

1. Introduction :

On appelle action mécanique toute cause physique capable :

de maintenir un solide en équilibre	de déplacer un solide ou de modifier son mouvement,	de déformer un solide

Les actions mécaniques qui s'exercent sur les solides peuvent être réparties en deux grandes catégories :

- Les actions mécaniques _____ (champ de pesanteur, champ électromagnétique,)
- Les actions mécaniques _____ exercées par un solide, ou un fluide, sur un autre par l'intermédiaire de leur surface de contact.

2. Modélisation des actions mécaniques

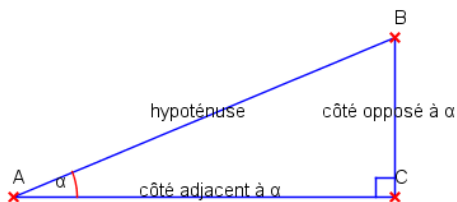
Les actions mécaniques peuvent être :

- des forces (effort) : pousser ou tirer selon un axe, unité Newton (N)
- des moments (couples) : tourner/tordre autour d'un axe, unité Newton.mètre (Nm)

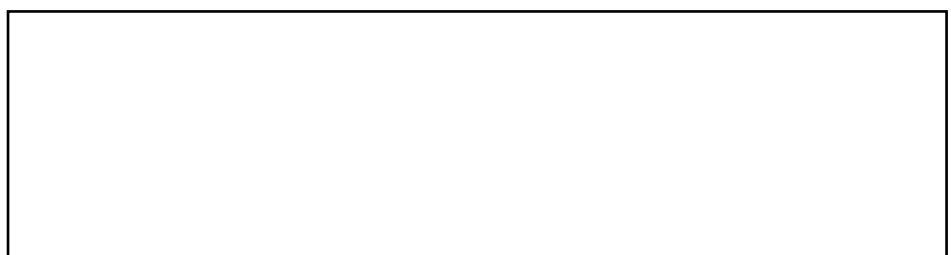
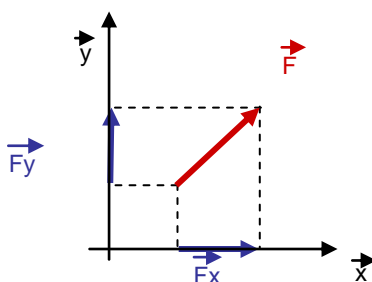
Les forces et les moments sont modélisable par des vecteurs, ils ont donc :

- un point d'application,
- un support, droite Δ
- un sens
- une norme (en N pour les forces et en Nm pour les moments)

Rappel :



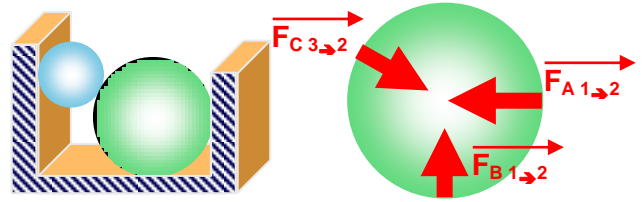
Les composantes d'une force, dans un repère :



3. Forces et résultantes de forces

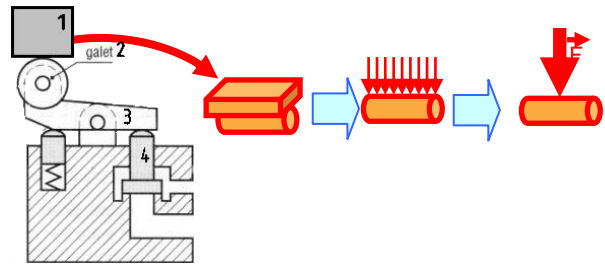
Notation : $\vec{F}_A(1 \rightarrow 2)$ ou $\vec{A}_{(1 \rightarrow 2)}$

Une force peut être ponctuelle
Elle est dirigée vers la matière.
S'il n'y a **pas de frottement**, la force est perpendiculaire (normale) au plan du contact.



Un effort peut être réparti régulièrement le long d'une ligne.
La résultante des forces s'appliquera alors au centre géométrique du contact, sa norme sera:

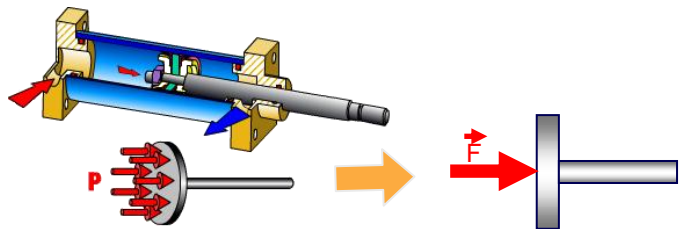
Force = charge linéique x longueur du contact



Une force peut être répartie de façon homogène sur une surface
Elle peut alors être modélisée par une résultante au centre géométrique de la surface.

Force = Pression x surface

Attention aux unités: 1 bar = 10^5 Pa

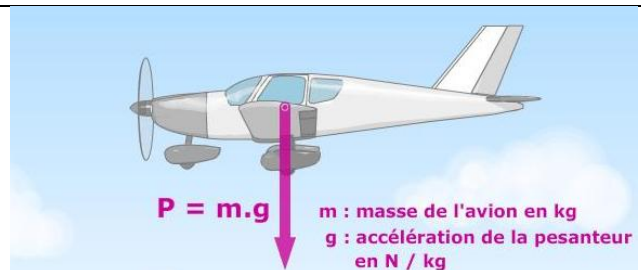


Les forces peuvent s'appliquer sur un volume (cas des actions à distance) :

- action électrostatique
- action magnétique
- action gravitationnelle (poids)

Action de la pesanteur (poids)

Action de la pesanteur : elle s'exerce en tout point du solide. elle est modélisable par une force au centre de gravité du solide. Cette force est verticale et dirigée vers le bas.



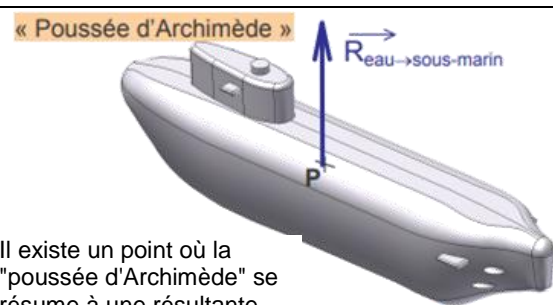
à la surface de la terre, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ou N/kg

La poussée d'Archimède est la force particulière que subit un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide (liquide ou gaz) soumis à un champ de gravité.

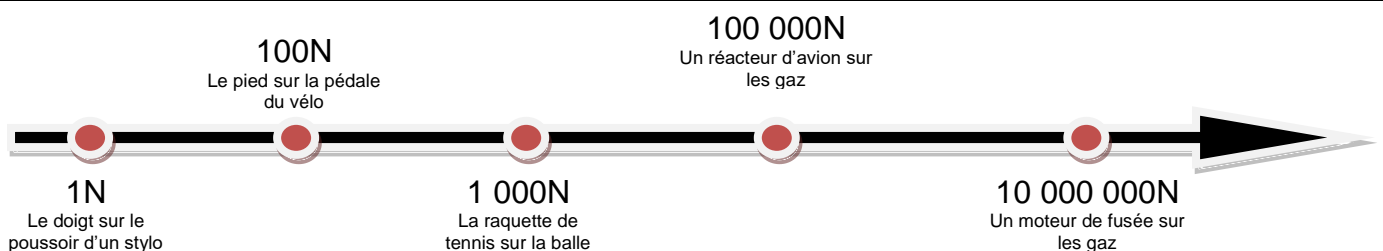
« Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé ; cette force est appelée poussée d'Archimède. »

$$F = \rho_l \cdot V_d \cdot g$$

↓ Poussée d'Archimède
 ↓ masse volumique
 ↓ volume déplacé
 ↓ accélération de la pesanteur



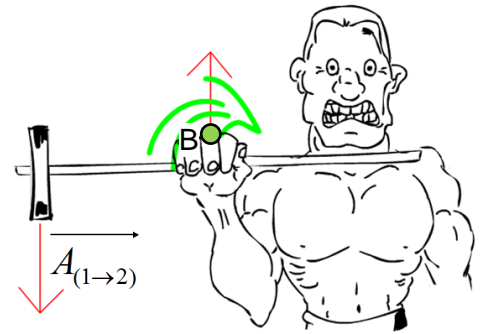
Il existe un point où la "poussée d'Archimède" se résume à une résultante seule (et un moment nul): le "centre de poussée" P



4. Moments et couples

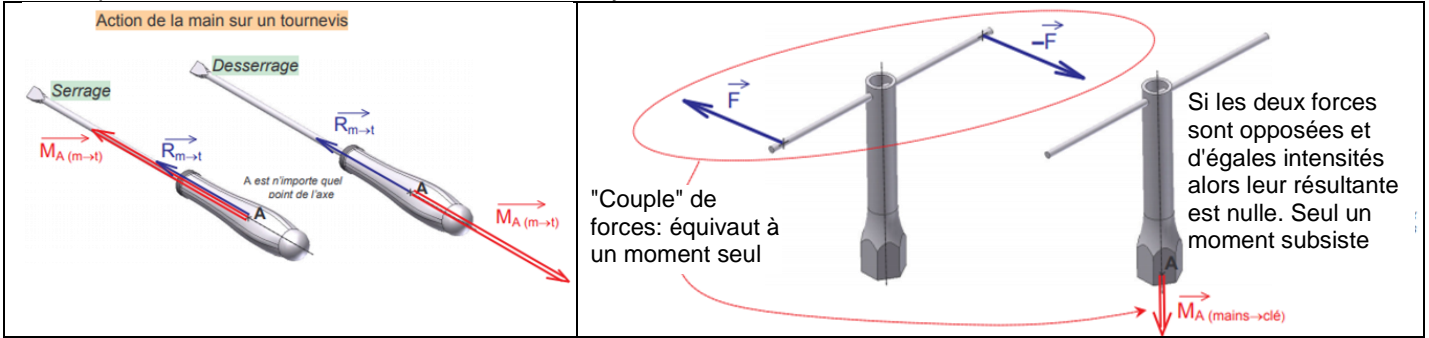
Moment:

Un moment est un effort de rotation autour d'un point, provoqué par une force située à une certaine distance du point. Il est noté $\vec{M}_B(A_{1 \rightarrow 2})$



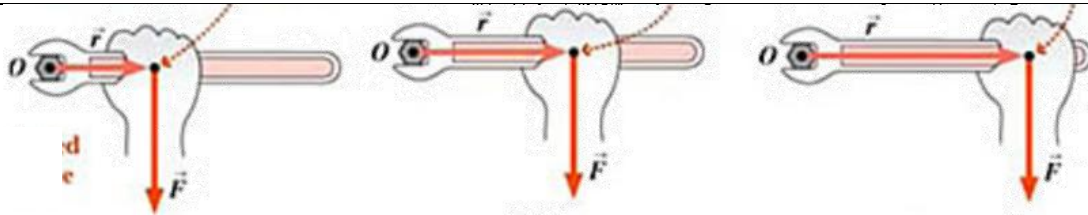
Couple:

On appelle couple un ensemble de forces appliquées à un solide dont la résultante est nulle mais dont le moment total est non nul. En pratique, un couple tend seulement à mettre en rotation le système.



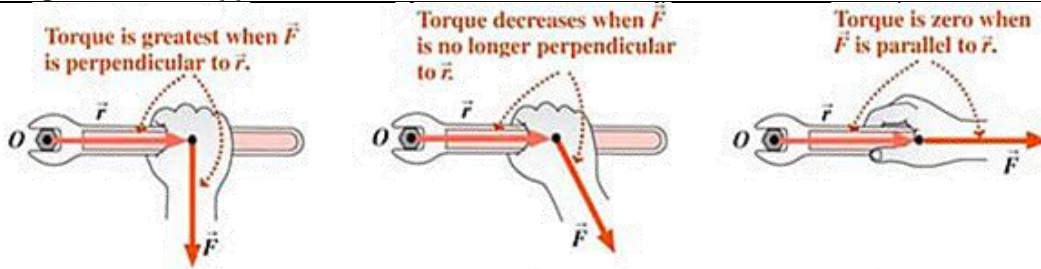
Calcul d'un moment:

Influence de la distance "r":



Conclusion:

Influence de l'angle entre le support de la force et "r":

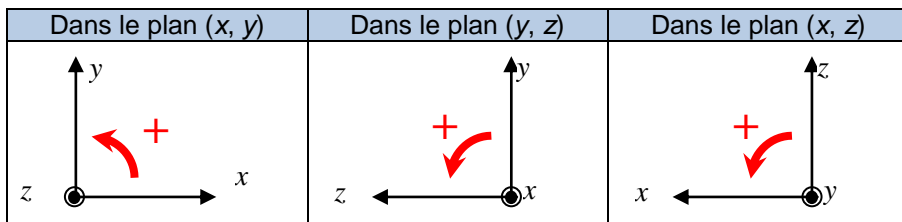


Conclusion:

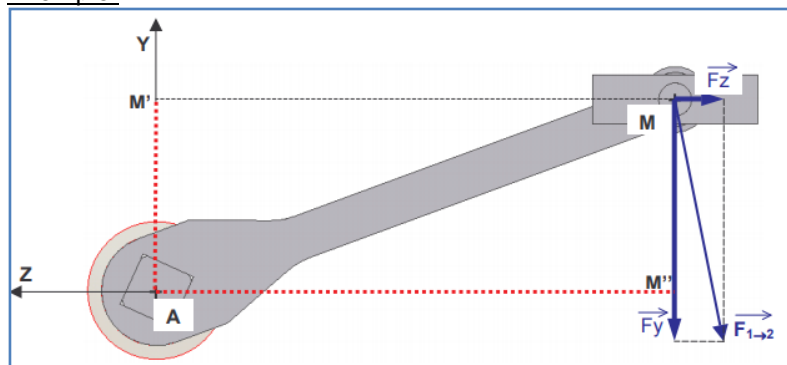
Le moment d'une force par rapport à un point est égal au produit de l'intensité de la force et de la distance d entre le support de la force et le point considéré ($d =$ bras de levier ; d est perpendiculaire au support de la force et passe par le point considéré).

Moment (N · m) = Force (N) × Bras de levier (m)

Le signe du moment algébrique dépend du sens de rotation de la pièce, provoqué par la force, autour du point considéré. Le sens trigonométrique est généralement choisi comme sens positif.



Exemple:



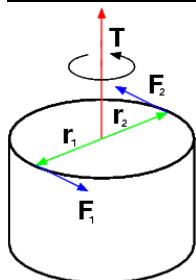
- a) On analyse le schéma: la force provoque un moment autour de l'axe x
- b) On projette la force dans le repère:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = F_y \vec{y} + F_z \vec{z}$$
- c) On applique la formule du moment:

$$\vec{M}_A(\vec{F}_{1 \rightarrow 2}) = \vec{M}_A(F_y) + \vec{M}_A(F_z)$$

$$= (-F_y \times AM'' - F_z \times AM') \vec{x}$$

Calcul d'un couple



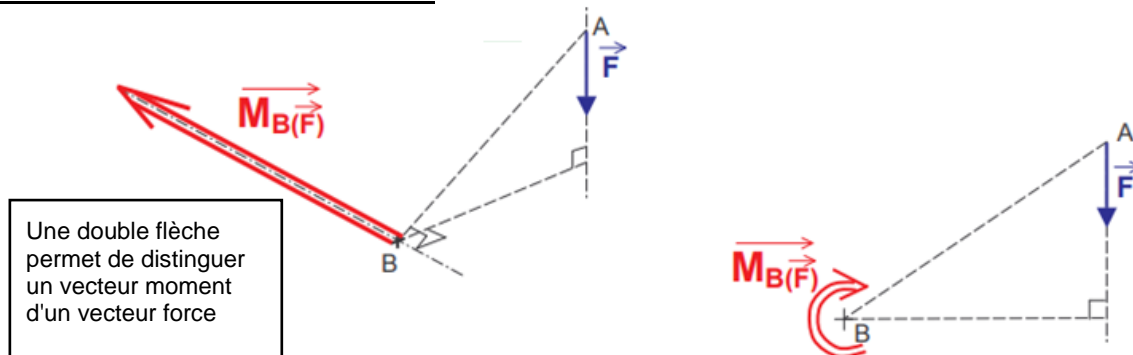
Le couple (exemple : couple-moteur) est causé par un ensemble de forces dont la somme vectorielles est nulle. Il s'exprime en Newtons mètre (N.m)

Pour l'exemple ci-contre :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

$$T = F_1 \times r_1 + F_2 \times r_2$$

Représentations habituelles d'un moment



Une double flèche permet de distinguer un vecteur moment d'un vecteur force

5. Modélisation sous forme de torseur

Les actions mécaniques sont modélisables sous forme de torseur :

$$\{ \tau_{1 \rightarrow 2} \}_A = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \\ \vec{M}_{A 1 \rightarrow 2} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{cc} X_{1 \rightarrow 2} & L_{A 1 \rightarrow 2} \\ Y_{1 \rightarrow 2} & M_{A 1 \rightarrow 2} \\ Z_{1 \rightarrow 2} & N_{A 1 \rightarrow 2} \end{array} \right\}_A (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$$

éléments de réduction au point A :
 résultante
 moment en A

leurs composantes, dans ce repère

(inutile de préciser le repère s'il n'y a pas de confusion possible)

Torseurs particuliers

Torseur glisseur	Torseur couple
On appelle torseur glisseur, tout torseur associé à une action mécanique dont le moment est nul en un point. ${}_A \{ T_{(ext \rightarrow 1)} \} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{(ext \rightarrow 1)} \neq \vec{0} \\ \vec{M}_{A(ext \rightarrow 1)} = \vec{0} \end{array} \right\}_R$	On appelle torseur couple, tout torseur associé à une action mécanique dont la résultante est nulle. ${}_A \{ T_{(ext \rightarrow 1)} \} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{(ext \rightarrow 1)} = \vec{0} \\ \vec{M}_{A(ext \rightarrow 1)} \neq \vec{0} \end{array} \right\}_R$
<u>Remarque:</u> les éléments de réduction d'un torseur glisseur sont les mêmes en tout point appartenant au support de la résultante	<u>Remarque:</u> les éléments de réduction d'un torseur couple sont les mêmes en tout point.

6. Efforts transmissibles dans les liaisons parfaites

Hypothèses :

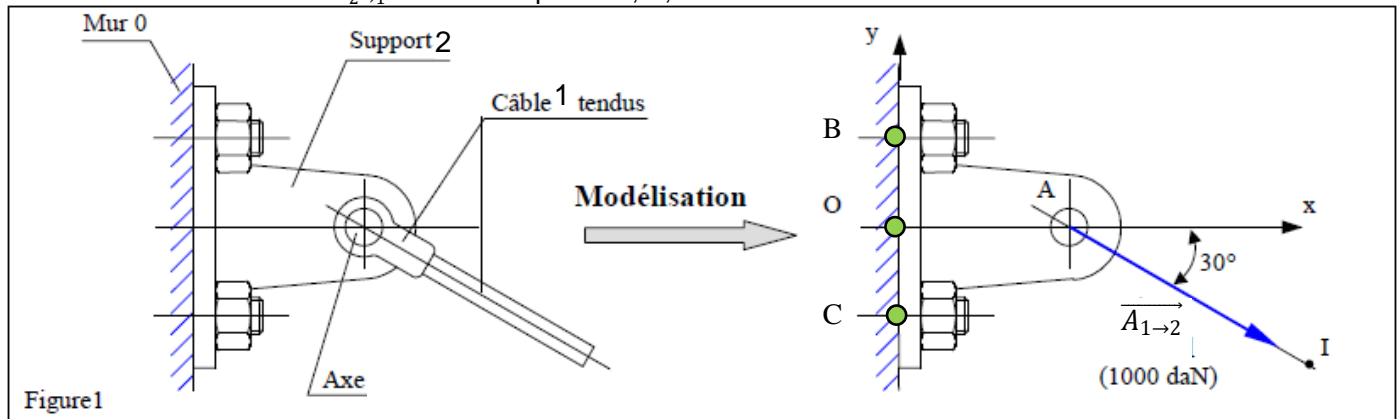
- liaisons géométriquement parfaites,
- pas de jeu fonctionnel,
- pas de frottement,
- pas de déformation

Nombre de mobilités	Mouvements relatifs possibles	Torseur des efforts transmissibles au centre de la liaison	Schématisation Plane	Schématisation spatiale
0				
1				
2				
3				
4				
5				

7. Caractérisation une action mécanique en un point choisi

Incidence du point de réduction de l'action mécanique sur ses composantes:

Observons l'effet de la force $\vec{A}_{2 \rightarrow 1}$ autour des points A, B, C et O.



Conclusion: la résultante ne change pas mais le moment change car la distance change

Pour calculer les composantes du moment au point choisi (par exemple B), il existe deux méthodes:

- l'utilisation du bras de levier: en projection sur l'axe qui porte les moments,
Moment en B = Moment en A (si non nul) + Force x Bras de levier
- l'utilisation du produit vectoriel:

$$\vec{M}_{B(1 \rightarrow 2)} = \vec{M}_{A(1 \rightarrow 2)} + \vec{BA} \wedge \vec{A}_{1 \rightarrow 2}$$

Méthode pour exprimer le torseur en un autre point :

La résultante du torseur reste inchangée.

Il faut calculer les valeurs du moment au nouveau point.

Le calcul se présentera donc de la façon suivante :

$$\begin{matrix} \text{CONNU} \\ \left\{ \tau_{1 \rightarrow 2} \right\}_A = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \\ \vec{M}_A_{1 \rightarrow 2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_{1 \rightarrow 2} & L_{A 1 \rightarrow 2} \\ Y_{1 \rightarrow 2} & M_{A 1 \rightarrow 2} \\ Z_{1 \rightarrow 2} & N_{A 1 \rightarrow 2} \end{Bmatrix} \Leftrightarrow \begin{Bmatrix} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} \\ \vec{M}_B_{1 \rightarrow 2} = ? \end{Bmatrix} \end{matrix}$$

on calcule le moment en B : $M_{B 1 \rightarrow 2} = M_{A 1 \rightarrow 2} + BA \wedge R_{1 \rightarrow 2}$ d'après la définition mathématique d'un torseur

$$= \begin{vmatrix} L_{A 1 \rightarrow 2} \\ M_{A 1 \rightarrow 2} \\ N_{A 1 \rightarrow 2} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} X_{1 \rightarrow 2} \\ Y_{1 \rightarrow 2} \\ Z_{1 \rightarrow 2} \end{vmatrix}$$

le produit vectoriel est évidemment prioritaire devant l'addition

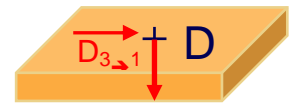
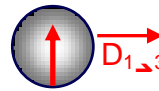
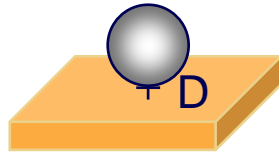
$$\text{ce qui donne après calcul : } \left\{ \tau_{1 \rightarrow 2} \right\}_B = \begin{Bmatrix} X_{1 \rightarrow 2} & L_{A 1 \rightarrow 2} + b \cdot Z_{1 \rightarrow 2} - c \cdot Y_{1 \rightarrow 2} \\ Y_{1 \rightarrow 2} & M_{A 1 \rightarrow 2} + c \cdot X_{1 \rightarrow 2} - a \cdot Z_{1 \rightarrow 2} \\ Z_{1 \rightarrow 2} & N_{A 1 \rightarrow 2} + a \cdot Y_{1 \rightarrow 2} - b \cdot X_{1 \rightarrow 2} \end{Bmatrix}$$

la même résultante qu'en A

le nouveau moment, calculé en B

8. Principe des actions mutuelles (ou réciproques) : 3^{ème} loi de Newton

Les actions mécaniques dans une liaison peuvent s'exprimer de deux façons suivant que l'on isole l'un ou l'autre des deux solides.



Ces deux actions mécaniques représentent la même chose. La différence réside dans le sens des vecteurs. Ils sont opposés.

$$\left\{ \tau_{1 \rightarrow 2} \right\}_A = - \left\{ \tau_{2 \rightarrow 1} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{R}_{2 \rightarrow 1} \\ \vec{M}_A 1 \rightarrow 2 = -\vec{M}_A 2 \rightarrow 1 \end{array} \right.$$



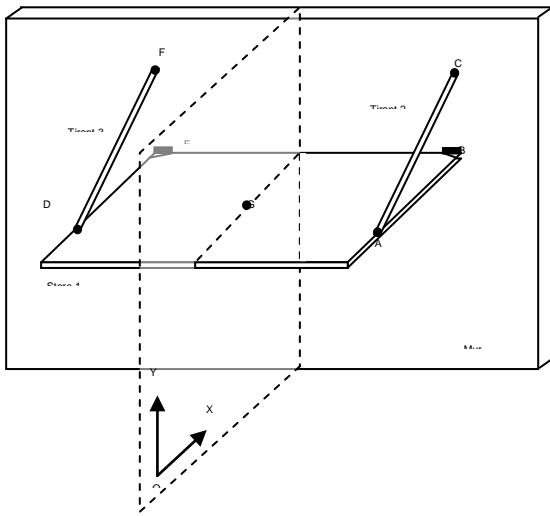
Si le torseur modélisant l'action de (1) sur (2), en A, est :

alors le torseur de l'action de (2) sur (1) en A est :

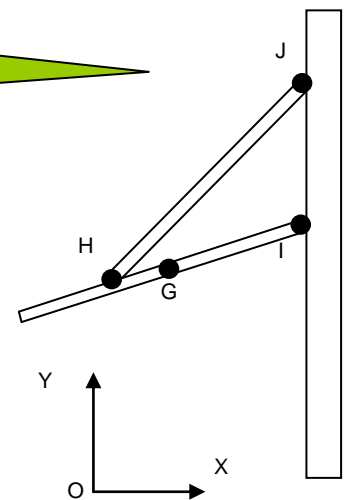
9. Modélisation plane des actions mécaniques

Un problème est considéré comme plan si:

- le système étudié est géométriquement symétrique par rapport au plan d'étude,
- les forces sont contenues dans le plan (ou symétriques par rapport au plan) et les moments sont orthogonaux au plan d'étude



Modélisation du store dans le plan (G, x, y)



Le torseur des actions mécaniques se modifie alors de la façon suivante:

Forme générale :

Simplification :

Forme simplifiée :

$$\left\{ \tau_{2 \rightarrow 1} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{ll} X_{21} & L \\ Y_{21} & M \\ Z_{21} & N \end{array} \right\}_R$$

(6 inconnues)

$$\left\{ \begin{array}{ll} X_{21} & \cancel{L_A} \\ Y_{21} & \cancel{M_A} \\ \cancel{Z_{21}} & N_A \end{array} \right\}_R$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} X_{21} & 0 \\ Y_{21} & 0 \\ 0 & N_A \end{array} \right\}_R$$

(3 inconnues)