Chapitre 15

Énergie potentielle et énergie mécanique

1. Forces conservatives

1.1 - Travail du poids

Un système, modélisé par un point matériel de masse m, se déplace d'un point A d'altitude z_{A} à un point B d'altitude z_{B} dans le champ de pesanteur $\vec{g}$ uniforme. Que le chemin emprunté soit direct de A à B ou qu'il passe par un point intermédiaire C, le travail du poids $\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{P})$ du point matériel lors de son déplacement ne dépend que des altitudes de départ z_{A} et d'arrivée z_{B}.

$$\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{P}) = mg(z_{\mathrm{A}} - z_{\mathrm{B}})$$

Unités du Système international :

m en kilogramme (kg) ;

g en newton par kilogramme ($\mathrm{N{\cdot}kg^{-1}}$) ;

z_{A} et z_{B} en mètre (m) ;

$\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{P})$ en joule (J).

Une force dont le travail ne dépend que des positions des points de départ et d'arrivée est appelée force conservative.

1.2 - Énergie potentielle de pesanteur

D'après le théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel galiléen, si un système, modélisé par un point matériel, est soumis uniquement à son poids, la variation de son énergie cinétique s'écrit :

$$\Delta\mathscr{E}_c = \mathscr{E}_c(B) - \mathscr{E}_c(A) = \mathscr{W}_{AB}(\vec{P}) = mgz_A - mgz_B$$

Cette variation d'énergie cinétique peut s'écrire :

$$\Delta\mathscr{E}_c = -\Delta\mathscr{E}_{pp}$$

où $\Delta\mathscr{E}_{pp}$ est la variation d'énergie potentielle de pesanteur du point matériel.

Ainsi : $\Delta\mathscr{E}_{pp} = -\mathscr{W}_{AB}(\vec{P}) = mgz_B - mgz_A$

L'énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_{pp}$ d'un point matériel de masse m situé à l'altitude z (avec l'axe Oz orienté vers le haut) dans le champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ est définie par :

$$\mathscr{E}_{pp} = mgz$$

Unités du Système international :

$\mathscr{E}_{pp}$ en joule (J) ;

m en kilogramme (kg) ;

g en newton par kilogramme ($N \cdot kg^{-1}$) :

z en mètre (m).

Remarques

– La relation précédente est valable en choisissant $\mathcal{E}_{\text{pp}} = 0$ pour $z = 0$.

– Le travail $\mathcal{W}_{\text{AB}}(\vec{P})$ n'est défini que pour un déplacement de A à B du système, alors que l'énergie potentielle de pesanteur est définie pour chaque position du système.

2. Forces non conservatives

2.1 - Travail d'une force non conservative

Une force $\vec{F}$ dont le travail $\mathcal{W}_{\text{AB}}(\vec{F})$ ne dépend pas uniquement des positions des points de départ A et d'arrivée B, mais aussi du chemin emprunté entre A et B, est une force non conservative.

2.2 - Cas des forces de frottement

Lorsqu'un point matériel se déplace dans un fluide ou sur un support solide, il subit des forces de frottement.

Dans un fluide (liquide, gaz), ce point matériel subit une force de frottement fluide dont :

– la direction est parallèle à celle du vecteur vitesse ;

– le sens est opposé à celui du mouvement ;

– la norme est d'autant plus grande que la valeur de la vitesse est grande.

Au contact d'un solide, ce point matériel subit une force de frottement solide dont :

– la direction est dans le plan du support ;

– le sens est opposé à celui du mouvement.

Les forces de frottement, qu'elles soient de nature fluide ou solide, sont des forces non conservatives.

Dans l'hypothèse d'une force de frottement $\vec{F}$ de norme constante lors d'un déplacement rectiligne d'un point A vers un point B, le travail $\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{F})$ de cette force s'exprime par :

$\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos\alpha$

Avec $\alpha = 180°, \text{soit} \cos\alpha = -1.$

Donc :

$$\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{F}) = -F \times AB$$

Unités du Système international :

$\mathcal{W}_{\mathrm{AB}}(\vec{F})$ en joule (J) ;

F en newton (N) ;

AB en mètre (m).

3. Conservation ou non conservation de l'énergie mécanique

L'énergie mécanique $\mathcal{E}_{\mathrm{m}}$ d'un point matériel est la somme de son énergie cinétique $\mathcal{E}_{\mathrm{c}}$ et de son énergie potentielle de pesanteur $\mathcal{E}_{\mathrm{pp}}$.

$$\mathcal{E}_{\mathrm{m}} = \mathcal{E}_{\mathrm{c}} + \mathcal{E}_{\mathrm{pp}}$$

Dans les unités du Système international, $\mathcal{E}_{\mathrm{m}}$, $\mathcal{E}_{\mathrm{c}}$ et $\mathcal{E}_{\mathrm{pp}}$ sont en joule (J).

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie mécanique d'un point matériel entre les points A et B est égale à la somme des travaux des forces non conservatives appliquées au système.

$$\Delta \mathscr{E}_{m} = \sum \mathscr{W}_{AB}(\vec{F}_{\text{non conservatives}})$$

Unités du Système international :

$\Delta \mathscr{E}_{m}$ en joule (J) ;

$\mathscr{W}_{AB}(\vec{F}_{\text{non conservatives}})$ en joule (J).

En l'absence de force non conservative, par exemple en l'absence de force de frottement, l'énergie mécanique se conserve : $\mathscr{E}_{m}(A) = \mathscr{E}_{m}(B)$, soit $\Delta \mathscr{E}_{m} = 0$.

En présence de forces non conservatives, par exemple en présence d'une force de frottement $\vec{F}$, l'énergie mécanique diminue : $\Delta \mathscr{E}_{m} = \mathscr{W}_{AB}(\vec{F}) < 0$.