



1 Définition

On appelle **action mécanique** toute **cause** susceptible de :

- maintenir un corps au repos



- créer ou modifier un mouvement



- déformer un corps



2 Modélisation des actions mécaniques

2.1. Notion de force

Une force est modélisable par un bipoint (vecteur lié). L'unité de la force est le **newton (N)**.

Origine: Point d'application de l'action mécanique

Direction: Support de l'action mécanique

Sens: Sens de l'action mécanique

Norme: Intensité de l'action mécanique

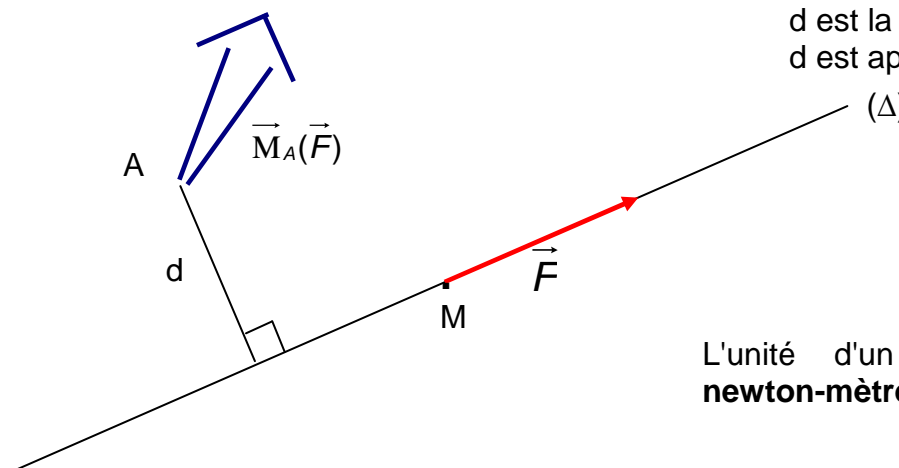
2.2. Moment d'une force par rapport à un point

Soit \vec{F} une force appliquée au point M.

On appelle *moment de \vec{F} par rapport à A* le bipoint $\vec{M}_A(\vec{F})$.

$$\vec{M}_A(\vec{F}) = \overrightarrow{AM} \wedge \vec{F}$$

$$\|\vec{M}_A(\vec{F})\| = \|\vec{F}\| \cdot d$$



d est la distance de A au support de \vec{F}
 d est appelé **bras de levier**

L'unité d'un moment est le
newton-mètre (N.m)

Propriété: Le moment est **perpendiculaire** à \overrightarrow{AM} et à \vec{F} .

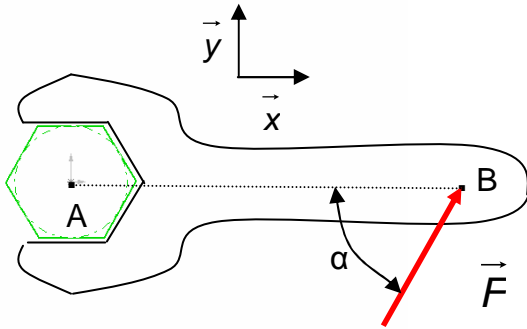
Le *moment de \vec{F} par rapport à A* est **nul** soit lorsque $\vec{F} = \vec{0}$

soit lorsque **le support de \vec{F} passe par A** ($d=0$).



Exemple: la clé

L'opérateur exerce sur la clé la force \vec{F} en B. C'est le moment en A de la force \vec{F} qui fait tourner l'écrou.



$$\vec{M}_A(\vec{F}) = \vec{AB} \wedge \vec{F}$$

$$\vec{M}_A(\vec{F}) = AB \cdot \sin(\alpha) \cdot F \cdot \vec{z}$$

$$\|\vec{M}_A(\vec{F})\| = AB \cdot \sin(\alpha) \cdot F$$

$$\|\vec{M}_A(\vec{F})\| = d \cdot F$$

avec d (bras de levier)

$$d = AB \cdot \sin(\alpha)$$

On constate que pour desserrer plus facilement l'écrou, il faut se placer le plus **loin** possible de A (AB est plus grand, on augmente le bras de levier) et il faut également que \vec{F} **soit perpendiculaire** à \vec{AB} .

2.3. Modélisation d'une action mécanique

On peut modéliser une action mécanique par un **torseur** associé à cette action mécanique.

$$\{\tau(1 \rightarrow 2)\}_B = \left\{ \vec{R}(1 \rightarrow 2) = \vec{F}(1 \rightarrow 2) \quad \vec{M}_B(1 \rightarrow 2) = \vec{BA} \wedge \vec{F}(1 \rightarrow 2) \right\}_{\mathcal{R}}$$

Ce torseur modélise l'action mécanique de la force $\vec{F}(1 \rightarrow 2)$ qu'exerce la pièce 1 sur la pièce 2 appliquée au point A.

A est le **point d'application de la force**.

B est le **point de réduction du torseur**.

Dans ce torseur, deux composantes sont représentées:

- $\vec{R}(1 \rightarrow 2)$ qui est la résultante
- $\vec{M}_B(1 \rightarrow 2)$ qui est le moment de la force $\vec{F}(1 \rightarrow 2)$ par rapport au point B

Autre écriture:
$$\{\mathbf{T}_{1 \rightarrow 2}\}_B = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & L_{1/2} \\ Y_{1/2} & M_{1/2} \\ Z_{1/2} & N_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathcal{R}}$$
 Avec :
$$\vec{R}(1 \rightarrow 2) \begin{vmatrix} X_{1/2} \\ Y_{1/2} \\ Z_{1/2} \end{vmatrix} \quad \text{et} \quad \vec{M}_B(1 \rightarrow 2) \begin{vmatrix} L_{1/2} \\ M_{1/2} \\ N_{1/2} \end{vmatrix}$$



3 Classification des actions mécaniques

On peut classer les actions mécaniques en deux familles:

- actions mécaniques à distance
- actions mécaniques de contact

3.1. Actions mécaniques à distance

L'action mécanique de 1 → 2 est dite à distance si il n'existe pas de contact entre 1 et 2.

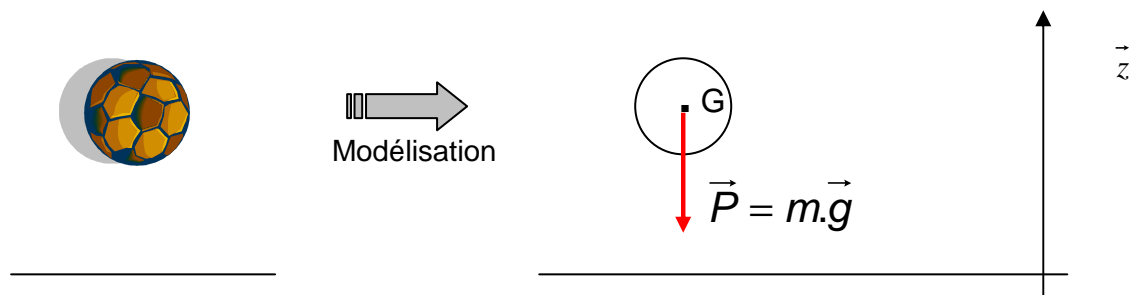
Exemples :

- La pesanteur (ou gravité)

Cette action mécanique résulte de l'action de la Terre sur un corps.

On en a une perception lorsqu'on lâche, par exemple un stylo à un mètre du sol: il tombe!

Cette action mécanique **s'applique** au **centre de gravité** du corps, elle est **dirigée** vers le **centre de la Terre** (de direction verticale \vec{z}).



$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

$$\vec{P} = -m \cdot g \cdot \vec{z}$$

Avec: \vec{P} : Poids du ballon (Action mécanique exercée par la Terre sur le ballon) (N)
 m : Masse du ballon (**kg**)
 \vec{g} : Accélération de la pesanteur
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ Cette valeur dépend de la position sur le globe.

- Le magnétisme

On peut la mettre en évidence avec deux aimants.

C'est cette action mécanique qui est le fondement des moteurs électriques.

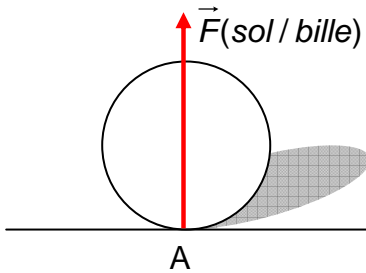
3.2. Actions mécaniques de contact

3.2.1. Contact "ponctuel"

Lorsque l'action de contact entre deux solides est concentrée sur un point ou une petite surface, l'action mécanique peut être modélisé par une force.



Exemple: une bille sur un plan



Lorsqu'il n'y a **pas de frottement** au niveau du contact, la **force est perpendiculaire à la surface de contact.**

3.2.2. Contact "linéaire"

Lorsque l'action de contact entre deux solides est concentrée sur une ligne, l'action mécanique est modélisée par charge linéique.

Exemple: Cylindre sur un plan

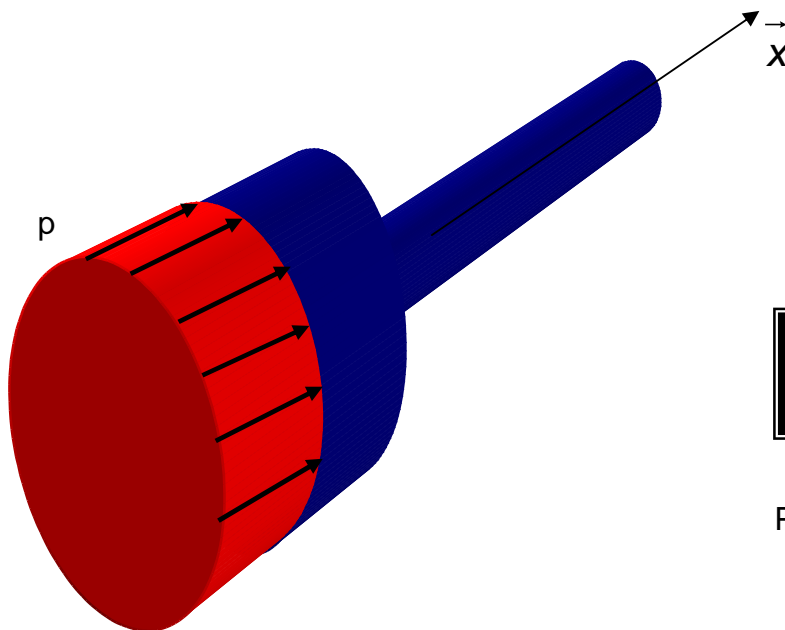
3.2.3. Contact "surfaccique"

Lorsque l'action de contact entre deux solides est concentrée sur une surface, l'action mécanique est schématisée par une pression de contact.

L'unité de la **pression** est le **N/m²** ou le **Pa** (Pascal)

On utilise couramment le bar comme unité de pression, mais ce n'est pas l'unité légale, donc attention dans les calculs. **1 bar = 10⁵ Pa**

Exemple: Action du fluide (air comprimé, ou huile) sur le piston d'un vérin



L'effort résultant de l'action du fluide sur le piston est:

$$\vec{F}_{\text{Fluide / Piston}} = p \cdot S \cdot \vec{x}$$

En norme: $F = p \cdot S$

Pression en Pa

Surface de contact du fluide en m²



4 Notion d'isolement (Frontière d'isolement)

On considère un mécanisme constitué de trois solides.

Soit $S = \{S1 \cup S2 \cup S3\}$

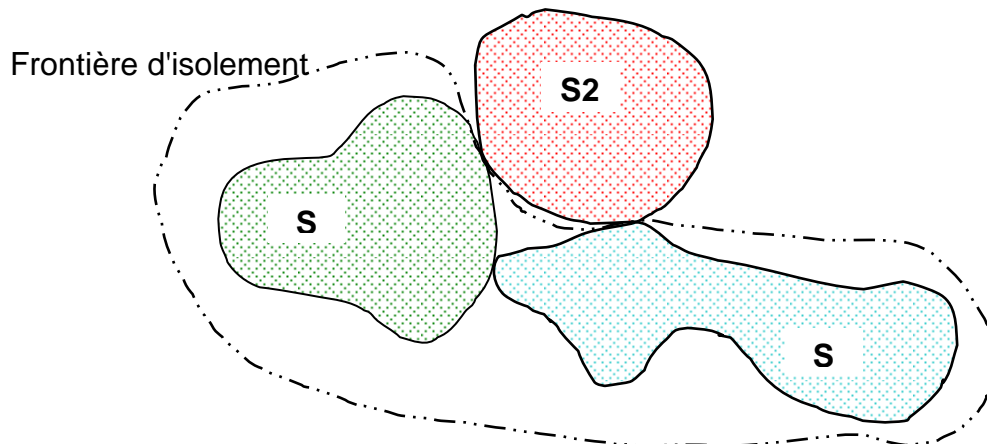
Soit $S' = \{S1 \cup S3\}$

Les actions mécaniques **extérieures** à S sont les actions exercées par le **milieu extérieur**, noté \bar{S} .

Si on isole S , la seule action mécanique extérieure est celle du poids de S .

Par contre si on isole S' , les actions mécaniques extérieures sont celle du poids de S' et celle due à $S2$.

L'action mécanique de $S1$ sur $S3$ est une action mécanique **intérieure**.



Les actions mécaniques de $S2$ sur $S1$ et de $S2$ sur $S3$ sont des actions mécaniques intérieures si on isole S et des actions mécaniques extérieures si on isole S' .



Tracteur isolé en entier



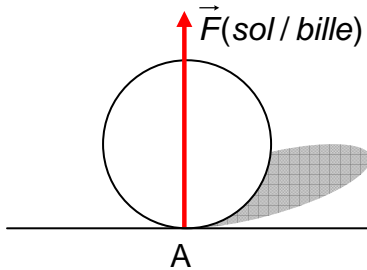
Seul le moteur du tracteur est isolé

5 Principe des actions mutuelles



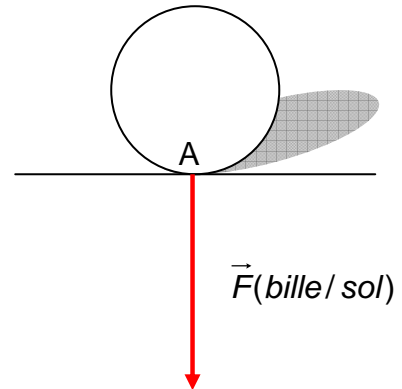
Toute action mécanique implique l'existence d'une autre action qui lui est opposée.

Exemple : une bille sur un plan



Le sol exerce sur la bille la force:
 $\vec{F}(sol / bille)$

Réciproquement
 \Leftrightarrow



La bille exerce sur le sol la force:
 $\vec{F}(bille / sol)$

Avec: $\vec{F}(bille / sol) = - \vec{F}(sol / bille)$

Propriété : $\vec{F}(S1 \rightarrow S2) = - \vec{F}(S2 \rightarrow S1)$

De même : $\vec{M}_A(S1 \rightarrow S2) = - \vec{M}_A(S2 \rightarrow S1)$

Donc

$${}_A\{\tau(1 \rightarrow 2)\} = - {}_A\{\tau(2 \rightarrow 1)\}$$

6 Actions mécaniques transmissibles dans les liaisons

Dans cette partie nous ne considérerons que la liaison parfaite (cf. définition chapitre 1) entre les pièces 1 & 2.

L'objet de ce paragraphe est de définir la force et le moment en un point que la pièce 1 peut transmettre à la pièce 2.

Nous allons étudier une à une les différentes liaisons.



6.1. Liaison complète (encastrement)

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & L_{1/2} \\ Y_{1/2} & M_{1/2} \\ Z_{1/2} & N_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

Avec $X_{1/2}$ composante suivant \vec{x} de la force transmissible de 1 sur 2

$Y_{1/2}$ composante suivant \vec{y} de la force transmissible de 1 sur 2

$Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

$L_{1/2}$ composante suivant \vec{x} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$M_{1/2}$ composante suivant \vec{y} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$N_{1/2}$ composante suivant \vec{z} du moment transmissible en A de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison complète est capable de transmettre des forces et des moments suivant toutes les directions de l'espace.

6.2. Liaison pivot

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & 0 \\ Y_{1/2} & M_{1/2} \\ Z_{1/2} & N_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

Avec $X_{1/2}$ composante suivant \vec{x} de la force transmissible de 1 sur 2

$Y_{1/2}$ composante suivant \vec{y} de la force transmissible de 1 sur 2

$Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

$M_{1/2}$ composante suivant \vec{y} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$N_{1/2}$ composante suivant \vec{z} du moment transmissible en A de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison pivot est capable de transmettre des forces suivant toutes les directions de l'espace et des moments uniquement suivant les directions \vec{y} et \vec{z} .

La liaison pivot **parfaite** est incapable de transmettre un moment suivant son axe de rotation.



6.3. Liaison glissière

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{\tau(1/2)\} = \left\{ \begin{array}{cc} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{array} \right\}_A \mathfrak{R}$$

Avec $Y_{1/2}$ composante suivant \vec{y} de la force transmissible de 1 sur 2

$Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

$L_{1/2}$ composante suivant \vec{x} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$M_{1/2}$ composante suivant \vec{y} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$N_{1/2}$ composante suivant \vec{z} du moment transmissible en A de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison glissière est capable de transmettre des forces uniquement suivant les directions \vec{y} et \vec{z} et des moments suivant toutes les directions de l'espace.

La liaison glissière **parfaite** est incapable de transmettre une force suivant son axe de translation.

6.4. Liaison pivot glissant

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{\tau(1/2)\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_{1/2} & M_{1/2} \\ Z_{1/2} & N_{1/2} \end{array} \right\}_A \mathfrak{R}$$

Avec $Y_{1/2}$ composante suivant \vec{y} de la force transmissible de 1 sur 2

$Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

$M_{1/2}$ composante suivant \vec{y} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$N_{1/2}$ composante suivant \vec{z} du moment transmissible en A de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison pivot glissant est capable de transmettre des forces et des moments uniquement suivant les directions \vec{y} et \vec{z} .



6.5. Liaison sphérique (rotule)

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{\tau(1/2)\} = \left. \begin{matrix} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{matrix} \right\}_A \mathfrak{R}$$

Avec $X_{1/2}$ composante suivant \vec{x} de la force transmissible de 1 sur 2

$Y_{1/2}$ composante suivant \vec{y} de la force transmissible de 1 sur 2

$Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison sphérique est capable de transmettre des forces suivant toutes les directions de l'espace mais est incapable de transmettre un moment.

6.6. Liaison appui plan

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{\tau(1/2)\} = \left. \begin{matrix} 0 & L_{1/2} \\ 0 & M_{1/2} \\ Z_{1/2} & 0 \end{matrix} \right\}_A \mathfrak{R}$$

Avec $Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

$L_{1/2}$ composante suivant \vec{x} du moment transmissible en A de 1 sur 2

$M_{1/2}$ composante suivant \vec{y} du moment transmissible en A de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison appui plan est capable de transmettre une force uniquement suivant \vec{z} et des moments uniquement suivant \vec{x} et \vec{y} .



6.7. Liaison sphère plan (ponctuelle)

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles

$$\{ \tau(1/2) \}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{1/2} & 0 \end{Bmatrix}_{\mathcal{R}}$$

Avec $Z_{1/2}$ composante suivant \vec{z} de la force transmissible de 1 sur 2

On remarque que, vu la forme de ce torseur, la liaison sphère plan n'est capable de transmettre qu'une force suivant \vec{z} .

6.8. Remarques

On constate qu'il existe une dualité effort – mouvement. C'est-à-dire que lorsqu'une liaison autorise un degrés de liberté (déplacement ou rotation) suivant une direction, alors cette liaison est incapable de transmettre une action mécanique (force ou moment) suivant cette même direction.

Un déplacement autorisé engendre un 0 dans la colonne des forces.

Une rotation autorisée engendre un 0 dans la colonne des moments.

C'est une relation de dualité, c'est donc vrai dans les deux sens.

Cette remarque est vraie pour toutes les liaisons, sauf la liaison hélicoïdale (cf. TD).

6.9. Cas des problèmes ayant un plan de symétrie

Dans de nombreuses situations, il existe une symétrie du problème. Si cette symétrie existe aussi bien au niveau de la géométrie qu'au niveau des efforts extérieurs appliqués, alors le torseur transmissible peut être simplifié.

On considère le **plan (x,y)** comme **plan de symétrie**.

Lorsqu'un problème admet un plan de symétrie, alors toutes les forces transmissibles appartiennent à ce plan et le moment transmissible est perpendiculaire à ce plan.

Voici la forme des torseurs des actions mécaniques transmissibles simplifiés.



6.9.1. Liaison complète (encastrement)

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & 0 \\ Y_{1/2} & 0 \\ 0 & N_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

6.9.2. Liaison pivot d'axe \vec{x}

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & 0 \\ Y_{1/2} & 0 \\ 0 & N_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

6.9.3. Liaison pivot d'axe \vec{z}

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & 0 \\ Y_{1/2} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

6.9.4. Liaison glissière d'axe \vec{x}

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{1/2} & 0 \\ 0 & N_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$



6.9.5. Liaison pivot glissant d'axe \vec{x}

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

6.9.6. Liaison sphérique (rotule)

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

6.9.7. Liaison appui plan de normale \vec{x}

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} X_{1/2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & M_{1/2} \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$

6.9.8. Liaison sphère plan de normale \vec{x}

Schéma normalisé :

Torseur des actions mécaniques transmissibles simplifié

$$\{\tau(1/2)\}_A = \begin{Bmatrix} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{Bmatrix}_{\mathfrak{R}}$$