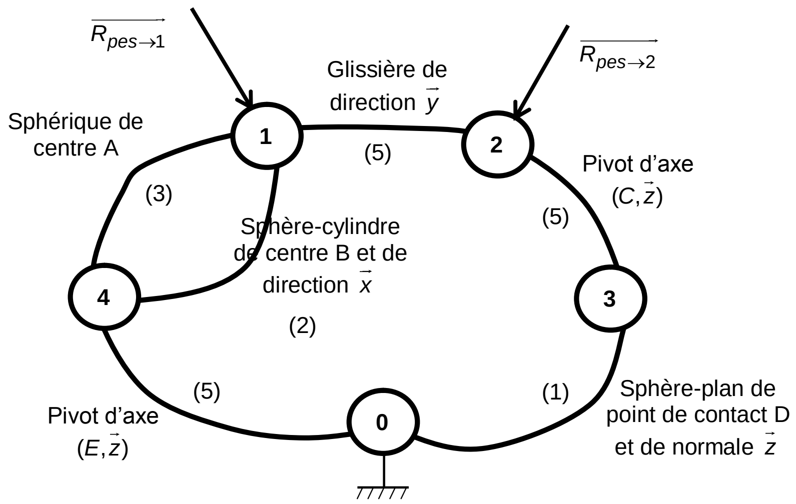
Corrigé Exercice 1 : PASSERELLE TÉLESCOPIQUE D'AÉROPORT

Question 1 : *Réaliser le graphe de structure, puis compléter-le en vue d'une étude de statique.*



Question 2 : *Par quel(s) isolement(s) peut-on commencer ?*

Isolement à ne pas faire :
- Ne jamais prendre le bâti dans un isolement.
- Ne jamais prendre un isolement qui a plus de 6 inconnues de liaison (exemple {2} où on a 10 inconnues) car le PFS nous donne dans l'espace que 6 équations.
- Ne pas prendre un isolement qui n'inclue pas les données du sujet (ici $\overrightarrow{R_{pes\to1}}$ et $\overrightarrow{R_{pes\to2}}$) dans son calcul… (exemple {3}).

On peut donc débuter par :
Isoler {1, 2, 3}
Isoler {1, 2, 3, 4}

Question 3 : *Parmi ces isolements, lequel donnera moins de calcul ?*

Isoler {1, 2, 3, 4} $\Rightarrow$ 4 AME : $AM_{0\to4}$, $AM_{0\to3}$, $AM_{pes\to1}$ et $AM_{pes\to2}$

Isoler {1, 2, 3} $\Rightarrow$ 5 AME : $AM_{4\to1}^{LA}$, $AM_{4\to1}^{LB}$, $AM_{0\to3}$, $AM_{pes\to1}$ et $AM_{pes\to2}$

Ainsi, pour effectuer moins de calcul, il est préférable d'isoler le système qui comporte le moins d'AME, c'est-à-dire ici {1, 2, 3, 4}.

Question 4 : *Donner la suite d'isolement à effectuer pour pouvoir déterminer complètement toutes les actions transmissibles dans les liaisons.*

Méthode réfléchie (à réaliser au brouillon) :
Isoler {1, 2, 3, 4} $\Rightarrow$ $AM_{0\to4}$ et $AM_{0\to3}$
Isoler {4} $\Rightarrow$ $AM_{1\to4}^{LA}$ et $AM_{1\to4}^{LB}$
Isoler {1, 4} $\Rightarrow$ $AM_{2\to1}$ (NB : pour déterminer cette action, nous aurions pu aussi isoler {2, 3})
Isoler {3} $\Rightarrow$ $AM_{2\to3}$

Question 5 : *Résoudre vos différents isolements.*

1) Isolons {1, 2, 3, 4}.

2) Bilan des Actions Mécaniques Extérieures (BAME) sur {1, 2, 3, 4}.
   - Action mécanique de 0 sur 4 (pivot d'axe $(E,\vec{z})$)
   - Action mécanique de 0 sur 3 (sphère-plan de point de contact D et de normale $\vec{z}$)
   - Action mécanique de la pesanteur sur 1
   - Action mécanique de la pesanteur sur 2

3) Modélisables par :

$$\left\{\mathrm{T}_{0\to4}\right\} = \underset{\forall P\in(E,\vec{z})}{\begin{Bmatrix} X_{0\to4} & L_{P,0\to4} \\ Y_{0\to4} & M_{P,0\to4} \\ Z_{0\to4} & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{0\to3}\right\} = \underset{\forall P\in(D,\vec{z})}{\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{0\to3} & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

$$\left\{\mathrm{T}_{pes\to1}\right\} = \underset{\forall P\in(G_1,\vec{z})}{\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m_1.g & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{pes\to2}\right\} = \underset{\forall P\in(G_2,\vec{z})}{\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m_2.g & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

4) Résolution :

On détermine les moments au point E des 3 torseurs à transporter :

$$\overrightarrow{M_{E,0\to3}} = \overrightarrow{M_{C,0\to3}} + \overrightarrow{EC} \wedge \overrightarrow{R_{0\to3}}$$
$$\overrightarrow{M_{E,0\to3}} = (h.\vec{z} + y_0.\vec{y}) \wedge (Z_{0\to3}.\vec{z})$$
$$\overrightarrow{M_{E,0\to3}} = y_0.Z_{0\to3}.\vec{x}$$

$$\overrightarrow{M_{E,pes\to1}} = \overrightarrow{M_{G_1,pes\to1}} + \overrightarrow{EG_1} \wedge \overrightarrow{R_{pes\to1}}$$
$$\overrightarrow{M_{E,pes\to1}} = (h.\vec{z} + d.\vec{y}) \wedge (-m_1.g.\vec{z})$$
$$\overrightarrow{M_{E,pes\to1}} = -d.m_1.g.\vec{x}$$

$$\overrightarrow{M_{E,pes\to2}} = \overrightarrow{M_{G_2,pes\to2}} + \overrightarrow{EG_2} \wedge \overrightarrow{R_{pes\to2}}$$
$$\overrightarrow{M_{E,pes\to2}} = (h.\vec{z} + y_0.\vec{y} + e.\vec{x}) \wedge (-m_2.g.\vec{z})$$
$$\overrightarrow{M_{E,pes\to2}} = -y_0.m_2.g.\vec{x} + e.m_2.g.\vec{y}$$

Donc :

$$\left\{\mathrm{T}_{0\to3}\right\} = \underset{E}{\begin{Bmatrix} 0 & y_0.Z_{0\to3} \\ 0 & 0 \\ Z_{0\to3} & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{pes\to1}\right\} = \underset{E}{\begin{Bmatrix} 0 & -d.m_1.g \\ 0 & 0 \\ -m_1.g & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{pes\to2}\right\} = \underset{E}{\begin{Bmatrix} 0 & -y_0.m_2.g \\ 0 & e.m_2.g \\ -m_2.g & 0 \end{Bmatrix}}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Puis, on applique le PFS : $\sum\left\{\mathrm{T}_{\bar{S}\to S}\right\} = \{0\}$

$$\begin{cases} X_{0\to4} = 0 \\ Y_{0\to4} = 0 \\ Z_{0\to4} + Z_{0\to3} - m_1.g - m_2.g = 0 \\ L_{E,0\to4} + y_0.Z_{0\to3} - d.m_1.g - y_0.m_2.g = 0 \\ M_{E,0\to4} + e.m_2.g = 0 \\ 0 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_{0\to4} = Y_{0\to4} = 0 \\ Z_{0\to4} + Z_{0\to3} - m_1.g - m_2.g = 0 \\ L_{E,0\to4} + y_0.Z_{0\to3} - d.m_1.g - y_0.m_2.g = 0 \\ M_{E,0\to4} = -e.m_2.g \end{cases}$$

On remarque que l'on ne peut pas tout résoudre car 1 équation a donné 0=0…

1) Isolons {4}.

2) Bilan des Actions Mécaniques Extérieures (BAME) sur {4}.
- Action mécanique de 0 sur 4 (pivot d'axe $(E,\vec{z})$)
- Action mécanique de 1 sur 4 en A (sphérique de centre A)
- Action mécanique de 1 sur 4 en B (sphère-cylindre de centre B et de direction $\vec{x}$)

3) Modélisables par :

$$\{\mathrm{T}_{0\to4}\} = {}_E\begin{Bmatrix} 0 & L_{E,0\to4} \\ 0 & -e.m_2.g \\ Z_{0\to4} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LA}\} = {}_A\begin{Bmatrix} X_{1\to4}^{LA} & 0 \\ Y_{1\to4}^{LA} & 0 \\ Z_{1\to4}^{LA} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LB}\} = {}_B\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1\to4}^{LB} & 0 \\ Z_{1\to4}^{LB} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

4) Résolution :

On détermine les moments au point A des 2 torseurs à transporter :

$$\overrightarrow{M_{A,0\to4}} = \overrightarrow{M_{E,0\to4}} + \overrightarrow{AE} \wedge \overrightarrow{R_{0\to4}}$$
$$\overrightarrow{M_{A,0\to4}} = (L_{E,0\to4}.\vec{x} - e.m_2.g.\vec{y}) + (a.\vec{x} - h.\vec{z}) \wedge (Z_{0\to4}.\vec{z})$$
$$\overrightarrow{M_{A,0\to4}} = L_{E,0\to4}.\vec{x} - e.m_2.g.\vec{y} - a.Z_{0\to4}.\vec{y}$$

$$\overrightarrow{M_{A,1\to4}^{LB}} = \overrightarrow{M_{B,1\to4}^{LB}} + \overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{R_{1\to4}^{LB}}$$
$$\overrightarrow{M_{A,1\to4}^{LB}} = (2.a.\vec{x}) \wedge (Y_{1\to4}^{LB}.\vec{y} + Z_{1\to4}^{LB}.\vec{z})$$
$$\overrightarrow{M_{A,1\to4}^{LB}} = 2.a.Y_{1\to4}^{LB}.\vec{z} - 2.a.Z_{1\to4}^{LB}.\vec{y}$$

Donc :

$$\{\mathrm{T}_{0\to4}\} = {}_A\begin{Bmatrix} 0 & L_{E,0\to4} \\ 0 & -e.m_2.g - a.Z_{0\to4} \\ Z_{0\to4} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LB}\} = {}_A\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1\to4}^{LB} & -2.a.Z_{1\to4}^{LB} \\ Z_{1\to4}^{LB} & 2.a.Y_{1\to4}^{LB} \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Puis, on applique le PFS : $\sum\{\mathrm{T}_{\bar{S}\to S}\} = \{0\}$

$$\begin{cases} X_{1\to4}^{LA} = 0 \\ Y_{1\to4}^{LA} + Y_{1\to4}^{LB} = 0 \\ Z_{1\to4}^{LA} + Z_{0\to4} + Z_{1\to4}^{LB} = 0 \\ L_{E,0\to4} = 0 \\ -e.m_2.g - 2.a.Z_{1\to4}^{LB} - a.Z_{0\to4} = 0 \\ 2.a.Y_{1\to4}^{LB} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_{1\to4}^{LA} = Y_{1\to4}^{LA} = Y_{1\to4}^{LB} = L_{E,0\to4} = 0 \\ Z_{1\to4}^{LA} + Z_{0\to4} + Z_{1\to4}^{LB} = 0 \\ -e.m_2.g - 2.a.Z_{1\to4}^{LB} - a.Z_{0\to4} = 0 \end{cases}$$

On remarque que l'on ne peut pas tout résoudre car il nous manque toujours l'inconnue $Z_{0\to4}$ de l'isolement précédent.

Mais maintenant que l'on connait $L_{E,0\to4} = 0$, nous pouvons reprendre notre 1[er] système d'équations déterminées à la question précédente :

$$\begin{cases} X_{0\to4} = Y_{0\to4} = 0 \\ Z_{0\to4} + Z_{0\to3} - m_1.g - m_2.g = 0 \\ L_{E,0\to4} + y_0.Z_{0\to3} - d.m_1.g - y_0.m_2.g = 0 \\ M_{E,0\to4} = -e.m_2.g \end{cases} \Rightarrow \boxed{\begin{cases} X_{0\to4} = Y_{0\to4} = L_{E,0\to4} = 0 \\ Z_{0\to4} = -\dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} + m_1.g + m_2.g = \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0} \\ Z_{0\to3} = \dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} \\ M_{E,0\to4} = -e.m_2.g \end{cases}}$$

Connaisant $Z_{0\to 4} = \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0}$, nous pouvons reprendre cette fois-ci notre 2ème système d'équations :

$$\begin{cases} X_{1\to 4}^{LA} = Y_{1\to 4}^{LA} + Y_{1\to 4}^{LB} = L_{E,0\to 4} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LA} + Z_{0\to 4} + Z_{1\to 4}^{LB} = 0 \\ -e.m_2.g - 2.a.Z_{1\to 4}^{LB} - a.Z_{0\to 4} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_{1\to 4}^{LA} = Y_{1\to 4}^{LA} + Y_{1\to 4}^{LB} = L_{E,0\to 4} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LA} + \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0} + Z_{1\to 4}^{LB} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LB} = -\dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} X_{1\to 4}^{LA} = Y_{1\to 4}^{LA} + Y_{1\to 4}^{LB} = L_{E,0\to 4} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LA} + \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0} + Z_{1\to 4}^{LB} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LB} = -\dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_{1\to 4}^{LA} = Y_{1\to 4}^{LA} + Y_{1\to 4}^{LB} = L_{E,0\to 4} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LA} = -\dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0} + \dfrac{e.m_2.g}{2.a} + \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} \\ Z_{1\to 4}^{LB} = -\dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} \end{cases}$$

$$\boxed{\begin{cases} X_{1\to 4}^{LA} = Y_{1\to 4}^{LA} + Y_{1\to 4}^{LB} = L_{E,0\to 4} = 0 \\ Z_{1\to 4}^{LA} = \dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} \\ Z_{1\to 4}^{LB} = -\dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} \end{cases}}$$

1) <u>Isolons {1, 4}.</u>

2) <u>Bilan des Actions Mécaniques Extérieures (BAME) sur {1, 4}.</u>
- Action mécanique de 0 sur 4 (pivot d'axe $(E,\vec{z})$)
- Action mécanique de 2 sur 1 (glissière de direction $\vec{y}$)
- Action mécanique de la pesanteur sur 1

3) <u>Modélisables par :</u>

$$\left\{\mathrm{T}_{0\to 4}\right\} = \left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & -e.m_2.g \\ \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0} & 0 \end{matrix}\right\}_{E\ (\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{2\to 1}\right\} = \left\{\begin{matrix} X_{2\to 1} & L_{P,2\to 1} \\ 0 & M_{P,2\to 1} \\ Z_{2\to 1} & N_{P,2\to 1} \end{matrix}\right\}_{\forall P\ (\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{pes\to 1}\right\} = \left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m_1.g & 0 \end{matrix}\right\}_{\forall P \in (G_1,\vec{z})\ (\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

4) <u>Résolution :</u>

On détermine les moments au point M des 2 torseurs à transporter :

$$\overrightarrow{M_{M,0\to 4}} = \overrightarrow{M_{E,0\to 4}} + \overrightarrow{ME} \wedge \overrightarrow{R_{0\to 4}}$$

$$\overrightarrow{M_{M,0\to 4}} = (-e.m_2.g.\vec{y}) + (-l.\vec{y} - h.\vec{z}) \wedge (\frac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0}.\vec{z})$$

$$\overrightarrow{M_{M,0\to 4}} = -e.m_2.g.\vec{y} - l.\frac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0}.\vec{x}$$

$$\overrightarrow{M_{M,pes\to 1}} = \overrightarrow{M_{G_1,pes\to 1}} + \overrightarrow{MG_1} \wedge \overrightarrow{R_{pes\to 1}}$$

$$\overrightarrow{M_{M,pes\to 1}} = -(l - d).\vec{y} \wedge (-m_1.g.\vec{z})$$

$$\overrightarrow{M_{M,pes\to 1}} = (l - d).m_1.g.\vec{x}$$

Donc :

$$\left\{\mathrm{T}_{0\to4}\right\} = {}_{M}\begin{Bmatrix} 0 & -l.\dfrac{(y_0-d).m_1.g}{y_0} \\ 0 & -e.m_2.g \\ \dfrac{(y_0-d).m_1.g}{y_0} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \qquad \left\{\mathrm{T}_{pes\to1}\right\} = {}_{M}\begin{Bmatrix} 0 & (l-d).m_1.g \\ 0 & 0 \\ -m_1.g & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Puis, on applique le PFS : $\sum\left\{\mathrm{T}_{\bar{S}\to S}\right\} = \{0\}$

$$\begin{cases} X_{2\to1} = 0 \\ 0 = 0 \\ Z_{2\to1} + \dfrac{(y_0-d).m_1.g}{y_0} - m_1.g = 0 \\ L_{M,2\to1} - l.\dfrac{(y_0-d).m_1.g}{y_0} + (l-d).m_1.g = 0 \\ M_{M,2\to1} - e.m_2.g = 0 \\ N_{M,2\to1} = 0 \end{cases}$$

$$\boxed{\Rightarrow \begin{cases} X_{2\to1} = 0 \\ Z_{2\to1} = \dfrac{d.m_1.g}{y_0} \\ L_{M,2\to1} = -l.\dfrac{d.m_1.g}{y_0} + d.m_1.g = \dfrac{d.(y_0-l).m_1.g}{y_0} \\ M_{M,2\to1} = e.m_2.g \\ N_{M,2\to1} = 0 \end{cases}}$$

1) <u>Isolons {3}.</u>

2) <u>Bilan des Actions Mécaniques Extérieures (BAME) sur {3}.</u>
   - Action mécanique de 2 sur 3 (pivot d'axe $(C,\vec{z})$)
   - Action mécanique de 0 sur 3 (sphère-plan de point de contact D et de normale $\vec{z}$)

3) <u>Modélisables par :</u>

$$\left\{\mathrm{T}_{2\to3}\right\} = {}_{\forall P\in(C,\vec{z})}\begin{Bmatrix} X_{2\to3} & L_{P,2\to3} \\ Y_{2\to3} & M_{P,2\to3} \\ Z_{2\to3} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \qquad \left\{\mathrm{T}_{0\to3}\right\} = {}_{\forall P\in(D,\vec{z})}\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

4) <u>Résolution :</u>

Les 2 torseurs sont déjà écrits au point C.

Donc, on applique le PFS : $\sum\left\{\mathrm{T}_{\bar{S}\to S}\right\} = \{0\}$

$$\begin{cases} X_{2\to3} = 0 \\ Y_{2\to3} = 0 \\ Z_{2\to3} + \dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} = 0 \\ L_{C,2\to3} = 0 \\ M_{C,2\to3} = 0 \\ 0 = 0 \end{cases}$$

$$\boxed{\Rightarrow \begin{cases} X_{2\to3} = 0 \\ Y_{2\to3} = 0 \\ Z_{2\to3} = -\dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} \\ L_{C,2\to3} = 0 \\ M_{C,2\to3} = 0 \\ 0 = 0 \end{cases}}$$

Ainsi, en récapitulant tous les résultats, les actions mécaniques au niveau des liaisons sont modélisables par :

$$\left\{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LA}\right\} = {}_{A}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{0\to4}\right\} = {}_{E}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & -e.m_2.g \\ \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{y_0} & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{2\to3}\right\} = {}_{C}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -\dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

$$\left\{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LB}\right\} = {}_{B}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -\dfrac{e.m_2.g}{2.a} - \dfrac{(y_0 - d).m_1.g}{2.y_0} & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{2\to1}\right\} = {}_{M}\left\{\begin{array}{cc} 0 & \dfrac{d.(y_0 - l).m_1.g}{y_0} \\ 0 & e.m_2.g \\ \dfrac{d.m_1.g}{y_0} & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{0\to3}\right\} = {}_{\forall P\in(D,\vec{z})}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \dfrac{d.m_1.g + y_0.m_2.g}{y_0} & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Question 6 : *Faire l'application numérique.*

$$\left\{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LA}\right\} = {}_{A}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 18750 & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{0\to4}\right\} = {}_{E}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & -150000 \\ 62500 & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{2\to3}\right\} = {}_{C}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -187500 & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

$$\left\{\mathrm{T}_{1\to4}{}^{LB}\right\} = {}_{B}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -81250 & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{2\to1}\right\} = {}_{M}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 337500 \\ 0 & 150000 \\ 37500 & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \left\{\mathrm{T}_{0\to3}\right\} = {}_{\forall P\in(D,\vec{z})}\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 187500 & 0 \end{array}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$