



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 :

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

masse (en kg)
masse (en kg)
vitesse (en m · s⁻¹)
vitesse (en m · s⁻¹)

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.

► 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 $W_{AB}(\vec{F})$.

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

intensité de F (en N)
intensité de F (en N)
angle α formé par \vec{F} et \vec{AB} (en °)
angle α formé par \vec{F} et \vec{AB} (en °)
produit scalaire
longueur (en m)

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.

$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$
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 .

EXEMPLE Une pomme de masse $m = 130 \text{ g}$ chute verticalement d'une hauteur de $1,0 \text{ m}$. 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 $AB = 1,0 \text{ m}$. \vec{P} et \vec{AB} forment un angle $\alpha = 0,0^\circ$ (FIG. 3). Le travail produit est moteur et vaut : $W_{AB}(\vec{P}) = 130 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 1,0 \times \cos 0,0 = 1,3 \text{ J}$.

► 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.

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

somme des travaux des forces (en J)
somme des travaux des forces (en J)

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 XIX^e siècle.

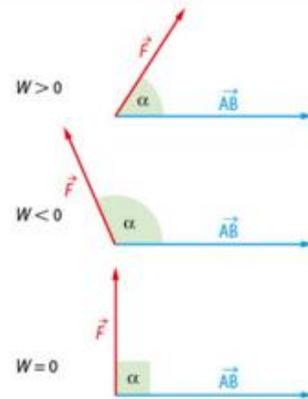


FIG. 2 Travail moteur, résistant ou nul.

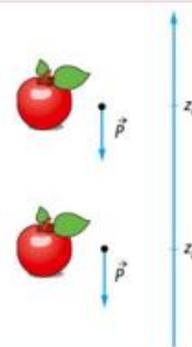


FIG. 3 Le point d'application du poids \vec{P} se déplace en modifiant la vitesse de la pomme, donc son énergie cinétique.

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).

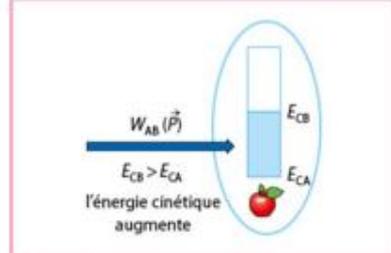


FIG. 4 Lors d'une chute libre, la variation d'énergie cinétique est égale au travail du poids.

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) :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} \text{ or } \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HB}, (\vec{P} ; \overrightarrow{HB}) = 90^\circ \text{ et } (\vec{P} ; \overrightarrow{AH}) = 0^\circ$$

donc $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} + \vec{P} \cdot \overrightarrow{HB} = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} = P \times AH \times \cos 0 = mg \times AH = mg \times (z_A - z_B)$.

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.

► 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.

$$\Delta E_{pp} = -W_{AB}(\vec{P}), \text{ c'est-à-dire :}$$

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

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 :

$$E_{pp} = mgz$$

énergétique de pesanteur (en J) → $E_{pp} = mgz$ ← altitude (en m)

↑ intensité de la pesanteur (en $m \cdot s^{-2}$)

↓ masse (en kg)

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**.

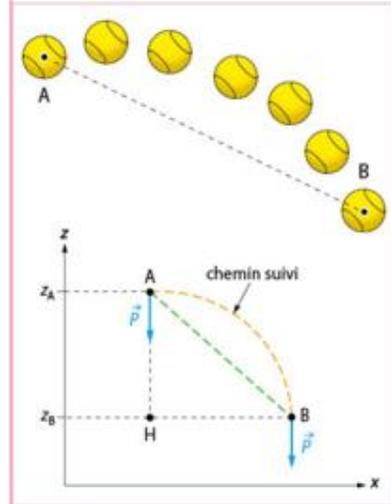


FIG. 5 Le travail du poids, force conservative, est indépendant du chemin suivi.

► 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.

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

intensité de F (en N) longueur (en m)

travail de la force de frottement (en J)



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 cinétique (en J) énergie potentielle (en J)

énergie mécanique (en J)

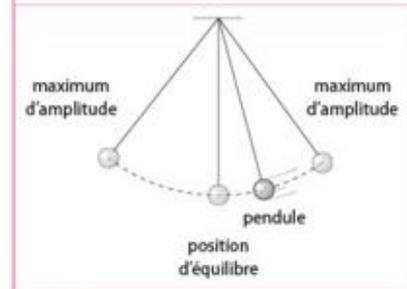


FIG. 7 Oscillation d'un pendule simple.

► 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).

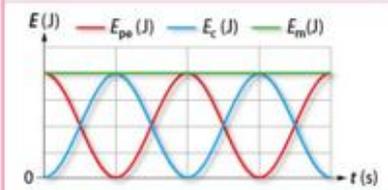


FIG. 8 Sans frottement, l'énergie mécanique du système se conserve.

► 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.

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

somme des travaux des forces non-conservatives (en J)

variation d'énergie mécanique (en J)

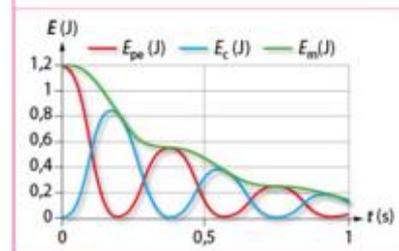


FIG. 9 En présence de frottement, l'énergie mécanique du système diminue.

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) ← E_c

← masse (en kg) m

← vitesse (en $m \cdot s^{-1}$) v

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

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

← intensité de F (en N) F

← angle α formé par F et \vec{AB} (en $^\circ$) α

← longueur (en m) AB

← produit scalaire $F \times AB$

← travail de la force entre A et B (en joule J) $W_{AB}(\vec{F})$

$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$
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

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

← somme des travaux des forces (en J)

← variation d'énergie cinétique (en J) ΔE_c

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) m

← altitude (en m) z

← intensité de la pesanteur (en $m \cdot s^{-2}$) g

← énergie potentielle de pesanteur (en joule J) E_{pp}

► 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 :

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

← intensité de \vec{f} (en N) f

← longueur (en m) AB

← travail de la force de frottement (en J) $W_{AB}(\vec{f})$

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 cinétique (en J) E_c

← énergie potentielle (en J) E_p

← énergie mécanique (en J) E_m

► 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) ΔE_m

← somme des travaux des forces non-conservatives (en J)