

UAA 3 :

LA STATIQUE – FORCES ET EQUILIBRES

I-	COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DE FORCES	3
1)	Définition d'une force	3
2)	Vecteur force.....	3
3)	Composition de forces	3
a)	<i>Direction et sens de la résultante</i>	3
b)	<i>Intensité de la résultante ...Attention !</i>	4
4)	Décomposition de forces.....	6
a)	<i>D'un point de vue vectoriel</i>	6
b)	<i>Du point de vue des intensités</i>	6
c)	<i>Rappel trigonométrie :</i>	6
5)	Exercices.....	6
II-	EXEMPLES DE FORCES EN PHYSIQUE.....	7
1)	Rappel : le poids G.....	7
2)	La réaction et la loi des actions réciproques (rappel)	7
3)	La force motrice et la force résistante	8
4)	La tension.....	8
5)	La Force de frottement.....	9
a)	<i>Quelques exemples</i>	9
b)	<i>Les différents types de forces de frottement</i>	9
c)	<i>Expression d'une force de frottement</i>	9
d)	<i>Exercices</i>	10
III-	EQUILIBRE STATIQUE.....	10
1)	Définitions	10
a)	<i>Notion de repos et de mouvement</i>	10
b)	<i>L'équilibre statique</i>	10
IV-	EQUILIBRE DE TRANSLATION	11
1)	Exemple 1: équilibre sur un plan horizontal	11
2)	Conclusion	11
3)	Application : équilibre sur un plan incliné	11
a)	<i>Description</i>	11
b)	<i>Calcul des grandeurs liées à la pente et aux forces agissant sur l'objet</i>	12
c)	<i>Equilibre sur un plan incliné</i>	12
4)	L'avantage mécanique d'une machine simple type plan incliné	13
a)	<i>Qu'est-ce qu'une machine simple ?</i>	13

b) Définition de l'avantage mécanique	13
c) Comment le calculer de manière générale ?.....	13
f) Exercices.....	14
V- EQUILIBRE DE ROTATION.....	15
a) Le bras de levier.....	15
b) Définition du moment d'une force.....	16
c) Condition d'équilibre de rotation.....	16
d) Conclusion : Conditions d'équilibre statique.....	17
VI- MACHINES SIMPLES AVEC BRAS DE LEVIER.....	17
1) Le levier.....	17
2) La poulie fixe.....	18
a) Caractéristiques.....	18
b) Exemples.....	18
c) Exercices résolus.....	19
VII- EXERCICES.....	19

UAA3 :

LA STATIQUE – FORCES ET EQUILIBRES

I- COMPOSITION ET DÉCOMPOSITION DE FORCES

1) Définition d'une force

Une force est une grandeur physique capable de produire ou modifier le **mouvement** d'un corps (*effet dynamique*) ou de le **déformer** (*effet statique*).

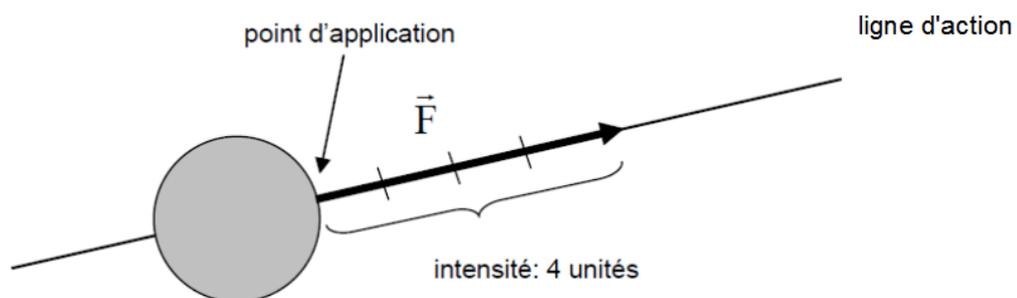
Dans la suite de ce cours, nous ne considérerons uniquement les cas des corps indéformables.

2) Vecteur force

Toute force peut être représentée par un vecteur dont les 4 caractéristiques sont :

- point d'application : point où l'action s'exerce sur le corps
- direction : droite selon laquelle l'action s'exerce
- sens : sens selon lequel l'action s'exerce
- intensité : la valeur de la force en Newton (N)

Rem : Un ensemble de droites parallèles possèdent la même direction. En physique, celle passant par le point d'application d'un vecteur est la ligne d'action de celui-ci.



Attention :

\vec{F} = force avec ses 4 caractéristiques

$\|\vec{F}\| = F = \text{intensité ou norme de } \vec{F} \text{ (= l'une des 4 caractéristiques)}$

$F = 4N$

3) Composition de forces

a) Direction et sens de la résultante

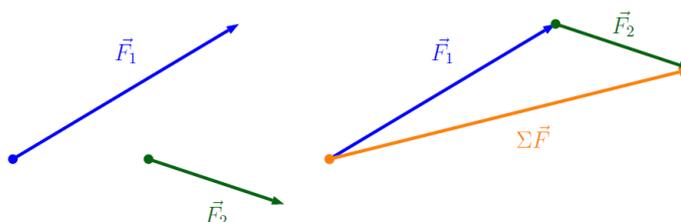
Si un corps indéformable est soumis à plusieurs forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$ (en même temps), l'effet résultant est le même que si on n'avait qu'une seule force, appelée *résultante*.

On appelle (force) résultante la force correspondant à la somme vectorielle de tous les vecteurs forces qui s'appliquent à un corps.

$$\boxed{\vec{\Sigma F} = \vec{F}_1 \oplus \vec{F}_2 \oplus \vec{F}_3 \oplus \dots \oplus \vec{F}_n}$$

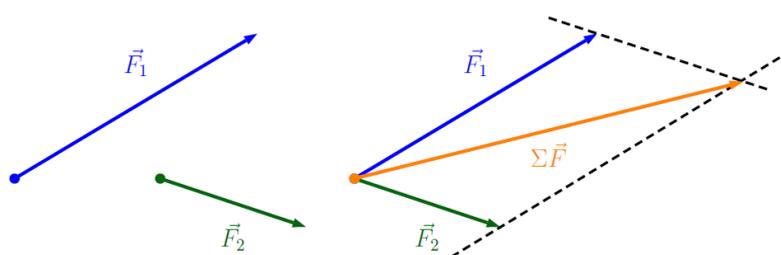
Pour trouver la résultante $\vec{\Sigma F}$ de deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 on peut :

- soit translater les vecteurs tel que l'origine du deuxième vecteur soit placée à l'extrémité du premier (ou inversement). Si on relie l'origine du premier vecteur à l'extrémité du deuxième vecteur, on obtient la résultante :



- soit dresser le parallélogramme des forces :

C'est le parallélogramme qui a comme côtés les deux forces à additionner. La résultante correspond à la diagonale.



b) Intensité de la résultante ...Attention !

- Addition de deux forces de même direction et même sens



Si les deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 ont *même sens et même direction*, alors l'intensité (la norme, la longueur) de la résultante $\vec{\Sigma F}$ est égale à la somme des intensités (normes) des forces composantes :

$$\vec{F}_1 \oplus \vec{F}_2 = \vec{\Sigma F} = \vec{F}_3 \quad \text{et} \quad \boxed{F_3 = \Sigma F = F_1 + F_2}$$

- Addition de deux forces opposées



Si les deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 ont des *directions parallèles, mais des sens opposés*, alors l'intensité de la résultante ΣF est égale à la valeur absolue de la différence des intensités des forces composantes :

$$\vec{F}_1 \oplus \vec{F}_2 = \Sigma \vec{F} = \vec{F}_3 \quad \text{et} \quad \boxed{F_3 = \Sigma F = |F_1 - F_2|}$$

Rappel :

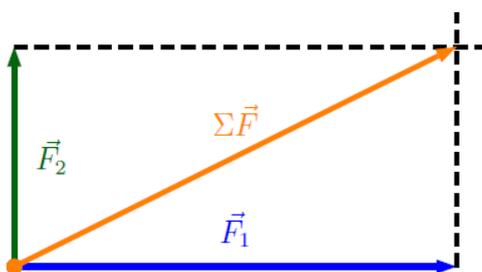
La valeur absolue est toujours positive

Attention !

- Addition de deux forces de directions perpendiculaires

Dans ce cas, on peut facilement calculer l'intensité de la résultante en se servant du théorème de Pythagore :

$$\vec{F}_1 \oplus \vec{F}_2 = \Sigma \vec{F} = \vec{F}_3 \quad \text{et} \quad \boxed{F_3^2 = \Sigma F^2 = F_1^2 + F_2^2 \quad \text{ou} \quad F_3 = \Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}}$$



Exemple:

Si $F_1 = 3N$ et $F_2 = 4N$ alors $F_3^2 = 3^2 + 4^2 = 25 \Rightarrow \boxed{F_3 = 5N}$

et $F_1 + F_2 = 7N \neq F_3$

Conclusion :

Lorsque les Forces (vecteurs) que l'on somme ne possèdent pas la même direction, l'intensité de la résultante n'est pas égale à la somme des intensités des composantes :

$$\Sigma F \neq F_1 + F_2 + F_3 \dots + F_n$$

Remarque :

Pour trouver la résultante de deux forces agissant sur un solide indéformable, on peut faire coïncider leur point d'application et le placer au centre de gravité de l'objet.

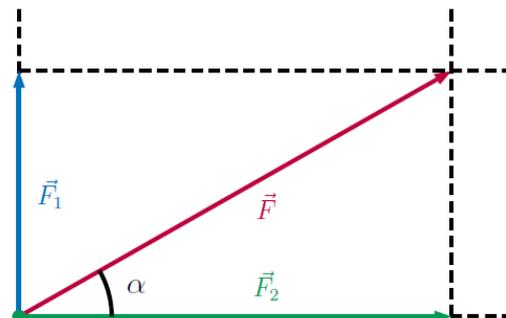
4) Décomposition de forces

a) D'un point de vue vectoriel

Un vecteur peut être considéré comme étant la résultante de 2, 3, 4... une infinité d'autres vecteurs. Dans les chapitres suivants, il est souvent avantageux de remplacer une force \vec{F} par deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 , dont l'action combinée est identique à celle de \vec{F} . Les forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 sont alors les *composantes* de \vec{F} .

$$\vec{F} = \vec{F}_1 \oplus \vec{F}_2$$

Une force peut être décomposée selon deux (trois,...) directions quelconques mais le plus souvent, elle est décomposée selon deux directions perpendiculaires entre elles.



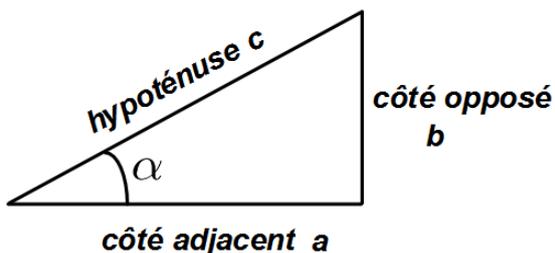
b) Du point de vue des intensités

Le point de vue Si les deux composantes ont des directions perpendiculaires, on peut facilement calculer leurs normes (intensités) si on connaît la norme (intensité) F et l'angle α qu'elle fait avec l'horizontale.

$$\cos \alpha = \frac{F_2}{F} \Leftrightarrow F_2 = F \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{F_1}{F} \Leftrightarrow F_1 = F \cdot \sin \alpha$$

c) Rappel trigonométrie :

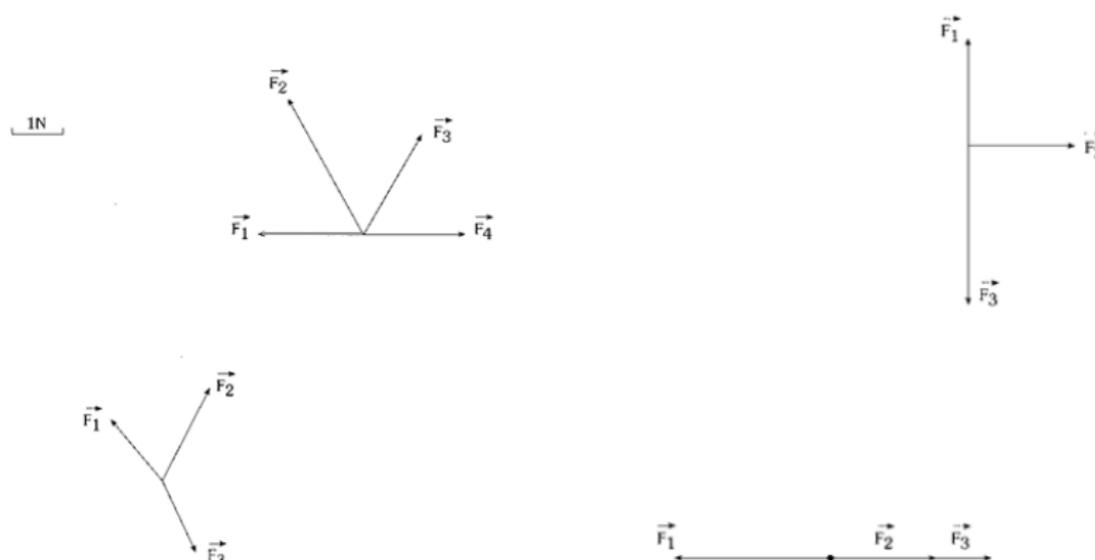


$$\cos \alpha = \frac{a}{c} \quad \sin \alpha = \frac{b}{c} \quad \tan \alpha = \frac{b}{a}$$

$$a^2 + b^2 = c^2$$

5) Exercices

- 1) a) Construire dans chaque cas, les résultantes finales.
- b) Déterminer l'angle d'application par rapport à l'axe horizontal des forces \vec{F}_2 et \vec{F}_3 dans le premier cas.



II- EXEMPLES DE FORCES EN PHYSIQUE

1) Rappel : le poids G

Deux corps qui possèdent chacun une masse s'attirent mutuellement (loi de la gravitation $v.5^{\text{ème}}$). Cette interaction sera à l'origine de la création d'une force, appelée force de gravité, ressentie par chaque corps. Ainsi la Terre ($m=6.10^{24}\text{kg}$) peut interagir avec n'importe quel corps possédant une masse. La force de gravité créée par la planète est aussi appelé le poids et se note G .

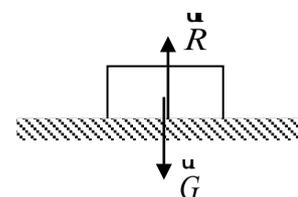
\vec{G} : Poids de l'objet (ici homme en « chute libre »)

- point d'application: centre de gravité G du corps
- direction: verticale
- sens : vers le centre de la Terre
- Intensité: $G = m \cdot g$ (N) ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$ est une constante liée à l'attraction terrestre)



2) La réaction et la loi des actions réciproques (rappel)

Le poids d'une boîte posée sur le sol a une action sur celui-ci. Si elle ne s'enfonce pas c'est que le sol réagit à l'action qu'il subit et exerce à son tour une action sur la boîte, d'égale intensité appelée réaction (R).



\vec{R} : Réaction du sol sur la boîte

- point d'application: centre de la surface de contact.
- direction : verticale et perpendiculaire au plan horizontal
- sens: vers le haut
- Intensité: $R_{\text{sol} \rightarrow \text{boite}} = G$

Remarque :

Attention aux « sables mouvants » : $R_{\text{sol} \rightarrow \text{boite}} < G$



Au plus le corps s'enfonce, au plus la poussée d'Archimède devient grande.

Un être humain ne s'enfoncera que jusqu'à la taille au maximum.

3) La force motrice et la force résistante.

La force motrice (\vec{F}_M) est la résultante des forces permettant à un corps de se déplacer.

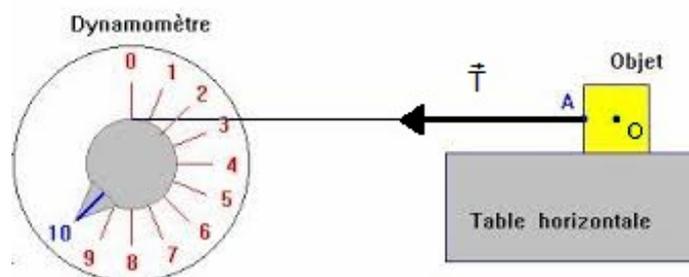
La force résistante (\vec{F}_R) est la résultante des forces s'opposant au mouvement.

4) La tension

Lorsqu'une force s'exerce sur un objet par l'intermédiaire d'un câble, cette force est appliquée par la même occasion au câble et on la nomme tension.

\vec{T} : La tension du fil

- Point d'application : A
- Direction : celle du câble
- Sens : du point A à l'autre extrémité du câble
- Intensité égale à $T=10N$



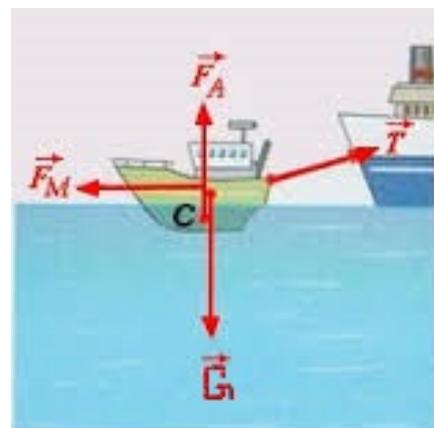
Exemple :

Un remorqueur tirant un bateau de croisière grâce à un câble.

\vec{F}_A : poussée d'Archimède (voir cours 3ème)

\vec{F}_M : Force motrice (moteur du bateau)

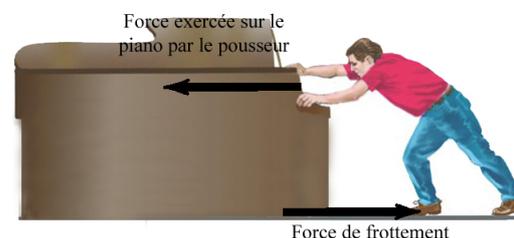
\vec{G} : poids



5) La Force de frottement

a) Quelques exemples

- Lorsqu'on lâche la pédale d'accélération d'une voiture elle s'arrête
- Lorsque le cycliste s'arrête de pédaler, il s'arrête
- Une balançoire s'arrête d'osciller lorsque l'on arrête de la pousser
- Un ballon lancer sur le sol roule puis s'arrête
- Essayer de déplacer une armoire très lourde



b) Les différents types de forces de frottement

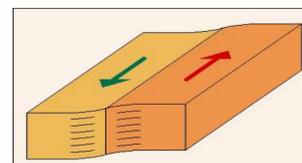
On vient de mettre en évidence la présence de forces de frottement entre deux corps qui sont en contact. **Ces forces s'opposent toujours au mouvement.**

Les frottements peuvent être défavorables ou non en fonction des circonstances :

Exemple :

Il est nécessaire qu'une voiture consomme de l'essence pour vaincre les frottements (défavorables). Mais on est content de la présence de ceux-ci lorsque la voiture doit freiner en cas d'urgence (favorables).

Nous traiterons dans ce cours des frottements entre solides.



Remarque :

il existe d'autres frottements comme ceux entre un solide et un fluide : les études d'aérodynamisme (avion, voiture, sous-marin, ...) étudient le frottement visqueux que nous n'étudierons pas dans le cadre de ce cours.

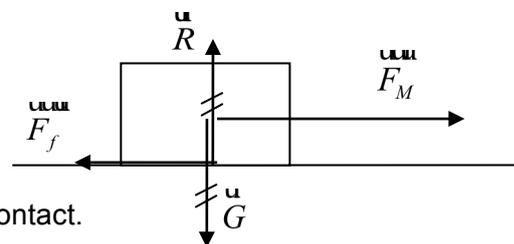
c) Expression d'une force de frottement

Soit un bloc de bois reposant sur le sol.

\vec{R} : Réaction du sol sur la boîte.

\vec{G} : est la force pressante exercée par le solide sur l'aire de contact.

\vec{F}_M : force motrice avec agissant sur la boîte.



$$F_f = \mu \cdot F_p$$

avec \vec{F}_f : Force de frottement \vec{F}_p : Force pressante exercée par le corps sur l'aire de contact

μ : Coefficient de frottement dépendant de la nature des corps

Remarques :

- La force pressante exercée par le corps sur l'aire de contact est égale au poids du corps ($G = m \cdot g$) uniquement lorsque la surface de contact est horizontale. Elle n'est plus égale à \vec{G} lorsqu'il s'agit par exemple d'un plan incliné (que l'on étudiera plus tard).
- Le frottement est différent selon qu'un des corps soit en mouvement ou au repos. Le nombre d'interactions entre les corps n'est pas le même. On parle alors de frottements statiques (repos) ou dynamiques (mouvement). Le frottement statique est toujours supérieur au frottement dynamique.

d) Exercices

- 1) En explorant une planète, l'astronaute Julie Payette mesure son poids, avec un dynamomètre, et elle lit 204 N. Sur la Terre, son poids est de 539 N. Quelle est l'intensité du champ gravitationnel sur cette planète ?
- 2) Oncle Michel promène son neveu François avec un traîneau. Il tire sur la corde avec une force motrice. Elle fait un angle de α avec l'horizontale. On est en présence de frottement.

Tracer toutes les forces qui s'appliquent sur le traîneau.



III- EQUILIBRE STATIQUE

1) Définitions

a) Notion de repos et de mouvement

La notion de repos ou de mouvement est relative. Elles dépendent du référentiel choisi.



Le Golden Gate de San Francisco est en équilibre statique.

Exemples :

Monsieur Mac Zerack ronfle dans son lit. Il est au repos par rapport à sa chambre mais il est en mouvement par rapport au soleil.

b) L'équilibre statique

Un corps est en équilibre statique (ou au repos) lorsqu'il est maintenu complètement immobile dans le référentiel choisi par l'ensemble des forces qui agissent sur lui.

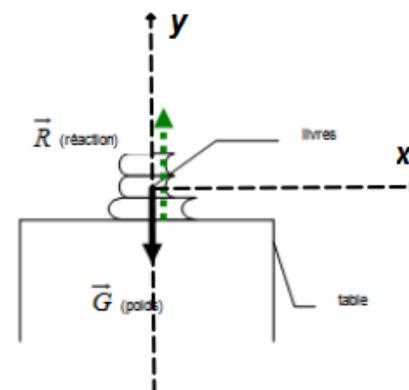
Le corps n'a pas de mouvement de translation ni de rotation.

IV- EQUILIBRE DE TRANSLATION

1) Exemple 1: équilibre sur un plan horizontal

Des livres sur une table :

- Qui agit ? L'attraction terrestre et la table
- Qui subit ? les livres
- Quel est l'effet produit par les 2 forces ? les livres sont en équilibre car ils ne bougent pas par rapport au repère du sol.



\vec{G} : Poids des livres

\vec{R} : Réaction de la table sur les livres

En projetant les forces sur chaque axe x et y

- Sur axe x :

$$\sum F_x = R_x \oplus G_x \quad \text{or} \quad R_x = G_x = 0 \quad \Rightarrow \sum F_x = 0$$

- Sur axe y :

$$\sum F_y = R_y \oplus G_y \quad \text{or} \quad R_y = R \quad \text{et} \quad G_y = G \quad \text{et} \quad R = G \quad \text{donc} \quad \sum F_y = |R - G| = 0 \quad \Rightarrow \sum F_y = 0$$

Donc $\sum \vec{F} \neq \sum F_x \oplus \sum F_y = 0$

Attention :

Les forces existent et ne sont pas nulles, c'est l'effet de l'une des forces qui est annulé par l'effet de l'autre.

2) Conclusion

Pour qu'un objet soumis à plusieurs forces soit en équilibre, il faut que la résultante des forces soit nulle.

$$\sum \vec{F} \neq \sum F_x \oplus \sum F_y = 0 \quad \text{car} \quad \sum F_x = 0 \quad \text{et} \quad \sum F_y = 0$$

3) Application : équilibre sur un plan incliné

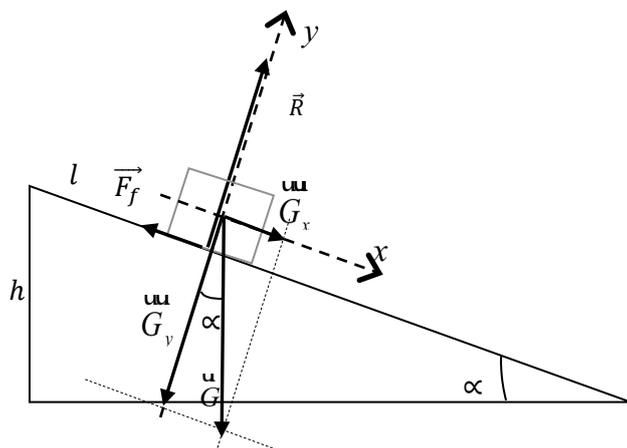
a) Description

- α : angle d'inclinaison du plan incliné
- l : longueur du plan incliné
- h : hauteur du plan incliné
- \vec{G} : le poids de l'objet
- G_y : composante du poids agissant sur le plan incliné (force pressante)

- \vec{G}_x : composante du poids entrainant l'objet vers le bas du plan incliné
- \vec{R} : réaction du plan incliné sur l'objet
- \vec{F}_f : la force de frottement statique

$$F_f = \mu G_y$$

On décompose la force \vec{G} en deux forces \vec{G}_x et \vec{G}_y respectivement de direction x et y.
 \vec{G} peut être remplacé par \vec{G}_x et \vec{G}_y .



b) Calcul des grandeurs liées à la pente et aux forces agissant sur l'objet

Il est possible de déterminer la déclivité de la pente, les composantes du poids et d'en déduire d'autres forces comme la réaction ou les forces de frottements.

- α : Angle d'inclinaison du plan incliné

et sa *déclivité* : $\boxed{\sin \alpha = \frac{h}{l}}$ l : Longueur du plan incliné

h : Dénivellation du plan incliné

L'*inclinaison* de la pente en est donnée sous forme de pourcentage : $100 \cdot \sin \alpha$

- Les composantes du poids peuvent être calculées de la façon suivante :

$$\sin \alpha = \frac{G_x}{G} \Leftrightarrow \boxed{G_x = G \sin \alpha = m \cdot g \sin \alpha}$$

$$\cos \alpha = \frac{G_y}{G} \Leftrightarrow \boxed{G_y = G \cos \alpha = m \cdot g \cdot \cos \alpha}$$

Remarques :

- G_x augmente quand le poids de la bille ($G = m \cdot g$) ou quand la déclivité de la pente ($\sin \alpha$) augmente.
- G_y augmente quand le poids de la bille ($G = m \cdot g$) augmente ou que l'angle d'inclinaison de la pente diminue (si α diminue, son cosinus augmente)

c) Equilibre sur un plan incliné

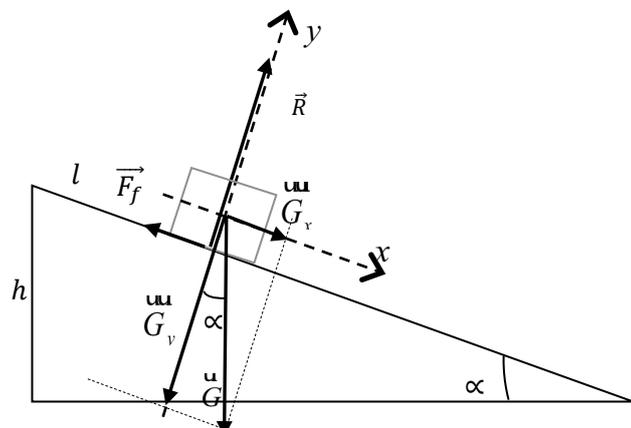
Pour que la boîte soit en équilibre de translation sur un plan incliné il faut que

$$\boxed{\sum \vec{F} = \vec{0}} \quad \text{Ou encore}$$

$$\sum \vec{F} \neq \sum F_x \oplus \sum F_y = \vec{0}$$

Sur axe x

$$\sum \vec{F}_x = \vec{F}_f \oplus \vec{G}_x = \vec{0} \Rightarrow G_x = F_f$$



Sur axe y : $\sum F_y = R \oplus G_y = 0 \Rightarrow \frac{R}{1} = \frac{G_y}{3}$
 (principe action-réaction)

Conclusion :

Pour qu'un objet soit à l'équilibre de translation sur un plan incliné, il faut que les forces de frottements aient la même intensité que la composante du poids (G_x) entraînant l'objet vers le bas $F_f = G_x$

4) L'avantage mécanique d'une machine simple type plan incliné

a) Qu'est-ce qu'une machine simple ?

L'être humain se sert de machines pour l'aider à travailler ou déplacer des objets.

Une machine simple diminue l'effort nécessaire (la force) pour effectuer un travail, en augmentant le déplacement.

On parle de travail lorsqu'une force subit un déplacement.

Le plan incliné est donc une machine simple puisqu'en augmentant le déplacement d'une charge il diminue l'effort nécessaire pour déplacer celle-ci d'un point inférieur à un point supérieur. (travail).

Voici quelques exemples de plan incliné :

- Une rampe utilisée par un ouvrier pour pousser une charge sur roulettes dans un camion
- Une rampe d'accès pour fauteuils roulants
- Des tapis inclinés permettant de charger les bagages à bord d'un avion
- Un escalier roulant

Remarques :

- Tous ces plans inclinés sont fixes (à l'exception des marches d'un escalier roulant).
- Ils permettent aux personnes de déplacer ou de soulever des charges (objets lourds) en déployant moins de force. Toutefois, la distance du déplacement est plus grande.
- On déploie moins de force pour déplacer un poids vers le haut d'une surface penchée que pour soulever ce même poids à la verticale. Cependant, on verra que **la quantité de travail demeure identique** (Voir chapitre sur le travail).

b) Définition de l'avantage mécanique

L'avantage mécanique (ou gain mécanique) représente l'efficacité d'une machine simple : toute machine simple possède son propre avantage mécanique. Cependant, les forces de frottement influencent cet avantage mécanique. C'est pourquoi, il sera nécessaire de déterminer :

- L'avantage mécanique théorique quand il n'y a pas de frottement.
- L'avantage mécanique réel lorsqu'il y a frottement.

c) Comment le calculer de manière générale ?

- Lorsqu'il y a frottement : **avantage mécanique réel**

$$AM_{réel} = \frac{Fr}{Fm}$$

Fr représente la force résistante en Newtons (N)

Fm représente la force motrice en Newtons (N)

- Lorsqu'il n'y a pas de frottement : **avantage mécanique théorique**

$$AM_{théo} = \frac{Fr}{Fm} = \frac{\Delta x_m}{\Delta x_r} = \frac{l_m}{l_r}$$

$AM_{théo}$ l'avantage mécanique théorique
 Fr la force résistante en Newtons (N)

Fm la force motrice en Newtons (N)

Δx_m le déplacement moteur en mètres (m)

Δx_r le déplacement résistant en mètres (m)

d) L'avantage mécanique du plan incliné

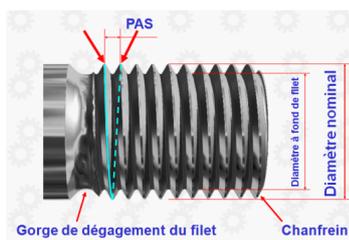
Dans le cas du plan incliné, il y a le plus souvent des frottements et donc on calculera l'avantage mécanique réel :

$$AM_{réel} = \frac{Fr}{Fm}$$

La force résistante est alors le poids de la charge et la force motrice celle qui est appliquée pour déplacer la charge vers le haut du plan incliné.

e) L'avantage mécanique de la vis

Une vis est un plan incliné enroulé autour d'un cylindre. Le plan incliné forme une arête spiralée le long du cylindre. Cette arête est ce que l'on appelle le filet de la vis. La distance entre les crêtes du filet porte le nom de « pas de vis ».



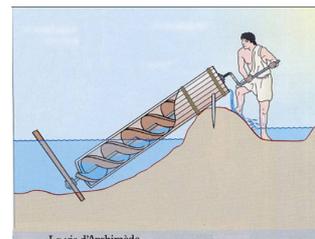
L'avantage mécanique théorique d'une vis est le rapport de deux dimensions : la longueur du plan incliné entouré autour du cylindre et son pas de vis.

$$AM_{théo} = \frac{\Delta x_m}{\Delta x_r} = \frac{2\pi r}{p}$$

r : rayon du cylindre de la vis

p : pas de la vis

Une vis peut avoir deux fonctions, elle peut servir à soulever des masses (liquides ou solides) ou à resserrer ou assujettir des objets.



f) Exercices

- Déterminer l'intensité de la force qui entraîne la balle de 3 kg vers le bas du plan incliné, sachant que la hauteur du plan incliné est de 2 m et sa longueur de 10m.

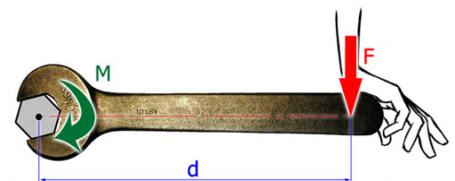
Calculer ensuite l'intensité de la force pressante et en déduire celle de la réaction du plan incliné.

- 2) Calcule l'intensité de la force de frottement qui s'exerce sur une voiture de 2,5 t au repos sur un plan incliné. On donne l'angle d'inclinaison de la pente qui est de 15° et $\mu = 0,65$.
- 3) Un véhicule de 5t est sur le même plan incliné ($\alpha = 15^\circ$) la force de frottement est alors de 7941N. Le véhicule est tiré à vitesse constante par un câble vers le haut d'un plan incliné. Représente toutes les forces
Quelle sera la force appliquée sur le câble pour tirer le véhicule ?
Calcule l'avantage mécanique du plan incliné
- 4) Jeff et Tom portent un sceau d'eau de telle manière que leurs bras font entre eux un angle de 40° . Jeff exerce une force de 90 N et Tom une force de 60 N.
 - a. Faire une figure à l'échelle (20 N \rightarrow 1 cm) pour déterminer le poids du sceau.
 - b. Que vaut l'inclinaison des bras de Jeff et de Tom par rapport à la verticale ?
- 5) Tu désires monter une brouette de ciment pesant 52 kg à l'intérieur d'une bâtisse en construction dont la porte est à 2 m de hauteur. Tu déposes un madrier de 8 m de façon à créer un plan incliné entre le sol et la porte.
 - a) Quelle force minimale devras-tu appliquer pour faire monter la brouette à une vitesse constante si on néglige le frottement ?
 - b) Quel est le gain mécanique du plan incliné ?
 - c) Quelle énergie devrais-tu dépenser pour monter le ciment sans l'aide du plan incliné ?
 - d) Quelle énergie devrais-tu dépenser pour monter le ciment avec l'aide du plan incliné ?
 - e) Sachant qu'il y a un frottement de 20 N entre le caoutchouc de la roue de la brouette et le madrier, que devient le gain mécanique de ce plan incliné ?
- 6) Une vis possède un rayon de 2 mm et un pas de 0,6 mm.
 - a) Quel est son avantage mécanique ?
 - b) Si j'applique sur cette vis une force de 60 N, de quelle force disposera la vis pour s'enfoncer dans le bois ?
 - c) Combien de tours de vis seront nécessaires pour enfoncer la vis de 2 cm ?
 - d) Quelle énergie aurais-tu à déployer à la question précédente sachant que tu as à fournir une force de 40 N pour enfoncer la vis ?

V- EQUILIBRE DE ROTATION

Une clef est un outil qui permet de visser ou dévisser un écrou. On applique alors une force à l'extrémité de la clef à une distance d et on effectue un mouvement de rotation.

Pour comprendre pourquoi la clef tourne, il est nécessaire d'introduire les notions de bras de levier et moment de force.



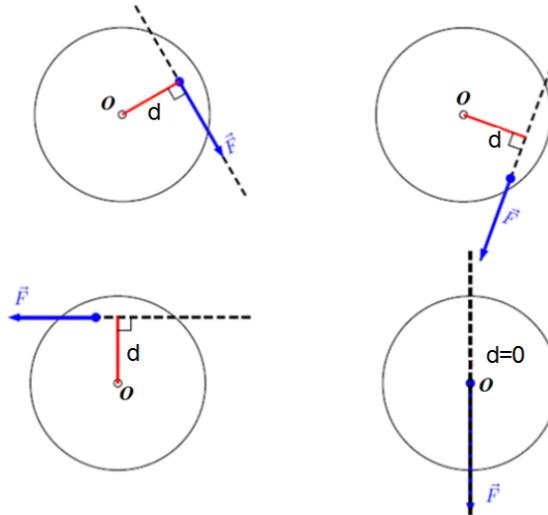
a) Le bras de levier

On appelle « bras de levier » d d'une force par rapport à un centre de rotation O , **la distance** entre la ligne d'action de \vec{F} et le centre de rotation.

C'est la longueur du segment qui lie le centre O à la ligne d'action de la force, ce segment étant perpendiculaire à cette ligne d'action.

Comme le bras de levier est une distance, son unité SI est le mètre (m).

Exemples de bras de levier :



b) Définition du moment d'une force

Le **moment d'une force par rapport à un point** donné est une grandeur physique traduisant l'aptitude de cette force à faire tourner un système mécanique autour de ce point, souvent appelé pivot ou centre de rotation. Il s'exprime en N·m (newton mètre).

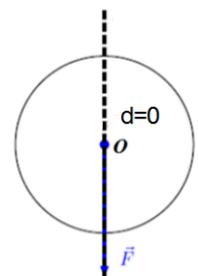
$\mathcal{M}_{F/O}^u$: Moment d'une force \vec{F} par rapport à un centre de rotation O

On appelle moment d'une force \vec{F} par rapport à un centre de rotation O le produit de la norme F de la force et de son bras de levier d.

$$\mathcal{M}_{F/O}^u = F \cdot d$$

Remarque :

Si la ligne d'action d'une force passe par le centre de rotation alors son bras de levier est nul et le moment de cette force par rapport ce centre de rotation est aussi nul.



c) Condition d'équilibre de rotation

On vient de voir que le moment d'une force est la grandeur physique qui caractérise la rotation d'un solide.

Si un objet est soumis à plusieurs forces il sera soumis à l'action de plusieurs moments de forces.

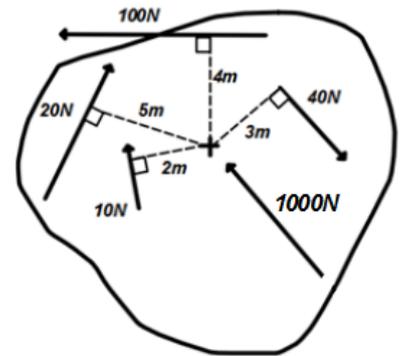
Un objet est en équilibre de rotation si la somme des moments des forces par rapport à un centre de rotation est nulle.

$$\boxed{\sum \mathcal{M}_{F/O}^{\vec{r}} = 0}$$

$$\mathcal{M}_{F_1/O}^{\vec{r}} \oplus \mathcal{M}_{F_2/O}^{\vec{r}} \oplus \mathcal{M}_{F_3/O}^{\vec{r}} \oplus \mathcal{M}_{F_4/O}^{\vec{r}} \oplus \dots = 0$$

Exercices :

- 1) Nomme chaque force et détermine si l'objet est en équilibre.



d) Conclusion : Conditions d'équilibre statique

Pour qu'un objet soit en équilibre statique il faut :

- Que la somme des forces qui s'applique sur lui soit nulle (pas de mouvement de translation):

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

- Que la somme des moment des forces qui s'applique sur lui soit nulle (pas de mouvement de rotation):

$$\boxed{\sum \mathcal{M}_{F/O}^{\vec{r}} = 0}$$

$$\mathcal{M}_{F_1/O}^{\vec{r}} \oplus \mathcal{M}_{F_2/O}^{\vec{r}} \oplus \mathcal{M}_{F_3/O}^{\vec{r}} \oplus \mathcal{M}_{F_4/O}^{\vec{r}} \oplus \dots = 0$$

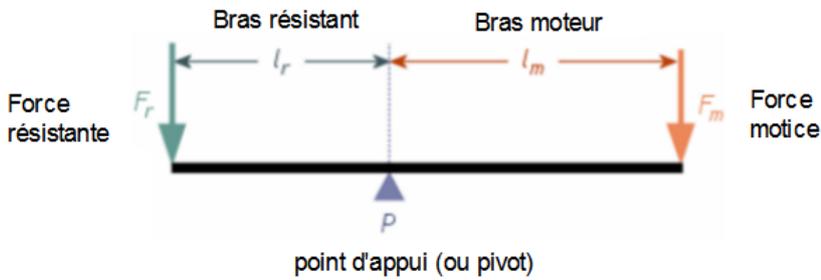
VI- MACHINES SIMPLES AVEC BRAS DE LEVIER

1) Le levier

Un levier est constitué d'un objet long et rigide qui peut pivoter sur un point d'appui (ou pivot).

Le levier est décrit par deux bras de levier, le bras de levier moteur (aussi appelé bras de force) et le bras de levier résistant (aussi appelé bras de charge). Ils sont respectivement compris entre le point d'appui du levier et les points d'application de la force motrice et de la force résistante.

Pour les forces appliquées au levier, on considère uniquement leur composante qui est perpendiculaire au levier lui-même.



Remarque :

L'avantage mécanique d'un levier est alors :

$$AM = \frac{F_r}{F_m} = \frac{l_m}{l_r}$$

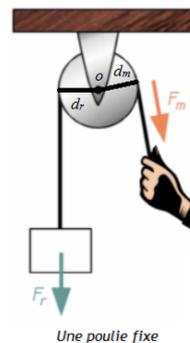
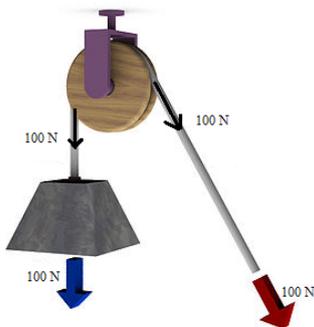
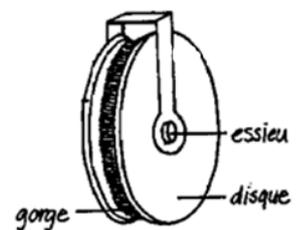
e) La poulie fixe

a) *Caractéristiques*

Une poulie est une roue tournant librement autour d'un axe (essieu) munie d'une entaille (la gorge) dans laquelle passe une corde, une chaîne ou une courroie (élastique).

Elle ne génère aucun gain de force, mais permet de changer la direction de la force. Elle est considérée comme une machine simple.

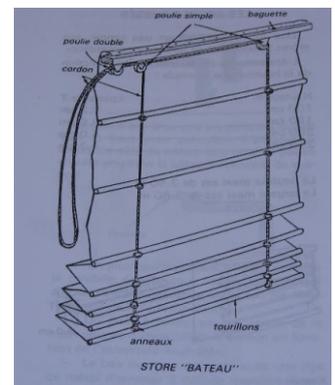
On peut considérer une poulie comme un disque sur le bord duquel agit une force motrice et une force résistante. Leur bras de levier respectif correspond au rayon du disque ($d_m = d_r$). L'essieu jouera le rôle de pivot (centre de rotation) O .



b) *Exemples*

On utilise toutes sortes de poulies :

- Pour hisser les voiles sur un bateau.
- Pour les dispositifs d'ouvertures de rideaux.



Dans tous les cas, la poulie fixe change la direction de la force sans changer son intensité. Le déplacement de la force motrice est le même que la force résistante.

$$F_m = F_r$$

$$\Delta x_m = \Delta x_r$$

Remarque :

L'avantage mécanique d'une poulie fixe est alors :

$$AM = \frac{F_r}{F_m} = \frac{\Delta x_m}{\Delta x_r} = 1$$

c) Exercices résolus

- 1) Marie emménage aujourd'hui dans son premier appartement, situé au dernier étage de son immeuble. Comme elle ne veut pas monter son réfrigérateur par l'escalier en colimaçon, elle installe sur le bord du toit une poulie sans friction. Elle passe dans cette poulie une corde qu'elle attache à son réfrigérateur. Avec quelle force Marie et ses amis devront-ils tirer sur la corde pour monter son réfrigérateur, d'une masse de 105 kg, à vitesse constante ?

Poulie fixe

Dans ce cas, l'avantage mécanique est de 1. La force motrice que Marie et ses amis doivent fournir est donc égale au poids du réfrigérateur.

$$F_m = F_r = mg$$

$$F_m = 105 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_m = 1029 \text{ N}$$

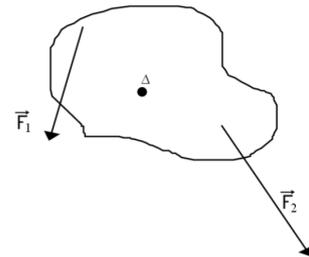
$$F_m = \frac{F_r}{2}$$

$$F_m = \frac{1029 \text{ N}}{2}$$

$$F_m = 514,5 \text{ N}$$

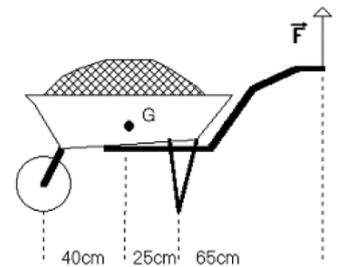
VII- EXERCICES

- 1) Tracer les bras de levier des deux forces sur le dessin.



- 2) La brouette, de masse 20 kg, contient 60 kg de sable. G est le centre de gravité du système (brouette + sable).

Déterminez la force F verticale qu'on doit appliquer sur les poignées pour la soulever.
 Déterminez la force Fs avec laquelle le sol doit supporter les pieds de la brouette (sol horizontal).



- 3) Pour (a) et (b), le poids accroché vaut $F_1 = 8 \text{ N}$. Que vaut l'intensité de la force F_2 mesurée à l'équilibre par un dynamomètre ?

Pour (c), déterminez la position du centre de rotation, sachant que le système est en équilibre, et que $F_1 = 20 \text{ N}$ et $F_2 = 12 \text{ N}$.

