13 Aspect énergétique des phénomènes mécaniques

TÉ

Objectifs

→ Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
→ Utiliser l'expression du travail $W_{A\to B}(\vec{F})=\vec{F}.\vec{AB}$ dans le cas de forces constantes.
→ Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
→ Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système 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.
→ Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc.
→ Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives.

1. Rappel : transferts de l'énergie

• Lorsqu'un {atome} passe d'un état fondamental de basse énergie à un état excité d'énergie supérieure, **cette variation est due à un échange d'énergie** sous la forme **d'un photon** d'énergie : $\Delta E = h\nu > 0$ (Séq. 18)

Les photons sont un des moyens de transfert de l'énergie.

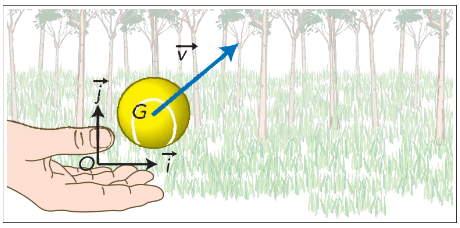
• Lorsqu'un {système chimique} en combustion passe d'un état d'énergie élevée à une énergie plus faible, **cette variation est due à un échange d'énergie thermique** : $E\chi_{final} - E\chi_{initial} = \Delta E\chi = Q < 0$ (Séq. 09)

L'énergie thermique est un des moyens de transfert de l'énergie.

2. Énergie cinétique et variation

• L'énergie cinétique d'un système modélisé par un {point matériel de masse m} en mouvement dans un référentiel donné, correspond à l'énergie due à son mouvement dans ce référentiel.

Cette énergie dépend de la vitesse instantanée v dans le référentiel choisi, et de la masse m du système modélisé par un point.



La valeur de cette énergie est : $E_C=\frac{1}{2}m\,v^2$

où E_c s'exprime en joules (J) m en kilogrammes (kg) et v en mètres par seconde ($m.s^{-1}$)

↳ Tout comme la vitesse, l'énergie cinétique dépend du référentiel choisi.

• Lorsqu'un {système mécanique} en mouvement dans un référentiel donné, voit son énergie cinétique varier, **cette variation est due à un échange d'énergie** sous la forme du **travail des forces** qui s'exercent sur le système lors de son déplacement.

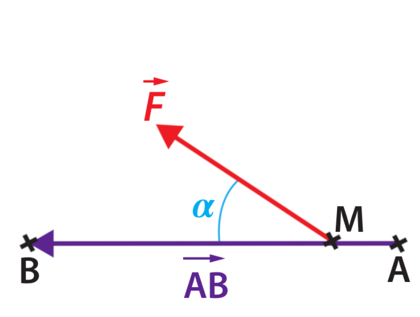
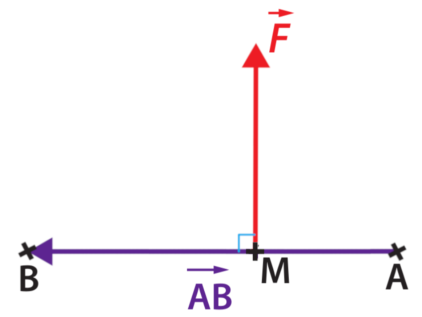
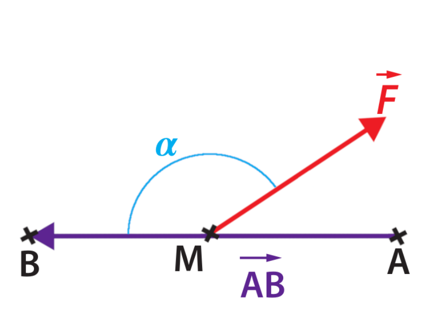
Le transfert d'énergie à un système par une force, s'appelle le travail d'une force, est noté W et s'exprime en Joules (J)

3. Expression du travail d'une force lors d'un déplacement

• Pour un système modélisé par un point matériel M, se déplaçant entre les points A et B dans un référentiel donné, et soumis à une force extérieure $\vec{F}$ constante, l'expression du travail de cette force est :

$$W_{A\to B}(\vec{F})=\vec{F}.\vec{AB}\text{, produit scalaire de } \vec{F} \text{ et } \vec{AB}$$

Comme pour les autres mode de transferts de l'énergie, le travail est algébrique.

		
$0 < \alpha < 90°$	$\alpha = 90°$	$90° < \alpha < 180°$
$\cos(\alpha) > 0$	$\cos(\alpha) = 0$	$\cos(\alpha) < 0$
$W_{A\to B}(\vec{F})=\vec{F}.\vec{AB}$ $W_{A\to B}(\vec{F})=F.AB.\cos(\alpha)$ $W_{A\to B}(\vec{F})>0$	$W_{A\to B}(\vec{F})=\vec{F}.\vec{AB}$ $W_{A\to B}(\vec{F})=F.AB.\cos(\alpha)$ $W_{A\to B}(\vec{F})=0$	$W_{A\to B}(\vec{F})=\vec{F}.\vec{AB}$ $W_{A\to B}(\vec{F})=F.AB.\cos(\alpha)$ $W_{A\to B}(\vec{F})<0$
Le travail est moteur	Le travail est nul	**Le travail est résistant**
L'énergie cinétique du système augmente.	L'énergie cinétique du système ne varie pas.	L'énergie cinétique du système diminue.

4. Théorème de l'énergie cinétique

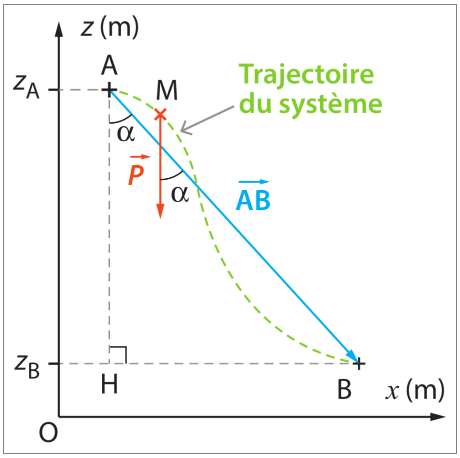
La variation d'énergie cinétique ΔE_C d'un système en mouvement d'une position A à une position B dans un référentiel donné, est égale à la somme des travaux de toutes les forces appliquées au système entre A et B.

$$\Delta E_C = E_{C_B} - E_{C_A} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F})$$

5. Forces conservatives

On peut distinguer deux types de forces, selon que leur travail entre deux points A et B, dépend ou non de la trajectoire : les **forces conservatives** et les **forces non conservatives**.

Le travail des forces dites conservatives appliquées à un système, ne dépend pas du chemin suivi.



↳ C'est par exemple le cas du poids.

On étudie le travail du poids qui s'exerce sur un système modélisé par un {point matériel de masse m} et qui se déplace entre A et B.

Par définition, le travail du poids est :
$W_{A\to B}(\vec{P})=\vec{P}.\vec{AB}$
comme $\vec{AB}=\vec{AH}+\vec{HB}$, ce travail peut s'écrire :
$W_{A\to B}(\vec{P})=\vec{P}.(\vec{AH}+\vec{HB})$ soit
$W_{A\to B}(\vec{P})=\vec{P}.\vec{AH}+\underbrace{\vec{P}.\vec{HB}}_{0}$ car $\vec{P}$ et $\vec{HB}$ sont perpendiculaires
$W_{A\to B}(\vec{P})=\vec{P}.\vec{AH}$

Dans le repère 0xz, avec $\vec{P}=\begin{pmatrix}0\\-m\times g\end{pmatrix}$ et $\vec{AH}=\begin{pmatrix}0\\z_H-z_A\end{pmatrix}$ l'expression du travail est

$W_{A\to B}(\vec{P})=-m.g.(z_H-z_A)$ soit, avec $z_H = z_B$:
$W_{A\to B}(\vec{P})=-m.g.(z_B-z_A)$ qui ne dépend que de la variation d'altitude.

<u>Remarque</u> : Lors d'une chute, le travail du poids est moteur. Comme $z_B<z_A$, on vérifie bien que $W_{A\to B}(\vec{P})>0$.

Le poids est une force conservative, dont le travail ne dépend pas du chemin suivi.

6. Propriété essentielle des forces conservatives : Énergie potentielle

À chaque force conservative correspond une énergie potentielle notée E_P.
Le travail de la force conservative entre A et B est égale à l'opposé de la variation de l'énergie potentielle correspondante entre ces deux points.

> **La variation de l'énergie potentielle ΔE_P d'un système entre une position A et une position B, est égale à l'opposé du travail de la force conservative correspondante appliquée au système entre A et B.**
>
> $$\Delta E_P = E_{P_B} - E_{P_A} = -W_{A\to B}(\vec{F}_{conservative})$$

↳ Ainsi, dans le cas du poids :
$E_{P_B} - E_{P_A} = -W_{A\to B}(\vec{P})$ soit en reprenant l'expression du paragraphe précédent :
$E_{P_B} - E_{P_A} = -(-m.g(z_B - z_A))$ On peut identifier les termes deux à deux : $E_{P_B} = m.g.z_B$ et $E_{P_A} = m.g.z_A$

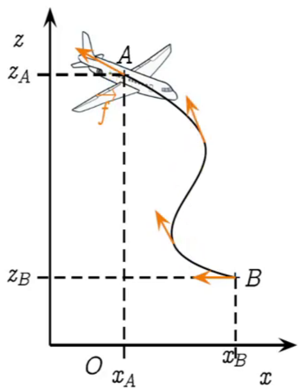
> L'énergie potentielle de pesanteur d'un système modélisé par un {point matériel de masse m} à l'altitude z est :
>
> $$E_P = m.g.z$$
>
> L'axe Oz est orienté vers le haut et $E_P = 0$ à l'altitude z = 0 choisie comme référence.
> E_P s'exprime en joules (J) m en kilogrammes (kg) g en Newton par kilogrammes ($N \cdot kg^{-1}$) z en mètres (m)

7. Forces non conservatives

Par définition :

> **Le travail des forces dites non conservatives appliquées à un système, dépend du chemin suivi.**

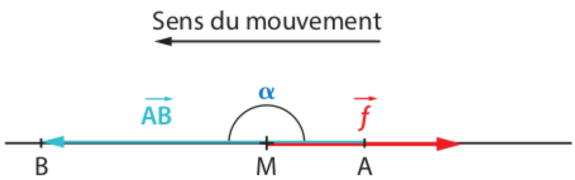
↳ C'est par exemple le cas des forces de frottement.



Une force de frottement fluide est à chaque instant opposée au vecteur vitesse. Le vecteur $\vec{f}$ varie sur le trajet AB et nécessairement, le travail de la force de frottement dépend de ce trajet.

<u>Remarque</u> : pour une force de frottement fluide : $\vec{f} = -\alpha.\vec{v}$ (avec α > 0)

Dans le cas d'un trajet rectiligne entre deux points, où l'on suppose que la valeur de la force de frottement ne varie pas, l'expression du travail est :
$W_{A\to B}(\vec{f}) = \vec{f}.\vec{AB}$
$W_{A\to B}(\vec{f}) = -f.AB$ ce travail est résistant, $\vec{f}$ est toujours opposée au mouvement.



8. Énergie mécanique

• On considère un système modélisable par un point matériel M de masse m, en mouvement dans le référentiel terrestre et soumis notamment au champ de pesanteur de la Terre.

Le théorème de l'énergie cinétique appliqué entre deux points A et B du mouvement de M s'écrit :
$E_{C_B} - E_{C_A} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F})$

Parmi toutes les forces appliquées, certaines sont conservatives, notées $\vec{F}_C$; d'autres non conservatives, notées $\vec{f}_{NC}$. Le théorème de l'énergie cinétique devient :
$E_{C_B} - E_{C_A} = \Sigma W_{A\to B}(\vec{F}_C) + \Sigma W_{A\to B}(\vec{f}_{NC})$

Or, la propriété essentielle des forces conservatives permet d'exprimer leur travail comme l'opposé de la variation d'une énergie potentielle :

$E_{P_B} - E_{P_A} = -W_{A\to B}(\vec{F}_C)$

En remplaçant $-W_{A\to B}(\vec{F}_C)$ par $E_{P_B} - E_{P_A}$ dans le théorème de l'énergie cinétique, il vient :

$E_{C_B} - E_{C_A} + E_{P_B} - E_{P_A} = \Sigma\, W_{A\to B}(\vec{f}_{NC})$ (Attention au signe)

$(E_{C_B} + E_{P_B}) - (E_{C_A} + E_{P_A}) = \Sigma\, W_{A\to B}(\vec{f}_{NC})$ soit :

$E_{M_B} - E_{M_A} = \Sigma\, W_{A\to B}(\vec{f}_{NC})$ en faisant apparaître une nouvelle grandeur, l'énergie mécanique notée E_M.

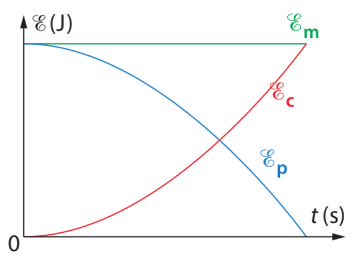
L'énergie mécanique d'un système modélisé par un point matériel de masse m, est la somme de ses énergies cinétique et potentielle :

$$E_M = E_C + E_P$$

La variation d'énergie mécanique ΔE_M d'un système en mouvement d'une position A à une position B dans un référentiel donné, est égale à la somme des travaux des forces non conservatives appliquées au système entre A et B.

$$\Delta E_M = \Sigma\, W_{A\to B}(\vec{f}_{NC})$$

9. Conservation et non conservation de l'énergie mécanique

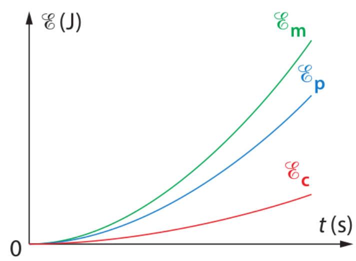


On modélise la perchiste par un point matériel de masse m.
On se place dans le référentiel terrestre.

Les forces appliquées sur M sont :
→ poids : force conservative
→ frottements : négligés

On observe que l'énergie mécanique est constante, l'énergie potentielle de pesanteur étant convertie en énergie cinétique lors de la chute.

Si le système n'est soumis qu'à des forces conservatives, ou que le travail des forces non conservatives est nul, l'énergie mécanique ne varie pas, on dit qu'elle se conserve et : $\Delta E_M = 0$.



On modélise la fusée par un point matériel de masse m.
On se place dans le référentiel terrestre.

Les forces appliquées sur M sont :
→ poids : force conservative
→ frottements : négligés
→ la force de poussée : force non conservative

On observe que l'énergie mécanique augmente, de même que les énergies potentielle de pesanteur et cinétique lors du lancement.

Si le système est soumis à des forces non conservatives dont le travail est non nul, alors l'énergie mécanique varie et : $\Delta E_M = \Sigma\, W_{A\to B}(\vec{f}_{NC})$