1 Énergie cinétique et travail d'une force

Énergie cinétique

Un objet qui se déplace possède une énergie de mouvement, qui dépend de sa vitesse et de sa masse, appelée **énergie cinétique**.

La relation donnant l'**énergie cinétique E_c** d'un système modélisé par un point matériel animé d'un mouvement de translation s'écrit :

$$\underbrace{E_c}_{\text{énergie cinétique (en joule J)}} = \frac{1}{2} \underbrace{m}_{\text{masse (en kg)}} \underbrace{v}_{\text{vitesse (en m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}}{}^2$$

EXEMPLE Lors d'un crash-test, l'énergie cinétique est à l'origine de la déformation du véhicule (FIG. 1).

FIG. 1 Lors de l'impact, la déformation est d'autant plus importante que le véhicule possède une énergie cinétique importante.

UN PONT VERS LES MATHS

Le calcul vectoriel et le produit scalaire sont des notions mathématiques qui se sont développés conjointement à la notion de travail en physique au XIXe siècle.

Travail d'une force constante

Une force constante est une force dont l'intensité, la direction et le sens ne varient pas au cours du temps. Le travail d'une force traduit au niveau énergétique les effets d'une action mécanique sur un système qui se déplace.

Le **travail** d'une **force constante $\vec{F}$**, appliquée à un système se déplaçant d'un point A vers un point B se note $W_{AB}(\vec{F})$.

$$\underbrace{W_{AB}(\vec{F})}_{\text{travail de la force entre A et B (en J)}} = \underbrace{\vec{F}\cdot\overrightarrow{AB}}_{\text{produit scalaire}} = \underbrace{F}_{\text{intensité de } F \text{ (en N)}} \times \underbrace{AB}_{\text{longueur (en m)}} \times \cos \underbrace{\alpha}_{\text{angle } \alpha \text{ formé par } \vec{F} \text{ et } \overrightarrow{AB} \text{ (en °)}}$$

Le travail est une grandeur algébrique de signe positif ou négatif déterminé par la valeur de l'angle α (F et AB étant toujours positives (FIG. 2)) comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0° \leqslant \alpha < 90°$	$\alpha = 90°$	$90° < \alpha \leqslant 180°$
la force favorise le déplacement.	la force n'agit pas sur le déplacement.	la force s'oppose au déplacement.
le travail est **moteur**.	le travail est **nul**.	le travail est **résistant**.

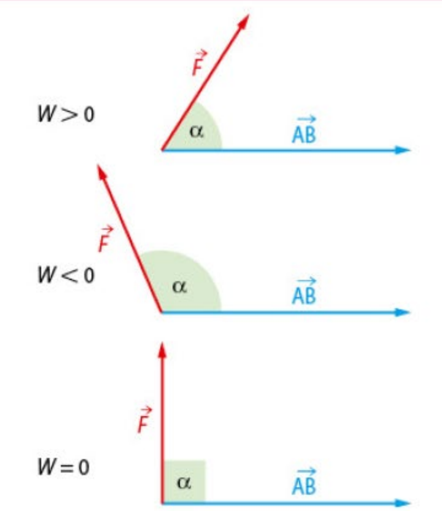


FIG. 2 Travail moteur, résistant ou nul.

EXEMPLE Une pomme de masse m = 130 **g** chute verticalement d'une hauteur de 1,0 **m**. Le poids qui modélise l'action mécanique de la Terre sur la pomme est une force constante d'expression $P = m \times g$ et son point d'application se déplace sur AB = 1,0 **m**. $\vec{P}$ et $\overrightarrow{AB}$ forment un angle α = 0,0° (FIG. 3). Le travail produit est moteur et vaut : $W_{AB}(\vec{P})$ = 130 × 10^{-3} × 9,8 × 1,0 × cos 0,0 = 1,3 **J**.

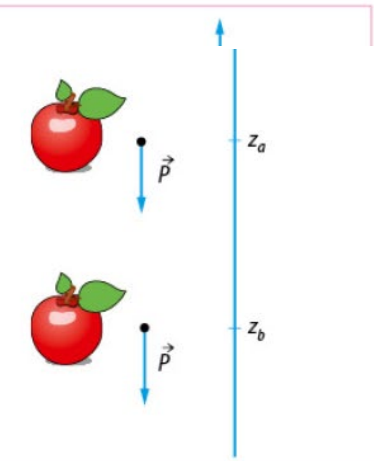


FIG. 3 Le point d'application du poids $\vec{P}$ se déplace en modifiant la vitesse de la pomme, donc son énergie cinétique.

Théorème de l'énergie cinétique

La variation d'énergie cinétique d'un système qui se déplace d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux des forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'appliquent sur le solide lors de son déplacement.

$$\underbrace{\Delta E_c}_{\text{variation d'énergie cinétique (en J)}} = E_c(B) - E_c(A) = \underbrace{\sum W_{AB}(\vec{F})}_{\text{somme des travaux des forces (en J)}}$$

EXEMPLE Lors de la chute précédente de la pomme, le travail du poids correspond à un gain d'énergie cinétique pour la pomme qui s'exprime ainsi : $\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{P})$.

La variation d'énergie cinétique est égale au travail du poids (FIG. 4).

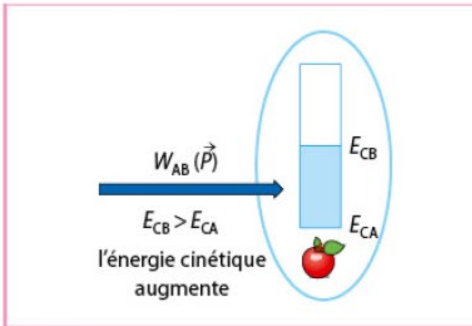


FIG. 4 Lors d'une chute libre, la variation d'énergie cinétique est égale au travail du poids.

2 Forces conservatives et non-conservatives

Force conservative et énergie potentielle

Une force est dite **conservative** lorsque la valeur de son **travail est indépendante du chemin suivi** par le système sur lequel s'applique l'action mécanique (modélisée par cette force) (FIG. 5).

Toutes les forces constantes sont conservatives.

EXEMPLE En prenant le cas d'un déplacement quelconque d'une balle entre A et B (FIG. 5) :
$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$ or $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HB}$, $(\vec{P}\ ;\ \overrightarrow{HB}) = 90°$ et $(\vec{P}\ ;\ \overrightarrow{AH}) = 0°$
donc $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} + \vec{P} \cdot \overrightarrow{HB} = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} = P \times AH \times \cos 0 = mg \times AH = mg \times (z_A - z_H)$.
Puisque $z_H = z_B$, $W_{AB}(\vec{P}) = mg \times (z_A - z_B)$.
Le travail du poids ne dépend que de l'altitude z_A et z_B et non du chemin suivi. Le poids est donc une force conservative.

À chaque force conservative sera associée une énergie potentielle.
L'**énergie potentielle** d'un système est liée à sa position.

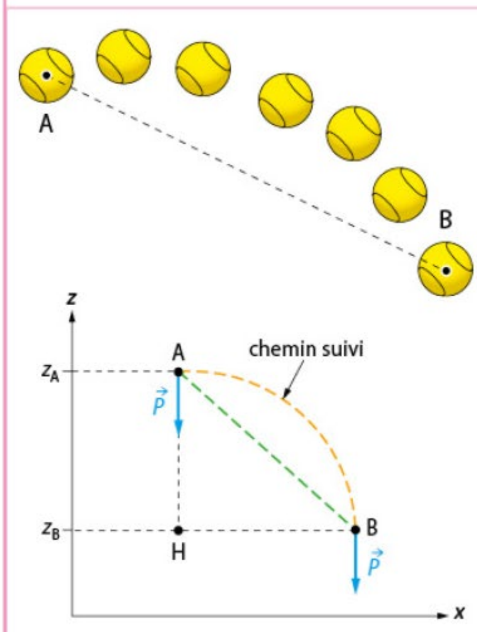


FIG. 5 Le travail du poids, force conservative, est indépendant du chemin suivi.

Énergie potentielle de pesanteur

La variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'une balle, qui se déplace du point A au point B, est égale à l'opposé du travail du poids sur ce trajet. $\Delta E_{pp} = -W_{AB}(\vec{P})$, c'est-à-dire :

$$E_{ppB} - E_{ppA} = mg \times (z_B - z_A) = mgz_B - mgz_A$$

Par identification des termes de la relation précédente, l'**énergie potentielle de pesanteur** au voisinage de la Terre d'un système dont l'altitude est z s'écrit :

$$\boxed{E_{pp} = mgz}$$

- E_{pp} : énergie potentielle de pesanteur (en **J**)
- m : masse (en **kg**)
- z : altitude (en **m**)
- g : intensité de la pesanteur (en **m · s⁻²**)

Pour cette expression, l'énergie potentielle de pesanteur est nulle à l'origine O où $z = 0$ et l'axe Oz est orienté vers le haut. Au voisinage de la Terre, l'intensité de la pesanteur g est considérée constante.

Force non-conservatives

Les forces de frottement, la force de tension d'un fil, les forces pressantes sont des forces non-conservatives.

Lorsque le travail d'une force dépend du chemin suivi par le système, la force est dite **non-conservative**.

Travail d'une force de frottement

Lorsqu'un système est en mouvement sur un support ou au sein d'un fluide, il est soumis à une action mécanique qui s'oppose au mouvement, modélisée par une force appelée force de frottement $\vec{f}$ (FIG. 6).

Le **travail** d'une force de frottement $\vec{f}$, lors du déplacement rectiligne du système d'un point A à un point B, est toujours résistant.

$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} = f \times AB \times \cos 180° = -f \times AB$$

travail de la force de frottement (en J) ; intensité de F (en N) ; longueur (en m)

FIG. 6 Au curling, le travail des forces de frottement s'oppose au mouvement de la pierre.

3 Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

Énergie mécanique

L'**énergie mécanique** d'un système, correspondant à son énergie totale, est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle.

$$E_m = E_c + E_p$$

énergie mécanique (en J) ; énergie cinétique (en J) ; énergie potentielle (en J)

Conservation de l'énergie mécanique

En **l'absence de forces non-conservatives** comme les forces de frottement, il y a **conservation de l'énergie mécanique** au cours du temps.

EXEMPLE Lors du mouvement d'un pendule autour de sa position d'équilibre en l'absence de frottement, l'énergie mécanique du pendule se conserve. Il y a conversion d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique par l'intermédiaire du travail du poids et réciproquement (FIG. 7 et FIG. 8).

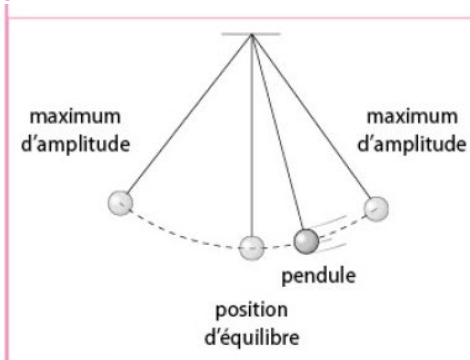


FIG. 7 Oscillation d'un pendule simple.

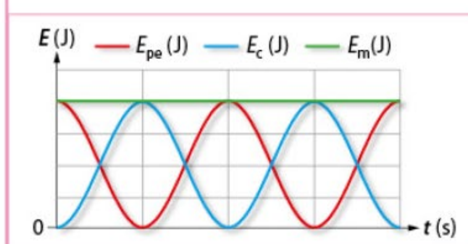


FIG. 8 Sans frottement, l'énergie mécanique du système se conserve.

Non-conservation de l'énergie mécanique

En présence de **forces non-conservatives**, l'énergie mécanique du système **ne se conserve plus** dans le temps. Quand l'énergie mécanique diminue, il y a **dissipation d'énergie**. Quand l'énergie augmente, il y a un **gain d'énergie**.

EXEMPLE Lors du mouvement d'un pendule, en présence de frottement dû à l'action de l'air sur le système, l'énergie mécanique diminue au cours du temps, $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) < 0$ (FIG. 9). L'énergie mécanique est dissipée sous forme d'énergie thermique dans le milieu extérieur dont la température s'élève.

La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces non-conservatives.

$$\Delta E_m = \sum W_{AB}\left(\vec{f}_{\text{non-conservative}}\right)$$

variation d'énergie mécanique (en J) ; somme des travaux des forces non-conservatives (en J)

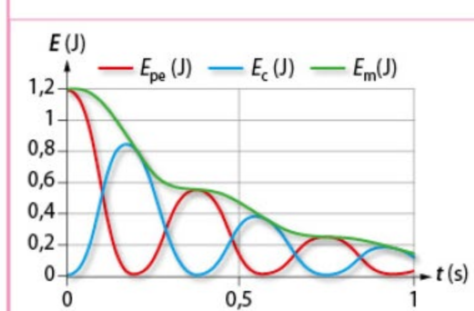


FIG. 9 En présence de frottement, l'énergie mécanique du système diminue.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir

Les relations à connaître et savoir utiliser

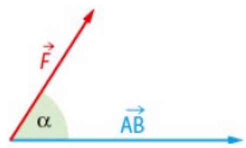
1 Énergie cinétique et travail d'une force

- L'**énergie cinétique E_c** d'un système modélisé par un point matériel en **mouvement de translation** est donnée par la relation :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

énergie cinétique (en joule **J**) ; masse (en **kg**) ; vitesse (en **m · s⁻¹**)

- Le **travail $W_{AB}(\vec{F})$** d'une **force constante $\vec{F}$** lors du déplacement $\overrightarrow{AB}$ du système est défini par :



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

travail de la force entre A et B (en joule **J**) ; produit scalaire ; intensité de F (en **N**) ; longueur (en **m**) ; angle α formé par $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$ (en **°**)

$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0° \leqslant \alpha < 90°$	$\alpha = 90°$	$90° < \alpha \leqslant 180°$
La force **favorise** le déplacement.	La force n'agit pas sur le déplacement.	La force **s'oppose** au déplacement.
Le travail est **moteur**.	Le travail est nul.	Le travail est **résistant**.

- **Théorème de l'énergie cinétique**

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

variation d'énergie cinétique (en **J**) ; somme des travaux des forces (en **J**)

2 Forces conservatives et non-conservatives

- Une force est dite **conservative** lorsque la valeur de son travail est indépendante du chemin suivi par le système. Le **poids $\vec{P}$** est une force conservative.
- L'**énergie potentielle de pesanteur E_{pp}** au voisinage de la Terre d'un système dont l'altitude est z (selon un axe orienté vers le haut) s'écrit :

$$E_{pp} = mgz$$

masse (en **kg**) ; altitude (en **m**) ; intensité de la pesanteur (en **m · s⁻²**) ; énergie potentielle de pesanteur (en joule **J**)

- Lorsque le travail d'une force dépend du chemin suivi par le système, la force est dite **non-conservative**.
- Les **forces de frottement** sont des exemples de **forces non-conservatives**. Le travail d'une force de frottement $\vec{f}$ d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne est donné par la relation :

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

travail de la force de frottement (en **J**) ; intensité de $\vec{f}$ (en **N**) ; longueur (en **m**)

3 Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

- L'**énergie mécanique E_m** d'un système est la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_p.

$$E_m = E_c + E_p$$

énergie mécanique (en **J**) ; énergie cinétique (en **J**) ; énergie potentielle (en **J**)

- Au cours du mouvement, l'énergie mécanique d'un système peut varier ou non. En **l'absence de frottement** (chute libre, mouvement d'un pendule, etc.), l'énergie mécanique **se conserve au cours du temps** : $\Delta E_m = 0$. Il y a conversion intégrale d'E_c en E_p et réciproquement.
- En présence de force de frottement, l'énergie mécanique varie au cours du temps.
- La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces non-conservatives.

$$\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{f}_{\text{non-conservative}})$$

variation d'énergie mécanique (en **J**) ; somme des travaux des forces non-conservatives (en **J**)