{1, 2_d, 3_d, \text{roue}\}$$

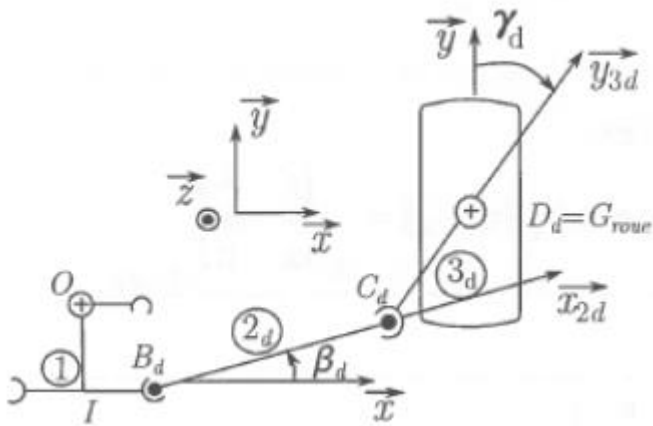
$$\frac{dE_c(E/R_0)}{dt} = P(\bar{E} \rightarrow E/R_0) + P_i(E)$$

$$\frac{dE_c(E/R_0)}{dt} = 0 \text{ car les effets dynamiques (accélérations) sont négligeables}$$

$$P_i(E) = 0 \text{ car les liaisons sont supposées parfaites}$$

$$k = \frac{\dot{\phi}_d}{\dot{\theta}} = \frac{\dot{\gamma}_d}{\dot{\theta}}$$

$$\frac{\dot{\theta}}{\omega} = k_{trans} \longrightarrow \dot{\gamma}_d = k \cdot k_{trans} \cdot \omega$$



$$P(\bar{E} \rightarrow E/R_0) = P_{mot} \rightarrow 1/R_0 + P_{sol} \rightarrow \text{roue}/R_0 = C_{rd} \cdot \omega + C_{react} \cdot \dot{\gamma}_d = C_{rd} \cdot \omega + C_{react} \cdot k \cdot k_{trans} \cdot \omega$$

Question 33. Réponse D.

Les quatre moments de pivotement ramenés à l'arbre moteur s'additionnent car les quatre roues pivotent.

Question 34. Réponse C.

$$J_{eq} \frac{d\omega(t)}{dt} = k_c i(t) - C_r(t)$$

$$i(t) = \frac{u(t) - k_e \omega(t)}{R}$$

$$J_{eq} \frac{d\omega(t)}{dt} = k_c \frac{u(t) - k_e \omega(t)}{R} - C_r(t)$$

$$\omega(t) + \frac{RJ_{eq}}{k_e k_c} \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{k_e k_c}{R} \left(k_c \frac{u(t)}{R} - C_r(t) \right)$$

$$\text{Premier ordre} \rightarrow t_{r5\%} = 3\tau = 3 \frac{RJ_{eq}}{k_e k_c} = 3 \frac{RJ_{eq}}{k_e^2}$$

Question 35. Réponse D.

$$\overrightarrow{\Omega}_{2d/0} = \dot{\beta}_d \vec{z} = k' \dot{\theta} \vec{z}$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{V_{B_d \in 2d/0}} &= \overrightarrow{V_{B_d \in 2d/1}} + \overrightarrow{V_{B_d \in 1/0}} = \overrightarrow{V_{O \in 1/0}} + \overrightarrow{B_d O} \wedge \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \\ &= \dot{\theta} \vec{z} \wedge (-r \vec{y}_1 + b \vec{x}_1) = r \dot{\theta} \vec{x}_1 + b \dot{\theta} \vec{y}_1\end{aligned}$$

Question 36. Réponses A et B.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{V_{G_2 \in 2d/0}} &= \overrightarrow{V_{B_d \in 2d/0}} + \overrightarrow{G_2 B_d} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2d/0}} \\ \text{et } \overrightarrow{\Omega_{2d/0}} &= k' \dot{\theta} \vec{z}\end{aligned}$$

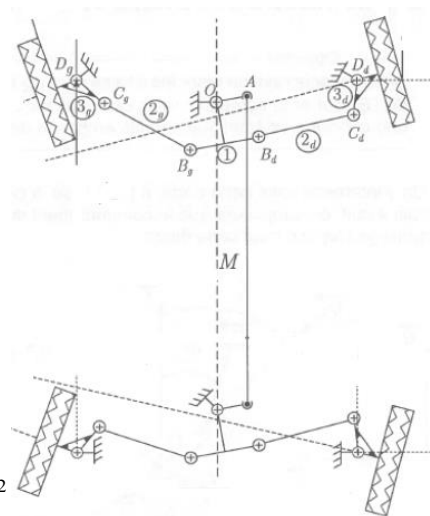
Question 37. Réponse C.

$$\{C_{2d/0}\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{c} m_2 \overrightarrow{V_{G_2 \in 2d/0}} \\ \overrightarrow{\sigma_{G_2, 2d/0}} \end{array} \right\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{c} m_2 \dot{\theta} (c_x \vec{x}_{2d} + c_y \vec{y}_{2d}) \\ \overrightarrow{I_{2d/G_2} \Omega_{2d/0}} \end{array} \right\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{c} m_2 \dot{\theta} (c_x \vec{x}_{2d} + c_y \vec{y}_{2d}) \\ B_2 k' \dot{\theta} \vec{z} \end{array} \right\}_{G_2}$$

Question 38. Réponse A.

$$Ec_{2d/0} = \frac{1}{2} (m_2 \overrightarrow{V_{G_2 \in 2d/0}} \cdot \overrightarrow{V_{G_2 \in 2d/0}} + \overrightarrow{\sigma_{G_2, 2d/0}} \cdot \overrightarrow{\Omega_{2d/0}}) = \frac{1}{2} (m_2 \dot{\theta}^2 (c_x^2 + c_y^2) + B_2 k'^2 \dot{\theta}^2)$$

Question 39. Réponse A.



$$\dot{\theta}^2 = k_{trans}^2 \cdot \omega^2 \quad J_{eq} = (I_4 + 2I_1 + 4 \cdot (I_r + I_3 + I_2)) k_{trans}^2$$

Question 40. Réponse C.

A la limite du basculement, (N1=N2=0)

On pourrait retenir également la proposition (T1=T2=0) mais il manque certaines hypothèses sur la répartition des actions du sol sur les 4 roues...

Question 41. Réponse D.

Propriété du centre d'inertie d'un ensemble de solides.

Question 42. Réponse A.

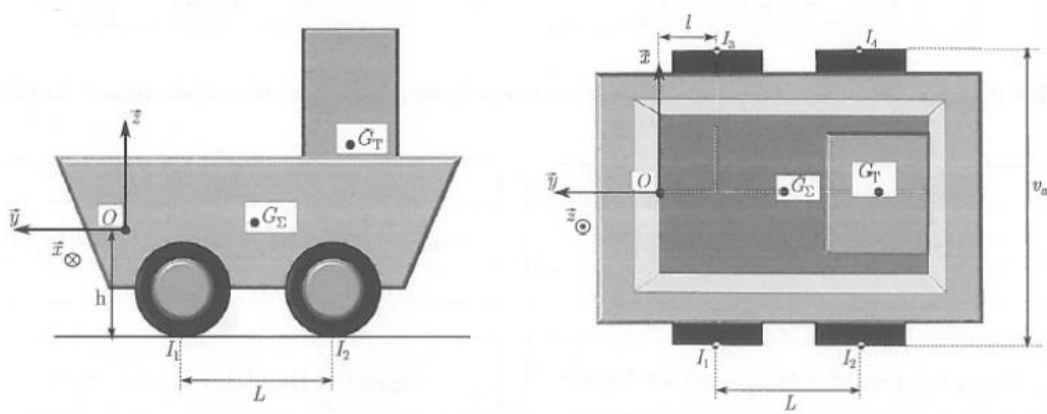
(O, \vec{y} , \vec{z}) plan de symétrie $\rightarrow E_\Sigma = F_\Sigma = 0$

Question 43. Réponse D.

Propriétés des matrices vues en cours

Question 44. Réponse B.Théorème du moment dynamique appliqué à $\{\Sigma, T\}$ en projection sur y .**Question 45. Réponse C.**

$$\left\{ C_{\{\Sigma, T\}/0} \right\}_G = \left\{ \frac{(m_\Sigma + m_T) \overrightarrow{V_{G \in \{\Sigma, T\}/0}}}{\overrightarrow{\sigma_{G, \{\Sigma, T\}/0}}} \right\}_G = \left\{ \frac{(m_\Sigma + m_T) \rho \dot{\theta} \vec{y}}{\overrightarrow{I_{\{\Sigma, T\}/G} \Omega_{\{\Sigma, T\}/0}}} \right\}_{G_2} = \left\{ \frac{(m_\Sigma + m_T) \rho \dot{\theta} \vec{y}}{-D \dot{\theta} \vec{y} + C \dot{\theta} \vec{z}} \right\}_{G_2}$$

Question 46. Réponse B

$$\overrightarrow{\sigma_{I_3, \{\Sigma, T\}/0}} = \overrightarrow{\sigma_{G, \{\Sigma, T\}/0}} + \overrightarrow{I_3 G} \wedge m \overrightarrow{V_{G \in \{\Sigma, T\}/0}} = \overrightarrow{\sigma_{G, \{\Sigma, T\}/0}} + \left(-\frac{v_a}{2} \vec{x} + (l + y_G) \vec{y} + (h + z_G) \vec{z} \right) \wedge m V \vec{y}$$

$$\overrightarrow{\sigma_{I_3, \{\Sigma, T\}/0}} = \overrightarrow{\sigma_{G, \{\Sigma, T\}/0}} - m V \left(\frac{v_a}{2} \vec{z} + (h + z_G) \vec{x} \right)$$

Question 47. Réponses A et B.

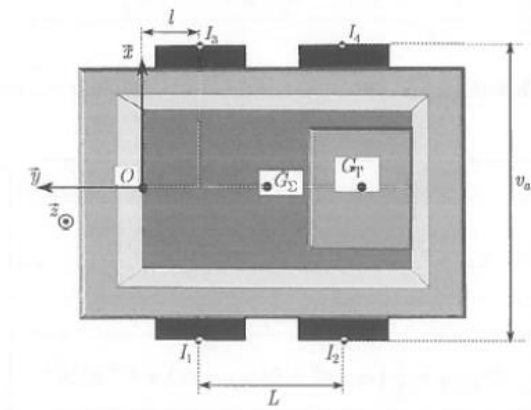
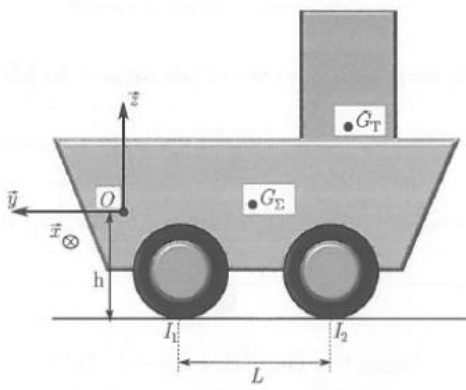
Relation du cours

Question 48. Réponse A.

$$\overrightarrow{\delta_{I_3, \{\Sigma, T\}/R_0}} \cdot \vec{u} = \frac{d \overrightarrow{\sigma_{I_3, \{\Sigma, T\}/0}}}{dt} \bigg|_0 \cdot \vec{u} - m \left(\overrightarrow{V_{I_3/R_0}} \wedge \overrightarrow{V_{G/R_0}} \right) \cdot \vec{u} = \frac{d \overrightarrow{\sigma_{I_3, \{\Sigma, T\}/0} \cdot \vec{y}}}{dt} - \overrightarrow{\sigma_{I_3, \{\Sigma, T\}/0}} \cdot \frac{d \vec{y}}{dt} \bigg|_0 - m \left(\overrightarrow{V_{I_3/R_0}} \wedge \rho \dot{\theta} \vec{y} \right) \cdot \vec{y}$$

$$= B_{Gy} \ddot{\theta} - m V \dot{\theta} (h + z_G)$$

Question 49. Réponse A.



Question 50. Réponse D.

$$B_{G_y} \ddot{\theta} - mV \dot{\theta} (h + z_G) = v_a (N_1 + N_2 - \frac{mg}{2})$$

$\ddot{\theta} = 0$ et $N_1 + N_2 = 0$ à la limite du basculement

$$\text{Soit : } mV \dot{\theta} (h + z_G) = v_a \frac{mg}{2} \rightarrow z_G = -h + \frac{v_a g}{2V \dot{\theta}}$$