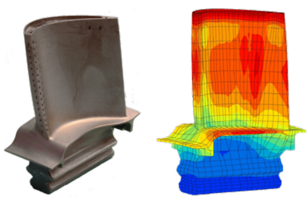
Applications



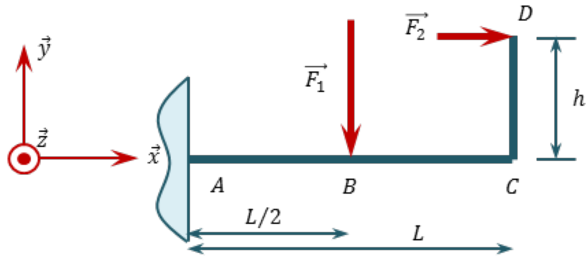
Exercices d'application – Détermination du torseur de cohésion.

Savoirs et compétences :

- *Mod2-C16-S1 : Déterminer le torseur de cohésion dans un solide*
- *Mod2-C16-S2 : Identifier les sollicitations (traction, compression, flexion, torsion, cisaillement)*

Exercice 1

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.

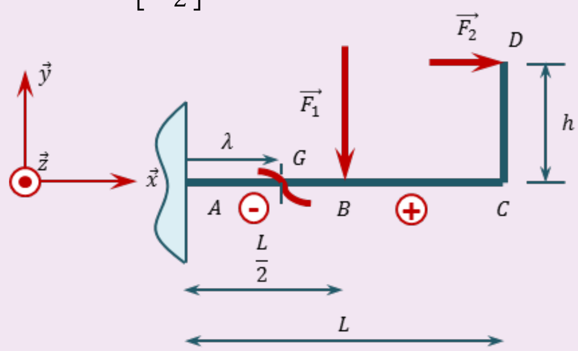


Question 1 *Proposer une méthode permettant de déterminer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons. Est-il nécessaire de déterminer les actions mécaniques en A ?*

Question 2 *Déterminer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons.*

Correction **On considère le tronçon AB**

On considère donc $\overrightarrow{AG} = \lambda \overrightarrow{x}$ avec $\lambda \in \left[0, \dfrac{L}{2}\right]$.



On isole la partie de droite, notée + soumise aux actions de :

torseur de cohésion : $\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{S\longrightarrow S+}$ en G ;

- action mécanique en B : $\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{B,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F_1 & 0 \\ 0 & -\left(\dfrac{L}{2}-\lambda\right)F_1 \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$;

❒ action mécanique en D : $\left\{\begin{array}{cc} F_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{D,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} F_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -F_2 h \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$.

Par application du PFS on a :

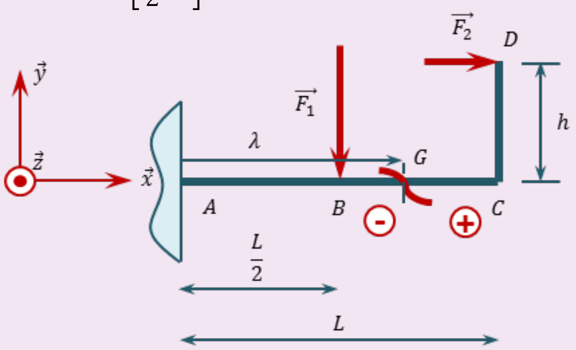
$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+} + \{\mathcal{T}(F_1 \to S+)\} + \{\mathcal{T}(F_2 \to S+)\} = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = \{\mathcal{T}(F_1 \to S+)\} + \{\mathcal{T}(F_2 \to S+)\}$$

On a donc :

$$\left\{\begin{array}{cc} N & M_t \\ T_y & Mf_y \\ T_z & Mf_z \end{array}\right\}_G = \left\{\begin{array}{cc} F_2 & 0 \\ -F_1 & 0 \\ 0 & -\left(\frac{L}{2}-\lambda\right)F_1 - F_2 h \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$$

On considère le tronçon BC

On considère donc $\overrightarrow{AG} = \lambda\overrightarrow{x}$ avec $\lambda \in \left[\frac{L}{2}, L\right]$.



On isole la partie de droite, notée + soumise aux actions de :

torseur de cohésion : $\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+}$ en G ;

❒ action mécanique en D : $\left\{\begin{array}{cc} F_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{D,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} F_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -F_2 h \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$.

Par application du PFS on a :

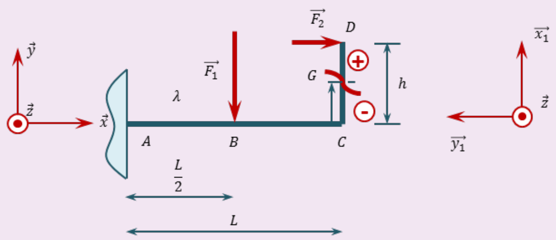
$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+} + \{\mathcal{T}(F_2 \to S+)\} = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = \{\mathcal{T}(F_2 \to S+)\}$$

On a donc :

$$\left\{\begin{array}{cc} N & M_t \\ T_y & Mf_y \\ T_z & Mf_z \end{array}\right\}_G = \left\{\begin{array}{cc} F_2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -F_2 h \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$$

On considère le tronçon CD

On considère donc $\overrightarrow{AG} = \lambda\overrightarrow{x}_1 - L\overrightarrow{y}_1$ avec $\lambda \in [0, h]$.



On isole la partie de droite, notée + soumise aux actions de :

torseur de cohésion : $\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+}$ en G ;

❒ action mécanique en D : $\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{D,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \\ 0 & -F_2(h-\lambda) \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z})}$.

Par application du PFS on a :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\rightarrow S+} + \{\mathcal{T}(F_2 \rightarrow S+)\} = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = +\{\mathcal{T}(F_2 \rightarrow S+)\}$$

On a donc :

$$\left\{\begin{array}{cc} N & M_t \\ T_y & Mf_y \\ T_z & Mf_z \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \\ 0 & -F_2(h-\lambda) \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z})}$$

Question 3 *Tracer le diagramme des sollicitations.*

Exercice 2

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.

Question 1 *Est-il nécessaire de déterminer les actions mécaniques en A et en B.*

Correction Si on isole la partie «II», elle est soumise à l'effort $\overrightarrow{F}$ et à l'action du torseur de cohésion. On n'aura donc pas besoin de l'action dans la liaison encastrement pour pouvoir déterminer le torseur de cohésion.

On cherche à déterminer le diagramme des sollicitations dans chacun des tronçons.

Question 2 *Exprimer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons.*

Correction

- On isole la portion $[MB]$ (+).
- La portion est soumise d'une part à l'action mécanique en B et d'autre part à l'action mécanique du torseur de cohésion.
- On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\rightarrow S+} + \left\{\begin{array}{cc} -F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{B,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

$\overrightarrow{\mathcal{M}(M,\text{Ext} \rightarrow \text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(B,\text{Ext} \rightarrow \text{Poutre})} + \overrightarrow{MB} \wedge -F\overrightarrow{x} = \left(-R\overrightarrow{u} + R\overrightarrow{x}\right) \wedge -F\overrightarrow{x} = -RF\sin\theta\overrightarrow{z}$ et $-F\overrightarrow{x} = -F\left(\cos\theta\overrightarrow{u} - \sin\theta\overrightarrow{v}\right)$.

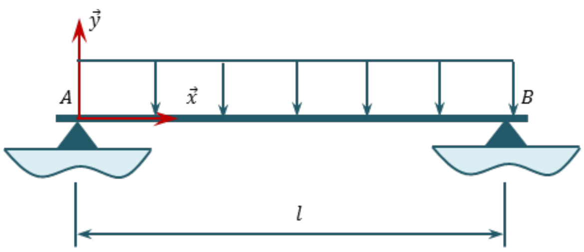
On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} -F\cos\theta & 0 \\ F\sin\theta & 0 \\ 0 & -RF\sin\theta \end{array}\right\}_{M,(\overrightarrow{u},\overrightarrow{v},\overrightarrow{z})}$$

TODO : diagrammes

Exercice 3

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués. On note p la densité d'effort linéique.



Question 1 *Déterminer les actions mécaniques en A et en B.*

Correction On a $Y_A = Y_B = \dfrac{pl}{2}$.

Question 2 *Exprimer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons.*

Correction
- On isole la portion $[GB]$.
- La portion est soumise à l'action mécanique en B, à l'action uniformément répartie (exprimée en M, milieu de $[GB]$) et à l'action mécanique du torseur de cohésion en G.
- On a donc :

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{S-\rightarrow S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \dfrac{pl}{2} & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{B,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -p(l-x) & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{M,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

On a donc, $\forall x \in [0,l]$,

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \dfrac{pl}{2} & 0 \\ 0 & (l-x)\dfrac{pl}{2} \end{array}\right\}_G + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -p(l-x) & 0 \\ 0 & -p\dfrac{(l-x)^2}{2} \end{array}\right\}_G = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \dfrac{pl}{2} - p(l-x) & 0 \\ 0 & (l-x)\dfrac{pl}{2} - p\dfrac{(l-x)^2}{2} \end{array}\right\}_G$$

car $\overrightarrow{\mathscr{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathscr{M}(B,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{GB} \wedge \dfrac{pl}{2}\overrightarrow{y} = (l-x)\overrightarrow{x} \wedge \dfrac{pl}{2}\overrightarrow{y} = \dfrac{pl(l-x)}{2}\overrightarrow{z}$

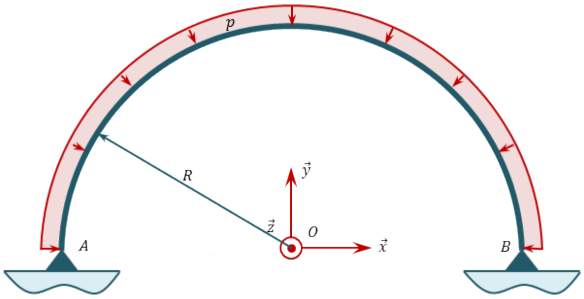
et $\overrightarrow{\mathscr{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathscr{M}(M,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{GM} \wedge \left(-p(l-x)\right)\overrightarrow{y} = \left(\dfrac{l-x}{2}\right)\overrightarrow{x} \wedge \left(-p(l-x)\right)\overrightarrow{y} = -p\dfrac{(l-x)^2}{2}\overrightarrow{z}$.

Question 3 *Tracer les diagrammes des sollicitations.*

Correction

Exercice 5

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre. On y exerce une charge répartie de pression p (en Nm^{-1}).



Question 1 *Déterminer les actions mécaniques en A et en B.*

Correction L'action de pression est modélisable par le glisseur suivant :

$$\mathcal{T}_{\text{Pression}\to\text{Poutre}} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R\,(\text{Pr}\to\text{Po})} = -2pR\overrightarrow{y} = -F\overrightarrow{y} \\ \overrightarrow{\mathcal{M}\,(O,\text{Pr}\to\text{Po})} = \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_O$$

On a donc :

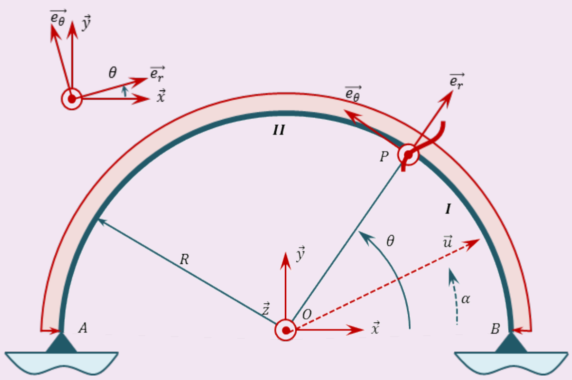
$$\mathcal{T}_{\text{Ext}\to\text{Poutre A}} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R\,(\text{Ext}\to\text{Po A})} = \frac{1}{2}F\overrightarrow{y} \\ \overrightarrow{\mathcal{M}\,(O,\text{Pr}\to\text{Po A})} = \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_O$$

$$\mathcal{T}_{\text{Ext}\to\text{Poutre B}} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R\,(\text{Ext}\to\text{Po B})} = \frac{1}{2}F\overrightarrow{y} \\ \overrightarrow{\mathcal{M}\,(O,\text{Pr}\to\text{Po B})} = \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_O$$

On cherche à déterminer le diagramme des sollicitations dans chacun des tronçons.

Question 2 *Quels tronçons peut-on considérer ?*

Correction On ne considèrera qu'un seul tronçon, dans laquelle on aura deux parties.



Question 3 *Exprimer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons, de préférence dans une base locale.*

Correction Pour $\theta \in [0;\pi]$, en appliquant le théorème de la résultante statique sur le tronçon I on a :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{II\to I} + \{\mathcal{T}_{\text{Ext}\to I}\} + \{\mathcal{T}_{\text{Pression}\to I}\} = \{0\}$$

Correction Exprimons $\{\mathcal{T}_{\text{Ext}\to\text{I}}\}$ au point P :

$$\{\mathscr{T}_{\text{Ext}\to\text{I}}\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R(\text{Ext}\to\text{I})} \\ \overrightarrow{\mathscr{M}(P,\text{Ext}\to\text{I})} \end{array} \right\}_P$$

- $\overrightarrow{R(\text{Ext}\to\text{I})} = \dfrac{1}{2}F\overrightarrow{y} = \dfrac{1}{2}F\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + \cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right)$
  $\overrightarrow{R(\text{Ext}\to\text{I})} = pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + \cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right)$
- $\overrightarrow{\mathscr{M}(P,\text{Ext}\to\text{I})}$
  $= \overrightarrow{\mathscr{M}(B,\text{Ext}\to\text{I})} + \overrightarrow{PB}\wedge\overrightarrow{R(\text{Ext}\to\text{I})}$
  $= \left(-R\overrightarrow{e_r} + R\overrightarrow{x}\right)\wedge\dfrac{1}{2}F\overrightarrow{y}$
  $= \left(-R\cos\theta\,\overrightarrow{x} - R\sin\theta\,\overrightarrow{y} + R\overrightarrow{x}\right)\wedge\dfrac{1}{2}F\overrightarrow{y}$
  $= \dfrac{1}{2}F\left(-R\cos\theta + R\right)\overrightarrow{z}$
  $= \dfrac{RF}{2}\left(1-\cos\theta\right)\overrightarrow{z}$
  $= pR^2\left(1-\cos\theta\right)\overrightarrow{z}.$

$$\{\mathscr{T}_{\text{Ext}\to\text{I}}\} = \left\{ \begin{array}{l} pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + \cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right) \\ pR^2\left(1-\cos\theta\right)\overrightarrow{z} \end{array} \right\}_P$$

Correction Exprimons $\{\mathscr{T}_{\text{Pression}\to\text{I}}\}$ au point O.

$$\{\mathscr{T}_{\text{Pr}\to\text{I}}\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R(\text{Pr}\to\text{I})} \\ \overrightarrow{\mathscr{M}(O,\text{Pr}\to\text{I})} = \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_O$$

- $\overrightarrow{R(\text{Pr}\to\text{I})} = \int_0^\theta pR(-\overrightarrow{e_r})\mathrm{d}\alpha$
  $= -pR\left([\sin\alpha]_0^\theta\,\overrightarrow{x} - [\cos\alpha]_0^\theta\,\overrightarrow{y}\right)$
  $= -pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{x} - (\cos\theta-1)\,\overrightarrow{y}\right)$
  $= -pR\left(\sin\theta\left(\cos\theta\,\overrightarrow{e_r} - \sin\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right)\right.$
  $\left.-(\cos\theta-1)\left(\cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta} + \sin\theta\,\overrightarrow{e_r}\right)\right)$
  $= -pR\left(\sin\theta\cos\theta\,\overrightarrow{e_r} - \sin^2\theta\,\overrightarrow{e_\theta} + \cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right.$
  $\left.+\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} - \cos^2\theta\,\overrightarrow{e_\theta} - \cos\theta\sin\theta\,\overrightarrow{e_r}\right)$
  $= -pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + (\cos\theta-1)\,\overrightarrow{e_\theta}\right)$

$$\{\mathscr{T}_{\text{Pr}\to\text{I}}\} = \left\{ \begin{array}{l} -pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + (\cos\theta-1)\,\overrightarrow{e_\theta}\right) \\ \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_O$$

Correction Exprimons $\{\mathscr{T}_{\text{Pression}\to\text{I}}\}$ au point P.

$$\{\mathscr{T}_{\text{Pr}\to\text{I}}\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R(\text{Pr}\to\text{I})} \\ \overrightarrow{\mathscr{M}(P,\text{Pr}\to\text{I})} \end{array} \right\}_P$$

$\overrightarrow{\mathscr{M}(P,\text{Pr}\to\text{I})} = \overrightarrow{\mathscr{M}(O,\text{Pr}\to I)} + \overrightarrow{PO}\wedge\overrightarrow{R(\text{Pr}\to\text{I})}$
$= -R\overrightarrow{e_r}\wedge\left(-pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + (\cos\theta-1)\,\overrightarrow{e_\theta}\right)\right)$
$= pR^2(\cos\theta-1)\,\overrightarrow{z}$

$$\{\mathscr{T}_{\text{Pr}\to\text{I}}\} = \left\{ \begin{array}{l} -pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r} + (\cos\theta-1)\,\overrightarrow{e_\theta}\right) \\ pR^2(\cos\theta-1)\,\overrightarrow{z} \end{array} \right\}_P$$

Correction En conclusion,

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{II\to I} + \{\mathscr{T}_{\text{Ext}\to I}\} + \{\mathscr{T}_{\text{Pression}\to I}\} = \{0\}$$

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{II\rightarrow I}=-\{\mathscr{T}_{\text{Ext}\rightarrow I}\}-\{\mathscr{T}_{\text{Pression}\rightarrow I}\}$$

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{II\rightarrow I}=-\left\{\begin{array}{l} pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r}+\cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right)\\ pR^2(1-\cos\theta)\,\overrightarrow{z}\end{array}\right\}_P-\left\{\begin{array}{l} -pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r}+(\cos\theta-1)\,\overrightarrow{e_\theta}\right)\\ pR^2(\cos\theta-1)\,\overrightarrow{z}\end{array}\right\}_P$$

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{II\rightarrow I}=\left\{\begin{array}{l} -pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r}+\cos\theta\,\overrightarrow{e_\theta}\right)+pR\left(\sin\theta\,\overrightarrow{e_r}+(\cos\theta-1)\,\overrightarrow{e_\theta}\right)\\ -pR^2(1-\cos\theta)\,\overrightarrow{z}-pR^2(\cos\theta-1)\end{array}\right\}_P$$

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{II\rightarrow I}=\left\{\begin{array}{c} -pR\,\overrightarrow{e_\theta}\\ \overrightarrow{0}\end{array}\right\}_P$$

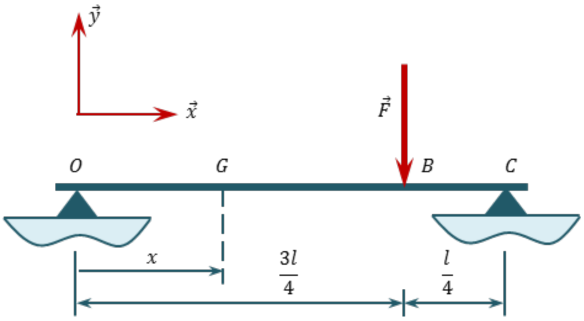
Le torseur de cohésion étant défini par :

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{II\rightarrow I}=\left\{\begin{array}{cc} N & M_t\\ T_y & M_{fy}\\ T_z & M_{fz}\end{array}\right\}_{P,\left(\overrightarrow{x_s},\overrightarrow{y_s},\overrightarrow{z_s}\right)}$$

On a alors $\overrightarrow{x_s}=e_\theta$, $\overrightarrow{y_s}=-e_r$, $\overrightarrow{z_s}=\overrightarrow{z}$.

Exercice 1

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.



Question 1 *Déterminer les actions mécaniques en A et en B.*

Correction

- On isole la poutre.
- On réalise le bilan des actions mécaniques :
  - liaison sphère-plan en O. Sans frottement, cette action est de direction $\overrightarrow{y}$;
  - liaison sphère-plan en C. Sans frottement, cette action est de direction $\overrightarrow{y}$;
  - action mécanique en B.
- On réalise un théorème de la résultante statique en C en projection sur $\overrightarrow{y}$ et un théorème du moment statique appliqué au point O en projection suivant $\overrightarrow{z}$:

$$\left\{\begin{array}{l} Y_O+Y_C-F=0 \\ -\dfrac{3l}{4}F+l\,Y_C=0 \end{array}\right. \Leftrightarrow \left\{\begin{array}{l} Y_O=F-\dfrac{3}{4}F=\dfrac{F}{4} \\ Y_C=\dfrac{3}{4}F \end{array}\right.$$

On cherche à déterminer le diagramme des sollicitations dans chacun des tronçons.

Question 2 *Quels tronçons peut-on considérer ?*

Correction Dans le cadre de cette étude on considèrera les tronçons suivants : $x\in\left[0,\dfrac{3l}{4}\right]$ et $x\in\left[\dfrac{3l}{4},l\right]$.

Question 3 *Exprimer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons.*

Correction

- On isole le premier tronçon.
- Le tronçon est soumis d'une part à l'action mécanique en O et d'autre part à l'action mécanique du torseur de cohésion.
- On a donc :

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-}+\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_O & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{A,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}=\{0\}$$

On a donc :

$$\{\mathscr{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-}=-\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_O & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_A=\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -\dfrac{F}{4} & 0 \\ 0 & \dfrac{F}{4}x \end{array}\right\}_G$$

car $\overrightarrow{\mathscr{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})}=\overrightarrow{\mathscr{M}(O,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})}+\overrightarrow{GO}\wedge Y_O\,\overrightarrow{y}=-x\,\overrightarrow{x}\wedge Y_O\,\overrightarrow{y}=-x\,Y_O\,\overrightarrow{z}=-x\dfrac{F}{4}\overrightarrow{z}$.

- On isole le second tronçon.

- Le tronçon est soumis d'une part à l'action mécanique en C et d'autre part à l'action mécanique du torseur de cohésion.
- On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\longrightarrow S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_C & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{A,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

On a donc, $\forall x \in \left[\dfrac{3l}{4}, l\right]$:

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\longrightarrow S+} = -\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_C & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{A} = -\left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \dfrac{3F}{4} & 0 \\ 0 & (l-x)\dfrac{3F}{4} \end{array}\right\}_{G}$$

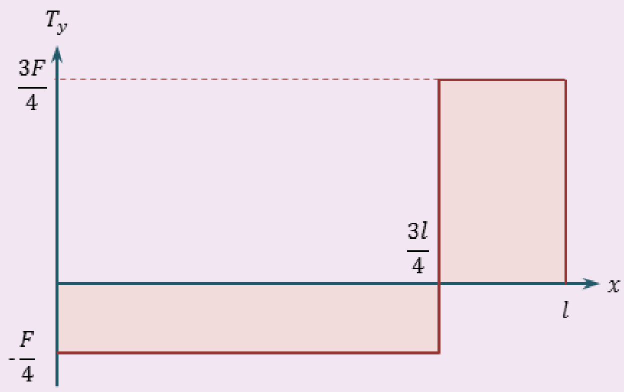
car $\overrightarrow{\mathcal{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(C,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{GC} \wedge Y_C\overrightarrow{y} = (l-x)\overrightarrow{x} \wedge Y_C\overrightarrow{y} = (l-x)Y_C\overrightarrow{z} = (l-x)\dfrac{3F}{4}\overrightarrow{z}$.

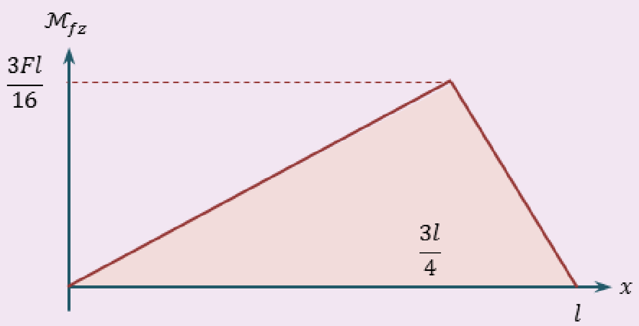
Au final,

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \dfrac{3F}{4} & 0 \\ 0 & (l-x)\dfrac{3F}{4} \end{array}\right\}_{G}$$

Question 4 *Tracer les diagrammes des sollicitations.*

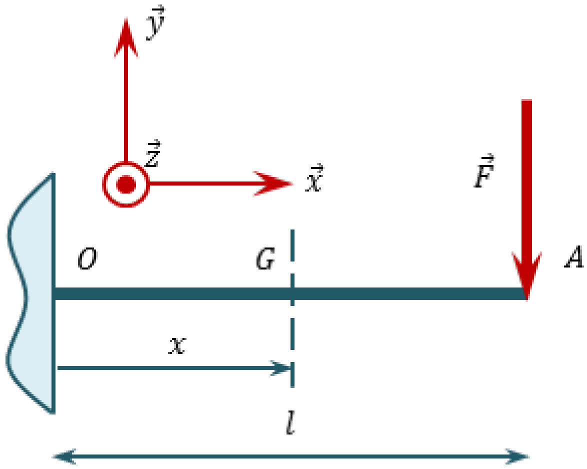
Correction





Exercice 2

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.



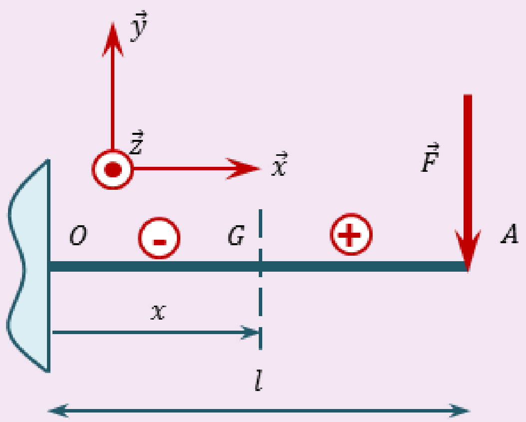
Question 1 *Donner une méthode permettant de déterminer le torseur de cohésion sans calculer les actions mécaniques en O.*

Correction Si on isole la partie comprise entre G et A et qu'on applique le PFS, cette partie est soumise aux efforts de cohésion et à l'action mécanique en A. Il n'est donc pas nécessaire de déterminer les efforts en O.

Question 2 *Exprimer le torseur de cohésion.*

Correction

- ❒ On isole la portion comprise entre G et A.
- ❒ Cette partie est soumises aux actions mécaniques de l'effort en A et des actions du torseur de cohésion.
- ❒ On réalise le PFS sur cette partie et on a :



$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{A,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

On a donc, $\forall x \in [0,l]$:

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{A,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & (x-l)F \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \left\{\begin{array}{cc} N & \mathcal{M}_t \\ T_y & \mathcal{M}_{fy} \\ T_z & \mathcal{M}_{fz} \end{array}\right\}_{G}$$

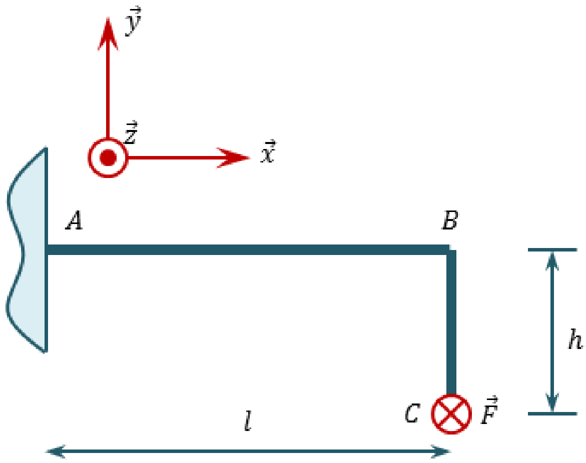
car $\overrightarrow{\mathcal{M}(G,\text{Ext}\to\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(A,\text{Ext}\to\text{Poutre})} + \overrightarrow{GA} \wedge -F\overrightarrow{y} = (l-x)\overrightarrow{x} \wedge -F\overrightarrow{y} = (x-l)F\overrightarrow{z}$.

Question 3 *Tracer les diagrammes des sollicitations.*

Correction

Exercice 3

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.



Question 1 *Déterminer les actions mécaniques en A et en B… et remarquer que cela peut ne servir à rien pour la suite du problème…*

Correction *Remarque :* Pour déterminer le torseur de cohésion dans ce cas il n'est pas nécessaire de déterminer les actions mécaniques dans la liaison encastrement.

- On isole la poutre.
- La poutre est soumise à une liaison encastrement en A et à une action mécanique en C.
- On a donc :

$$\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & N_A \end{array}\right\}_A + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_C = \{0\}$$

$$\overrightarrow{\mathcal{M}(A,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(C,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{AC}\wedge -F\overrightarrow{z} = \left(l\overrightarrow{x} - h\overrightarrow{z}\right)\wedge -F\overrightarrow{z} = F\,l\,\overrightarrow{y}$$

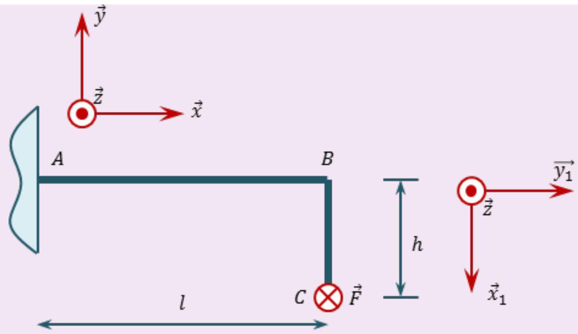
$$\left\{\begin{array}{cc} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & N_A \end{array}\right\}_A = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & -F\,l \\ F & 0 \end{array}\right\}_A$$

On cherche à déterminer le diagramme des sollicitations dans chacun des tronçons.

Question 2 *Quels tronçons peut-on considérer ?*

Correction

On peut considérer les deux tronçons suivants :
- le tronçon AB sur lequel $x \in [0, l]$;
- le tronçon BC sur lequel on définit un repère local.



Question 3 *Exprimer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons.*

Correction

- On isole le premier tronçon.
- Le tronçon est soumis d'une part à l'action mécanique en A (vu qu'on l'a calculée, on va l'utilise ...) et d'autre part à l'action mécanique du torseur de cohésion.
- On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\rightarrow S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{C,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

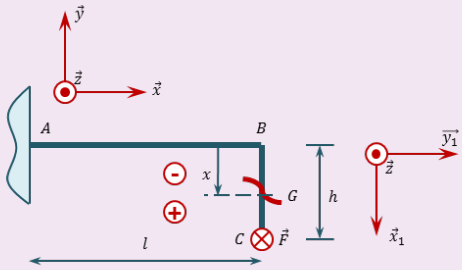
On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{C,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$$

$\overrightarrow{\mathcal{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(C,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{GC} \wedge -F\overrightarrow{z} = \left((l-x)\overrightarrow{x} - h\overrightarrow{y}\right) \wedge -F\overrightarrow{z} = F(l-x)\overrightarrow{y} + Fh\overrightarrow{x}$ On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & Fh \\ 0 & F(l-x) \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})}$$

- On isole la portion $[GC]$.
- Le tronçon est soumis d'une part à l'action mécanique en C et d'autre part à l'action mécanique du torseur de cohésion.
- On a donc :



$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\rightarrow S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{C,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

On a donc :

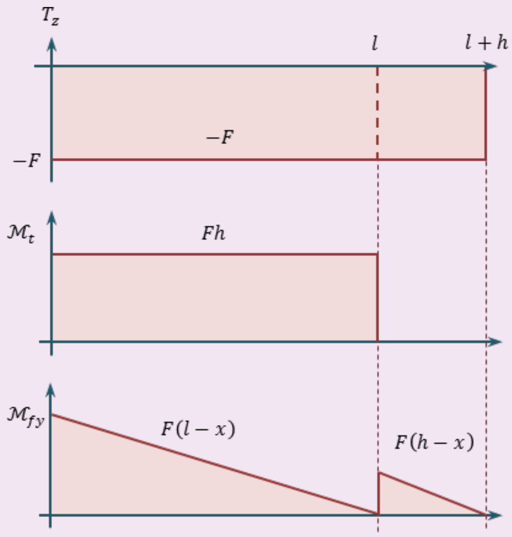
$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{C}$$

$\overrightarrow{\mathcal{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(C,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{GC} \wedge -F\overrightarrow{z} = (h-x)\overrightarrow{x_1} \wedge -F\overrightarrow{z} = (h-x)F\,\overrightarrow{y_1}$. On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & (h-x)F \\ -F & 0 \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z})}$$

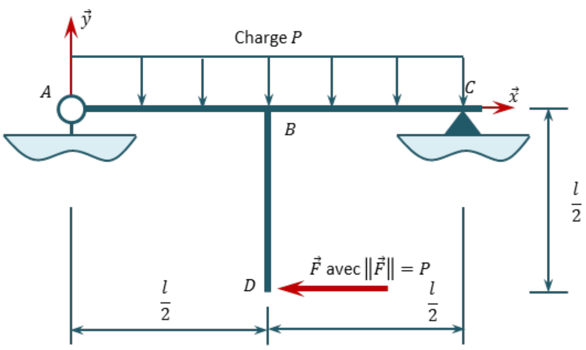
Question 4 *Tracer les diagrammes des sollicitations.*

Correction



Exercice 4

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.



Question 1 *Déterminer les actions mécaniques en A et en B.*

Correction

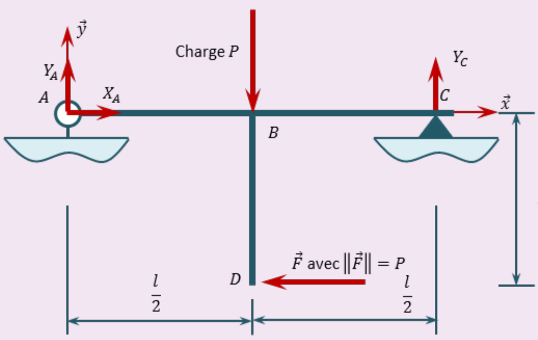
Le problème est plan. On isole la poutre et on réalise le bilan des actions mécaniques extérieures (figures ci-dessous).

On applique le théorème de la résultante statique sur $\overrightarrow{x}$ puis sur $\overrightarrow{y}$:
- ❐ $X_A - F = 0$;
- ❐ $Y_A + Y_C - P = 0$.

On applique le théorème du moment statique en A en projection sur $\overrightarrow{z}$:
- ❐ $-\dfrac{Fl}{2} - \dfrac{Pl}{2} + l\,Y_C = 0$.

On peut alors résoudre le système :

$$\begin{cases} X_A = F \\ Y_A = -Y_C + P = 0 \\ Y_C = \dfrac{F+P}{2} = F \end{cases}$$



On cherche à déterminer le diagramme des sollicitations dans chacun des tronçons.

Question 2 *Quels tronçons peut-on considérer ?*

Correction On peut considérer les tronçons $[AB]$, $[BC]$ et $[BD]$.

Question 3 *Exprimer le torseur de cohésion dans chacun des tronçons.*

Correction

- ❒ On isole la portion $[AG]$ avec $G \in [AC]$.
- ❒ La portion est soumise d'une part à l'action mécanique en A, à l'action uniformément répartie (exprimée en M, milieu de $[AG]$) et à l'action mécanique du torseur de cohésion.
- ❒ On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} + \left\{\begin{array}{cc} F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{A,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -px & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{M,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

On a donc, $\forall x \in \left[0, \dfrac{l}{2}\right]$,

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = -\left\{\begin{array}{cc} F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_G - \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -px & 0 \\ 0 & \dfrac{px^2}{2} \end{array}\right\}_G = \left\{\begin{array}{cc} -F & 0 \\ px & 0 \\ 0 & -\dfrac{px^2}{2} \end{array}\right\}_G$$

car $\overrightarrow{\mathcal{M}(G, \text{Ext} \to \text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(A, \text{Ext} \to \text{Poutre})} + \overrightarrow{GA} \wedge F\overrightarrow{x} = -x\overrightarrow{x} \wedge F\overrightarrow{x} = \overrightarrow{0}$

et $\overrightarrow{\mathcal{M}(G, \text{Ext} \to \text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(M, \text{Ext} \to \text{Poutre})} + \overrightarrow{GM} \wedge (-px)\overrightarrow{y} = -\dfrac{x}{2}\overrightarrow{x} \wedge (-px)\overrightarrow{y} = \dfrac{px^2}{2}\overrightarrow{z}$.

- ❒ On isole la portion $[GC]$ avec $G \in [BC]$.
- ❒ La portion est soumise d'une part à l'action mécanique en C, à l'action uniformément répartie (exprimée en M, milieu de $[GC]$) et à l'action mécanique du torseur de cohésion en G.
- ❒ On a donc :

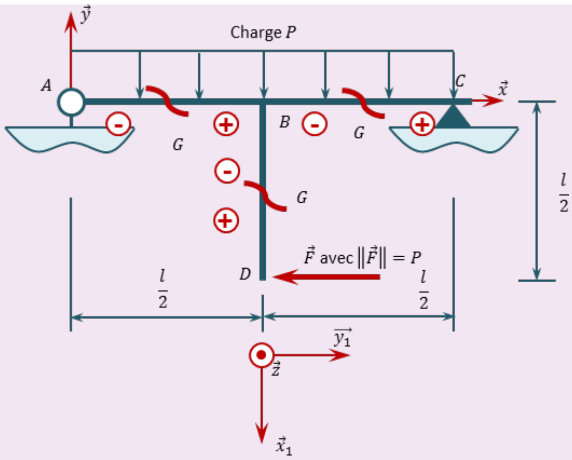
$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ F & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{C,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -p(l-x) & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{M,(\overrightarrow{x},\overrightarrow{y},\overrightarrow{z})} = \{0\}$$

On a donc, $\forall x \in \left[\dfrac{l}{2}, l\right]$,

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ F & 0 \\ 0 & (l-x)F \end{array}\right\}_G + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -p(l-x) & 0 \\ 0 & -p\dfrac{(l-x)^2}{2} \end{array}\right\}_G = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ F-p(l-x) & 0 \\ 0 & (l-x)F - p\dfrac{(l-x)^2}{2} \end{array}\right\}_G$$

car $\overrightarrow{\mathcal{M}(G, \text{Ext} \to \text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(C, \text{Ext} \to \text{Poutre})} + \overrightarrow{GC} \wedge F\overrightarrow{y} = (l-x)\overrightarrow{x} \wedge F\overrightarrow{y} = (l-x)F\overrightarrow{z}$

et $\overrightarrow{\mathcal{M}(G, \text{Ext} \to \text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(M, \text{Ext} \to \text{Poutre})} + \overrightarrow{GM} \wedge (-p(l-x))\overrightarrow{y} = \left(\dfrac{l-x}{2}\right)\overrightarrow{x} \wedge (-p(l-x))\overrightarrow{y} = -p\dfrac{(l-x)^2}{2}\overrightarrow{z}$.



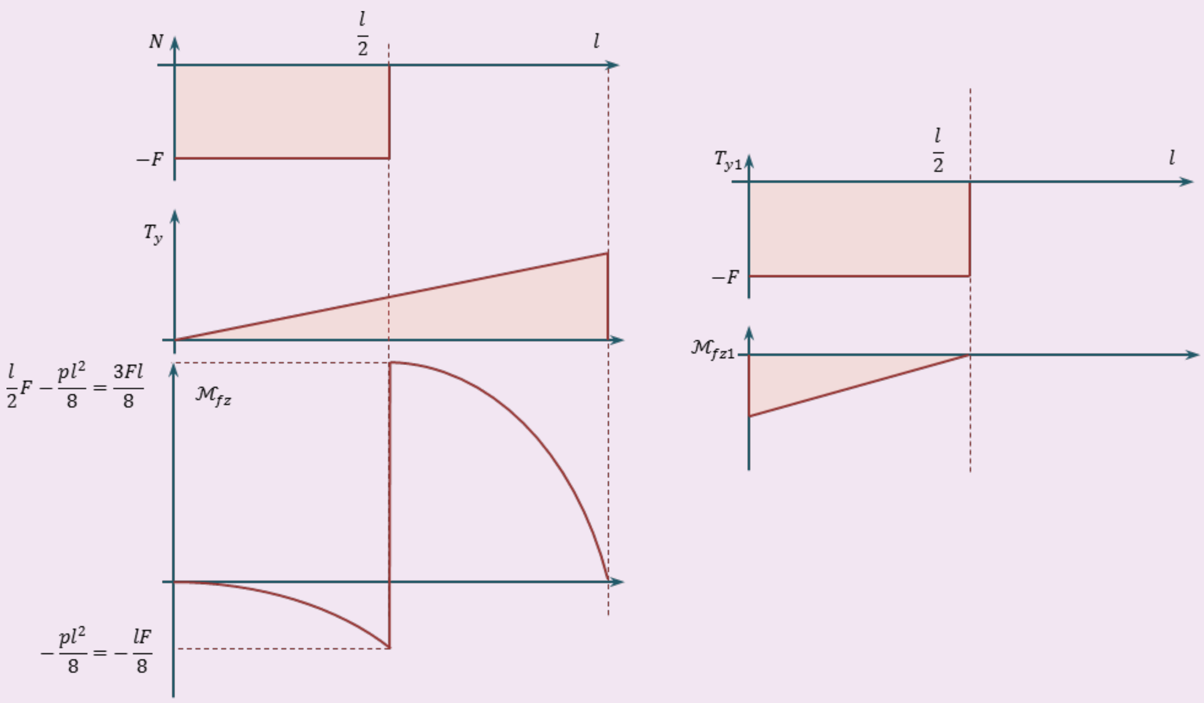
- ❒ On isole la portion $[GD]$ avec $G \in [BD]$.
- ❒ La portion est soumise d'une part à l'action mécanique en D et à l'action mécanique du torseur de cohésion en G.
- ❒ On a donc :

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\rightarrow S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F & 0 \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{D,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_1})} = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\rightarrow S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F & 0 \\ 0 & F\left(x-\frac{l}{2}\right) \end{array}\right\}_{G,(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_1})}$$

car $\overrightarrow{\mathcal{M}(G,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} = \overrightarrow{\mathcal{M}(D,\text{Ext}\rightarrow\text{Poutre})} + \overrightarrow{GD} \wedge (-F)\overrightarrow{y_1} = \left(\frac{l}{2}-x\right)\overrightarrow{x_1} \wedge (-F)\overrightarrow{y_1} = F\left(x-\frac{l}{2}\right)\overrightarrow{z_1}$.

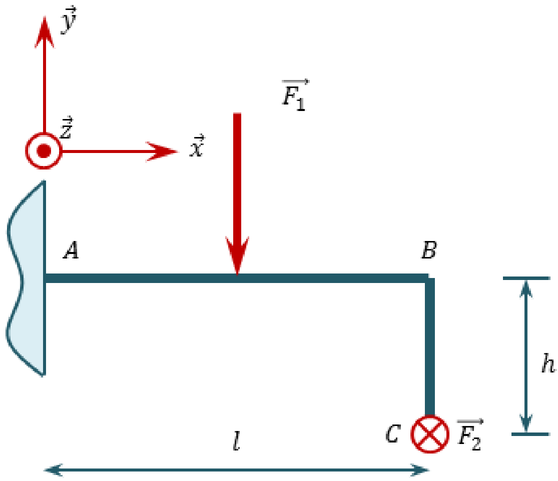
Question 4 *Tracer les diagrammes des sollicitations.*

Correction



Exercice 7

On donne sur le schéma ci-dessous la modélisation d'une poutre et des efforts qui lui sont appliqués.



On isole la poutre.
La poutre est soumise à l'action mécanique du mur, ainsi qu'aux efforts en D et en C ;

- $\overrightarrow{M(\overrightarrow{F_1},A)} = \overrightarrow{M(\overrightarrow{F_1},D)} + \overrightarrow{AD} \wedge \overrightarrow{F_1} = \dfrac{l}{2}\overrightarrow{x} \wedge F_1(-\overrightarrow{y}) = -\dfrac{l}{2}F_1\overrightarrow{z}$;
- $\overrightarrow{M(\overrightarrow{F_2},A)} = \overrightarrow{M(\overrightarrow{F_2},C)} + \overrightarrow{AC} \wedge \overrightarrow{F_2} = \left(l\overrightarrow{x} - h\overrightarrow{y}\right) \wedge \left(-F_2\overrightarrow{z}\right) = F_2 l\overrightarrow{y} + F_2 h\overrightarrow{x}$;

On applique le PFS au point A et on a :

- $X_A = 0$;
- $Y_A - F_1 = 0$;
- $Z_A - F_2 = 0$;
- $L_A + F_2 h = 0$;
- $M_A + F_2 l = 0$;
- $N_A - \dfrac{l}{2}F_1 = 0$.

Tronçon $[AC]$

- On isole la partie gauche, soumise à l'action mécanique de l'encastrement et à l'action de la partie + sur la partie −.
- On a donc

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & -F_2 h \\ F_1 & -F_2 l \\ F_2 & \dfrac{F_1 l}{2} \end{array}\right\}_A = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = -\left\{\begin{array}{cc} 0 & -F_2 h \\ F_1 & -F_2 l \\ F_2 & \dfrac{F_1 l}{2} \end{array}\right\}_A = -\left\{\begin{array}{cc} 0 & -F_2 h \\ F_1 & -F_2 l + \lambda F_2 \\ F_2 & \dfrac{F_1 l}{2} - \lambda F_1 \end{array}\right\}_G$$

Avec $\overrightarrow{M(G)} = \overrightarrow{M(A)} + \overrightarrow{GA} \wedge \left(F_1\overrightarrow{y} + F_2\overrightarrow{z}\right) = \overrightarrow{M(A)} + \left(-\lambda\overrightarrow{x}\right) \wedge \left(F_1\overrightarrow{y} + F_2\overrightarrow{z}\right) = \overrightarrow{M(A)} + \left(-\lambda F_1\overrightarrow{z}\right) + \lambda F_2\overrightarrow{y}$.

Tronçon $[CB]$

- On isole la partie droite, soumise à l'action mécanique de l'effort en C et à l'action de la partie − sur la partie +.
- On a donc

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_C = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_C = \left\{\begin{array}{cc} 0 & F_2 h \\ 0 & F_2\lambda \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_G$$

Avec $\overrightarrow{M(G)} = \overrightarrow{M(C)} + \overrightarrow{GC} \wedge \left(-F_2\overrightarrow{z}\right) = \left(\lambda\overrightarrow{x} - h\overrightarrow{y}\right) \wedge \left(-F_2\overrightarrow{z}\right) = F_2\lambda\overrightarrow{y} + F_2 h\overrightarrow{x}$.

Tronçon $[BC]$

- On se positionne dans le repère local $\left(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z}\right)$.
- On isole la partie droite, soumise à l'action mécanique de l'effort en C et à l'action de la partie − sur la partie +.
- On a donc

$$\{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S-\to S+} + \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_C = \{0\} \Leftrightarrow \{\mathcal{T}_{\text{coh}}\}_{S+\to S-} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_{C,R_1} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & F_2\lambda \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_{G,R_1} = \left\{\begin{array}{cc} 0 & F_2\lambda \\ 0 & 0 \\ -F_2 & 0 \end{array}\right\}_{G,R}$$

Avec $\overrightarrow{M(G)} = \overrightarrow{M(C)} + \overrightarrow{GC} \wedge \left(-F_2\overrightarrow{z}\right) = \left(\lambda\overrightarrow{x_1}\right) \wedge \left(-F_2\overrightarrow{z}\right) = F_2\lambda\overrightarrow{y_1}$.