

Chapitre N°6 : Energie mécanique et force de frottement

1/ Caractéristiques des forces de frottement

a/ Forces de frottement fluide

Lorsqu'un corps se déplace dans un fluide (liquide ou gaz), une force de résistance aérodynamique s'oppose au déplacement.

- ❖ Lorsque la vitesse du corps est relativement faible, cette force fluide est proportionnelle à la vitesse de déplacement :

.....

avec k un coefficient qui dépend de la géométrie du corps et de la nature du fluide.

- ❖ Lorsque la vitesse du corps est élevée, cette force fluide est proportionnelle au carré de la vitesse de déplacement :

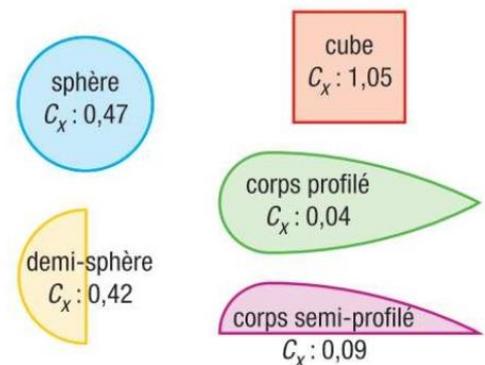
.....

avec k' un coefficient qui dépend de la géométrie du corps et de la nature du fluide.

Exemple : L'estimation des forces de frottement fluide sont essentielles dans le domaine de l'automobile. Pour les étudier à haute vitesse, on utilise la notion de traînée :

$$f = \frac{1}{2} \times \underbrace{\rho \times C_x \times S}_{k'} \times v^2$$

D'après son expression, k' dépend de la surface frontale S du véhicule, de la masse volumique du fluide ρ dans lequel le véhicule se déplace et du coefficient de traînée C_x du véhicule.

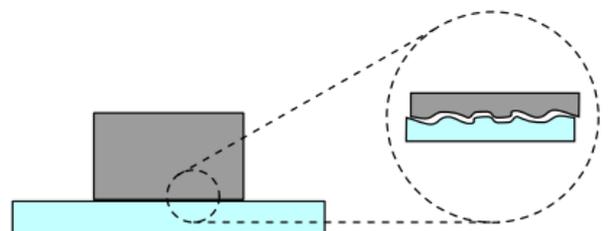


b/ Forces de frottement solide

Lorsqu'un corps est en mouvement sur un support solide, une force de frottement, s'exerçant au niveau de la surface de contact, s'oppose au déplacement. Cette force dépend de la masse du corps, de sa nature (état de surface) mais est indépendante de la vitesse du corps.

Au niveau microscopique, l'apparition de forces de frottement provient des irrégularités microscopiques des deux surfaces en contact.

D'un point de vue énergétique, les forces de frottement, qu'elles soient fluides ou solides, entraînent une conversion d'énergie mécanique en énergie thermique. Ainsi, l'énergie mécanique (qu'elle soit sous forme cinétique ou potentielle) n'est pas conservée et diminue telle que : ΔEm < 0



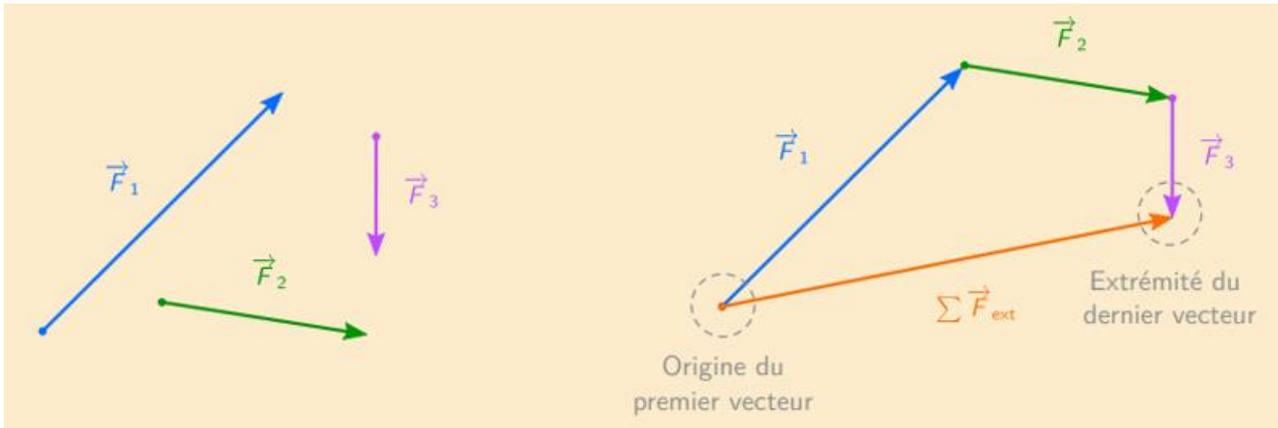
2/ Déterminer la valeur d'une force de frottement à l'aide du principe fondamental de la dynamique (PFD)

a/ Rappel N°1: Le vecteur résultante des forces

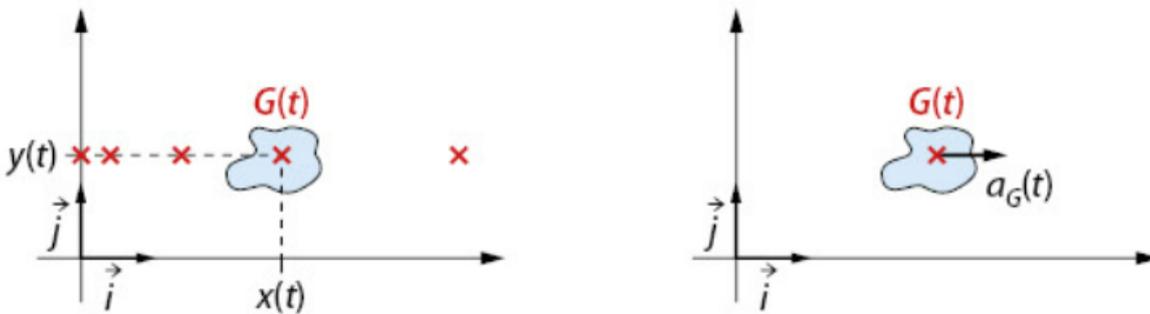
La somme vectorielle de toutes les forces qui s'appliquent sur le système d'étude est appelée

.....

Pour obtenir la résultante des forces, il suffit de placer bout à bout tous les vecteurs forces qui s'appliquent sur le système en repérant l'origine du premier vecteur et l'extrémité du dernier.



b/ Rappel N°2 : Les vecteurs position, vitesse et accélération dans le cas d'un mouvement rectiligne



Mouvement rectiligne selon l'axe (Ox)

❖ Le vecteur position : On décrit l'ensemble des positions successives prises par le point matériel G à l'aide du vecteur position \overline{OG} telle que :

Le vecteur position varie au cours du temps dans la mesure où les variables d'espace x et y dépendent du temps t.

❖ Le vecteur vitesse : On définit le vecteur vitesse instantanée, noté \vec{v} , par la relation suivante :

où « $\frac{d}{dt}$ » est un opérateur mathématique signifiant « dérivée par rapport au temps ».

En remplaçant le vecteur position dans cette expression on obtient alors :

Dans l'exemple ci-dessus, y est une constante : le vecteur vitesse instantanée est donc égal à

$$\vec{v} = \frac{dx}{dt} \cdot \vec{i} = v_x \cdot \vec{i}$$

❖ Le vecteur accélération : On définit le vecteur accélération instantanée, noté \vec{a} , par la relation suivante :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

où « $\frac{d}{dt}$ » est un opérateur mathématique signifiant « dérivée par rapport au temps » et « $\frac{d^2}{dt^2}$ » est un opérateur mathématique signifiant « dérivée seconde par rapport au temps ».

En remplaçant le vecteur vitesse instantanée \vec{v} ou le vecteur position \overrightarrow{OG} dans cette expression on obtient alors :

$$\vec{a} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\overrightarrow{OG}}{dt} \right) = \frac{d^2\overrightarrow{OG}}{dt^2}$$

Dans l'exemple ci-dessus, y est une constante : le vecteur accélération instantanée est donc égal à

$$\vec{a} = \frac{dv_x}{dt} \cdot \vec{i} = \frac{d^2x}{dt^2} \cdot \vec{i}$$

c/ Le principe fondamentale de la dynamique (PFD)

Dans un référentiel galiléen, l'accélération subie par un corps de masse m est liée à la résultante des forces extérieures qu'il subit par la relation :

avec m la masse du corps (en kg), \vec{a} le vecteur accélération et $\sum \vec{F}_{ext}$ le vecteur résultant des forces extérieures.

Remarque :

- En déterminant la résultante des forces, on peut connaître la direction et le sens du vecteur \vec{a} .
- Dans le cas où le système est (pseudo-)isolé $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$, on retrouve le principe d'inertie ou 1^{ère} loi de Newton. En effet, le vecteur $\vec{a} = \vec{0}$ alors le système est immobile ou le mouvement est rectiligne uniforme.

d/ Exemple d'application

Pour l'étude des forces de frottements, l'utilisation du principe fondamental de la dynamique peut se révéler utile : si l'on connaît l'ensemble des autres forces agissant sur le système, on peut en déduire les forces de frottement.

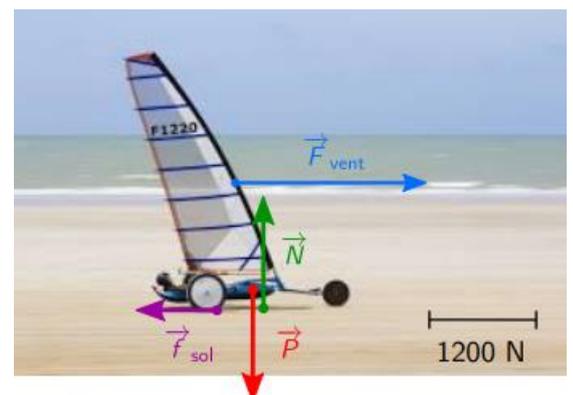
Soit un char à voile ayant mouvement rectiligne accéléré dans un référentiel terrestre supposé galiléen.

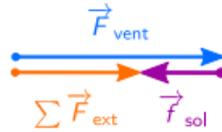
On considère un mouvement uniformément accéléré $\|\vec{a}(t)\| = a_0$.

En effectuant le bilan des forces, on relève :

- son poids \vec{P} ,
- la réaction du support \vec{N} ,
- la force motrice \vec{F}_{vent} due au vent,
- les forces de frottement solide-solide \vec{f}_{sol}

D'après le principe fondamental de la dynamique, le produit de la masse et de l'accélération est égal à la somme vectorielle des forces :





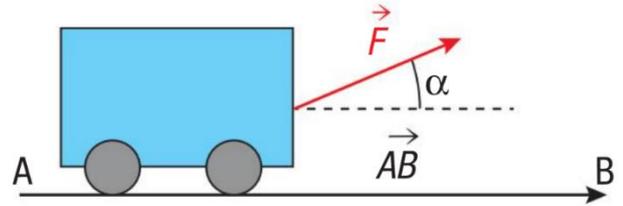
Ici poids et réaction du support se compensent (somme vectorielle nulle), on ne considère donc que la force motrice \vec{F}_{vent} et la force de frottement \vec{f}_{sol} :

.....

3/ Déterminer la valeur d'une force de frottement à l'aide du théorème de l'énergie cinétique

a/ Rappel N°3 : Travail d'une force

L'effet d'une force sur un système lors de son mouvement de A vers B est le travail de \vec{F} de A vers B: c'est le produit scalaire de \vec{F} par \vec{AB} .



| | |
|--|---|
| | W travail en joule (J) F en newton (N) AB en mètre (m) alpha en rad ou ° |
|--|---|

Si $W \leq 0$ alors le travail est résistif.
 Si $W \geq 0$ alors le travail est moteur.

b/ Rappel N°4 : Théorème de l'énergie cinétique

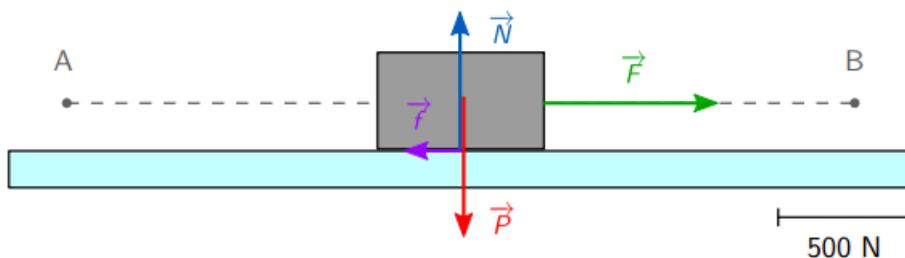
La variation d'énergie cinétique du système lors du déplacement d'un point A à un point B est égal à la somme des travaux des forces :

.....

c/ Exemple d'application

On se place dans un référentiel supposé galiléen. Soit un solide de masse m en mouvement se déplaçant d'un point A à un point B horizontalement. Il est soumis à 4 forces :

- son poids \vec{P} ,
- la réaction du support \vec{N} ,
- la force motrice \vec{F} ,
- les forces de frottement solide-solide \vec{f}



Dans le cas où \vec{P} et \vec{N} sont perpendiculaire au vecteur déplacement, on dit qu'ils ne travaillent pas (leur produit scalaire est nul). On a alors :

.....

Pour la force motrice \vec{F} , la force est dans la même direction et le même sens que le vecteur déplacement \overrightarrow{AB} , il s'agit donc d'un travail moteur et $\cos(\alpha) = \cos(0) = 1$.

Pour la force de frottement \vec{f} , il y a même direction mais sens opposé au vecteur déplacement. Le travail est donc résistant et $\cos(\alpha) = \cos(\pi) = -1$. On a alors :

.....
.....

JE DOIS SAVOIR :

- Déterminer, à partir de l'accélération, la résultante des forces appliquées à un système dont le mouvement est rectiligne.
- Déterminer les caractéristiques de l'accélération d'un système dans le cas d'un mouvement rectiligne à partir des forces extérieures appliquées.
- Exploiter numériquement des résultats expérimentaux pour valider le modèle de la chute libre.
- Mesurer des accélérations et en déduire la résultante des forces extérieures appliquées au système étudié.
- Exploiter des mesures pour modéliser une force de résistance aérodynamique lors d'un déplacement d'un solide à vitesse constante.
- Exploiter la relation entre la variation d'énergie cinétique d'un solide en translation et le travail des forces extérieures appliquées pour déterminer une force de frottement supposée constante (frottement solide-solide).

