



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE



UET1, Matière : Physique

Enseignante : A. HARAT

e-mail : aharat@gmail.com

Cours 2 :

Les forces et la statique des solides

القوى و علم السكون

Année universitaire 2021 / 2022

Semestre 1

Semestre 1

- **CHAPITRE 1 : Notions générales et unités de mesure** : le système international SI
- **CHAPITRE 2 : Les forces et la statique des solides** : forces et forces statiques :
équilibre, composition décomposition ; Polygone des forces et polygone funiculaire ;
Statique analytique ; La statique des solides : les conditions d'équilibre des corps
solides (analytiquement et graphiquement) pour différentes forces.
- **CHAPITRE 3 : Le travail et l'énergie** : la quantité de mouvement, travail, énergie
cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique totale.
- **CHAPITRE 4 : Vibration et ondes** : Vibration, ondes, périodes et forces d'inertie.

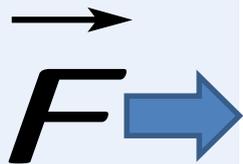


1- Forces **القوى**

La force permet d'exprimer l'action d'un corps sur un autre:

Exemple : le poids est la force qu'exerce la terre sur les objets, le vent exerce une force sur un obstacle qui s'oppose à son passage...etc

Cette force a donc une direction sur une droite (support), un point d'application, un sens et une valeur



- 1 - son point d'application
- 2 - sa ligne d'action ou son support
- 3 - son sens ou sa direction
- 4 - sa grandeur ou intensité

1. نقطة التأثير
2. الحامل
3. الجهة أو الاتجاه
4. القيمة أو الطويلة

Elle s'exprime donc avec un vecteur ! شعاع

On représente la force par une flèche de longueur proportionnelle à son intensité. On voit que, d'un point de vue mathématique, la force a les caractéristiques d'un vecteur (ici vecteur lié). On désignera ce vecteur par F et son intensité par une valeur exprimée en N ou kN.

1-1- Notion de vecteur

Un vecteur est caractérisé par :

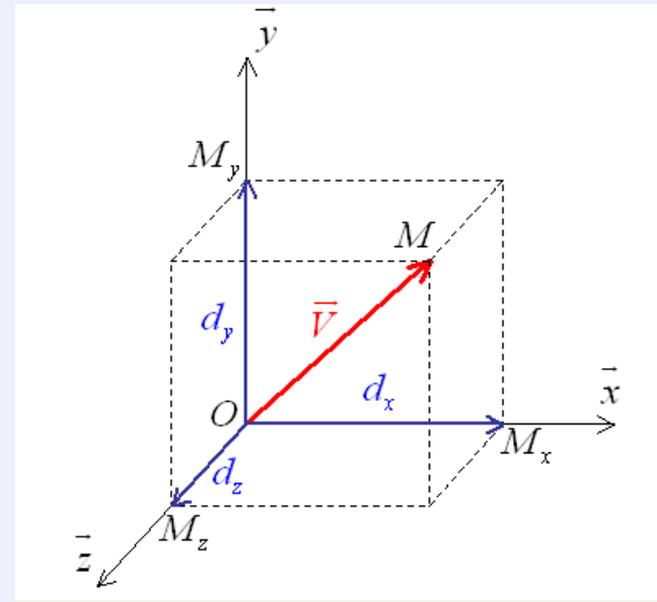
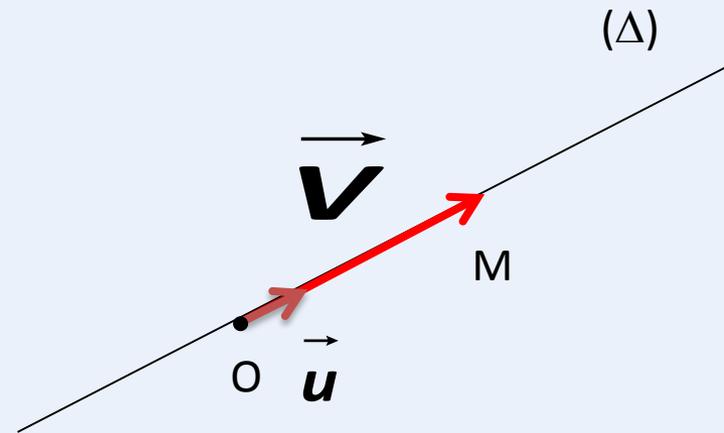
- une origine : le point O
- une direction : la droite (Δ)
- un sens : de O vers M
- une longueur ou module OM

On écrit aussi : $\vec{V} = \overrightarrow{OM} = V \cdot \vec{u}$

Tel que \vec{u} vecteur unitaire de module égale à 1

Dans un repère cartésien (O, x, y, z), on définit les composantes : M_x , M_y et M_z du vecteur \overrightarrow{OM} par rapport aux trois axes:

$$\vec{V} = \overrightarrow{OM} = M_x \vec{i} + M_y \vec{j} + M_z \vec{k}$$



La longueur ou valeur absolue ou module du vecteur est donné par la formule :

$$\left\| \overrightarrow{OM} \right\| = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

Exemple

Soit A (2, 5) et B (-3, 1) deux points et \overrightarrow{AB} un vecteur.

Déterminer les coordonnées et le module du vecteur \overrightarrow{AB} .

$$\overrightarrow{AB} = \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{AB} = \begin{pmatrix} -3 - 2 \\ 1 - 5 \end{pmatrix}$$

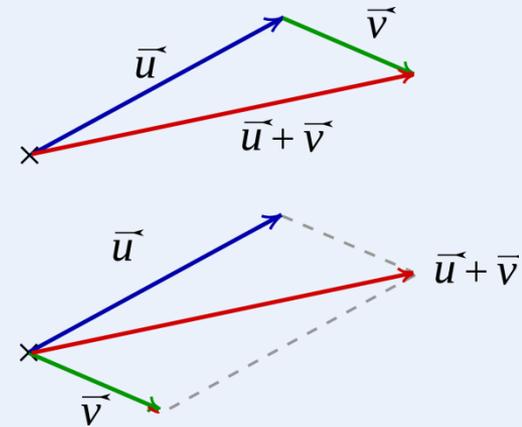
$$\overrightarrow{AB} = \begin{pmatrix} -5 \\ -4 \end{pmatrix}$$

$$\|\overrightarrow{AB}\| = \sqrt{(-5)^2 + (-4)^2} \quad \text{Donc} \quad \|\overrightarrow{AB}\| = \sqrt{45}$$

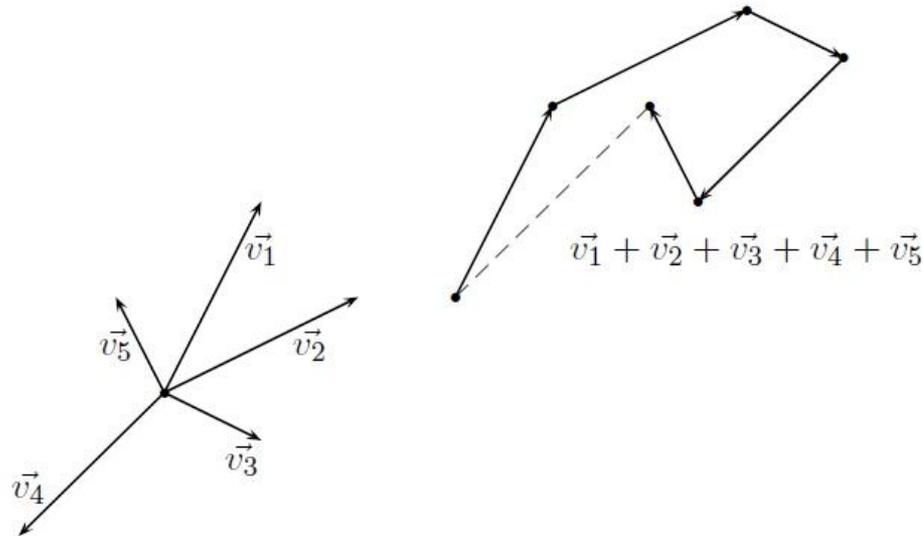
Somme de vecteurs

مجموع أشعة

- On place les vecteurs l'un à la suite de l'autre. Ainsi, l'extrémité du premier vecteur devient l'origine du second vecteur.
- Ensuite, on relie l'origine du premier vecteur à l'extrémité du second vecteur.



La résultante de plusieurs forces peut aussi être retrouvée en utilisant la règle du polygone des forces. Les forces sont mises bout à bout en respectant leur sens et leur direction. La résultante de ces forces ferme le polygone en reliant l'extrémité de la dernière des forces au début de la première.



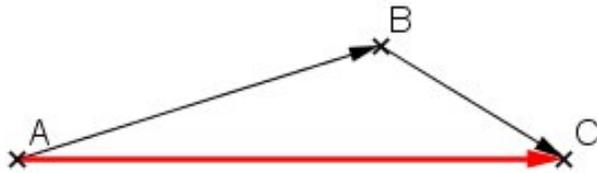
. Relation de Chasles

علاقة شال

Relation de Chasles

Quels que soient les points A, B et C du plan on a :

$$\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{AC}.$$



Exemple : Simplifier l'expression suivante.

$$\begin{aligned}\vec{u} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{EA} \\ &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{EA} \\ &= \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{EA} \\ &= \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{EA} + \overrightarrow{AD} \\ &= \overrightarrow{AA} + \overrightarrow{AD}\end{aligned}$$

Selon la **relation de Chasles**, lors de l'addition de deux vecteurs, si la fin du premier vecteur concorde avec l'origine du second vecteur, la somme sera égale au vecteur ayant comme origine celle du premier vecteur et comme extrémité celle du second vecteur.

Somme de vecteurs dans le repère

مجموع أشعة في معلم

Il est également possible de décomposer les forces en leurs composantes cartésiennes pour déterminer celles du vecteur de la force résultante. Pour ce faire, il faut additionner les diverses composantes d'un même plan pour trouver la composante résultante pour ce plan

Ainsi, si une force \vec{R} est égale à l'addition de deux forces \vec{A} et \vec{B} dans le plan xy , alors

$$R_x = A_x + B_x$$

et

$$R_y = A_y + B_y$$

On se sert ensuite de la relation de Pythagore pour déterminer le module de la force résultante

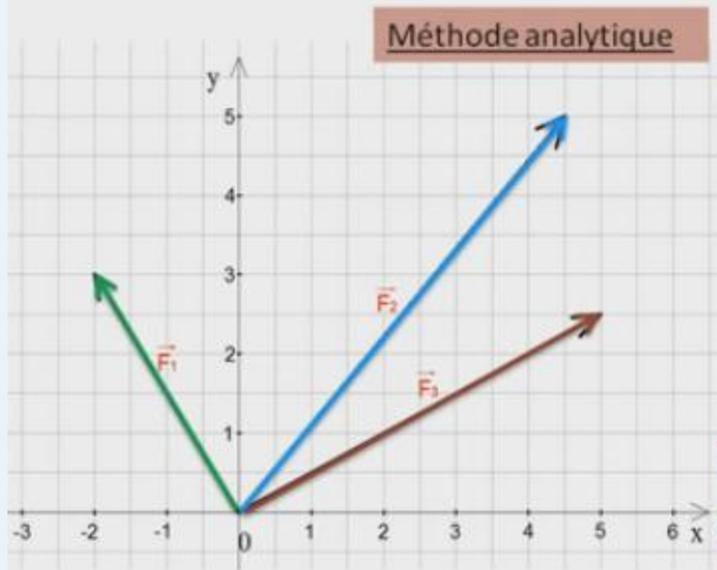
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Exemple 1 :



Addition de vecteurs en coordonnées cartésiennes

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{F}$$



Coordonnées du vecteur \vec{F}_1

$$F_{1x} = -2 \quad ; \quad F_{1y} = 3$$

Coordonnées du vecteur \vec{F}_2

$$F_{2x} = 4.5 \quad ; \quad F_{2y} = 5$$

Coordonnées du vecteur \vec{F}_3

$$F_{3x} = 5 \quad ; \quad F_{3y} = 2.5$$

Coordonnées du vecteur \vec{F}

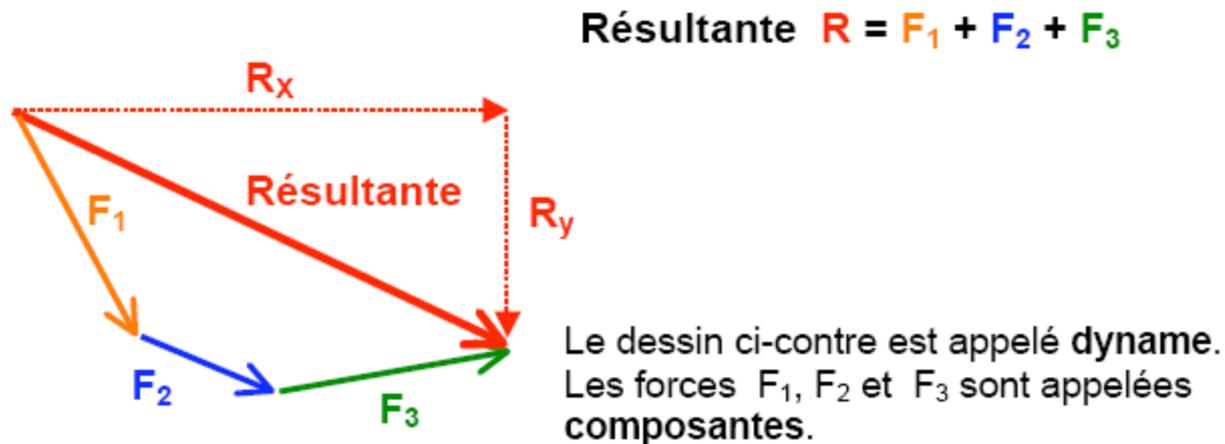
$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = -2 + 4.5 + 5 = 7.5$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 3 + 5 + 2.5 = 10.5$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{7.5^2 + 10.5^2} = \boxed{12.9}$$

Somme de forces coplanaires

La résultante de 2 ou plusieurs forces concourantes et coplanaires est représentée sous la forme **graphique** en grandeur, sens et direction par la ligne séparant le pied de la première force à l'extrémité des forces mises bout à bout. La représentation des forces doit être effectuée à une échelle appropriée.



La résultante de plusieurs forces concourantes et coplanaires peut également être obtenue par la méthode algébrique. Pour ce faire, chaque force doit être définie par une **valeur**, une **direction** et par l'**angle de sa ligne d'action**.

Méthode graphique de résolution de la statique des solides

La **méthode du dynamique et du funiculaire** est une méthode graphique de résolution des problèmes de [mécanique statique](#) ([statique graphique](#)). Elle consiste à tracer deux diagrammes :

- le **dynamique** ou [polygone des forces](#) : les vecteurs force sont représentés avec une échelle donnée (par exemple $1 \text{ cm} = 100 \text{ N}$) et mis bout à bout ; à l'équilibre, ils forment un polygone fermé, ce qui traduit le fait que la somme des forces est nulle ;
 - le **polygone funiculaire**, ou **funiculaire** : sur le dessin représentant le système, on trace des segments de droite limités par les lignes d'action des forces, et à l'équilibre, on a un polygone fermé ; ceci traduit le fait que la somme des moments des forces par rapport à un point est nulle ([théorème de Varignon](#)).
- Le dynamique et le funiculaire sont donc une illustration graphique du [principe fondamental de la statique](#).

**Liens de vidéos explicatives pour trouver la résultante de forces
de façon graphique ou analytique**

Résultante des forces (graphique)

<https://www.youtube.com/watch?v=VzAys5hehIQ>

Résultante des forces (repère)

<https://www.youtube.com/watch?v=AmgorVyaaJ8>

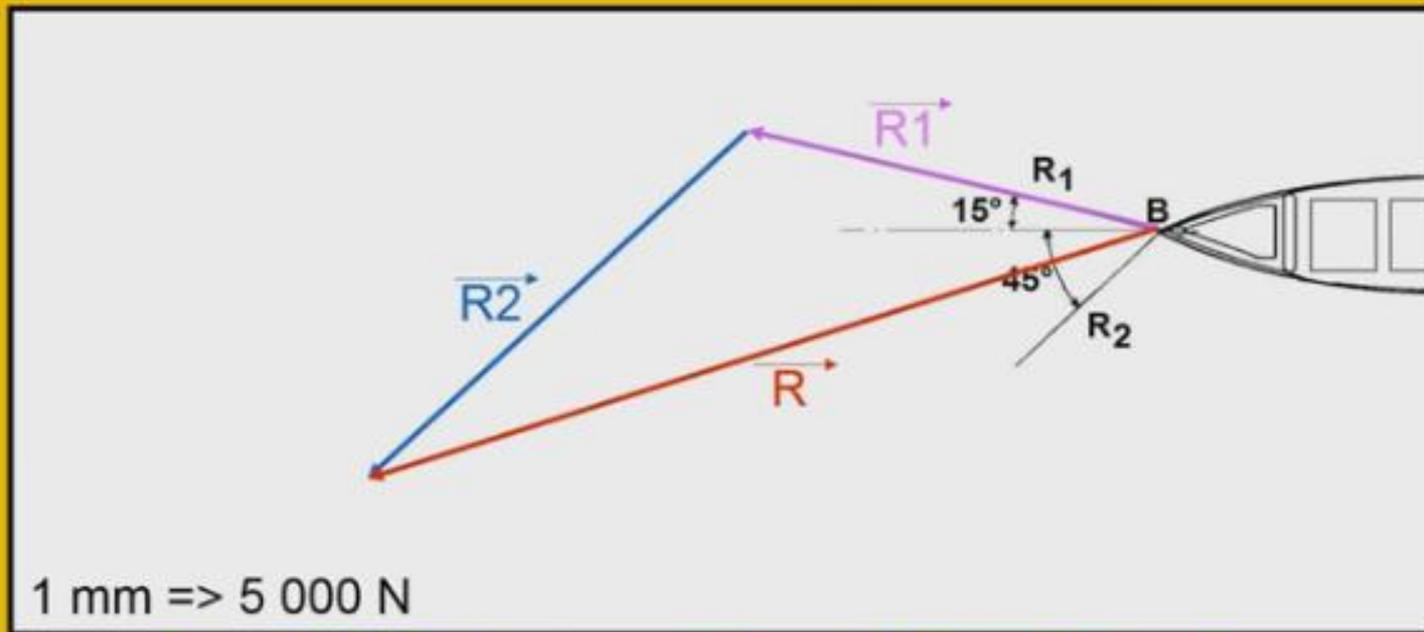
STATIQUE GRAPHIQUE: dynamique et funiculaire

https://www.youtube.com/watch?v=bbCOZfU4_TA

A. HARAT

Exemple 1 : résolution graphique de la somme de deux forces

Tracer sur la figure ci-dessous LA SOMME des forces R_1 et R_2 sachant que l'échelle des forces est de 1 mm pour 5 000 N.



$$R_1 = 30\,000 \text{ daN}$$

$$R_1 \Rightarrow 300\,000 / 5\,000 = 60 \text{ mm}$$

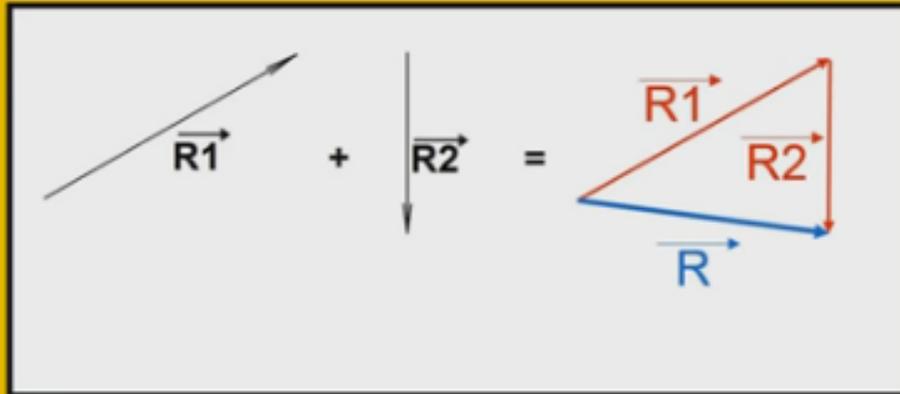
$$R_2 = 40\,000 \text{ daN}$$

$$R_2 \Rightarrow 400\,000 / 5\,000 = 80 \text{ mm}$$

$$R \Rightarrow 123 \times 5\,000 = 615\,000 \text{ N soit } \mathbf{61\,500 \text{ daN}}$$

Exemple 2 : résolution graphique de la somme de deux forces

C) Applications : déterminer la valeur des vecteurs forces suivants puis celle de leur résultante R

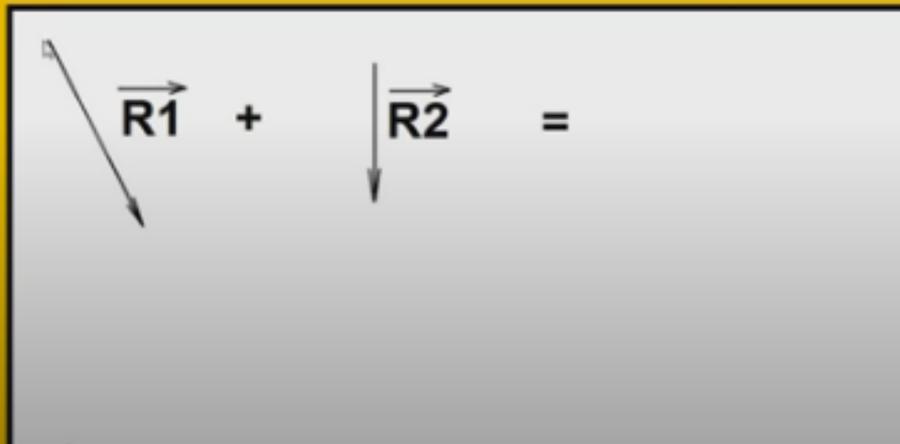


Echelle : 1cm \Rightarrow 10 N

$$R_1 = 40 \text{ N}$$

$$R_2 = 25 \text{ N}$$

$$R = 35 \text{ N}$$



Echelle : 1cm \Rightarrow 5 daN

$$R_1 =$$

$$R_2 =$$

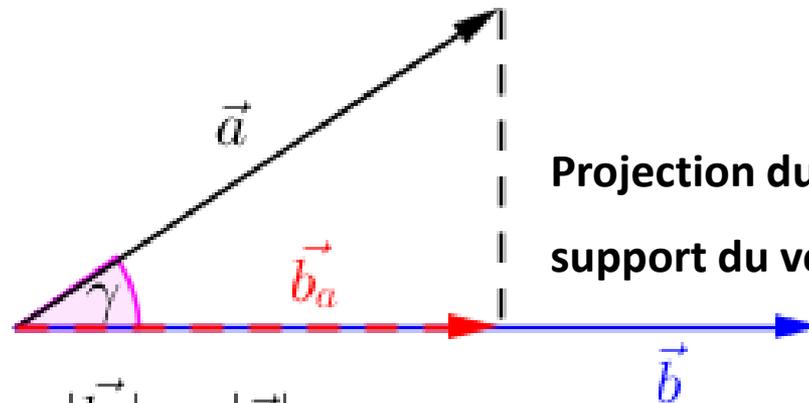
$$R =$$

Produit scalaire de vecteurs

جداء سلمي للأشعة

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \|\vec{u}\| \times \|\vec{v}\| \times \cos(\vec{u}; \vec{v}) \quad \longrightarrow \text{un nombre scalaire}$$

Si $\vec{u} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ et $\vec{v} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$ alors : $\vec{u} \cdot \vec{v} = xx' + yy' + zz'$



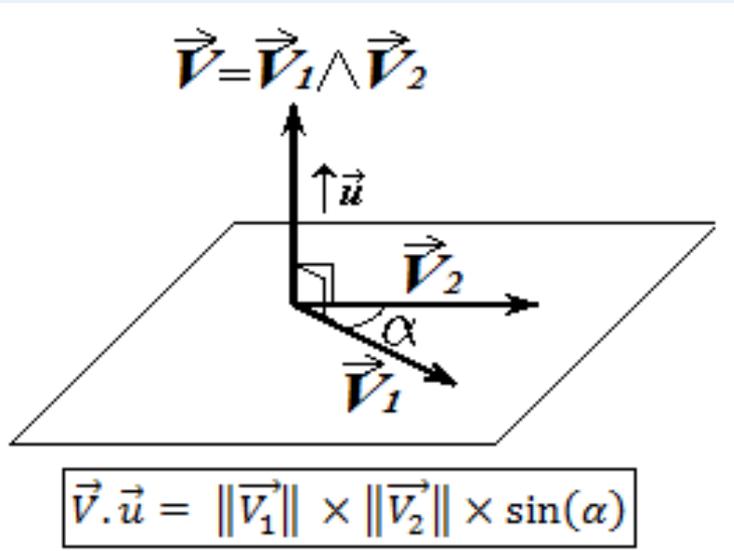
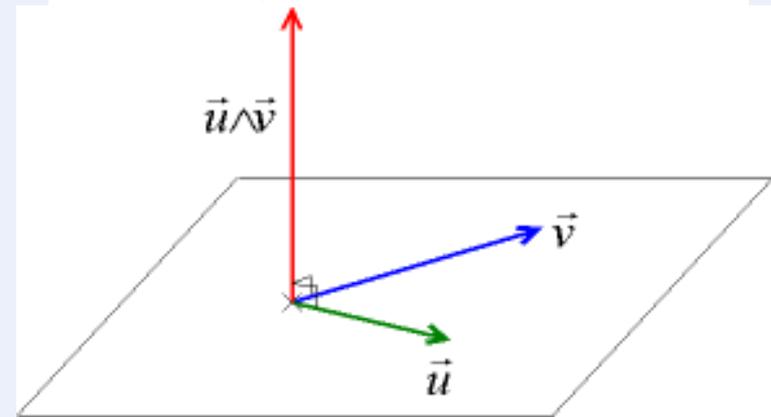
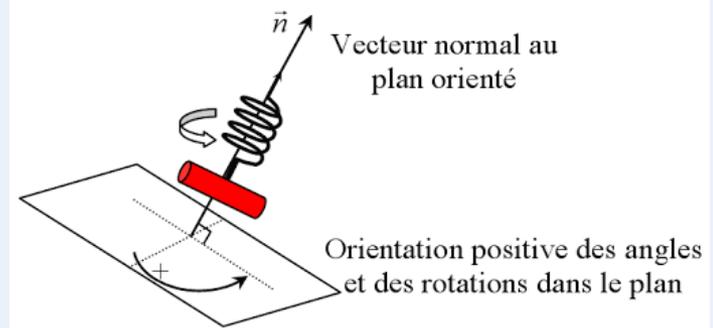
Projection du vecteur \vec{a} sur le support du vecteur \vec{b}

$$|\vec{b}_a| = |\vec{a}| \cdot \cos \gamma$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \gamma = |\vec{a}| \cdot \cos \gamma \cdot |\vec{b}| = |\vec{b}_a| \cdot |\vec{b}|$$

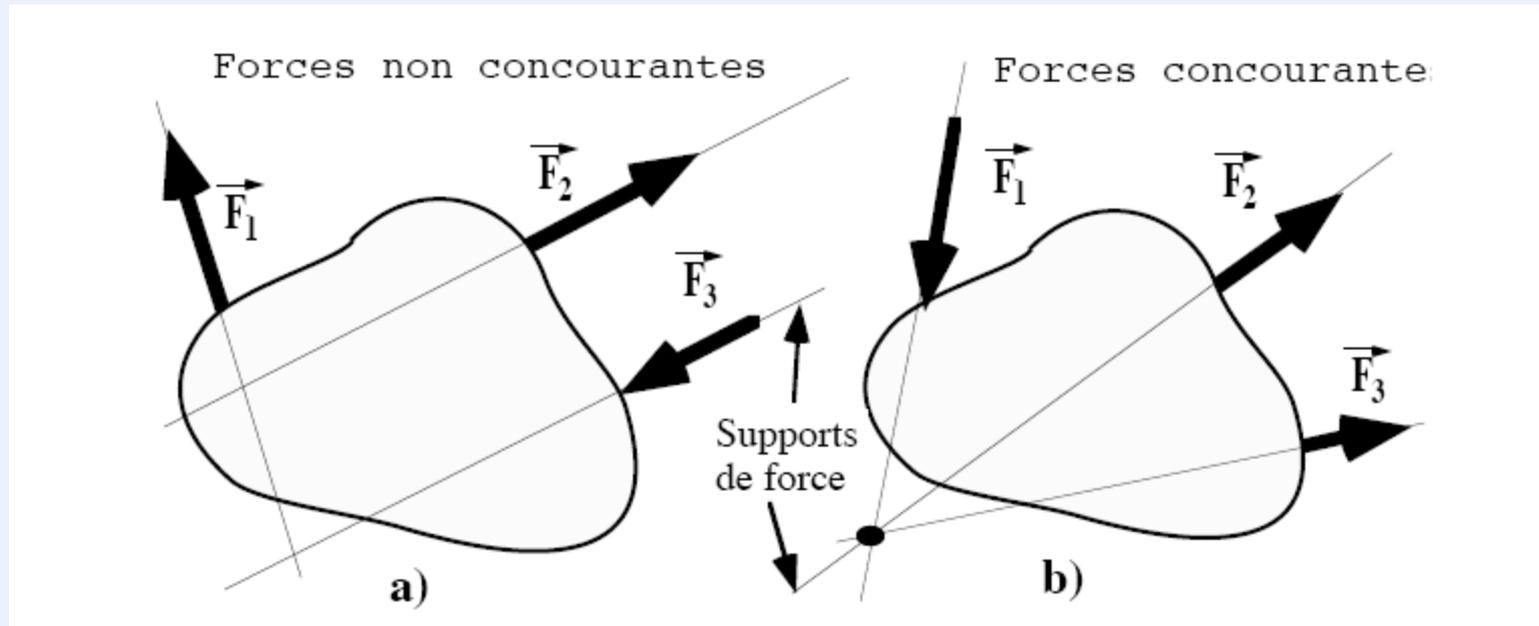
Produit vectoriel de vecteurs

جداء شعاعي للأشعة



$$\vec{u} \wedge \vec{v} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix} \\ - \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix} \\ + \begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \cdot y_3 - x_3 \cdot y_2 \\ x_3 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_3 \\ x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1 \end{pmatrix}$$

Forces concourantes et non concourantes



Mouvement de rotation

حركة دوران

Mouvement de translation

حركة انسحاب

CHAPITRE 2 : Les forces et la statique des solides

Suite cours 2, en ligne, réunion ZOOM, le mercredi 27 octobre 2021 à 14h

Les forces et la statique des solides + exercices d'application

vxwsujo

À venir

Aucun devoir à remettre
dans les jours qui viennent

[Tout afficher](#)



HARAT Aïcha
Hier

Aïcha harat vous invite à une réunion Zoom planifiée, le mercredi 27 octobre à 14h

Sujet : Zoom meeting invitation - Réunion Zoom de Aïcha harat
SUITE COURS 2: Forces et statique des solides + exercices d'application
Heure : 27 oct. 2021 à partir de 14h (heure locale)

Pour participer à la réunion Zoom, cliquez sur le lien ci dessous :

<https://us04web.zoom.us/j/73644108781?pwd=aFhxaXhZNnVKQk5XK0QrajNNMk1Ydz09>

ou alors utilisez le code de la réunion suivant sur votre application ZOOM :

ID de réunion : 736 4410 8781

Code secret : 8hQRzM

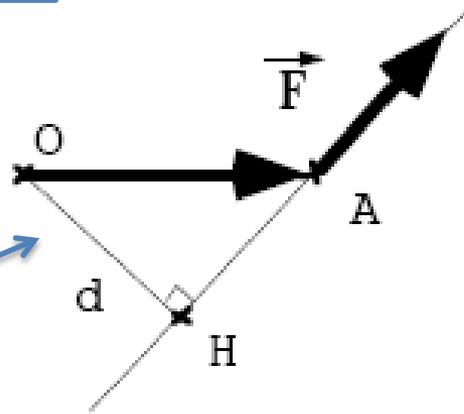
Moment d'une force

عزم قوة

ذراع القوة

Bras de la force : Distance verticale
Par rapport au support de la force

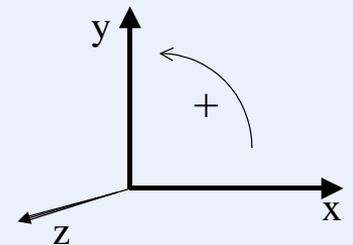
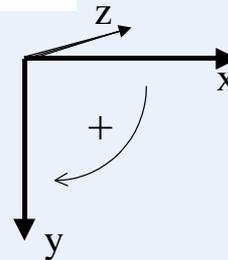
البعد العمودي عن محور الدوران



Soit O le point de référence et A le point d'application de la force \vec{F} . Le moment de cette force par rapport à O est donné par

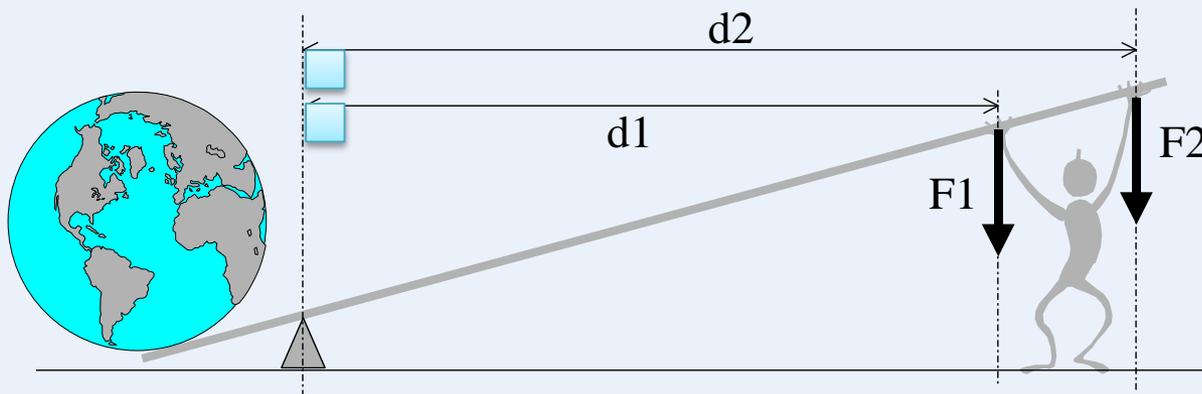
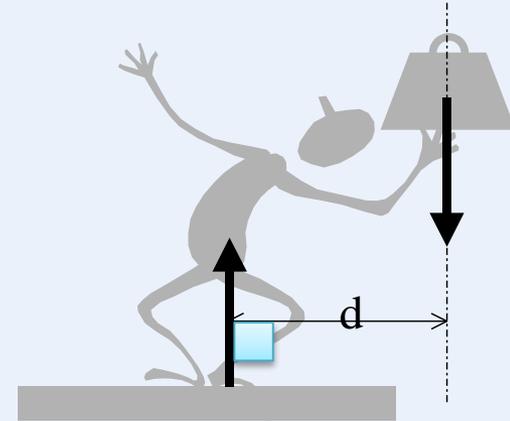
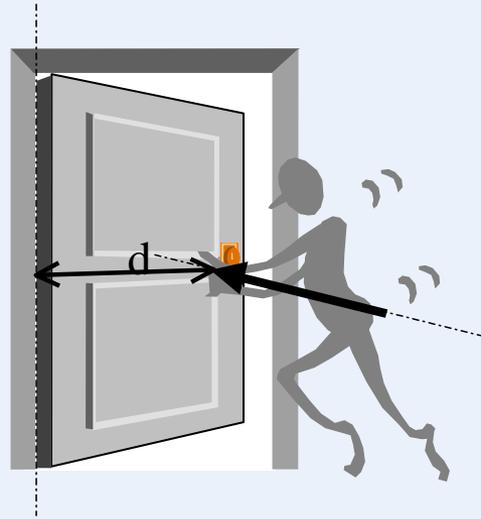
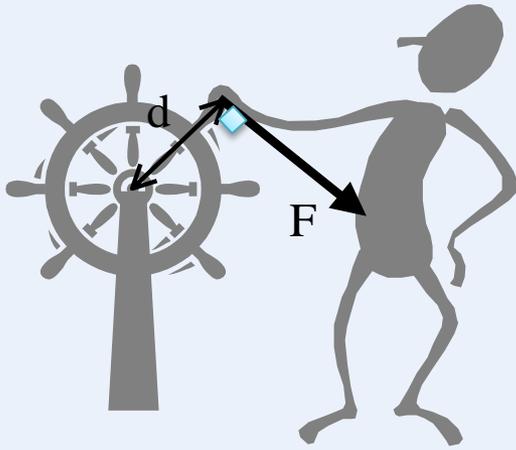
$$\vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{OA} \times \vec{F} = \|\vec{OA}\| \cdot \|\vec{F}\| \cdot \sin(\vec{OA}, \vec{F}) \cdot \vec{k}$$

$$\vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{OH} \times \vec{F} = d \cdot F \cdot \vec{k}$$

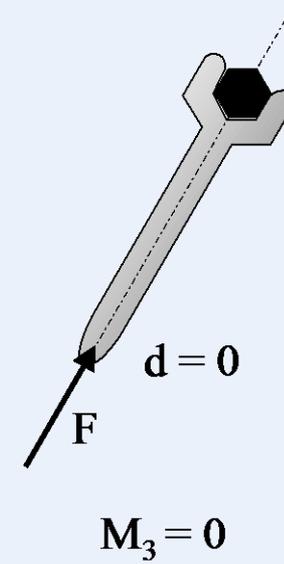
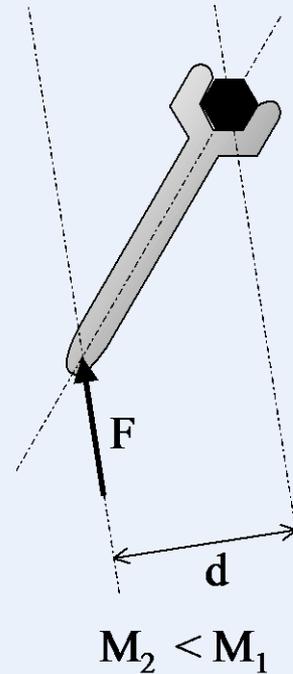
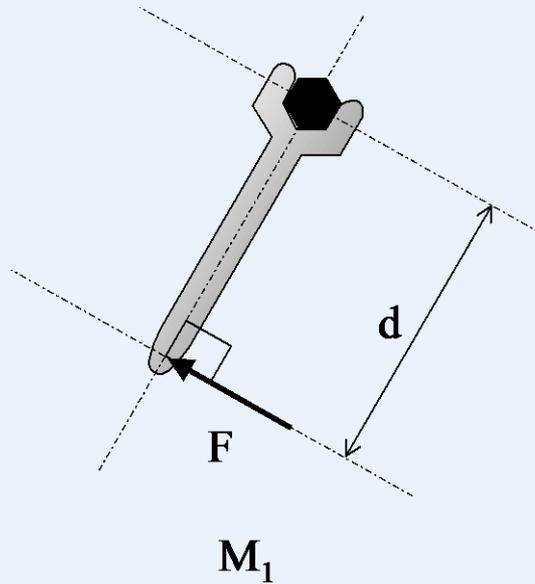


Exemples de bras de forces

أمثلة عن ذراع القوى



Exemples de bras de forces

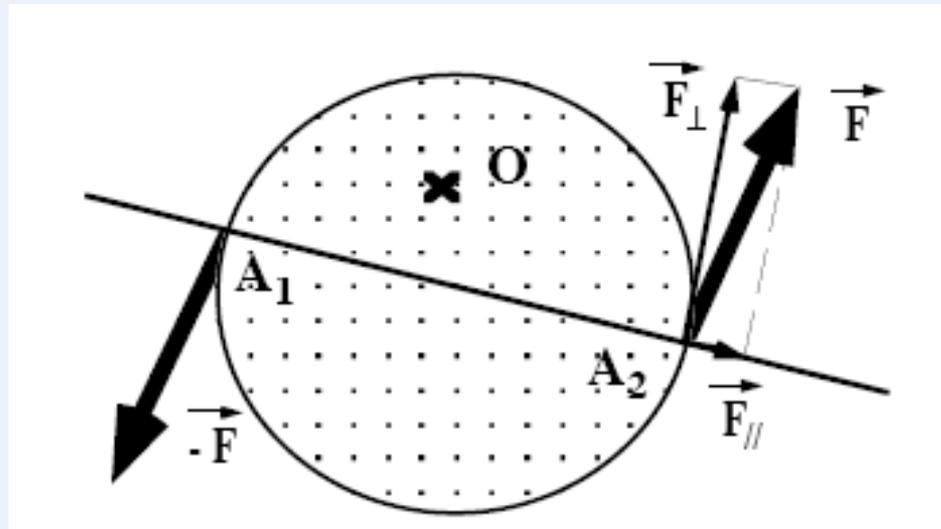


Bras de la force : Distance verticale
Par rapport au support de la force

Une force dont le
support passe par l'axe
de rotation a un
moment nul

Couple de forces

عزم مزدوجة



$$\vec{M}_O = \vec{M}_{\vec{F}} /_O + \vec{M}_{-\vec{F}} /_O = -\vec{OA}_1 \times \vec{F} + \vec{OA}_2 \times \vec{F}$$

$$\vec{M}_O = \vec{A_1A_2} \times \vec{F}$$



$$\vec{M}_O = dF_{\perp} \vec{k}$$

TYPES DE FORCES

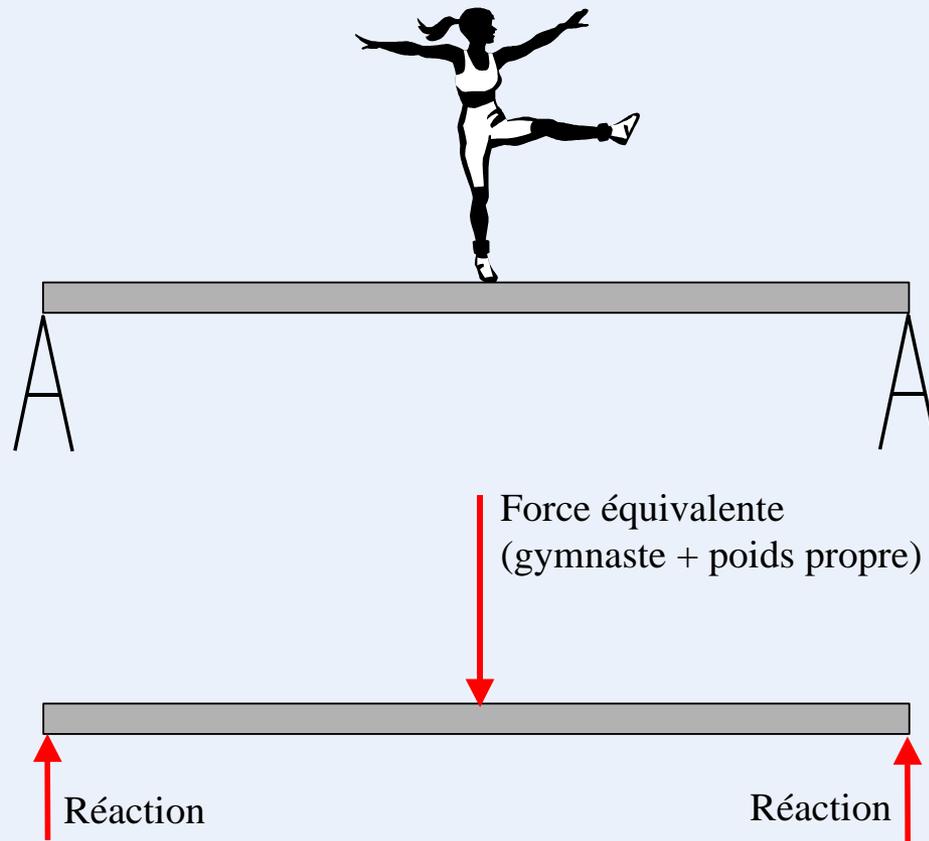
- Pesanteur : peut être répartie ou concentré

$$P = m g \quad \text{الثقل}$$

- Forces de contact ou de réactions (par exemple des supports) قوى التلامس أو ردود الفعل
- Les forces sont généralement concentrées ou réparties lorsque la zone d'application de ces forces peut se réduire à un point ou au contraire à une extension spatiale (RDM)
- En physique du bâtiment, il n'existe pas réellement de forces ponctuelles.

A. HARRAT

CHAPITRE 2 : Les forces et la statique des solides



Les Lois de Newton

- Rappels:

Les trois lois de Newton permettent de prévoir le mouvement d'un objet lorsque celui-ci est soumis à des forces.

- 1^{ère} ● La première loi exprime que tout objet conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme en l'absence de forces agissant sur lui.
- 2^{ème} ● La deuxième loi de Newton permet de calculer la force \mathbf{F} nécessaire pour fournir une accélération \mathbf{a} à un objet par $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$, où m est la masse de l'objet.
- 3^{ème} ● La troisième loi de Newton établit que si un objet exerce une force \mathbf{F} sur un second objet, ce dernier exerce, sur le premier, une force de même grandeur mais opposée ($-\mathbf{F}$).

1^{ère}

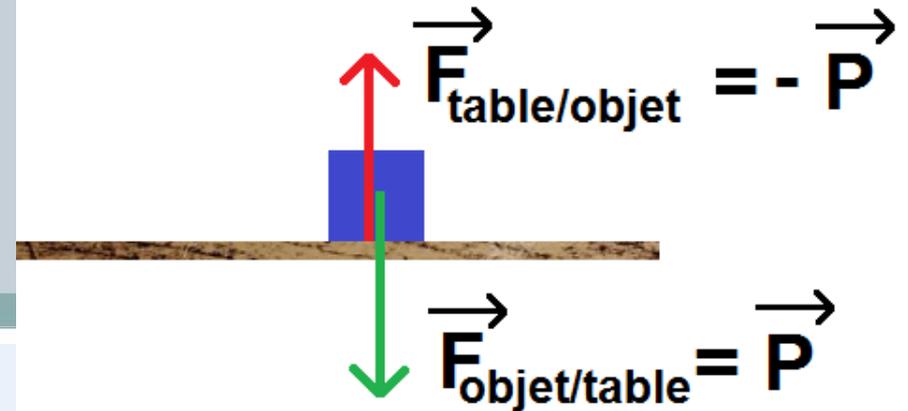
I. Les lois de Newton

- **1^{ère} loi ou principe d'inertie** : Tout corps soumis à des forces qui se compensent est animé d'un mouvement rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen, et inversement.

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v}_G \text{ est un vecteur constant.}$$

3^{ème}

Troisième lois de Newton



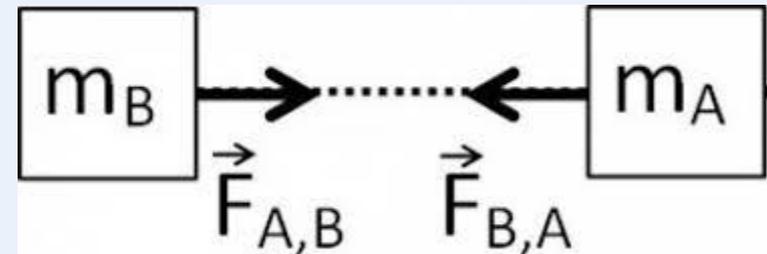
2^{ème}

DEUXIÈME LOI DE NEWTON

La force résultante exercée sur un objet est toujours égale à la masse de cet objet multipliée par son accélération.

L'accélération produite a toujours la même orientation que la force résultante.

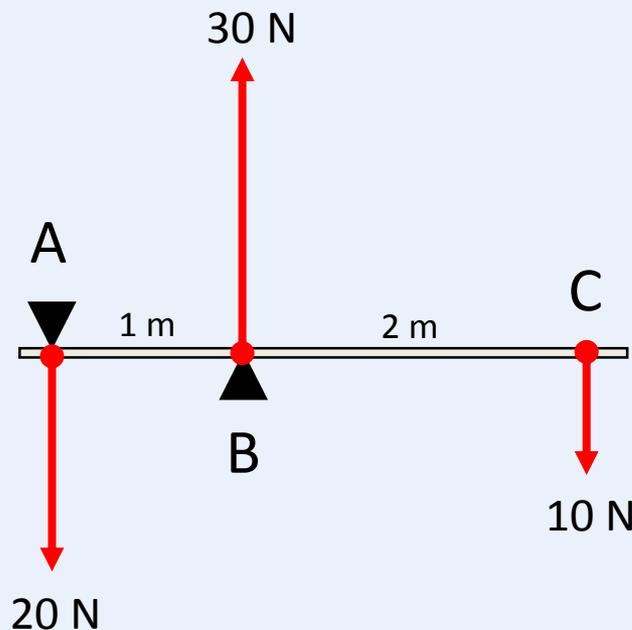
$$\vec{F} = m\vec{a}$$



Un système est en équilibre si :

- la somme des forces est nulle (force résultante = 0),
- la somme algébrique des moments des forces est nulle.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_{/p} = 0 \end{cases}$$



La barre ne tourne pas, on a donc en A une force dont le moment s'oppose à celui de la force exercée en C.

L'ensemble ne chute pas, on a donc en B une force opposée à la résultante des deux autres forces.

On peut constater que, quel que soit le point de rotation choisi (A B C ou un autre), la somme des moments est nulle.

Équilibre statique

Équilibre

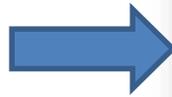
Conditions d'équilibre

$$\sum \vec{F} = 0$$

توازن الانسحاب
(Équilibre de translation)

$$\sum M_o = 0$$

توازن الدوران
(Équilibre de rotation)



- Condition d'équilibre de translation

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0 \Rightarrow \sum \vec{F}_x = 0 \text{ et } \sum \vec{F}_y = 0$$

- Condition d'équilibre de rotation autour du point O

$$\sum M_o = 0$$

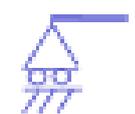
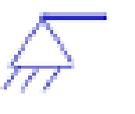
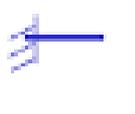
Méthode de résolution de problèmes d'équilibre

Dessinez le DCL sur l'objet (ou objets)

Montez les conditions d'équilibre

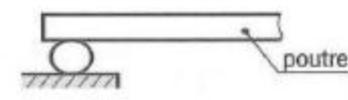
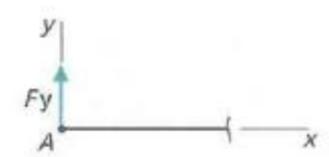
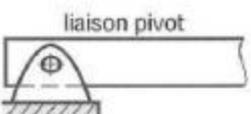
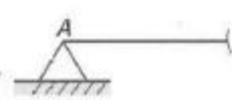
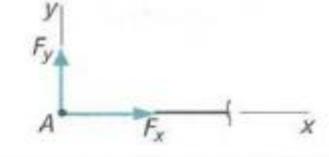
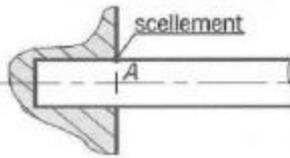
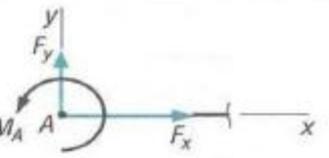
Résoudre les équations!

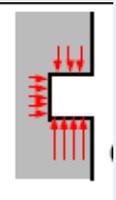
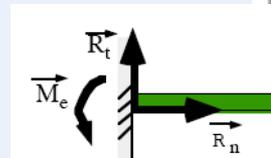
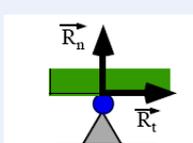
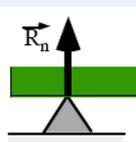
CHAPITRE 2 : Les forces et la statique des solides

Type de liaison	Modélisation	Inconnue de liaison
Appui simple (ou mobile)		1 inconnue $R_Y \uparrow$
Appui double (ou fixe, ou articulation)		2 inconnues $R_Y \uparrow$ $R_X \rightarrow$
Encastrement		3 inconnues $R_Y \uparrow$ $R_X \rightarrow$ $M \curvearrowright$

Forces de contact et réactions d'appuis

قوى التلامس و ردود الفعل

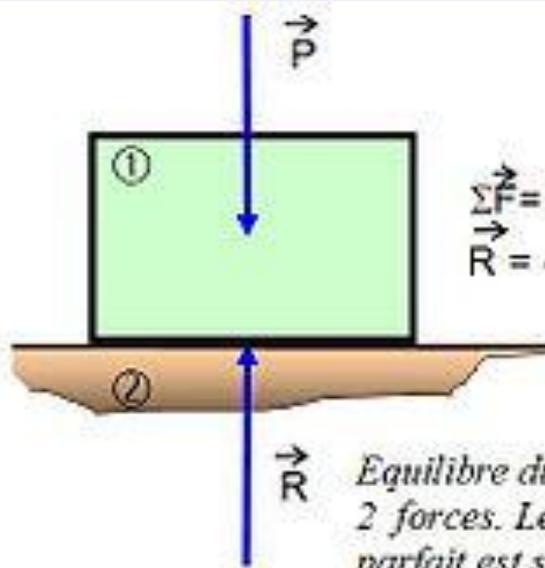
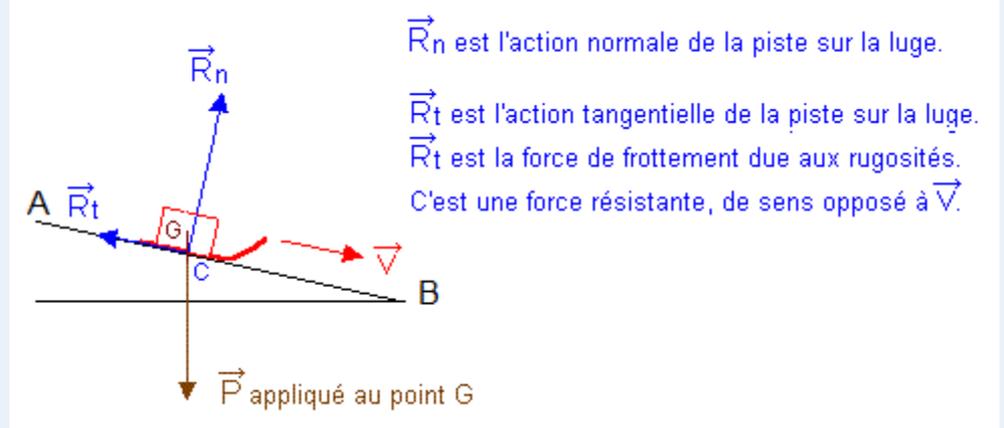
Type	Exemples	Schématisation usuelle	Actions exercées
Appui simple	 poutre $f = 0$ pas de frottement	 ou 	
Articulation	 liaison pivot		
Encastrement	 scellement		



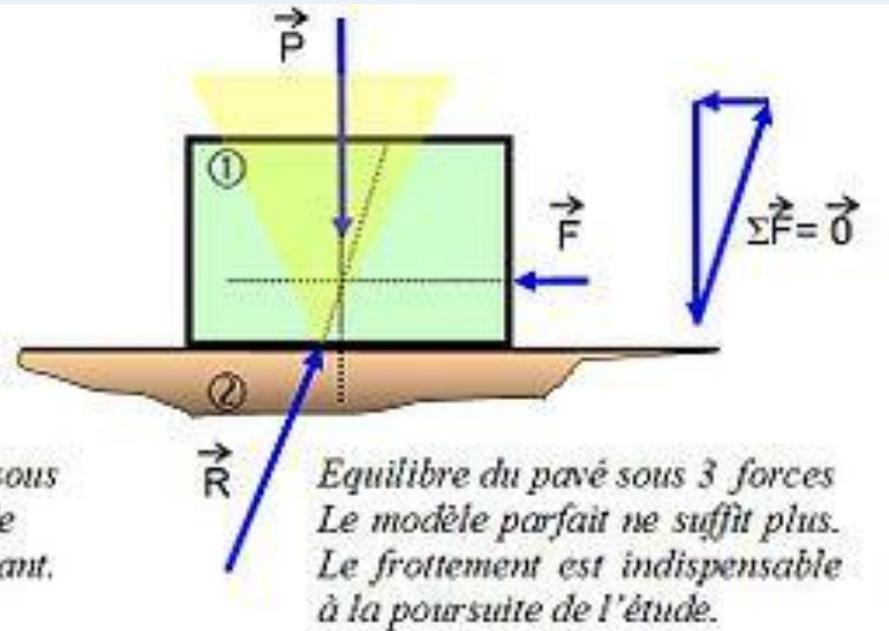
Forces de frottements

$$R_t = \mu R_N$$

قوى الاحتكاك



Equilibre du pavé sous 2 forces. Le modèle parfait est satisfaisant.



Equilibre du pavé sous 3 forces. Le modèle parfait ne suffit plus. Le frottement est indispensable à la poursuite de l'étude.

Comment résoudre un exercice en statique des solides ?

1. Chercher et représenter toutes les forces extérieures appliquées au système étudié (poids, réactions de contact, réaction de rotation, réaction avec frottements, tensions de fils ...)
2. Choisir un repère facile
3. Ecrire la condition d'équilibre pour la translation : la somme des forces extérieures est nulle puis projeter cette relation vectorielle sur les 2 axes (plan) ou les 3 axes (espace)
4. Ecrire la condition d'équilibre pour la rotation : la somme algébrique des moments de forces extérieures par rapport à un axe quelconque est nulle, sans oublier de définir un sens positif de rotation
5. Dès que le nombre d'équations algébrique est égale au nombre d'inconnues, le problème est résolu

كيف تحل تمريناً في ستاتيكا الأجسام؟

1. إيجاد وتمثيل جميع القوى الخارجية المطبقة على الجملة المدروسة (الثقل ، قوى التلامس ، تفاعل الدوران ، قوى الاحتكاك ، شد او توتر الخيط ، إلخ).
2. اختر معلماً سهلاً
3. اكتب شرط التوازن للانسحاب : مجموع القوى الخارجية يساوي صفراً ، ثم قم بإسقاط هذه العلاقة الشعاعية على المحورين (المستوى) أو المحاور الثلاثة (الفضاء)
4. اكتب شرط التوازن للدوران: المجموع الجبري لعزوم القوى الخارجية بالنسبة لمحور هو صفر ، دون أن ننسى تحديد اتجاه إيجابي للدوران
5. بمجرد أن يكون عدد المعادلات الجبرية مساوياً لعدد المجاهيل ، يتم حل المشكلة

Exemple 1 :

Données sur la poutre :

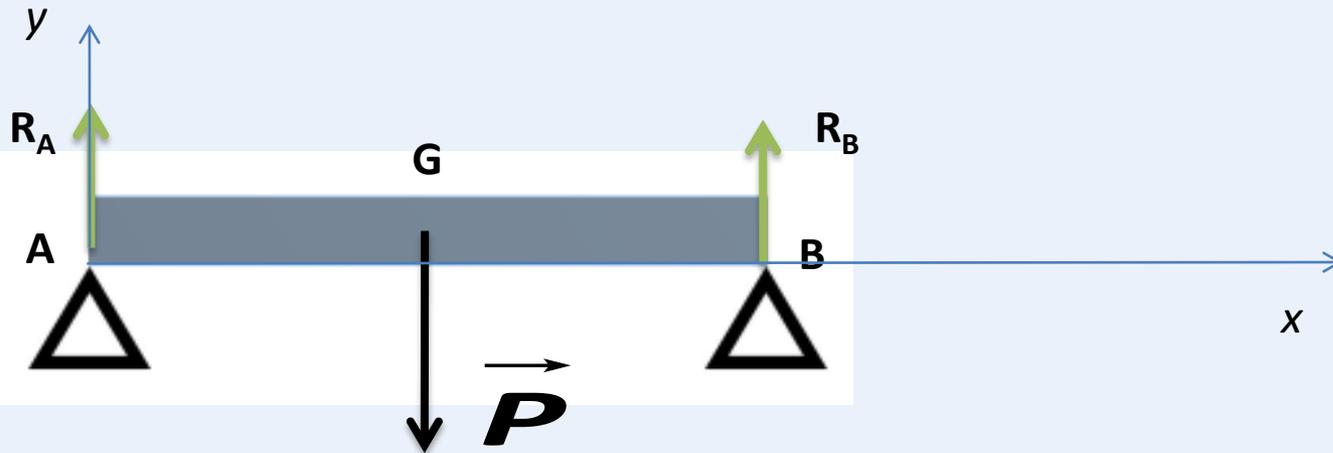
$$M = 10 \text{ kg}$$

$$AB = 3 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ N/kg}$$



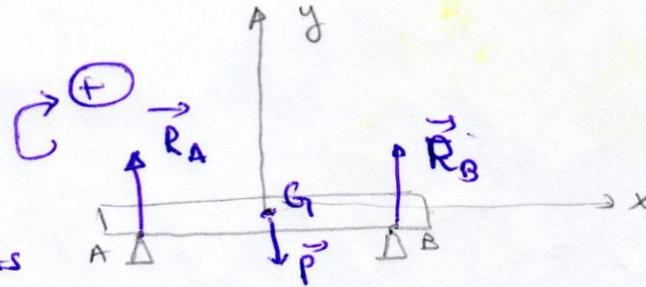
→ Question : trouver l'intensité des réactions des 2 supports simples



CHAPITRE 2 : Les forces et la statique des solides

exemple :

Trouver l'intensité
des réactions des 2 supports



On donne: $M = 10 \text{ kg}$, $L = 4 \text{ m}$, $AB = 3 \text{ m}$

$$g = 10 \text{ N/kg}$$

Condition d'équilibre de translation

• $\sum \vec{F}_i = \vec{0}$; la projection sur l'axe (oy) donne:

$$-P + R_A + R_B = 0 \Rightarrow R_A + R_B = P = 100 \text{ N} \quad (1)$$

• condition d'équilibre de rotation

$$\sum \vec{M}_{G/A} = \vec{0} \Rightarrow \vec{M}_{G/A} \vec{P} + \vec{M}_{G/A} \vec{R}_A + \vec{M}_{G/A} \vec{R}_B = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \vec{M}_{G/A} \vec{P} + 0 = \vec{M}_{G/A} \vec{R}_B = 0 \Rightarrow \vec{M}_{G/A} \vec{P} = \vec{M}_{G/A} \vec{R}_B$$

$$\Rightarrow R_B \cdot 3 = P \cdot 1,5 \Rightarrow \underline{R_B = 50 \text{ N}}$$

et d'après (1): $R_A + R_B = 100 \text{ N} \Rightarrow \underline{R_A = 50 \text{ N}} \quad (2)$

Quelques vidéos à consulter sur youtube:

- Résultante des forces

https://www.youtube.com/watch?v=dvVXkv_UQhs&t=73s

- Définitions du moment d'une force et du moment d'un couple de forces

<https://www.youtube.com/watch?v=vEYpyrzA2IQ>

- Plusieurs fils en tension :

<https://www.youtube.com/watch?v=ATqD44NZrXI>

- Méthode de résolution graphique : statique à 3 forces concourantes :

<https://www.youtube.com/watch?v=NIHhee0v2ro>

Balance is key.

