

**03 Approche énergétique****Premier principe de la thermodynamique**

- L'énergie est une grandeur fondamentale qui se conserve pour un système isolé. Le premier principe de la thermodynamique stipule que la variation d'énergie totale  $\Delta E$  d'un système fermé est égale à la somme des transferts d'énergie avec l'extérieur, sous forme de travail  $W$  ou de chaleur  $Q$  (J) :

$$\Delta E = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = W + Q.$$

- Dans le cadre de la mécanique du point matériel, l'énergie interne  $U$  (liée à l'agitation thermique) ne varie généralement pas. L'étude se concentre alors sur l'énergie mécanique, somme des énergies cinétique  $E_c$  et potentielle  $E_p$ .

**Puissance et travail d'une force**

- La puissance instantanée  $\mathcal{P}$  d'une force  $\vec{F}$  s'exerçant sur un point matériel animé d'une vitesse  $\vec{v}$  est définie par le produit scalaire  $\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v}$  (W).  
Si  $\mathcal{P} > 0$ , la force est qualifiée de motrice car elle favorise le mouvement, tandis qu'elle est dite résistante si  $\mathcal{P} < 0$ .  
Une force orthogonale au vecteur vitesse ne développe aucune puissance.
- Le travail élémentaire  $\delta W$  correspond à l'énergie transférée par la force lors d'un déplacement infinitésimal  $d\vec{OM}$  durant une durée  $dt$  :

$$\delta W = \mathcal{P}dt = \vec{F} \cdot d\vec{OM}.$$

Le travail total pour un déplacement d'un point  $A$  vers un point  $B$  s'obtient par intégration le long de la trajectoire (J). Dans le cas particulier d'une force constante sur un déplacement rectiligne, cette intégrale se simplifie en un produit scalaire :  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$ .

- Il convient de connaître quelques résultats classiques : le travail du poids  $\vec{P}$  ne dépend que de la variation d'altitude, soit  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -mg(z_B - z_A)$ . À l'inverse, la force de frottement fluide dissipe systématiquement de l'énergie (travail résistant), tandis que la force magnétique de Lorentz, toujours perpendiculaire à la vitesse, ne travaille jamais.

**Théorèmes de l'énergie cinétique**

- L'énergie cinétique d'un point matériel de masse  $m$  est définie par la relation  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ . Elle représente l'énergie liée au mouvement du corps dans le référentiel d'étude.
- Deux théorèmes fondamentaux permettent de relier cette grandeur aux actions mécaniques. Le théorème de la puissance cinétique (TPC) traduit, dans un référentiel galiléen, l'égalité entre la dérivée temporelle de l'énergie cinétique et la somme des puissances des forces extérieures :

$$\frac{dE_c}{dt} = \sum \mathcal{P}(\vec{F}_{ext}).$$

- Par intégration temporelle, on obtient le théorème de l'énergie cinétique (TEC), qui stipule que la variation d'énergie cinétique entre deux positions est égale à la somme des travaux des forces extérieures sur ce parcours :

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{ext}).$$

## Énergie potentielle et mécanique

- Une force est dite conservative lorsque son travail est indépendant du chemin suivi entre deux points. Cette propriété permet de définir une énergie potentielle  $E_p$  telle que le travail élémentaire de la force soit l'opposé de la variation de cette énergie ( $\delta W = -dE_p$ ). Parmi les exemples usuels figurent l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp} = mgz$  (avec un axe vertical ascendant) et l'énergie potentielle élastique d'un ressort  $E_{pe} = \frac{1}{2}k(\ell - \ell_0)^2$ . Ces grandeurs sont définies à une constante additive près.
- L'énergie mécanique  $E_m$  est la somme des énergies cinétique et potentielles du système. Le théorème de l'énergie mécanique énonce que sa variation est exclusivement due au travail des forces non conservatives  $\vec{F}_{nc}$  (telles que les frottements) :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{nc}).$$

En l'absence de telles forces, l'énergie mécanique se conserve au cours du temps, traduisant un transfert réversible entre énergie cinétique et potentielle.

## Positions d'équilibre et stabilité

- Une position d'équilibre correspond à un extremum local de l'énergie potentielle, ce qui se traduit mathématiquement par l'annulation de sa dérivée par rapport à la position ( $\frac{dE_p}{dx} = 0$ ).
- La nature de cet équilibre dépend de la concavité de la courbe d'énergie potentielle. Un minimum local (forme de puits) caractérise un équilibre stable : si le système est légèrement écarté de cette position, il tend à y revenir. À l'inverse, un maximum local (forme de bosse) correspond à un équilibre instable.
- Lorsque l'énergie mécanique du système est insuffisante pour s'extraire d'un puits de potentiel ( $E_m < E_{p,max}$ ), le mouvement est borné : on parle d'état lié.

*Figure à venir...*