Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques

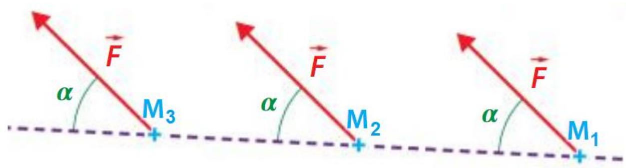
Les objectifs du chapitre

- Exploiter l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
- Définir la notion de travail d'une force constante et exploiter son expression vectorielle.
- Enoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
- Etablir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur au voisinage de la surface de la Terre.
- Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
- Identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique.
- Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail de forces non conservatives.

I- Le travail d'une force constante

Toute action mécanique est modélisée par un vecteur force, noté « $\vec{F}$ ».

⇨ Une **force est dite constante** lorsque son vecteur force **ne varie pas au cours du mouvement**.

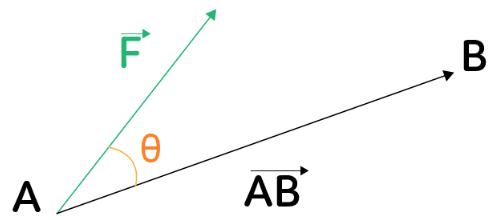


1. Définition

Lors du mouvement d'un système, le **travail d'une force constante** agissant sur le système, quantifie **le transfert d'énergie entre l'émetteur de l'action mécanique et le système**.

⇨ Le travail d'une force « $\vec{F}$ », lors du déplacement d'un point A vers un point B, se note « $W_{AB}(\vec{F})$ » et se calcule en Joule (noté « **J** ») par la relation :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$



⇨ $$\boxed{W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos(\theta)}$$

Avec

F : la valeur de la force $\vec{F}$ en Newton (noté « **N** »)

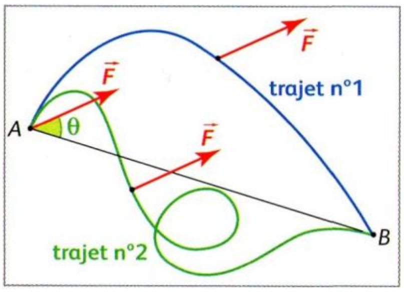
AB : La valeur du vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ en mètre (noté « **m** »)

θ : l'angle entre le direction du vecteur force $\vec{F}$ et du vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ en degré (noté « **°** »)

2. Force conservative

Une force est dite **conservative** lorsque son travail, lors du déplacement du point A vers le point B, est **indépendant du chemin suivi**.

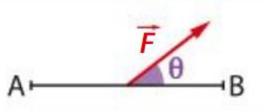
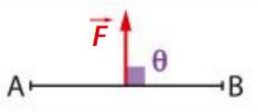
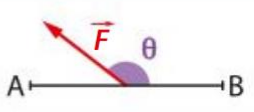
⇨ Dans le cas contraire, la force est dite **non conservative**.



Remarques

- Une force constante est toujours conservative.
- La seule force non conservative que nous allons être amené à étudier est la force de frottement.

3. Interprétation du travail d'une force constante

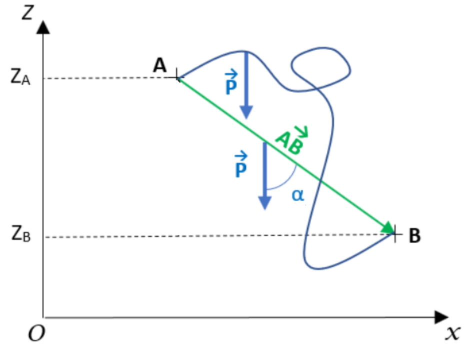
		
$0 \leq \theta < 90° \Leftrightarrow \cos(\theta) > 0$	$\theta = 90° \Leftrightarrow \cos(\theta) = 0$	$90° < \theta \leq 180° \Leftrightarrow \cos(\theta) < 0$
$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
La force favorise le déplacement.	La force n'a pas d'effet sur le déplacement.	La force s'oppose au déplacement.
Le travail est **moteur**	Le travail est **nul**	Le travail est **résistant**

4. Expression du travail d'une force

a- Le travail du poids

Le **poids** « $\vec{P}$ » d'un objet est **une force constante et conservative** dans une région restreinte de l'espace où règne un champ de pesanteur uniforme.

Soit un objet de masse « **m** » (en « **kg** ») parcourant un déplacement quelconque entre deux point A et B dans un champ de pesanteur uniforme « $\vec{g}$ ».
Les points A et B sont repérés par leur altitude « z_A » et « z_B » (en « **m** ») selon un axe (Oz) vertical ascendant.



⇨ $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB}$
⇨ $= P \times AB \times \cos(\alpha)$
⇨ $= m.g \times AB \times \cos(\alpha)$

Or dans le triangle ABC rectangle en C (voir figure ci-contre), $\cos(\alpha) = \frac{AC}{AB}$

⇨ $AB \times \cos(\alpha) = AC = z_A - z_B$

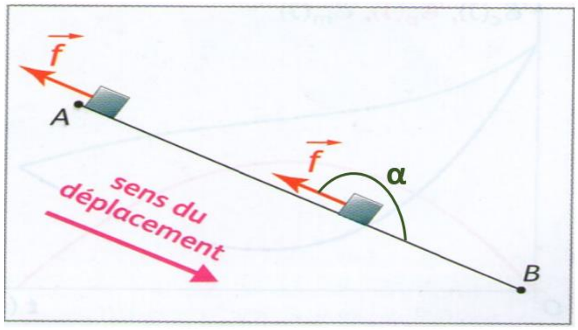
Par suite

$$\boxed{W_{AB}(\vec{P}) = m.g.(z_A - z_B)}$$

b- Le travail de la force de frottement

La **force de frottement** « $\vec{f}$ » est **une force non conservative**, elle est dépendante du chemin suivit.

Supposons une force de frottement $\vec{f}$ de valeur constante agissant sur un système se déplaçant en ligne droite d'un point A vers un point B.



⇨ $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f}.\overrightarrow{AB}$
⇨ $= f \times AB \times \cos(\alpha)$

Or, Le vecteur force $\vec{f}$ et le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ ont la même direction mais sont de sens opposé.

⇨ $\alpha = 180°$ ⇔ $\cos(\alpha) = -1$

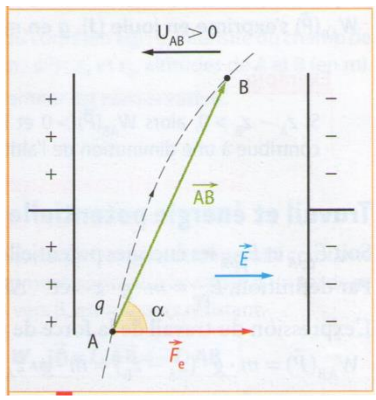
Par suite

⇨ $\boxed{W_{AB}(\vec{f}) = - f \times AB}$

⇨ Le travail d'une force de frottement est toujours résistif, il réalise donc une perte énergétique par transfert thermique vers l'extérieur.

c- Le travail de la force électrostatique

La **force électrostatique** « $\vec{F_e}$ » est **une force constante et conservative** dans une région de l'espace où règne un **champ électrostatique uniforme**.



Supposons un champ électrostatique uniforme « $\vec{E}$ » dans une région de l'espace.
Soit une particule de charge « **q** » (en « **C** ») placée dans ce champ se déplaçant d'un point A vers un point B.

⇨ $\boxed{W_{AB}(\vec{F_e}) = q.U_{AB}}$ (relation admise)

Avec

U_{AB} : la tension électrique entre les points A et B en Volt (noté « **V** »)

II- Aspect énergétique

1. L'énergie cinétique

a- Définition

L'**énergie cinétique** d'un système est l'énergie **lié au mouvement** du système.

⇨ L'énergie cinétique se note « E_c » et s'exprime en Joule (noté « **J** ») par la relation :

$$\boxed{E_c = \frac{1}{2}.m.v^2}$$

Avec **m** : la masse du système (en « **kg** »)

Et **v** : la vitesse du centre de masse du système (en « **m.s^{-1}** »)

b- Théorème de l'énergie cinétique, TEC

Lors d'un déplacement d'un point A vers un point B, **le travail de l'ensemble des forces** qui agissent sur le système est responsable de **la variation de l'énergie cinétique** du système.

⇨ $E_c(B) - E_c(A) = \boxed{\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F})}$

Exemple

Supposons un homme de **m = 80 kg** en chute libre (c'est-à-dire **soumis uniquement à son poids**), sans vitesse initiale, d'un point A vers un point B, sur une hauteur de **h = 3,0 m**.

Notons « **v** » sa vitesse à l'instant où il touche le sol, le TEC s'écrit :

$$\frac{1}{2}.m.v^2 - \frac{1}{2}.m.0^2 = \Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{P}) = m.g.h$$

⇨ $\mathbf{v} = \sqrt{2g.h}$

⇨ $v = 7{,}7\ m.s^{-1} = 28\ km.h^{-1}$

2. L'énergie potentielle

a- Définition

L'**énergie potentielle** d'un système est l'énergie **liée à la position** du système lorsqu'il est **soumis à une force conservative**.

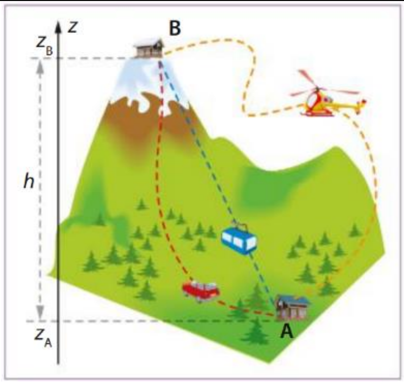
⇨ Pour chaque force conservative, il existe une énergie potentielle. $\Delta E_p = - W_{AB}(\vec{F}_{conservative})$

Le poids étant une force conservative, **un système soumis à son poids disposera d'une énergie potentielle**.

b- L'énergie potentielle de pesanteur

L'**énergie potentielle de pesanteur** d'un système est l'énergie **liée à la position** du système dans un champ de pesanteur, autrement dit lorsqu'il est **soumis à son poids**.

⇨ L'énergie potentielle de pesanteur se note « E_{pp} » et s'exprime en Joule.



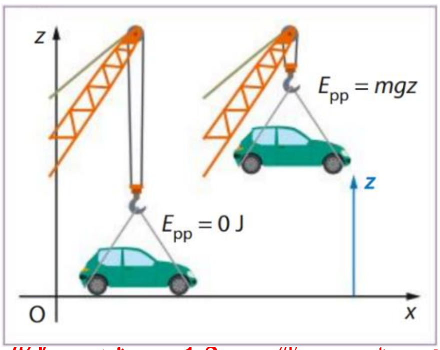
Lors du déplacement d'un point A vers un point B dans un champ de pesanteur « $\vec{g}$ », le travail du poids du système est responsable de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur du système.

⇨ $\Delta E_{pp} = - W_{AB}(\vec{P})$

⇨ $E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = - m.g.(z_A - z_B)$

⇨ $E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = m.g.z_B - m.g.z_A$

L'énergie potentielle de pesanteur **n'est pas une grandeur absolue**, elle dépend donc d'une référence.



⇨ Il convient de choisir l'**altitude z = 0 m comme l'origine des énergies potentielles de pesanteur**, $E_{pp}(z = 0\ m) = 0\ J$

Par suite, l'énergie potentielle de pesanteur d'un objet de masse « **m** » (en « **kg** ») à une altitude « **z** » (en « **m** ») par rapport à l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur, s'exprime (en « **J** ») par la relation :

⇨ $\boxed{E_{pp} = m.g.z}$

3. L'énergie mécanique

a- Définition

L'**énergie mécanique** d'un système est **la somme des énergies cinétique et potentielles** du système.

⇨ L'énergie mécanique d'un système se note « E_m » et s'exprime (en « J ») par la relation :

$$\boxed{E_m = E_c + \Sigma(E_p)}$$

b- Le théorème de l'énergie mécanique

Lors d'un déplacement d'un point A vers un point B, **le travail des forces non conservatives** qui agissent sur le système est responsable de **la variation de l'énergie mécanique** du système.

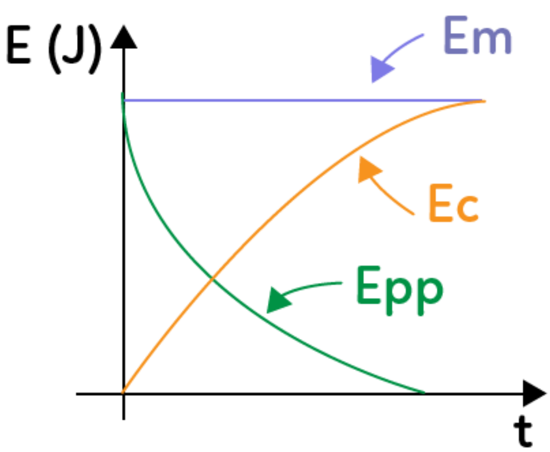
$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Sigma(\Delta E_p)$$
$$= \sum W_{AB}(\vec{F}) - \sum W_{AB}(\vec{F}_{conservative})$$
$$= \sum W_{AB}(\vec{F}_{non\ conservative})$$

⇨ $E_m(B) - E_m(A) = \boxed{\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{F}_{non\ conservative})}$

c- Conservation de l'énergie mécanique

En absence de forces non conservatives, telle que les forces de frottement, l'énergie mécanique d'un système se conserve au cours du mouvement.

$$\boxed{\Delta E_m = 0 \quad \Leftrightarrow \quad E_m = \text{Constante}}$$



Exemple : La chute libre

Un système en chute libre n'est soumis qu'à son poids.

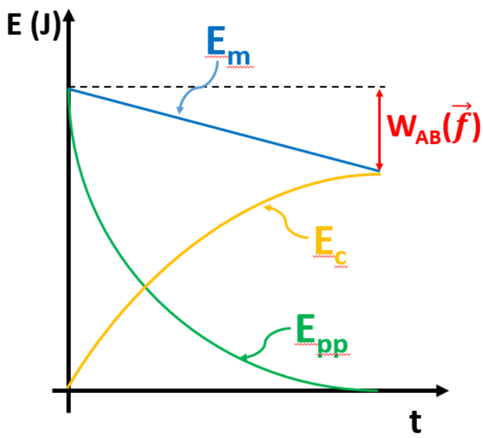
⇨ $\Delta E_m = 0$, Son énergie mécanique se conserve au cours du mouvement.

⇨ Son énergie potentielle de pesanteur est intégralement convertie en énergie cinétique, le système perd en altitude mais gagne en vitesse.

d- Non conservation de l'énergie mécanique

En présence de forces non conservatives, le théorème de l'énergie mécanique diminue au cours du mouvement :

$$\boxed{\Delta E_m \neq 0 \quad \Leftrightarrow \quad E_m \text{ varie au cours du mouvement}}$$



Exemple : Chute en présence d'une force de frottement

⇨ $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) < 0$, L'énergie mécanique du système diminue au cours du mouvement.

⇨ Les forces de frottement dissipent, par transfert thermique avec l'extérieur, l'énergie mécanique du système.