DM

TOUSSAINT

Statique

Système de positionnement de radar – Corrigé

Q.1. On utilise une fermeture géométrique.

$$\overrightarrow{AA}=\vec{0} \rightarrow \overrightarrow{AD}+\overrightarrow{DC}+\overrightarrow{CA}=\vec{0} \rightarrow \lambda.\vec{x}_2 + -x.\vec{x}_3 + +d.\vec{y}_1 = \vec{0}$$

$$\begin{cases}\lambda.\cos\theta - x.\cos\gamma = 0\\ \lambda.\sin\theta - x.\sin\gamma + d = 0\end{cases} \rightarrow \begin{cases}\cos\gamma = \dfrac{\lambda.\cos\theta}{x}\\ \sin\gamma + d = \dfrac{\lambda.\sin\theta + d}{x}\end{cases}$$

$$\left(\frac{\lambda.\cos\theta}{x}\right)^2 + \left(\frac{\lambda.\sin\theta + d}{x}\right)^2 = 1 \rightarrow \lambda^2 + d^2 + 2.d.\lambda.\sin\theta = x^2 \rightarrow \sin\theta = \frac{x^2-\lambda^2-d^2}{2.d.\lambda} \rightarrow \boxed{\theta = \arcsin\frac{x^2-\lambda^2-d^2}{2.d.\lambda}}$$

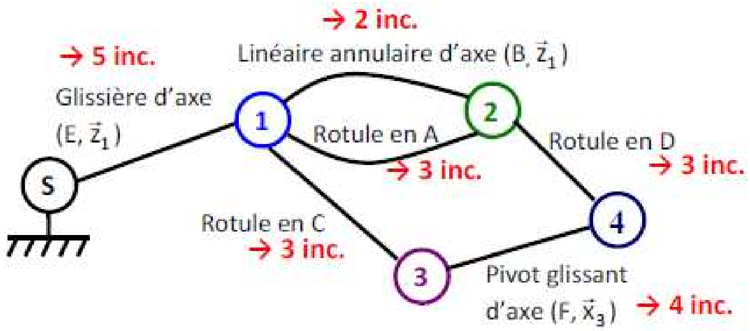
Q.2. A.N. :

Pour x = 500 mm $\rightarrow \theta = \arcsin\dfrac{500^2-710^2-230^2}{2\times230\times710} = -70°$

Pour x = 920 mm $\rightarrow \theta = \arcsin\dfrac{920^2-710^2-230^2}{2\times230\times710} = +62°$

C.d.C.F. : $-60° \leq \theta \leq 60° \rightarrow$ C.d.C.F. respecté.

Q.3. Graphe de structure.



Q2bis. m=mu+mi
2 mobilités utiles, translation de l'ensemble selon Z1 et déploiement du radar commandé par le vérin.
2 mobilités internes, rotation de 3 autour de l'axe défini par la droite (CD) et rotation de 4 autour de l'axe défini par la droite (CD)

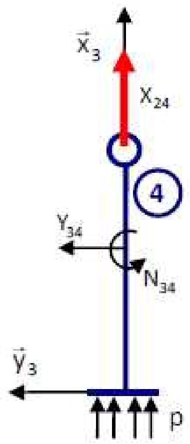
h=m+6γ-Ic = 4+12-16=0

Q.4. $\left\{F_{1\to 3}\right\} = {}_{C}\begin{Bmatrix} X_{13} & 0 \\ Y_{13} & 0 \\ Z_{13} & 0 \end{Bmatrix}_{(B3)}$ $\left\{F_{3\to 4}\right\} = {}_{F}\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{34} & M_{34} \\ Z_{34} & N_{34} \end{Bmatrix}_{(B3)}$ $\left\{F_{2\to 4}\right\} = {}_{D}\begin{Bmatrix} X_{24} & 0 \\ Y_{24} & 0 \\ Z_{24} & 0 \end{Bmatrix}_{(B3)}$

Q.5. On isole l'ensemble {3+4} et on effectue le Bilan des Actions Mécaniques Extérieures (BAME). Le système isolé est soumis à 2 forces → ces 2 forces ont même norme et sont directement opposées. Direction de $\overrightarrow{R_{1\to 3}}$ et de $\overrightarrow{R_{2\to 4}}$: $\vec{x}_3$. Par conséquent on a :

$$\left\{F_{1\to 3}\right\} = {}_{C}\begin{Bmatrix} X_{13} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(B3)} \quad \left\{F_{2\to 4}\right\} = {}_{D}\begin{Bmatrix} X_{24} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(B3)}$$

Q.6. On isole la tige 4 seule, on effectue le BAME et on applique le PFS.
Hypothèse : la haute pression est dans la cavité inférieure du vérin.



$X_{24} + p.S = 0 \rightarrow X_{24} = -p.S_p$

$\left\|\overrightarrow{R_{2\to 4}}\right\| = p.S_p$

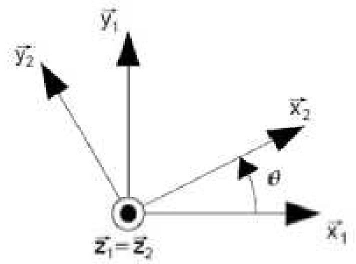
Q.7. On isole le solide 2, on effectue le BAME et on applique le PFS.
BAME :

- $\left\{F_{pesanteur\to 2}\right\} = {}_{G}\begin{Bmatrix} -P.\vec{z}_g \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$
- $\left\{F_{4\to 2}\right\} = {}_{D}\begin{Bmatrix} X_{42} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(B3)}$
- $\left\{F_{linannulaire\ 1\to 2}\right\} = {}_{B}\begin{Bmatrix} X'_{12} & 0 \\ Y'_{12} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(B1)}$
- $\left\{F_{rotule\ 1\to 2}\right\} = {}_{A}\begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{Bmatrix}_{(B1)}$

Théorème du moment statique au point A projetée sur $\vec{z}_2$:

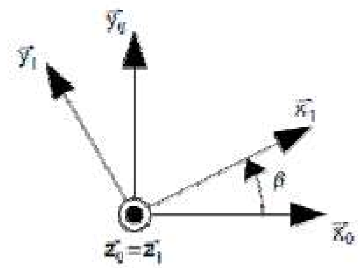
$(\overrightarrow{AG} \wedge -P.\vec{z}_g + \overrightarrow{AD} \wedge X_{42}.\vec{x}_3).\vec{z}_2 = 0$

Avec $\vec{z}_g = \sin\alpha.\vec{y}_0 + \cos\alpha.\vec{z}_0$; $\overrightarrow{AG} = R_2.\vec{x}_2 - h_2.\vec{z}_2$; $\overrightarrow{AD} = \lambda.\vec{x}_2$.



Calcul de $(\overrightarrow{AG} \wedge -P.\vec{z}_g).\vec{z}_2$:

$\left[(R_2.\vec{x}_2 - h_2.\vec{z}_2) \wedge -P.(\sin\alpha.\vec{y}_0 + \cos\alpha.\vec{z}_0)\right]\vec{z}_2 = -P.R_2.\sin\alpha.\cos(\beta+\theta)$



Calcul de $(\overrightarrow{AD} \wedge X_{42}.\vec{x}_3).\vec{z}_2$: $(\lambda.\vec{x}_2 \wedge X_{42}.\vec{x}_3).\vec{z}_2 = \lambda.X_{42}.\sin(\gamma-\theta)$

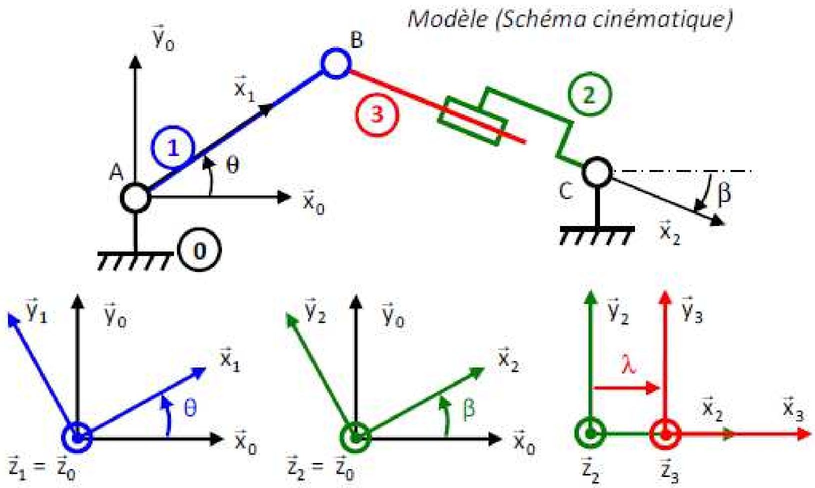
D'où : $-P.R_2.\sin\alpha.\cos(\beta+\theta) + \lambda.X_{42}.\sin(\gamma-\theta) = 0$

$\rightarrow \boxed{X_{42} = \dfrac{P.R_2.\sin\alpha.(\cos\beta+\theta)}{\lambda.\sin(\gamma-\theta)}}$

Q.8. et Q.9. A.N. : $X_{24}=-p.S_p \rightarrow p=\frac{X_{42}}{S}$

Benne de camion - Corrigé

Q.1.



Q.2. $\boxed{Q=V.S}$ avec S surface du piston telle que $S=\pi.\frac{d^2}{4}$ (d : diamètre du piston)

Q.3. $\overrightarrow{AA}=\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{BC}+\overrightarrow{CA}=\vec{0} \rightarrow L.\vec{x}_1+\lambda.\vec{x}_2-x_C.\vec{x}_0-y_C.\vec{y}_0=\vec{0}$

En projection dans la base 0 $\rightarrow \boxed{\begin{cases} L.\cos\theta+\lambda.\cos\beta-x_C=0 \\ L.\sin\theta+\lambda.\sin\beta-y_C=0 \end{cases}}$

Q1bis : paramètres variables : θ,β,λ , les autres sont constants

Q.4. $\begin{cases} L.\cos\theta+\lambda.\cos\beta-x_C=0 \\ L.\sin\theta+\lambda.\sin\beta-y_C=0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \cos\beta=\dfrac{x_C-L.\cos\theta}{\lambda} \\ \sin\beta=\dfrac{y_C-L.\sin\theta}{\lambda} \end{cases}$

$\rightarrow \left(\frac{x_C-L.\cos\theta}{\lambda}\right)^2+\left(\frac{y_C-L.\sin\theta}{\lambda}\right)^2=1 \rightarrow \boxed{\lambda=\sqrt{(x_C-L.\cos\theta)^2+(y_C-L.\sin\theta)^2}}$

Q.5. $\lambda=\sqrt{x_C{}^2+y_C{}^2+L^2-2.L.(x_C.\cos\theta+y_C.\sin\theta)} \rightarrow \dot{\lambda}=\dfrac{-\frac{1}{2}2.L.\left(-x_C.\dot{\theta}.\sin\theta+y_C.\dot{\theta}.\cos\theta\right)}{\sqrt{x_C{}^2+y_C{}^2+L^2-2.L.(x_C.\cos\theta+y_C.\sin\theta)}}$

On a $\dot{\lambda}=V \rightarrow \boxed{Q=S.\dfrac{-L.\left(-x_C.\dot{\theta}.\sin\theta+y_C.\dot{\theta}.\cos\theta\right)}{\sqrt{x_C{}^2+y_C{}^2+L^2-2.L.(x_C.\cos\theta+y_C.\sin\theta)}}}$

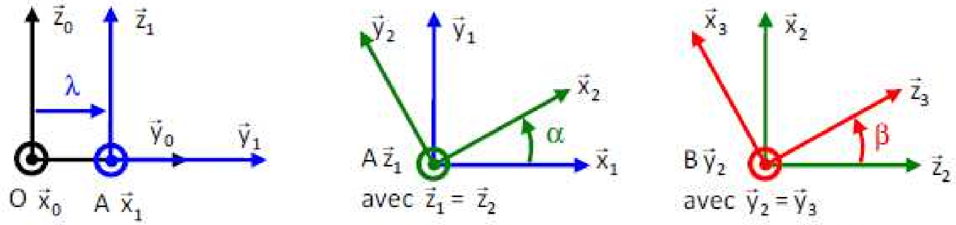
Q.6. $\dot{\theta}_{max}=70.Q$ et Q = 0,4 L/s $\rightarrow$ Q = $0,4.10^{-3}$ m³/s

$\rightarrow \dot{\theta}_{max}=70\times0,4.10^{-3}=0,028$ rad/s $\rightarrow \boxed{\dot{\theta}_{max}=0,27 \text{ tr/min} < 0,5 \text{ tr/min} \rightarrow \text{C.d.C.F. ok.}}$

Cinématique

Robot de peinture - Corrigé

Q.1.



$\overrightarrow{\Omega_{1/0}}=\vec{0}$ $\quad\quad$ $\overrightarrow{\Omega_{2/1}}=\dot{\alpha}.\vec{z}_2$ $\quad\quad$ $\overrightarrow{\Omega_{3/2}}=\dot{\beta}.\vec{y}_2$

Q.2. $\overrightarrow{V_{A,1/0}}=\overrightarrow{V_{A/0}}=\frac{d}{dt}\overrightarrow{OA}\Big|_0=\frac{d}{dt}\lambda.\vec{y}_1\Big|_0=\dot{\lambda}.\vec{y}_1 \rightarrow \boxed{\overrightarrow{V_{A,1/0}}=\dot{\lambda}.\vec{y}_1}$

Q.3. $\overrightarrow{V_{B,2/0}}=\overrightarrow{V_{B/0}}=\frac{d}{dt}\overrightarrow{OB}\Big|_0=\frac{d}{dt}\lambda.\vec{y}_1+H.\vec{z}_1\Big|_0=\dot{\lambda}.\vec{y}_1 \rightarrow \boxed{\overrightarrow{V_{B,2/0}}=\dot{\lambda}.\vec{y}_1}$

Q.4. $\overrightarrow{V_{P,3/0}}=\overrightarrow{V_{P/0}}=\frac{d}{dt}\overrightarrow{OP}\Big|_0=\frac{d}{dt}\lambda.\vec{y}_1+H.\vec{z}_1+L.\vec{z}_3\Big|_0=\dot{\lambda}.\vec{y}_1+L.\frac{d}{dt}\vec{z}_3\Big|_0$

Avec : $\frac{d}{dt}\vec{z}_3\Big|_0=\frac{d}{dt}\vec{z}_3\Big|_3+\overrightarrow{\Omega_{3/0}}\wedge\vec{z}_3=(\dot{\alpha}.\vec{z}_2+\dot{\beta}.\vec{y}_2)\wedge\vec{z}_3=\dot{\alpha}.\vec{z}_2\wedge\vec{z}_3+\dot{\beta}.\vec{y}_3\wedge\vec{z}_3=\dot{\alpha}.\sin\beta.\vec{y}_2+\dot{\beta}.\vec{x}_3$

D'où : $\boxed{\overrightarrow{V_{P,3/0}}=\dot{\lambda}.\vec{y}_1+L.(\dot{\alpha}.\sin\beta.\vec{y}_2+\dot{\beta}.\vec{x}_3)}$

Q0 : paramètres variables : α,β,λ , les autres sont constants (H et L)

Q2bis : $\overrightarrow{V_{P,3/0}}=\dot{\lambda}\overrightarrow{y_1}+L(\dot{\alpha}sin\beta\overrightarrow{y_2}-\dot{\beta}\overrightarrow{x_3})$

Hypothèse $\dot{\beta}=0$

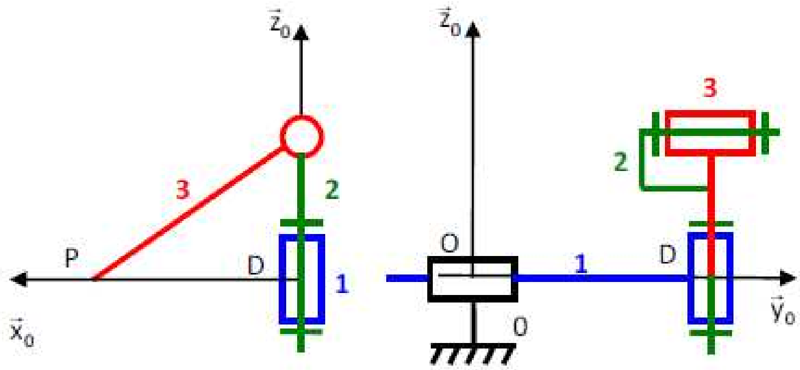
$$\overrightarrow{\Gamma_{P,\frac{3}{0}}}=\left(\frac{d\left(\dot{\lambda}\overrightarrow{y_1}+L(\dot{\alpha}sin\beta\overrightarrow{y_2})\right)}{dt}\right)_0=\left(\frac{d(\dot{\lambda}\overrightarrow{y_1})}{dt}\right)_0+\left(\frac{d(L(\dot{\alpha}sin\beta\overrightarrow{y_2}))}{dt}\right)_0$$

$$\overrightarrow{\Gamma_{P,\frac{3}{0}}}=\ddot{\lambda}\overrightarrow{y_1}+\dot{\lambda}\left(\frac{d(\overrightarrow{y_1})}{dt}\right)_0+L\ddot{\alpha}sin\beta\overrightarrow{y_2}\quad+L(\dot{\alpha}sin\beta)\left(\frac{d((\overrightarrow{y_2}))}{dt}\right)_0$$

$$\left(\frac{d(\overrightarrow{y_1})}{dt}\right)_0=\vec{0}\qquad\qquad\left(\frac{d((\overrightarrow{y_2}))}{dt}\right)_0=\left(\frac{d((\overrightarrow{y_2}))}{dt}\right)_2+\overrightarrow{\Omega_{2/1}}\Lambda\overrightarrow{y_2}=\dot{\alpha}\overrightarrow{z_2}\Lambda\overrightarrow{y_2}=-\dot{\alpha}\overrightarrow{x_2}$$

$$\overrightarrow{\Gamma_{P,\frac{3}{0}}}=\ddot{\lambda}\overrightarrow{y_1}+L\ddot{\alpha}sin\beta\overrightarrow{y_2}\quad-L(\dot{\alpha}^2sin\beta)\overrightarrow{x_2}$$

Q.5.



Q.6. il faut projeter $\overrightarrow{V_{P,3/0}} = \dot{\lambda}.\vec{y}_1 + L.(\dot{\alpha}.\sin\beta.\vec{y}_2 - \dot{\beta}.\vec{x}_3)$ dans le repère R_0.

A l'aide des figures planes on obtient :

$\vec{y}_1 = \vec{y}_0$

$\vec{y}_2 = -\sin\alpha.\vec{x}_1 + \cos\alpha.\vec{y}_1 = -\sin\alpha.\vec{x}_0 + \cos\alpha.\vec{y}_0$

$\vec{x}_3 = -\sin\beta.\vec{z}_2 + \cos\beta.\vec{x}_2 = -\sin\beta.\vec{z}_1 + \cos\beta.(\cos\alpha.\vec{x}_1 + \sin\alpha.\vec{y}_1) = -\sin\beta.\vec{z}_0 + \cos\beta.(\cos\alpha.\vec{x}_0 + \sin\alpha.\vec{y}_0)$

D'où : $\boxed{\overrightarrow{V_{P,3/0}} = \dot{\lambda}.\vec{y}_0 + L.\left(\dot{\alpha}.\sin\beta.(-\sin\alpha.\vec{x}_0 + \cos\alpha.\vec{y}_0) + \dot{\beta}.(-\sin\beta.\vec{z}_0 + \cos\beta.(\cos\alpha.\vec{x}_0 + \sin\alpha.\vec{y}_0))\right)}$

$\rightarrow \boxed{V = -L.\dot{\alpha}.\sin\beta.\sin\alpha + L.\dot{\beta}.\cos\beta.\cos\alpha}$

Q.7. $\dot{\beta} = 0$ et $\beta = \beta_0 \rightarrow \overrightarrow{V_{P,3/0}} = \dot{\lambda}.\vec{y}_0 + L.\left(\dot{\alpha}.\sin\beta_0.(-\sin\alpha.\vec{x}_0 + \cos\alpha.\vec{y}_0)\right)$

$\rightarrow V = -L.\dot{\alpha}.\sin\beta_0.\sin\alpha$

$\rightarrow \dot{\lambda} + L.\dot{\alpha}.\sin\beta_0.\cos\alpha = 0$

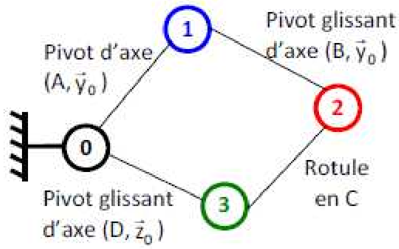
D'où : $\boxed{\dot{\alpha} = -\dfrac{V}{L.\sin\beta_0.\sin\alpha}}$ et $\dot{\lambda} = -L.\dot{\alpha}.\sin\beta_0.\cos\alpha \rightarrow \dot{\lambda} = L.\dfrac{V}{L.\sin\beta_0.\sin\alpha}.\sin\beta_0.\cos\alpha \rightarrow \boxed{\dot{\lambda} = \dfrac{V}{\tan\alpha}}$

Q.8. $\sin(\pi - \beta_0) = \sin\beta_0 = \dfrac{b}{L}$

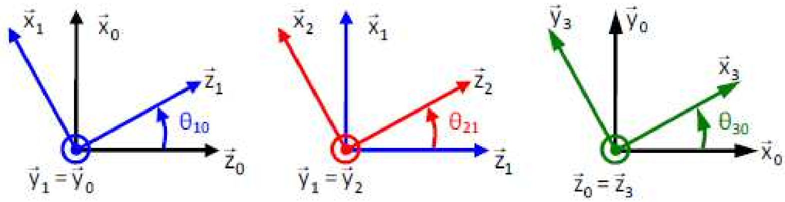
Q.9. $\boxed{\dot{\alpha} = -\dfrac{V}{b.\sin\alpha}}$ et $\boxed{\dot{\lambda} = \dfrac{V}{\tan\alpha}}$ après intégration on obtient les lois du mouvement.

Broyeur - Corrigé

Q.1. Graphe des liaisons du système :



Q.2. Figures géométrales :

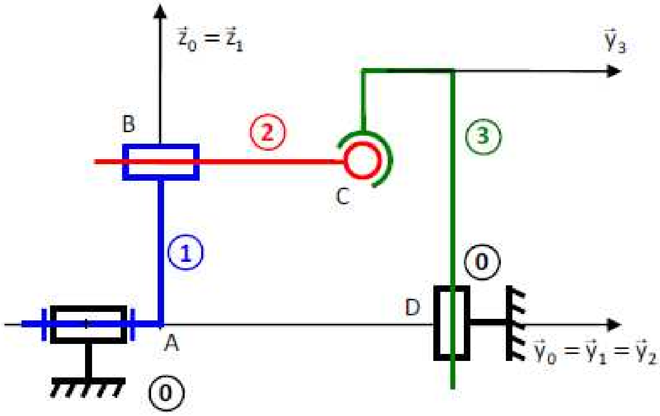


Q0. m=mu+mi
1 mobilités utiles, fonciton principale du système , rotaiton de 1impliquant rotation alternative et translation alternative de 3 .
1 mobilités internes, rotation de 2 autour de l'axe défini par la droite (BC)

h=m+6γ-Ic = 2+6-8=0

Q2bis : paramètres variables : $\theta_{21}, \theta_{30}, \theta_{10}$,h,λ , les autres sont constants (R, d et L)

Q.3. Pour la position particulière $\theta_{10} = 0°$ et $\theta_{30} = 0°$:



Q.4. Fermeture géométrique : $\overrightarrow{AA} = \vec{0} \rightarrow \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DA} = R.\vec{z}_1 + \lambda(t).\vec{y}_1 - h(t).\vec{z}_0 + L.\vec{y}_3 - d.\vec{y}_1$

En projection dans R₀ : $\begin{cases} R.\sin\theta_{10} - L.\sin\theta_{30} = 0 \\ \lambda(t) + L.\cos\theta_{30} - d = 0 \\ R.\cos\theta_{10} - h(t) = 0 \end{cases} \rightarrow \boxed{h(t) = R.\cos\theta_{10}}$

$\rightarrow \begin{cases} L.\cos\theta_{30} = d - \lambda(t) \\ L.\sin\theta_{30} = R.\sin\theta_{10} \end{cases} \rightarrow L^2 = (d-\lambda(t))^2 + R^2.\sin^2\theta_{10} \rightarrow \boxed{\lambda(t) = d - \sqrt{L^2 - R^2.\sin^2\theta_{10}}}$

$\rightarrow \begin{cases} L.\sin\theta_{30} = R.\sin\theta_{10} \\ L.\cos\theta_{30} = d - \lambda(t) \end{cases} \rightarrow \tan\theta_{30} = \dfrac{R.\sin\theta_{10}}{d-\lambda(t)} \rightarrow \boxed{\tan\theta_{30} = \dfrac{R.\sin\theta_{10}}{d-\lambda(t) = \sqrt{L^2 - R^2.\sin^2\theta_{10}}}}$

Q.5. Liaison 0-1 : Pivot d'axe $(A, \vec{y}_0)$

$\rightarrow \{F_{0\rightarrow1}\} = {}_A\begin{Bmatrix} X_{01} & L_{01} \\ Y_{01} & 0 \\ Z_{01} & N_{01} \end{Bmatrix}_{B_0}$

Q.6. Liaison 2-1 : Pivot glissant d'axe $(B, \vec{y}_0) \rightarrow$

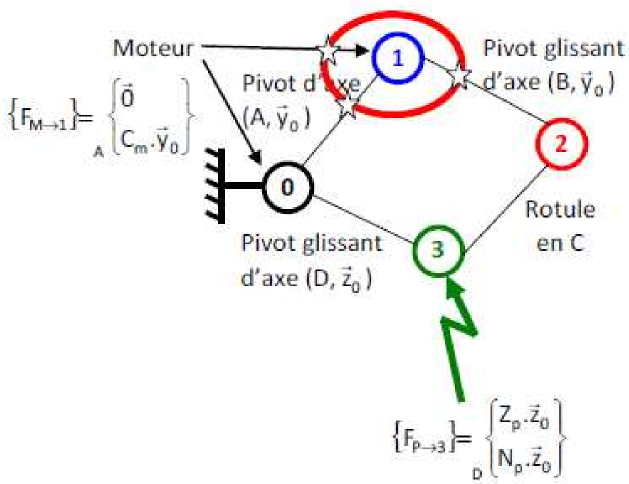
$\{F_{2\rightarrow1}\} = {}_B\begin{Bmatrix} X_{21} & L_{21} \\ 0 & 0 \\ Z_{21} & N_{21} \end{Bmatrix}_{B_0}$

Q.7. Liaison 3-2 : Rotule en C $\rightarrow \{F_{3\rightarrow2}\} = {}_C\begin{Bmatrix} X_{32} & 0 \\ Y_{32} & 0 \\ Z_{32} & 0 \end{Bmatrix}_{B_0}$

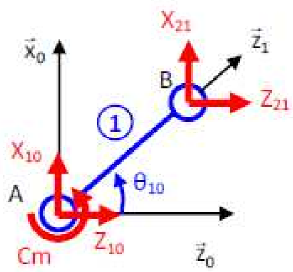
Q.8. Liaison 0-3 : Pivot glissant d'axe $(D, \vec{z}_0)$

$\rightarrow \{F_{0\rightarrow3}\} = {}_D\begin{Bmatrix} X_{03} & L_{03} \\ Y_{03} & M_{03} \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B_0}$

Q.9. On isole le solide 1 + BAME :



On applique le PFS sur le solide 1 :
→ Théorème du moment statique au point A et en projection sur l'axe $\vec{y}_0$:

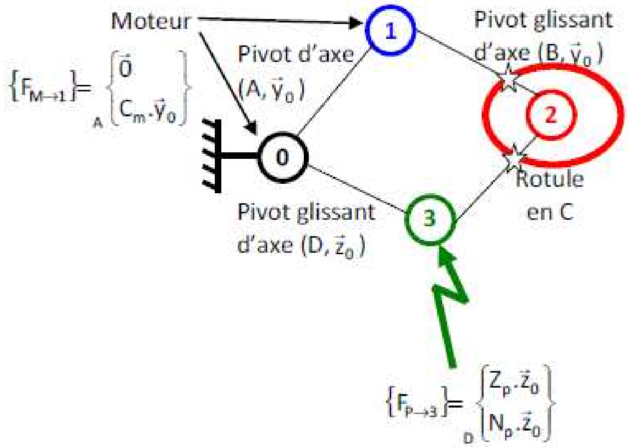


$(\overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{R_{2\rightarrow1}}).\vec{y}_0 + C_m = 0$

$(R.\vec{z}_1 \wedge (X_{21}.\vec{x}_0 + Z_{21}.\vec{z}_0)).\vec{y}_0 + C_m = 0$

$\boxed{R.X_{21}.\cos\theta_{10} - R.Z_{21}.\sin\theta_{10} + C_m = 0}$

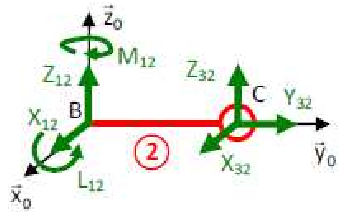
Q.10. On isole le solide 2 + BAME :



Attention le système est soumis à 2 actions mécaniques mais l'action mécanique du solide 2 sur le solide 2 n'est pas un glisseur !

On applique le PFS sur le solide 2 :

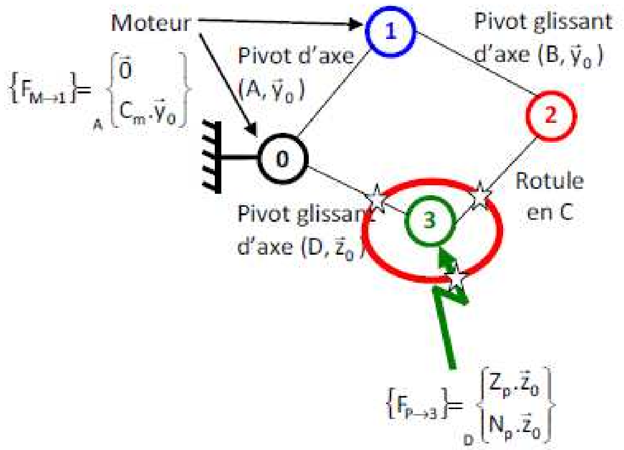
→ Théorème de la résultante statique :



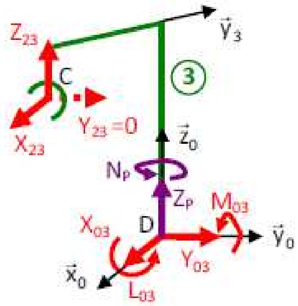
En projection dans R_0 : $\begin{cases}X_{32}+X_{12}=0\\ Y_{32}=0\\ Z_{32}+Z_{12}=0\end{cases}$

→ $\boxed{Y_{32}=0}$

Q.11. On isole le solide 3 + BAME :



On applique le PFS sur le solide 3 :



→ Théorème de la résultante statique :

$X_{03}.\vec{x}_0+Y_{03}.\vec{y}_0+Z_P.\vec{z}_0+X_{23}.\vec{x}_0+Z_{23}.\vec{z}_0=\vec{0}$

→ Théorème du moment statique au point D :

$\overrightarrow{DC}\wedge\overrightarrow{R_{2\to3}}+L_{03}.\vec{x}_0+M_{03}.\vec{y}_0+N_P.\vec{z}_0=\vec{0}$

→ Théorème de la résultante statique en projection dans R_0 : $\begin{cases}X_{03}+X_{23}=0\\ Y_{03}=0\\ Z_p+Z_{23}=0\end{cases}$

→ Théorème du moment statique au point D :

$$\overrightarrow{DC}\wedge\overrightarrow{R_{2\to3}}=(-L.\vec{y}_3+h(t).\vec{z}_0)\wedge(X_{23}.\vec{x}_0+Z_{23}.\vec{z}_0)=-L.\vec{y}_3\wedge X_{23}.\vec{x}_0-L(t).\vec{y}_3\wedge Z_{23}.\vec{z}_0+h(t).\vec{z}_0\wedge X_{23}.\vec{x}_0$$
$$=L.X_{23}.\cos\theta_{30}.\vec{z}_0-L.Z_{23}.\vec{x}_3+h(t).X_{23}\vec{y}_0$$

En projection dans R_0 : $\begin{cases}L_{03}-L.Z_{23}.\cos\theta_{30}=0\\ M_{03}-L.Z_{23}.\sin\theta_{30}+h(t).X_{23}=0\\ N_p+L.X_{23}.\cos\theta_{30}=0\end{cases}$

$\boxed{Z_P+Z_{23}=0}$ $\boxed{L_{30}-L.Z_{23}.\cos\theta_{30}=0}$ $\boxed{N_p+L.X_{23}.\cos\theta_{30}=0}$

Q.12. De la question 9, on a : $R.X_{21}.\cos\theta_{10}-R.Z_{21}.\sin\theta_{10}+C_m=0$.

De la question 10, on a : $\begin{cases} X_{32} = -X_{12} = X_{21} \\ Z_{32} = -Z_{12} = Z_{21} \end{cases}$.

De la question 11 on a : $-Z_P = Z_{23} \rightarrow Z_P = Z_{32}$ et $X_{23} = -\dfrac{N_P}{L.\cos\theta_{30}} \rightarrow X_{32} = \dfrac{N_P}{L.\cos\theta_{30}}$

$$R.\frac{N_P}{L.\cos\theta_{30}}.\cos\theta_{10} - R.Z_P.\sin\theta_{10} + C_m = 0 \rightarrow \boxed{C_m = -R.\frac{N_P}{L.\cos\theta_{30}}.\cos\theta_{10} + R.Z_P.\sin\theta_{10}}$$

Q.13. En considérant que le couple de broyage nul, on a : $C_m = R.Z_P.\sin\theta_{10} \rightarrow \boxed{Z_{P,mini} = \dfrac{C_m}{R}}$

A.N. : $Z_{P,max} = \dfrac{0,16}{3.10^{-2}} = 5,33\ N > 5\ N \rightarrow$ Le critère effort minimal du cahier des charges est respecté.