

CHAPITRE III

STATIQUE

III.1 Axiomes de la statique

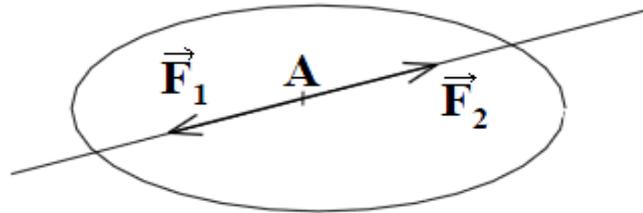
III.1.1 Axiome 1 : Principe d'équilibre

Soit deux forces appliquées à un solide

$F_1 = F_2$: même module

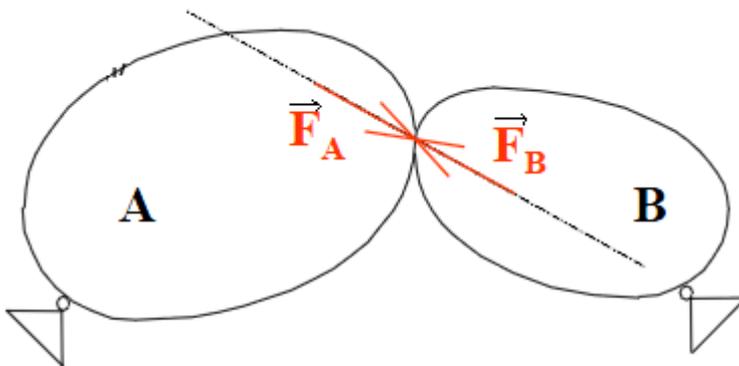
Même direction

De sens opposé.



Un système de forces est dit « à l'équilibre » si, appliqué à un corps, il ne modifie pas l'état de repos ou de mouvement de ce corps.

III.1.2 Axiome 2 : Principe de l'action et de la réaction

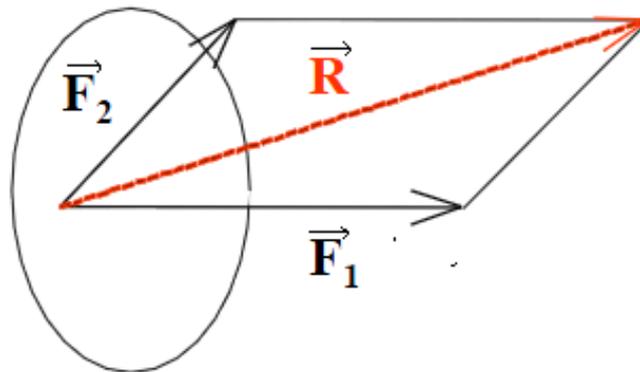


Les forces exercées par deux solides l'un sur l'autre sont toujours de même module, de même direction et de sens opposé.

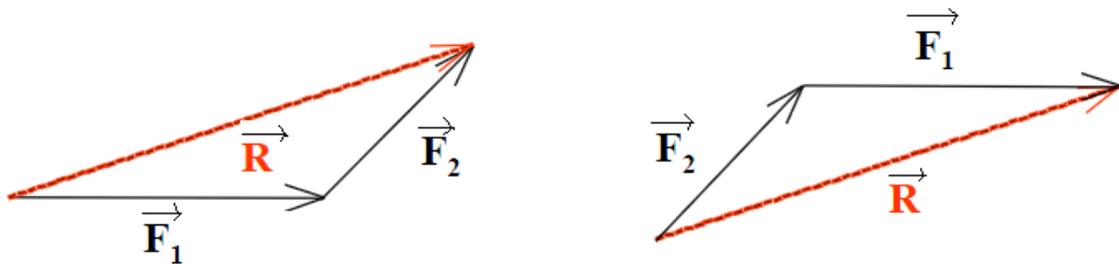
$$\vec{F}_A = -\vec{F}_B :$$

- Même support ;
- Même grandeur ;
- Sens opposé.

III.1.3 Axiome 3 : Principe de parallélogramme



$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$: La résultante de deux forces.



\vec{R} s'obtient graphiquement ou par les formules des triangles quelconques.

La résultante de deux forces appliquées à un même point du solide a son point d'application en ce même point ; son module et sa direction sont déterminés par la diagonale du parallélogramme construit sur ces deux forces (Règle du parallélogramme).

III.2 Lisons, appuis et réactions

Dans la mécanique, on dit solide libre ou lié :

- Libre \longrightarrow il peut se déplacer en toute direction
- Liés \longrightarrow ne peut se déplacer que dans des directions déterminées.

La liaison : tout ce qui limite le déplacement d'un corps dans l'espace et les forces qu'ils exercent sur le solide, sont des réactions de liaisons.

III.2.1 Différents types des liaisons

III.2.1.1 Liaison ponctuelle et appui plan (appui simple)

Pour un solide repose simplement sur une surface parfaitement lisse (horizontale, verticale ou inclinée, Figure III.1 (a, b)) ou sur le rouleau cylindrique (Figure III.1c), la réaction de

la surface est appliquée au solide en point de contact et dirigée suivant la normale à la surface d'appui. Elle s'appelle réaction normale et se note \vec{R} .

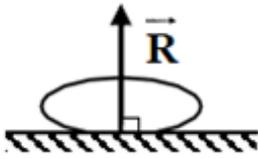


Figure III.1 a

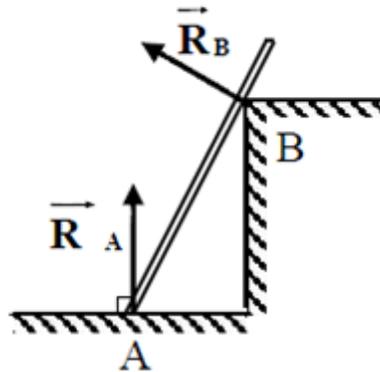


Figure III.1 b

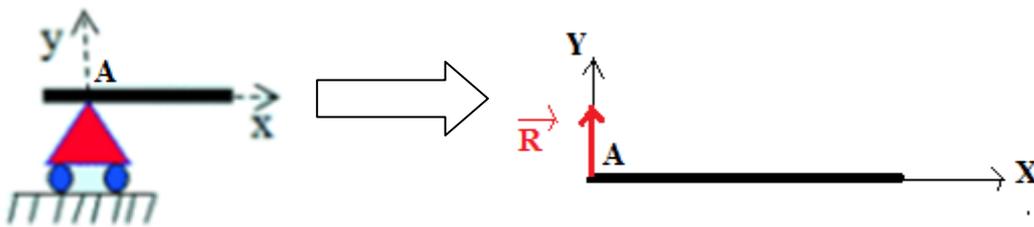


Figure III.1 c

La réaction d'appui en A, B sont perpendiculaires au plan de contact, seule son intensité suivant A_Y est inconnue.

Appui simple est représenté par un triangle avec deux rouleaux. La pointe du triangle symbolise le fait qu'est l'appui ponctuel. Les deux rouleaux signifient que se dernier est glissant.

III.2.1.2 Articulation d'un solide

Dans la pratique, on trouve parfois le corps solide articulé soit par :

- un appui articulé (Figure III.2 a), il est caractérisé par deux inconnues de liaison : R_x, R_y ,
- une articulation cylindrique (liaison pivot glissant, liaison linéaire annulaire) (Figure III.2 b), il est caractérisé par deux inconnues de liaison : R_x, R_y ,
- ou une articulation sphérique (liaison rotule) (Figure III.2 c), il est caractérisé par trois inconnues de liaison : R_x, R_y, R_z .

Le module et la direction de la réaction \mathbf{R} dans son plan sont inconnus.

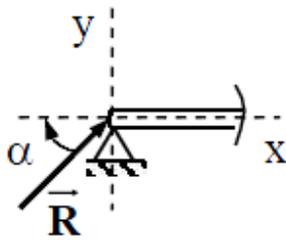


Figure III.2 a

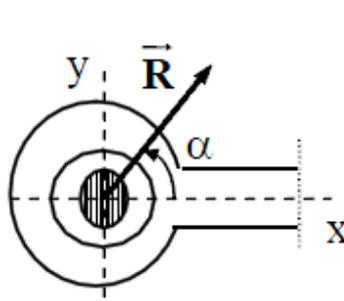


Figure III.2 b

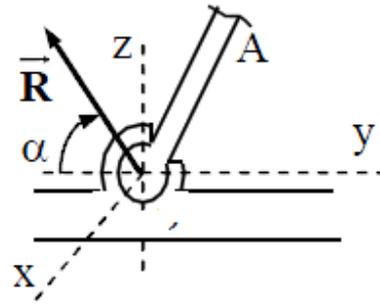
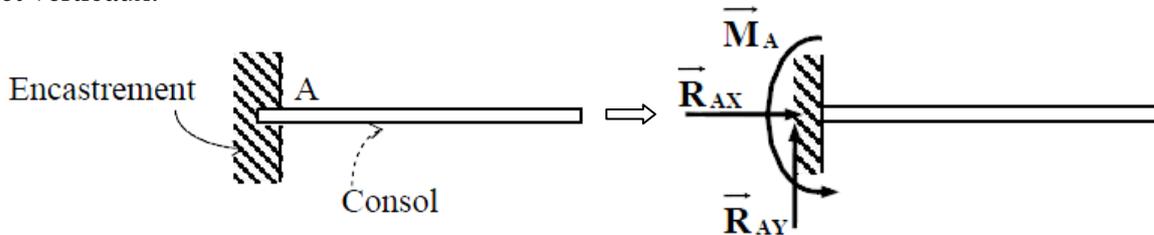


Figure III.2 c

III.2.1.3 Liaison Encastrement

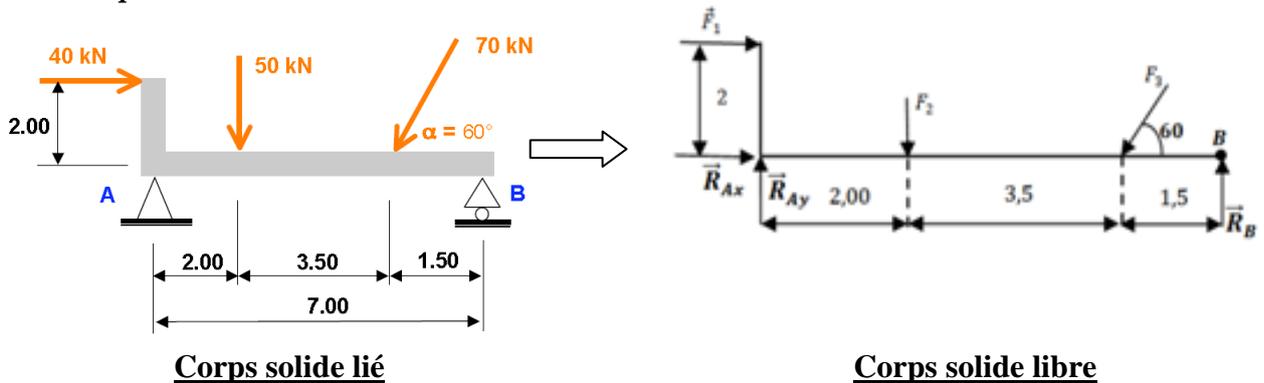
La liaison encastrement ne permet aucun mouvement relatif entre les deux solides. Leurs réactions sont représentées par un moment qui empêche la rotation du solide (\vec{M}_A), et des réactions horizontale (\vec{R}_{AX}) et verticale (\vec{R}_{AY}), qui empêchent les déplacements horizontaux et verticaux.



III.3 Axiome des liaisons

Lors d'une étude analytique d'un corps solide lié, il est possible de supprimer les liaisons en les remplaçant par les réactions et, de lui considérer comme un corps solide libre soumis à l'action des forces données et des réactions de liaisons.

Exemple



Calculer les réactions d'appuis de la poutre ci-dessus :

$$\sum_i \vec{F}_{ext} = 0 \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{R}_A + \vec{R}_B = \vec{0} \dots \dots \dots (I)$$

La projection (xx') :

$$F_1 - F_3 \cos 60 + R_{AX} = 0 \Rightarrow R_{AX} = F_3 \cos 60 - F_1 \Rightarrow R_{AX} = -5\text{kN}$$

La projection (yy') :

$$R_{Ay} - F_2 - F_3 \sin 60 + R_{By} = 0 \Rightarrow R_{Ay} + R_{By} = F_2 + F_3 \sin 60 \dots \dots \dots (1)$$

On a deux inconnues : R_{Ay} et R_{By}

$$\sum_i \overline{M(\vec{F}_{\text{ext}})}_A = \vec{0} \Rightarrow R_{By} \cdot 7 - F_3 \sin 60 \cdot 5,5 - F_2 \cdot 2 - F_1 \cdot 2 = 0 \dots \dots \dots (II)$$

$$\Rightarrow R_{By} \cdot 7 = F_2 \cdot 2 + F_1 \cdot 2 + F_3 \sin 60 \cdot 5,5 \Rightarrow R_{By} = 73,6\text{KN}$$

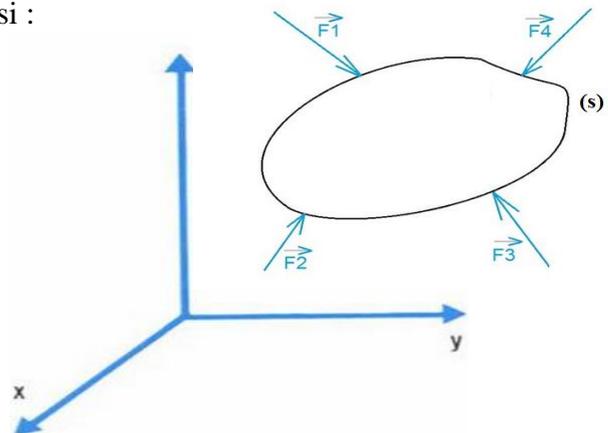
$$(1) : R_{Ay} = 37,4\text{KN}$$

Nous représentons dans le tableau ci dessous les différents types d'appuis et de liaisons et les composantes des réactions associées à celles-ci.

Type de liaisons	Composantes de la réaction
Appui simple rouleau ou Surface lisse sans frottement :	\vec{R} : la réaction est normale au point d'appui.
Appui simple avec frottements	\vec{R}_x, \vec{R}_y : deux composantes dans le plan de contact
Articulation cylindrique d'axe Oz	\vec{R}_x, \vec{R}_y avec $\vec{R}_z = \vec{0}$; La composante suivant l'axe de l'articulation est nulle
Articulation sphérique	$\vec{R}_x, \vec{R}_y, \vec{R}_z$: trois composantes
Encastrement	$\vec{R}_x, \vec{R}_y, \vec{R}_z$ et $\vec{M}_{/A}$ trois composantes plus le moment au point d'encastrement.

III.4 Principe fondamental de la statique

Le solide (S) reste en équilibre sous l'action de n forces extérieures (des actions mécaniques extérieures : $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$) si :



a) $\sum_{i=1}^n \vec{F}_{ext} = \vec{0}$, la somme vectorielle des n forces est nulle.

b) $\sum_{i=1}^n \overrightarrow{M_O(\vec{F}_{ext})}$, le moment résultant des n forces en n'importe quel point de l'espace est nul.

$$\sum_{i=1}^n \overrightarrow{M_O(\vec{F}_{ext})} = \overrightarrow{M_O(\vec{F}_1)} + \overrightarrow{M_O(\vec{F}_2)} + \overrightarrow{M_O(\vec{F}_3)} + \dots + \overrightarrow{M_O(\vec{F}_n)} = \vec{0}$$

III.4.1 Cas des forces quelconques

Soit un repère orthonormé R(O, XYZ), La projection des forces sur les axes :

$$\text{Soit } \vec{F}_1 \begin{cases} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{1z} \end{cases} \quad \vec{F}_2 \begin{cases} F_{2x} \\ F_{2y} \\ F_{2z} \end{cases} \quad \vec{F}_3 \begin{cases} F_{3x} \\ F_{3y} \\ F_{3z} \end{cases}$$

Le principe fondamental de la statique se traduit, dans le cas le plus général par les 6 équations scalaires.

- Trois équations liées à la résultante des forces extérieures :

$$\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \vec{R}_x = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{ix} = \vec{0} \\ \vec{R}_y = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{iy} = \vec{0} \\ \vec{R}_z = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{iz} = \vec{0} \end{cases}$$

Et, trois équations liées au moment des forces par rapport aux axes du repère :

$$\vec{M}_O(\vec{F}_i) = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \vec{M}_{Ox} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_{ix}(\vec{F}_i) = \vec{0} \\ \vec{M}_{Oy} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_{iy}(\vec{F}_i) = \vec{0} \\ \vec{M}_{Oz} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_{iz}(\vec{F}_i) = \vec{0} \end{cases}$$

III.4.2 Cas des forces concourantes

Dans le cas d'un système de forces concourantes au centre O (les forces passent toutes par le même point O), le moment sera nul par rapport à O , il reste seulement trois équations pour la projection de la résultante:

$$\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \vec{R}_x = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{ix} = \vec{0} \\ \vec{R}_y = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{iy} = \vec{0} \\ \vec{R}_z = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{iz} = \vec{0} \end{cases}$$

III.4.3 Cas des forces planes

Dans le cas d'un problème plan (par exemple X et Y), on aura trois équations d'équilibre.

- Deux équations liées à la résultante statique :

$$\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \vec{R}_x = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{ix} = \vec{0} \\ \vec{R}_y = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{iy} = \vec{0} \end{cases}$$

- Et une équation pour le moment des forces par rapport au centre O : $\vec{M}_O(\vec{F}_i) = \vec{0}$

III.5 Frottement

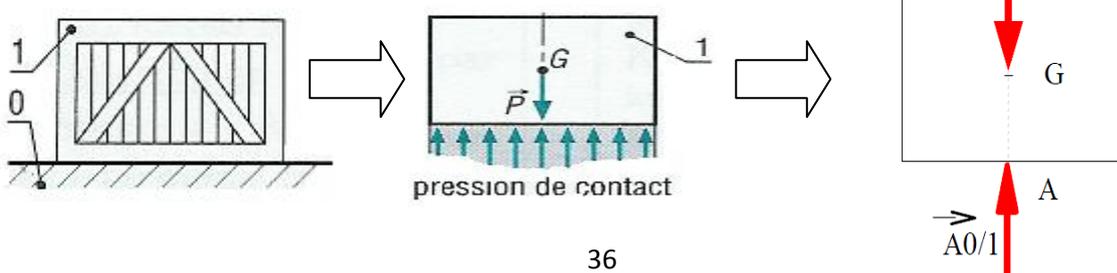
III.5.1 Notion de frottement

Si deux surfaces se déplacent ou glissent l'une par rapport à l'autre, on dit qu'il y a **frottement**.

Si deux surfaces tendent à glisser mais ne se déplacent pas, on dit qu'il y a **adhérence**.

Exemple : Considérons une caisse sur un plan horizontal.

Premier cas du repos :



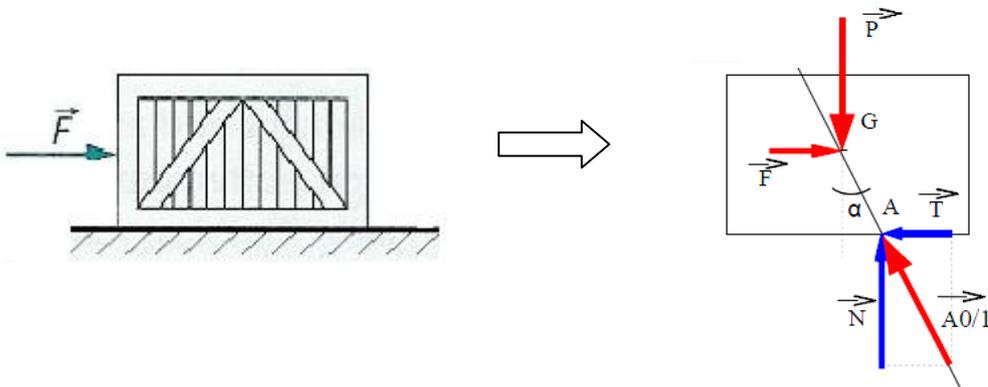
L'action de contact entre deux solides est concentrée est schématisée par une pression de contact (N/m^2). On remplacera l'ensemble des micro-actions par une action unique appliquée au centre de gravité sur une surface, l'action mécanique de la surface ($\overrightarrow{A_{0/1}}$).

La caisse est au repos, sous l'action de deux forces, \vec{P} et $\overrightarrow{A_{0/1}}$.

La caisse reste en équilibre tel que La réaction du plan horizontal est égale et opposée au poids de la pièce. : $\vec{P} + \overrightarrow{A_{0/1}} = \vec{0} \implies \vec{P} = - \overrightarrow{A_{0/1}}$

Deuxième cas de l'adhérence

Maintenant on exerce une force \vec{F} horizontale. Cette force est très petite pour déplacer la caisse.



La caisse reste toujours en équilibre statique sous l'action de trois forces : \vec{F} , \vec{P} et $\overrightarrow{A_{0/1}}$.

La caisse ne bougera pas tant que la force \vec{F} est inférieure à une certaine valeur limite. Il existe alors une contre force \vec{T} qui équilibre et s'oppose à cette force \vec{F} . \vec{T} est appelée force de frottement statique.

Donc, L'action $A_{0/1}$ s'incline d'un angle α . La composante T s'oppose à F, la composante N s'oppose à P.

$$\tan \alpha = \frac{T}{N} \implies T = \tan \alpha \cdot N \implies T = \mu \cdot N$$

T : force de frottement statique

μ : Coefficient de frottement statique

Cette force de frottement statique obéit à la variation représentée sur la figure suivante.

Si μ est le coefficient de frottement statique (*dépend uniquement de la nature des surfaces de contact*) nous pouvons écrire :

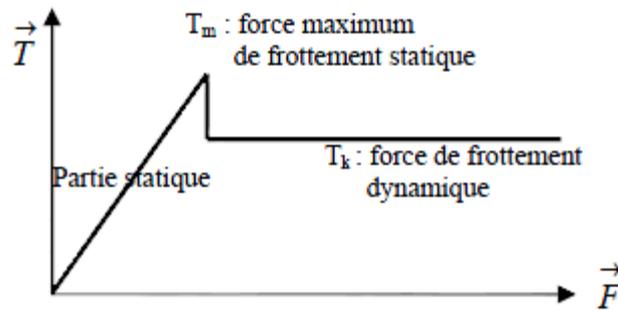


Figure III.3

- Pour que l'équilibre statique soit réalisable il faut que : $|\vec{T}| < \mu |\vec{N}|$
- A l'équilibre limite on aura : $|\vec{T}| = \mu |\vec{N}|$

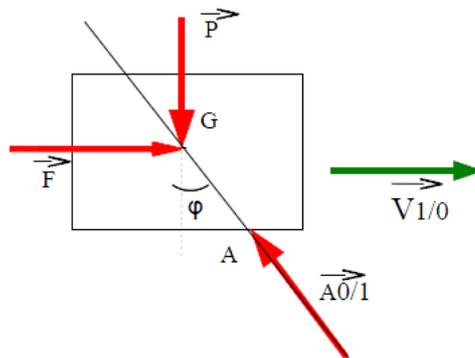
On augmente l'intensité de l'action F , la valeur de T augmente donc. L'angle α augmente également, pour atteindre une valeur limite $\alpha = \varphi$.

On dit qu'il y a alors équilibre strict. La caisse ne se déplace pas.

- Si $|\vec{F}| > |\vec{T}_m|$: On augmente encore l'intensité de la force \vec{F} .

La caisse se met en mouvement. Donc l'effort F est suffisant pour vaincre l'adhérence.

Le problème n'est plus statique, mais dynamique.



Le vecteur vitesse $\vec{V}_{1/0}$ caractérise la **vitesse de glissement** de la caisse 1 par rapport au plan 0. Ce vecteur est contenu dans le plan tangent au contact.

$$|\vec{T}| = k |\vec{N}| \quad \text{avec } k < \mu \quad \text{et } \tan \varphi = \frac{|\vec{T}|}{|\vec{N}|} = k$$

Ce coefficient k indépendant du temps est appelé coefficient de frottement dynamique, il est aussi indépendant de la vitesse.

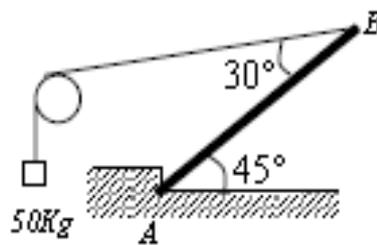
Ce tableau reprend quelques coefficients de frottement statiques et dynamiques des surfaces de matériaux en contact :

	Coefficient de frottement statique μ_0		Coefficient de frottement dynamique k
Acier / Acier	Mouillé	0.1	0.05
	A sec	0.6	0.4
Bois / Bois	Mouillé	0.5	0.3
Métal / glace		0.03	0.01
Téflon / Acier		0.04	0.04
Cuivre / Acier	A Sec	0.5	0.4

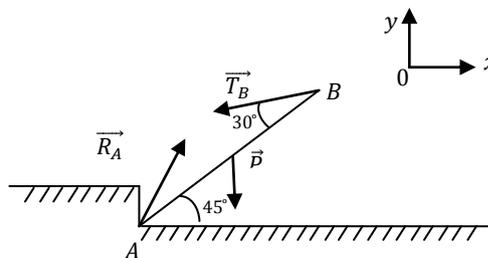
Exemple 1

On maintient une poutre en équilibre statique à l'aide d'une charge **P** suspendue à un câble inextensible de masse négligeable, passant par une poulie comme indiqué sur la figure. La poutre a une longueur de **8m** et une masse de **50 Kg** et fait un angle de **45°** avec l'horizontale et **30°** avec le câble.

Déterminer la tension dans le câble ainsi que la grandeur de la réaction en **A** ainsi que sa direction par rapport à l'horizontale.



Solution :



$$L = 8\text{m} \quad ; \quad m = 50\text{kg}$$

Déterminer T_B et R_A

$$\sum_i \vec{F}_{\text{ext}} = 0 \Rightarrow \vec{R}_A + \vec{P} + \vec{T}_B = \vec{0} \dots \dots \dots (I)$$

La projection sur les axes :

$$(x \ x') : R_{Ax} - T_B \cos 15 = 0 \dots \dots \dots (1)$$

$$(y \ y') : R_{Ay} - T_B \sin 15 = P \dots \dots \dots (2)$$

$$\sum_i \overrightarrow{M(\vec{F}_{ext})}_{/A} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{M(\vec{P})}_{/A} + \overrightarrow{M(\vec{T}_B)}_{/A} = \vec{0} \dots \dots \dots (II)$$

$$(II) : \overrightarrow{AG} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{AB} \wedge \vec{T}_B = 0$$

$$\begin{pmatrix} 2\sqrt{2} \\ 2\sqrt{2} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 4\sqrt{2} \\ 4\sqrt{2} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} -T_B \cos 15 \\ -T_B \sin 15 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$-2\sqrt{2}P - 4\sqrt{2} T_B \sin 45 + 4\sqrt{2} T_B \sin 45 = 0$$

$$\text{Donc : } T_B = \frac{P}{2(\cos 15 - \sin 15)} \dots \dots \dots (3)$$

$$A.N : T_B = 346,89N$$

En remplaçant l'expression (3) dans (1) et (2) :

$$R_{Ax} = \frac{P \cos 15}{2(\cos 15 - \sin 15)} \Rightarrow R_{Ax} = 335N$$

$$R_{Ay} = \frac{P \sin 15}{2(\cos 15 - \sin 15)} + P \Rightarrow R_{Ay} = 580,28N$$

$$R_A = 670N$$

Exemple 2

Un mât vertical de poids négligeable est soumis à une force horizontale F de 4 KN (parallèle à l'axe y) et est maintenue à la vertical par deux câbles BC et BD et par une liaison rotules (sphérique) en A.

- 1) Exprimer vectoriellement la force F et les deux tensions T_{BC} et T_{BD} agissant sur le mât en fonction de i , j et k .
- 2) Ecrire l'équation vectorielle exprimant la première condition d'équilibre du mât désignant une résultante nulle. Déduire les équations projetées selon les trois axes x , y et z .
- 3) Déterminer les vecteurs moments par rapport à A de F , T_{BC} et T_{BD} .
- 4) Donner les équations d'équilibre, projetées selon les trois axes, caractérisant un moment résultants nul.
- 5) Déduire les deux tensions T_{BC} et T_{BD} ainsi que la réaction R_A .

on donne B (0, 0, 6) ; C(-4,0, 0) ; D(3, 3, 1) ; G(0, 0, 3)

Solution :

$$F = 4\text{KN}$$

$$B(0\ 0\ 6); C(-4\ 0\ 0); D(3\ 3\ 1); G(0\ 0\ 3)$$

Liaison sphérique En A: R_{Ax} ; R_{Ay} ; R_{Az}

1) Exprimer vectoriellement la force F et T_{BC} ; T_{BD}

$$\vec{F} = -F\vec{j}$$

$$\vec{T}_{BC} = T_{BC} \cdot \vec{U}_{BC}$$

\vec{U}_{BC} : Vecteur unitaire qui donne la direction de \vec{T}_{BC}

$$\vec{U}_{BC} = \frac{\vec{BC}}{BC} = \frac{-4\vec{i} - 6\vec{k}}{\sqrt{16+36}} = -0,447\vec{i} - 0,894\vec{k}$$

$$\vec{T}_{BC} = T_{BC} (-0,447\vec{i} - 0,894\vec{k})$$

$$\vec{T}_{BD} = T_{BD} \cdot \vec{U}_{BD}$$

$$\vec{U}_{BD} = \frac{\vec{BD}}{BD} = \frac{3\vec{i} + 3\vec{j} - 5\vec{k}}{\sqrt{9+9+25}} = 0,458\vec{i} + 0,458\vec{j} - 0,763\vec{k}$$

$$\vec{T}_{BD} = T_{BD} \cdot (0,458\vec{i} + 0,458\vec{j} - 0,763\vec{k})$$

2) les équations d'équilibre :

La barre en équilibre statique : $\sum_i \vec{F}_{ext} = \vec{0}$

$$\vec{F} + \vec{T}_{BD} + \vec{T}_{BC} + \vec{R}_A = \vec{0}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{Ax} - 0,447T_{BC} + 0,458T_{BD} = 0 \dots\dots\dots (1) \\ R_{Ay} - F + 0,458 T_{BD} = 0 \dots\dots\dots (2) \\ R_{Az} - 0,894 T_{BC} - 0,763 T_{BD} = 0 \dots\dots\dots (3) \end{array} \right.$$

Déterminer les vecteurs moments par rapport à A :

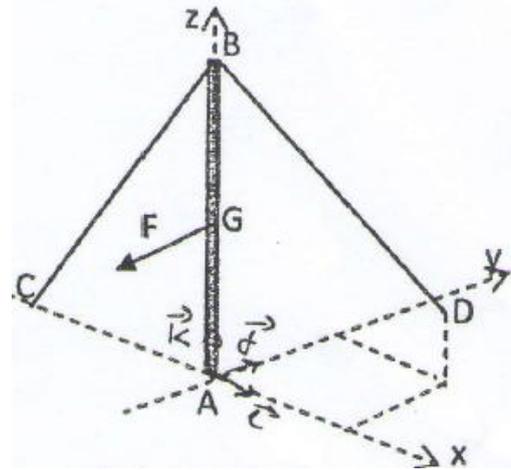
$$\vec{M}(\vec{F})_{/A} = \vec{AG} \wedge \vec{F} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -F \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{M}(\vec{F})_{/A} = 3F\vec{i}$$

$$\vec{M}(\vec{T}_{BC})_{/A} = \vec{AB} \wedge \vec{T}_{BC} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} -0,447 T_{BC} \\ 0 \\ 0,894 T_{BC} \end{pmatrix}$$

$$\vec{M}(\vec{T}_{BC})_{/A} = 2,682 T_{BC}\vec{j}$$

$$\vec{M}(\vec{T}_{BD})_{/A} = \vec{AB} \wedge \vec{T}_{BD} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0,458 T_{BD} \\ 0,458 T_{BD} \\ -0,763 T_{BD} \end{pmatrix}$$



$$\overrightarrow{M(\vec{T}_{BD})}_{/A} = -2,748 T_{BD}\vec{i} + 2,748 T_{BD}\vec{j}$$

4) Donner les équations d'équilibre, projetées selon les trois axes, caractérisant un moment résultants nul.

$$\overrightarrow{M(\vec{F}_{ext})}_{/A} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{M(\vec{F})}_{/A} + \overrightarrow{M(\vec{T}_{BC})}_{/A} + \overrightarrow{M(\vec{T}_{BD})}_{/A} = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3F - 2,748 T_{BD} = 0 \dots\dots\dots (4) \\ 2,748 T_{BC} + 2,748 T_{BD} = 0 \dots\dots\dots (5) \end{array} \right.$$

5) Dédurre les deux tensions T_{BC} et T_{BD} ainsi que la réaction R_A

$$(4): T_{BD} = \frac{3}{2,748} F \Rightarrow T_{BD} = 1,09F$$

$$T_{BD} = 4,37\text{KN}$$

$$T_{BC} = \frac{2,748}{2,682} T_{BD} \Rightarrow T_{BC} = 1,02 T_{BD} \Rightarrow T_{BC} = 4,48\text{kN}$$

$$(1): R_{Ax} = 0,447T_{BC} - 0,458T_{BD} \Rightarrow R_{Ax} \simeq 0$$

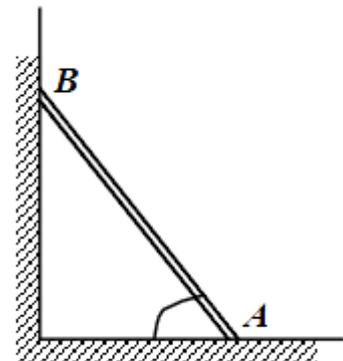
$$(2): R_{Ay} = -F + 0,458 T_{BD} \Rightarrow R_{Ay} = 2\text{kN}$$

$$(3): R_{Az} = 0,894 T_{BC} - 0,763 T_{BD} \Rightarrow R_{Az} = 0,671\text{kN}$$

Exercice

Une échelle de longueur **20 m** pesant **400 N** est appuyée contre un mur parfaitement lisse en un point situé à **16 m** du sol. Son centre de gravité est situé à **1/3** de sa longueur à partir du bas. Un homme pesant **700 N** grimpe jusqu'au milieu de l'échelle et s'arrête. On suppose que le sol est rugueux et que le système reste en équilibre statique.

Déterminer les réactions aux points de contact de l'échelle avec le mur et le sol.



Problème

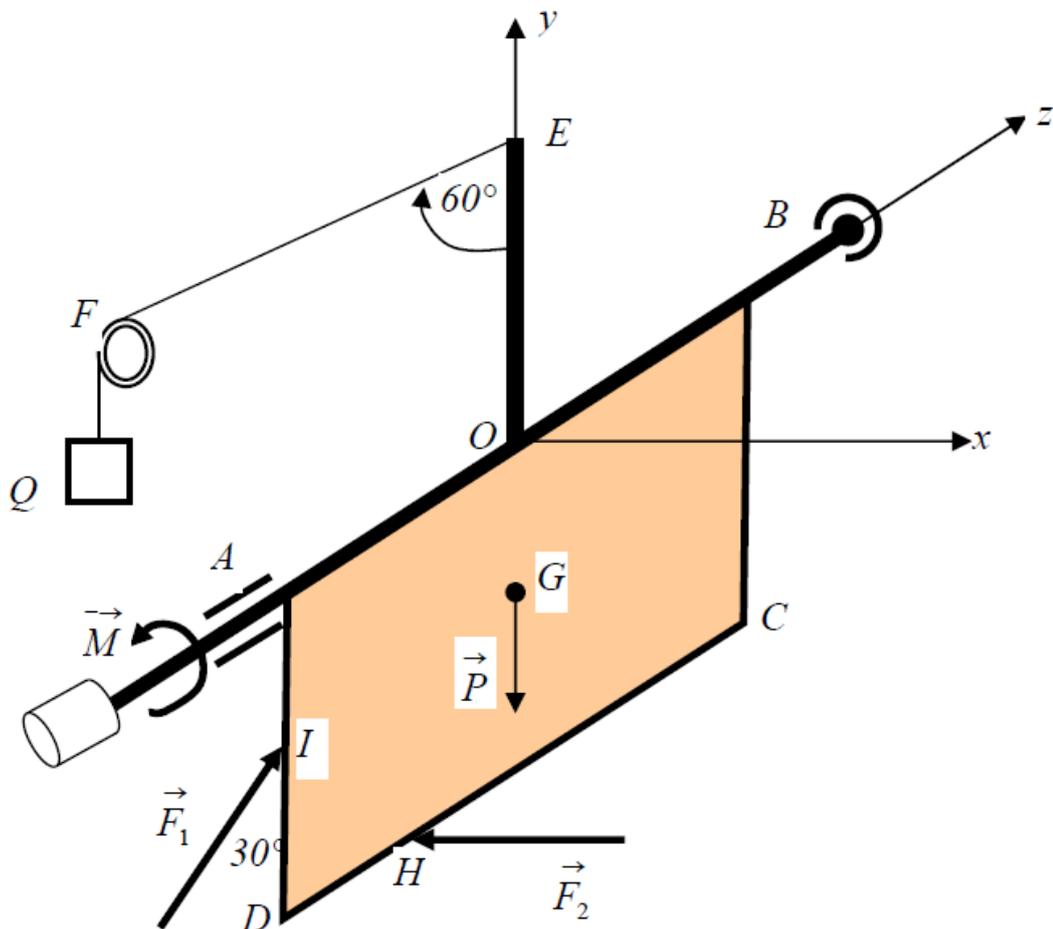
Un clapet de régulation de débit hydraulique est constitué d'une plaque rectangulaire homogène ABCD de poids \vec{P} , soudée à une tige OE de masse négligeable. Le système est soumis aux actions des articulations cylindrique en **A**, sphérique en **B**, d'un câble au point **E** auquel est accrochée une charge **Q** et à deux forces \vec{F}_1 , dans le plan de la plaque en **I** (milieu de **AD**), et \vec{F}_2 en **H**, parallèle à l'axe (**Ox**).

Ce système est en équilibre statique dans la position indiquée sur la figure ci-dessous, à l'aide d'un moteur qui développe un couple de moment \vec{M} .

(La plaque est dans le plan (yoz) et le câble EF appartient au plan (xoz).

On donne : $\mathbf{AB} = \mathbf{DC} = 2\mathbf{a}$; $\mathbf{AD} = \mathbf{BC} = \mathbf{OE} = \mathbf{a}$, $\mathbf{DH} = \mathbf{a}/2$, $\mathbf{Q} = \mathbf{P}/3$, $\mathbf{F}_1 = 2\mathbf{P}$, $\mathbf{F}_2 = 4\mathbf{P}$

- 1) Donner les coordonnées des points: A, B, E, G, H, I ;
- 2) Ecrire les équations d'équilibre statique du système;
- 3) Déterminer en fonction de **a** et **P** les réactions aux points **A** et **B** ainsi que le moment **M**.



CHAPITRE IV

GEOMETRIE DES MASSES

IV.1 Introduction

Le chapitre quatre concerne les notions purement géométrique :

- Masse
- Centre de masse
- Moment d'inertie

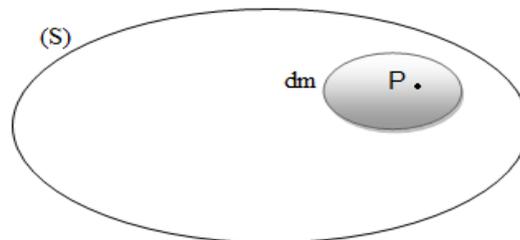
L'intérêt de ces trois grandeurs apparaîtra en cinétique et en dynamique.

IV.2 Systèmes matériels

On appelle système de points matériels ou système matériels une quantité de matière, homogène ou non, dont la masse reste constante pendant son étude. La masse est une grandeur scalaire positive.

IV.2.1 Système continu

Si le système est constitué d'un ensemble continu de masses, la masse du système s'écrirait sous la forme suivante :



(S) est un ensemble matériel si à tout points $P \in (S)$ on associe la grandeur $\rho(P)$ telle que :

$$\rho(P) = \frac{dm(\rho)}{dv(P)} \quad \text{où}$$

$\rho(P)$: densité spécifique

$dv(P)$: volume élémentaire entourant (P)

$dm(P)$: la masse de l'élément de matière occupant le volume dv .

Donc la masse de (S) est alors : $m = \int_{P \in S} dm(P)$

IV.2.1.1 Expression de la masse suivant la nature du domaine

- a) (S) est un volume (Exemple : ballon)