Chapitre 4

Energie

4.1 Conservation de l'énergie

♢L'énergie est une grandeur pouvant caractériser un système. Il s'agit d'un nombre, noté E, qui est conservé s'il n'y a aucun échange avec l'environnement du système. Ainsi, dans le cas d'un **système isolé**, la variation d'énergie entre deux instants t_1 et t_2, $t_2 > t_1$, est nulle : ⋄

$$\Delta E = E(t_2) - E(t_1) = 0\,.$$

♢Dans le cas d'un **système non isolé**, des échanges peuvent se faire avec l'environnement du système et l'on a en général ⋄

$$\Delta E = E(t_2) - E(t_1) \neq 0\,.$$

⋄Par convention, on se place du point de vue du système : ⋄

- $\Delta E > 0$ signifie que le système gagne de l'énergie ;
- $\Delta E < 0$ signifie que le système perd de l'énergie.

⋄Au cours du temps, l'énergie d'un système peut également changer de forme. ⋄

4.2 Energie cinétique et travail

♢Considérons un objet de masse m. ⋄
♢A un instant donné, on définit l'**énergie cinétique** de son CM par ⋄

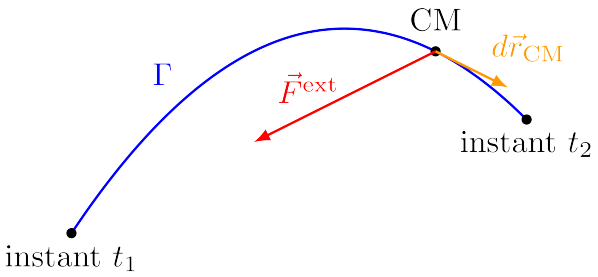
$$E_{\text{cin,CM}} = \frac{1}{2} m v_{\text{CM}}^2\,.$$

♢C'est l'énergie associée au mouvement. Unité : $\mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}} = \mathrm{N\,m} = \mathrm{J}$ ("joule"). ⋄
♢La variation d'énergie cinétique entre un instant t_1 et un instant t_2 est donnée par le **théorème de l'énergie cinétique** pour le CM : ⋄

$$E_{\text{cin,CM}}(2) - E_{\text{cin,CM}}(1) = W_{1\to 2}^{\text{ext}}\,,$$

♢où ⋄

$$W_{1\to 2}^{\text{ext}} = \int_1^2 dW^{\text{ext}} = \int_1^2 \vec{F}^{\text{ext}} \cdot d\vec{r}_{\text{CM}}$$



$\diamondsuit$est le **travail** des forces extérieures $\vec{F}^{\text{ext}}$ sur le CM, $dW^{\text{ext}} = \vec{F}^{\text{ext}} \cdot d\vec{r}_{\text{CM}}$ étant le **ravail infinitésimal** des forces extérieures sur le CM pour un déplacement $d\vec{r}_{\text{CM}}$. Le symbole d'intégration $\int$ désigne la somme des travaux infinitésimaux effectués entre 1 et 2. $\diamond$

Forces conservatives

Force conservative Une force est dite conservative si son travail sur l'objet considéré ne dépend que des extrémités du chemin que l'objet parcourt, et non du chemin lui-même.

Energie potentielle Le travail d'une force conservative entre un instant t_1 et un instant t_2 peut être écrit comme une différence d'énergie potentielle :

$$W_{1\to 2}(\vec{F}^{\text{ext}}_{\text{cons}}) = E_{\text{pot,CM}}(1) - E_{\text{pot,CM}}(2)\,.$$

L'énergie potentielle est associée à une position $\vec{r}$ du CM de l'objet et est définie à une constante arbitraire près.

Exemples 4.1. $\diamondsuit\diamond$

— Le poids, $\vec{F} = m\vec{g}$.

$$E_{\text{pot}}(\vec{r}) = -m\vec{g}\cdot\vec{r} + \text{cste} = mgh + \text{cste}\,.$$

Cette énergie potentielle est associée à la hauteur h du CM au-dessus de l'origine.

— La gravitation (cas général), $\vec{F} = -G\,\dfrac{Mm}{r^2}\,\vec{e}_r$

$$E_{\text{pot}}(\vec{r}) = -G\,\frac{Mm}{r} + \text{cste}\,.$$

— La force de rappel d'un ressort, $\vec{F} = -k\vec{d}$

$$E_{\text{pot}}(\vec{r}) = \frac{1}{2}kd^2 + \text{cste}\,.$$

— La force de Coulomb, $\vec{F} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{r^2}\,\vec{e}_r$

$$E_{\text{pot}}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r} + \text{cste}\,.$$

$\diamond$

Energie mécanique

$$E_{\text{méc,CM}} = E_{\text{cin,CM}} + E_{\text{pot,CM}} \,.$$

C'est l'énergie associée au mouvement et à la position du CM de l'objet.

♢La variation d'énergie mécanique entre un instant t_1 et un instant t_2 est donc donnée par ⋄

$$E_{\text{méc,CM}}(2) - E_{\text{méc,CM}}(1) = W_{1\to 2}(\vec{F}^{\text{ext}}_{\text{non cons}}) \,.$$

♢En d'autres termes, si toutes les forces sont conservatives (ou ne travaillent pas), l'énergie mécanique du CM est conservée, $E_{\text{méc,CM}} = \text{cste}$. ⋄

4.3 Puissance

Puissance

$$P = \lim_{\Delta t\to 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{dE}{dt} = \dot{E} \,, \quad \text{unité : J s}^{-1} = \text{W (“watt”).}$$

C'est un apport d'énergie par unité de temps.

Rendement

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{fournie}}} \,, \quad \text{unité : -}.$$

Pour un dispositif transformant de l'énergie d'une forme en une autre, c'est le rapport entre la puissance utile (la forme voulue) et la puissance fournie (la forme initiale).