Mandrin anti centrifuge : Corrigé

1.1- Graphe de structure

Degré de mobilité du mécanisme est de : M = 1

Nombre de pièce hors bâti est : $(N_P - 1) = 6 - 1 = 5$

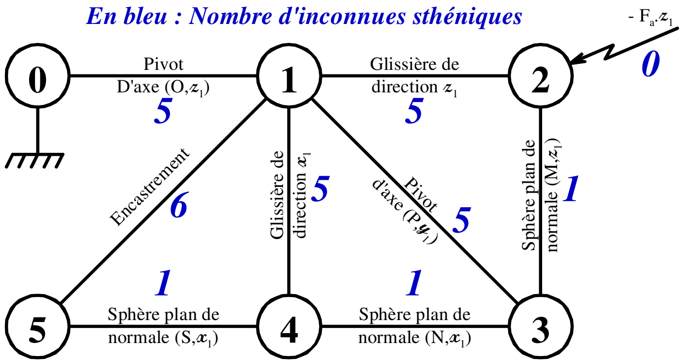
Le Nombre d'inconnues sthéniques :

$$I_S = 6 + 5\times4 + 1\times3 = 29$$

D'où le degré d'hyperstatisme du mécanisme :

$$H = 29 + 1 - 6 \times 5 \qquad \mathbf{H = 0}$$

Il est donc possible de déterminer toutes les actions sthéniques par le PFD.



2- Ordonnancement des isolement

☞ On isole le solide 2 et on applique un TRD en projection sur $\vec{z_1}$ On en déduit l'action de 2→3.

☞ On isole le solide 3 et on applique un TMD en P en projection sur $\vec{y_1}$ On en déduit l'action de 3→4.

☞ On isole le solide 4 et on applique un TRD en projection sur $\vec{x_1}$ On en déduit l'action de 4→5.

3- Géométrie des masses

Etant donné la symétrie du levier 3 par rapport au plan $(P, \vec{x_3}, \vec{z_3})$ on en déduit la forme de la matrice d'inertie du solide 3 au point P dans le repère $\mathcal{R}_3 = \mathcal{R}_1$:

$$\overline{\overline{\mathbf{I_P(3)}}} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{0} & \mathbf{-E} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B} & \mathbf{0} \\ \mathbf{-E} & \mathbf{0} & \mathbf{C} \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$$

Le levier 3 à une masse m_3 et un centre de gravité G_3 tel que : $\overrightarrow{PG_3} = -e.\vec{x_1} - d.\vec{z_1}$

Donc d'après le théorème de Huygens : $\overline{\overline{I_P(3)}} = \overline{\overline{I_{G3}(3)}} + m_3.\begin{pmatrix} d^2 & 0 & -e.d \\ 0 & e^2+d^2 & 0 \\ -e.d & 0 & e^2 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$

Donc : $\overline{\overline{I_{G3}(3)}} = \overline{\overline{I_P(3)}} - m_3.\begin{pmatrix} d^2 & 0 & -e.d \\ 0 & e^2+d^2 & 0 \\ -e.d & 0 & e^2 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$

Soit : $\overline{\overline{\mathbf{I_{G3}(3)}}} = \begin{pmatrix} \mathbf{A - m_3.d^2} & \mathbf{0} & \mathbf{-E + m_3.e.d} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B - m_3.(e^2+d^2)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{-E + m_3.e.d} & \mathbf{0} & \mathbf{C - m_3.e^2} \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$

4- Application du PFD

<u>On isole le solide 2</u>, Bilan des Actions Mécaniques Extérieures :

☞ Action de 1→2 due à la liaison glissière de direction $\vec{z_1}$

☞ Action de 3→2 due à la liaison sphère plan de normale $(M, \vec{z_1})$: Force $\overrightarrow{F_{3\to2}} = Z_{32}.\vec{z_1}$ appliquée en M

☞ Action de l'actionneur sur 2 modélisée par une force de résultante : $\overrightarrow{\mathbf{F_a}} = -\mathbf{F_a}.\vec{z_1}$ appliquée en O

L'application du TRD en projection sur $\vec{z_1}$ donne donc : $0 + Z_{32} - F_a = m_2.\overrightarrow{a_{G2\in2/0}}.\vec{z_1}$

Or le mouvement de 2 par rapport à 0 étant une rotation d'axe $(O, \vec{z_1})$: $m_2.\overrightarrow{a_{G2\in2/0}}.\vec{z_1} = 0$

On obtient donc : $Z_{32} = F_a$ Soit par le principe des actions mutuelles : $Z_{23} = -F_a$

Donc l'action de 2→3 est une force $\overrightarrow{F_{2\to3}} = -F_a.\vec{z_1}$ appliquée en M

On isole le solide 3, et lui applique un théorème du moment dynamique en P. Nous allons donc calculer le moment dynamique en P du solide 3 dans son mouvement par rapport à 0 : $\overrightarrow{\delta_P(3/0)}$.

Calculs de cinématiques :

Le mouvement de 3 par rapport à 0 est une rotation d'axe $(O, \overrightarrow{z_1})$ donc :

$\overrightarrow{V_{P\in 3/0}} = \overrightarrow{V_{0\in 3/0}} + \overrightarrow{PO} \wedge \overrightarrow{\Omega_{3/0}} = \vec{0} - a.\ \overrightarrow{x_1} \wedge \omega.\ \overrightarrow{z_1} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\overrightarrow{V_{P\in 3/0}} = a.\omega.\ \overrightarrow{y_1}}$

$\overrightarrow{V_{G3\in 3/0}} = \overrightarrow{V_{0\in 3/0}} + \overrightarrow{G_3O} \wedge \overrightarrow{\Omega_{3/0}} = \vec{0} - [\,(a-e).\ \overrightarrow{x_1} + d.\ \overrightarrow{z_1}\,] \wedge \omega.\ \overrightarrow{z_1} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\overrightarrow{V_{G3\in 3/0}} = (a-e).\omega.\ \overrightarrow{y_1}}$

D'autre part, par dérivation vectorielle on a :

$\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}} = \left(\dfrac{d\ \overrightarrow{V_{G3\in 3/0}}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0} = \left(\dfrac{d\ \overrightarrow{V_{G3\in 3/0}}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_1} + \overrightarrow{\Omega_{3/0}} \wedge \overrightarrow{V_{G3\in 3/0}}$ avec : $\overrightarrow{V_{G3\in 3/0}} = (a-e).\omega.\ \overrightarrow{y_1}$

Or $\dot{\omega} = 0$. Donc : $\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}} = \vec{0} + \omega.\ \overrightarrow{z_1} \wedge (a-e).\omega.\ \overrightarrow{y_1}$ Soit : $\boldsymbol{\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}} = -(a-e).\omega^2.\ \overrightarrow{x_1}}$

Calculs de cinétique au point P :

On a : $\overrightarrow{\sigma_P(3/0)} = \overline{\overline{I_P(3)}}\ .\overrightarrow{\Omega_{3/0}} + m_3.\ \overrightarrow{PG_3} \wedge \overrightarrow{V_{P\in 3/0}}$

$$\overrightarrow{\sigma_P(3/0)} = \begin{pmatrix} A & 0 & -E \\ 0 & B & 0 \\ -E & 0 & C \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} . \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} + m_3. \begin{pmatrix} -e \\ 0 \\ -d \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ a.\omega \\ 0 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} = \begin{pmatrix} -E.\omega \\ 0 \\ C.\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} + \begin{pmatrix} m_3.a.d.\omega \\ 0 \\ -m_3.a.e.\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$$

Soit finalement : $\boldsymbol{\overrightarrow{\sigma_P(3/0)} = \begin{pmatrix} -(E - m_3.a.d).\omega \\ 0 \\ (C - m_3.a.e).\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}}$

D'autre part : $\overrightarrow{\delta_P(3/0)}\ ) = \left(\dfrac{d\ \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0} + m_3.\ \overrightarrow{V_{P/0}} \wedge \overrightarrow{V_{G3\in 3/0}}$ | avec : $\overrightarrow{V_{P/0}} = \overrightarrow{V_{P\in 3/0}}$ car $P\in 3$
Et : $\overrightarrow{V_{P\in 3/0}} \,//\, \overrightarrow{V_{G3\in 3/0}}$

Donc : $m_3.\ \overrightarrow{V_{P/0}} \wedge \overrightarrow{V_{G3\in 3/0}} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \overrightarrow{\delta_P(3/0)} = \left(\dfrac{d\ \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0}$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = \left(\dfrac{d\ \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_1} + \overrightarrow{\Omega_{3/0}} \wedge \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}$ Or : $\overrightarrow{\sigma_P(3/0)} = \begin{pmatrix} -(E - m_3.a.d).\omega \\ 0 \\ (C - m_3.a.e).\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$ et : $\dot{\omega} = 0$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = \vec{0} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} \wedge \begin{pmatrix} -(E - m_3.a.d).\omega \\ 0 \\ (C - m_3.a.e).\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$ Soit : $\boldsymbol{\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = -(E - m_3.a.d).\omega^2\ \overrightarrow{y_1}}$

Autre méthode de calcul : On calcule uniquement la projection de $\overrightarrow{\delta_P(3/0)}$ sur $\overrightarrow{y_1}$ à partir de $\overrightarrow{\sigma_P(3/0)}$:

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\ \overrightarrow{y_1} = \left(\dfrac{d\ \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0}.\ \overrightarrow{y_1}$ Or : $\dfrac{d\ \vec{u}\ .\ \vec{v}}{dt} = \left(\dfrac{d\ \vec{u}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}.\ \vec{v} + \vec{u}.\left(\dfrac{d\ \vec{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}\ \forall\ \mathcal{R}_i$

Donc : $\left(\dfrac{d\ \vec{u}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}.\ \vec{v} = \dfrac{d\ \vec{u}\ .\ \vec{v}}{dt} - \vec{u}.\left(\dfrac{d\ \vec{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}$ Soit pour $\vec{u} = \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}$; $\vec{v} = \overrightarrow{y_1}$ et $\mathcal{R}_i = \mathcal{R}_0$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\ \overrightarrow{y_1} = \dfrac{d\ \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}.\ \overrightarrow{y_1}}{dt} - \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}\ .\left(\dfrac{d\ \overrightarrow{y_1}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0}$ Or : $\overrightarrow{\sigma_P(3/0)}.\ \overrightarrow{y_1} = 0$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\ \overrightarrow{y_1} = 0 - \overrightarrow{\sigma_P(3/0)}.\ \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \wedge \overrightarrow{y_1} = (\,(E - m_3.a.d).\omega.\ \overrightarrow{x_1} - (C - m_3.a.e).\omega.\ \overrightarrow{z_1}\,).\omega.\ \overrightarrow{z_1} \wedge \overrightarrow{y_1}$

Soit finalement : $\boldsymbol{\overrightarrow{\delta_P(3/0)}\ .\ \overrightarrow{y_1} = -(E - m_3.a.d).\omega^2}$

Calculs de cinétique au point G_3 :

G_3 étant le centre d'inertie de 3 on a : $\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)} = \overline{\overline{I_{G3}(3)}}\ .\overrightarrow{\Omega_{3/0}}$

$$\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)} = \begin{pmatrix} A - m_3.d^2 & 0 & -E + m_3.e.d \\ 0 & B - m_3.(e^2+d^2) & 0 \\ -E + m_3.e.d & 0 & C - m_3.e^2 \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} . \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} \Rightarrow \boldsymbol{\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)} = \begin{pmatrix} -(E - m_3.e.d).\omega \\ 0 \\ (C - m_3.e^2).\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}}$$

D'autre part : $\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)} = \left(\dfrac{d\,\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0} = \left(\dfrac{d\,\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_1} + \overrightarrow{\Omega_{3/0}} \wedge \overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}$

Ayant : $\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)} = \begin{pmatrix} -(E - m_3.e.d).\omega \\ 0 \\ (C - m_3.e^2).\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$ Avec $\dot{\omega} = 0$ on a : $\left(\dfrac{d\,\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_1} = \vec{0}$

Donc : $\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1} \wedge \begin{pmatrix} -(E - m_3.e.d).\omega \\ 0 \\ (C - m_3.e^2).\omega \end{pmatrix}_{\mathcal{R}_1}$ Soit : $\mathbf{\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)} = -(E - m_3.e.d).\,\overrightarrow{y_1}}$

Enfin par le théorème de Varignon on a : $\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = \overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)} + \overrightarrow{PG_3} \wedge m_3.\,\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}}$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = -(E - m_3.e.d).\,\overrightarrow{y_1} + m_3.(-e.\,\overrightarrow{x_1} - d.\,\overrightarrow{z_1}) \wedge -(a-e).\omega^2.\,\overrightarrow{x_1}$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = -(E - m_3.e.d).\,\overrightarrow{y_1} + m_3.(a.d - e.d).\omega^2.\,\overrightarrow{y_1}$

Finalement on obtient : $\mathbf{\overrightarrow{\delta_P(3/0)} = -(E - m_3.a.d).\omega^2.\,\overrightarrow{y_1}}$

<u>Autre méthode de calcul :</u> On calcule uniquement la projection de $\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)}$ sur $\overrightarrow{y_1}$ à partir de $\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}$:

$\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = \left(\dfrac{d\,\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0}.\,\overrightarrow{y_1}$ Or : $\dfrac{d\,\vec{u}.\vec{v}}{dt} = \left(\dfrac{d\,\vec{u}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}.\vec{v} + \vec{u}.\left(\dfrac{d\,\vec{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}$ $\forall\, \mathcal{R}_i$

Donc : $\left(\dfrac{d\,\vec{u}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}.\vec{v} = \dfrac{d\,\vec{u}.\vec{v}}{dt} - \vec{u}.\left(\dfrac{d\,\vec{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_i}$ Soit pour $\vec{u} = \overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}$ et $\vec{v} = \overrightarrow{y_1}$

$\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = \dfrac{d\,\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1}}{dt} - \overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}.\left(\dfrac{d\,\overrightarrow{y_1}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0}$

Or : $\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = 0$ Donc : $\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = -\overrightarrow{\sigma_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{\Omega_{1/0}} \wedge \overrightarrow{y_1}$

$\mathbf{\overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = \left((E - m_3.e.d).\omega.\,\overrightarrow{x_1} - (C - m_3.e^2).\omega.\,\overrightarrow{z_1}\right).\,\omega.\,\overrightarrow{z_1} \wedge \overrightarrow{y_1} = -(E - m_3.e.d).\omega^2}$

Enfin par le théorème de Varignon on a : $\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = \overrightarrow{\delta_{G3}(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} + m_3.\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}} \wedge \overrightarrow{G_3P}.\,\overrightarrow{y_1}$

Or : $\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}} = -(a-e).\omega^2.\,\overrightarrow{x_1}$ et : $\overrightarrow{G_3P} = e.\,\overrightarrow{x_1} + d.\,\overrightarrow{z_1}$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = -(E - m_3.e.d).\omega^2 - m_3.(a-e).\omega^2.\,\overrightarrow{x_1} \wedge (e.\,\overrightarrow{x_1} + d.\,\overrightarrow{z_1}).\,\overrightarrow{y_1}$

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = -(E - m_3.e.d).\omega^2 - m_3.(-d).(a-e).\omega^2 = -(E - m_3.e.d - m_3.a.d + m_3.e.d).\omega^2$

Finalement on obtient : $\mathbf{\overrightarrow{\delta_P(3/0)}\,.\,\overrightarrow{y_1} = -(E - m_3.a.d).\omega^2}$

<u>On isole le solide 3</u>, Bilan des Actions Mécaniques Extérieures :

☞ Action de 1→3 due à la liaison pivot d'axe $(P, \overrightarrow{y_1})$

☞ Action de 2→3 due à la liaison sphère plan : Force $\overrightarrow{F_{2\to3}} = -F_a.\,\overrightarrow{z_1}$ appliquée en M

☞ Action de 4→3 due à la liaison sphère plan de normale $(N, \overrightarrow{x_1})$: Force $\overrightarrow{F_{4\to3}} = \mathbf{X_{43}}.\,\overrightarrow{x_1}$ appliquée en N

L'application du TMD en P en projection sur $\overrightarrow{y_1}$ donne donc :

$\overrightarrow{\delta_P(3/0)}.\,\overrightarrow{y_1} = 0 + \overrightarrow{PM} \wedge \overrightarrow{F_{2\to3}}\,.\,\overrightarrow{y_1} + \overrightarrow{PN} \wedge \overrightarrow{F_{4\to3}}\,.\,\overrightarrow{y_1}$

$-(E - m_3.a.d).\omega^2.\,\overrightarrow{y_1}\,.\,\overrightarrow{y_1} = -b.\,\overrightarrow{x_1} \wedge (-F_a.\,\overrightarrow{z_1})\,.\,\overrightarrow{y_1} + (-f.\,\overrightarrow{x_1} + c.\,\overrightarrow{z_1}) \wedge \mathbf{X_{43}}.\,\overrightarrow{x_1}\,.\,\overrightarrow{y_1}$

$-(E - m_3.a.d).\omega^2 = -b.F_a + c.\mathbf{X_{43}}$ $\quad X_{43} = \dfrac{b.F_a - (E - m_3.a.d).\omega^2}{c}$

Soit par le principe des actions mutuelles : $\mathbf{X_{34} = \dfrac{(E - m_3.a.d).\omega^2 - b.F_a}{c}}$

Ensuite, on isole le solide 4, et lui applique un théorème de la résultante dynamique. Nous allons donc calculer la résultante dynamique du solide 4 dans son mouvement par rapport à 0 : $m_4.\overrightarrow{a_{G4\in 4/0}}$

Le mouvement de 4 par rapport à 0 est une rotation d'axe $(O, \overrightarrow{z_1})$ donc :

$\overrightarrow{V_{G4\in 4/0}} = \overrightarrow{V_{O\in 4/0}} + \overrightarrow{G_4O} \wedge \overrightarrow{\Omega_{4/0}} = \vec{0} - (r.\ \overrightarrow{x_1} + h.\ \overrightarrow{z_1}) \wedge \omega.\ \overrightarrow{z_1} \quad \Rightarrow \quad \overrightarrow{V_{G4\in 4/0}} = r.\omega.\ \overrightarrow{y_1}$

D'autre part par dérivation vectorielle on a :

$$\overrightarrow{a_{G4\in 4/0}} = \left(\frac{d\ \overrightarrow{V_{G4\in 4/0}}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_0} = \left(\frac{d\ \overrightarrow{V_{G4\in 4/0}}}{dt}\right)_{\mathcal{R}_1} + \overrightarrow{\Omega_{4/0}} \wedge \overrightarrow{V_{G4\in 4/0}}$$

avec : $\overrightarrow{V_{G4\in 4/0}} = r.\omega.\ \overrightarrow{y_1}$ Or $\dot{\omega} = 0$ Donc : $\overrightarrow{a_{G4\in 4/0}} = \vec{0} + \omega.\ \overrightarrow{z_1} \wedge r.\omega.\ \overrightarrow{y_1}$

Soit finalement : $\mathbf{m_4.\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}} = - m_4.r.\omega^2.\ \overrightarrow{x_1}}$

On isole le solide 4, Bilan des Actions Mécaniques Extérieures :

☞ Action de 1→4 due à la liaison glissière de direction $\overrightarrow{x_1}$

☞ Action de 3→4 due à la liaison sphère plan : Force $\overrightarrow{F_{3\to 4}} = X_{34}.\ \overrightarrow{x_1}$ appliquée en N

☞ Action de 5→4 due à la liaison sphère plan de normale $(S, \overrightarrow{x_1})$: Force $\overrightarrow{F_{5\to 4}} = F_S.\ \overrightarrow{x_1}$ appliquée en S

L'application du TRD en P en projection sur $\overrightarrow{x_1}$ donne donc :

$$m_4.\overrightarrow{a_{G3\in 3/0}}.\ \overrightarrow{x_1} = 0 + \overrightarrow{F_{3\to 4}}.\ \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{F_{5\to 4}}.\ \overrightarrow{x_1}$$

$$- m_4.r.\omega^2.\ \overrightarrow{x_1}.\ \overrightarrow{x_1} = X_{34}.\ \overrightarrow{x_1}.\ \overrightarrow{x_1} + F_S.\ \overrightarrow{x_1}.\ \overrightarrow{x_1}$$

Soit : $F_S = - X_{34} - m_4.r.\omega^2$ et des résultats précédents : $X_{34} = \dfrac{(E - m_3.a.d).\omega^2 - b.F_a}{c}$

$$F_S = \frac{b.F_a - (E - m_3.a.d).\omega^2}{c} - m_4.r.\omega^2$$

Soit encore : $\mathbf{F_S = \dfrac{b}{c}.F_a - \dfrac{(E - m_3.a.d + m_4.r.c).\omega^2}{c}}$

5- Conclusion

Etant donné l'expression de l'effort de serrage : $F_S = \dfrac{b}{c}.F_a - \dfrac{(E - m_3.a.d + m_4.r.c).\omega^2}{c}$,

Pour que celui-ci augmente lorsque ω augmente il faut que : $E - m_3.a.d + m_4.r.c < 0$

On en déduit qu'il faut que : $\mathbf{E < m_3.a.d - m_4.r.c}$