Chapitre IV : Travail et énergie

SOMMAIRE

CHAPITRE IV	TRAVAIL ET ENERGIE

IV-1 TRAVAIL

IV-1.1 Généralités

Les formes d'énergie sont nombreuses et bien connues alors que le concept d'énergie est loin d'être clair ou évident. Nous comprenons ce qui est l'énergie par les effets qu'elle induit. Par exemple quand nous faisons une chute, nous ressentons les effets de cette chute lorsque nous touchons le sol, parce qu'il y a eu conversion de l'énergie de chute en énergie calorifique.

Comme toutes les quantités physiques, les caractéristiques de cette dernière sont connues alors qu'il est impossible de la définir. Par exemple, c'est une quantité qui peut changer de forme en se transmettant, donc c'est une quantité mesurable, qui a un rapport avec un déplacement, on peut distinguer plusieurs types d'énergie, on cite:

- ✓ Energie électrique : déplacement d'électrons dans la matière.
- ✓ Energie électromagnétique : déplacement d'une onde dans le vide ou dans un milieu matériel.
- ✓ Energie acoustique : déplacement d'une onde longitudinale dans l'air.
- ✓ Energie calorifique : Transfert de chaleur (énergie cinétique de particules)
- ✓ Energie mécanique : déplacement d'objets divers
- ✓ Energie nucléaire : déplacement de fragments de fission ou de fusion.

IV-1.2 Travail de la force de pesanteur

Soit un point matériel de masse m décrivant une trajectoire quelconque (Figure IV-1). Ce point est soumis à une force $\vec{F}$ en tout point de la trajectoire. Pour chaque intervalle de temps dt, M parcourt une distance $d\ell$.

La quantité $\vec{F}\cdot\vec{d\ell}$ est notée dW est appelée travail de la force $\vec{F}$ au point M. Afin de bien comprendre ce que signifie le produit scalaire, prenons deux exemples.

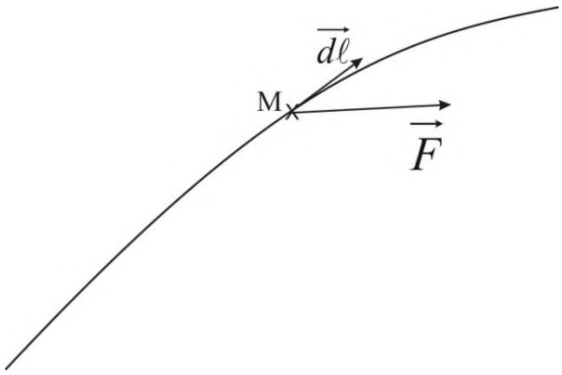

Figure IV-1 *travail d'une force*

Un mobile sur un plan horizontal roule sans glisser (Figure IV-2). Ce mobile est soumis uniquement à son poids $\vec{P}$ et à la réaction $\vec{R}$ du sol. Le produit scalaire est nul

$$\vec{P}\cdot\vec{d\ell}=0$$

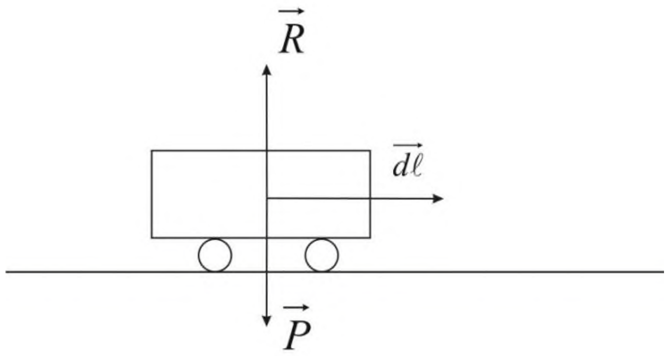

Figure IV-2 *Déplacement d'un mobile sur un plan horizontal*

C'est comme le poids ne travaille pas, donc qu'il ne contribue pas au mouvement. Par contre, dans le cas de la chute d'un corps, le produit scalaire est maximum comme c'est le produit des normes, car le poids contribue totalement au mouvement.

IV-1.3 Travail d'une force élastique

Soit un ressort de raideur k , de longueur au repos l_0 , au bout duquel on met une masse m comme l'indique la figure IV-3. Le ressort et la masse sont sur un plan horizontal et nous nous intéressons uniquement à la tension du ressort.

La force de tension du ressort $\vec{T}$ est une force qui varie avec l'état d'étirement du ressort k . Donc ce n'est pas une force constante au cours du déplacement, ainsi, pour calculer le travail de cette force il faut calculer le travail élémentaire de cette dernière sur un déplacement infiniment petit sur lequel nous considérons que la force est constante.

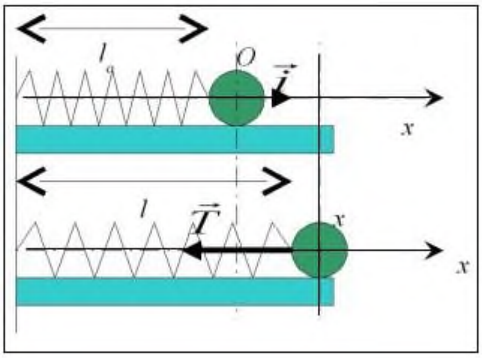

Figure IV-3 *Travail élastique.*

D'après cette figure, la tension s'exprime de la façon suivante :

$$\vec{T} = -k\Delta l\,\vec{i} = -k\,(l-l_0)\,\vec{i} = -kx\,\vec{i}$$

Le travail de cette force ne dépend pas du chemin suivi mais uniquement de la position initiale et finale du ressort.

Le travail élémentaire de la force élastique $\vec{T}$, si la masse passe d'une position x à une position $x+dx$, est donc donné par:

$$\delta W\left(\vec{T}\right) = \vec{T}\cdot d\vec{l} = -kx\,\vec{i}\cdot dx\,\vec{i} = -kxdx = -d\left(\frac{1}{2}kx^2\right)$$

Lorsque le point d'application se déplace d'une position x_1 à une position x_2, le travail de cette force est donc :

$$W_{1\to2}\left(\vec{T}\right) = \int_1^2 \vec{T}\cdot d\vec{l} = -k\int_{x_1}^{x_2} xdx = \frac{1}{2}k\,\left(x_1^2 - x_2^2\right).$$

Le travail de cette force ne dépend pas du chemin suivi mais uniquement de la position initiale et finale du ressort.

IV-2 ENERGIE

IV-2.1 Energie cinétique

a) Notion fondamentale

On utilise le concept de l'énergie afin d'étudier le mouvement des particules. Cependant, il existe diverses formes de cette dernière. Techniquement, on peut dire que l'énergie est une grandeur scalaire associée à un état du (ou des) point (s) matériel (s).

On définit l'énergie cinétique d'un point matériel, T, comme l'´energie qu'il possède en vertu de son mouvement, elle s'exprime sous la forme habituelle:

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

b) Théorème de l'énergie cinétique

« La variation de l'énergie cinétique d'un point matériel entre deux instants est égale au travail de la résultante de toutes les forces qui lui sont appliquées entre ces deux instants », autrement dit : la variation de l'énergie cinétique dans un référentiel R est :

$$dT = d\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = m\vec{v}d\vec{v} = m\vec{v}\vec{a}dt = m\vec{a}d\vec{r}$$

$$dT = m\vec{a}.d\vec{r} \underbrace{=}_{2^{\text{éme}} \text{ loi de Newton}} \vec{F}.d\vec{r} = \delta W$$

$$dT = \delta W$$

$$\int_A^B dT = W_{A-B}(\sum \vec{F}) \Rightarrow T_B - T_A = \sum W_{A-B}(\vec{F})$$

IV-2.2 Energie potentielle

- ***Forces conservatives***

Si le travail d'une force entre deux points *A* et *B* ne dépend pas du chemin suivi, mais dépend uniquement des points *A* et *B*, on dit que cette force est conservative.

Soit un point matériel de masse *m* sur une pente *AB* comme montre la figure (IV-4). Calculons le travail du poids le long de *AB*.

On sait que:

$$dW_{A\to B} = \vec{P}.\overrightarrow{d\ell} = mgd\ell\sin\alpha$$

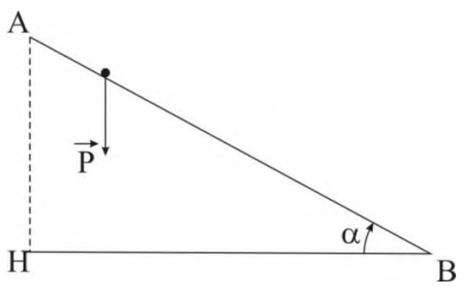

Figure IV-4: *Force conservative*

$$W_{A\to B} = \int_A^B \vec{P}.\overrightarrow{d\ell} = \int_A^B mgd\ell\sin\alpha = mg\sin\alpha\int_A^B d\ell = mg\sin\alpha AB = mgAH$$

Si l'on prend *H* comme point intermédiaire :

$$W_{A\to B} = W_{A\to H} + W_{H\to B} = mgAH + 0 = mgAH$$

Le poids est une force conservative.

Dans le cas d'une force conservative, puisque le travail ne dépend que des points *A* et *B*, il existe alors une fonction E_p, telle que $W_{A\to B} = E_p(A) - E_p(B)$

$W_{A\to B} = E_p(A) - E_p(B) = -\int_A^B dE_p$, on peut écrire aussi :

$$dW = -dE_p$$

La fonction E_p est appelée énergie potentielle. La relation précédente indique le travail lors d'un déplacement infinitésimal est égal à l'opposé de la variation d'énergie potentielle lors de ce déplacement.

D'après le théorème de l'énergie cinétique, on trouve que $dW = dE_c$. Donc $-dE_p = -dE_c$, ou encore $d(E_c + E_p) = 0$. La somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique dans le cas de forces conservatives est constante. Cette quantité est appelée énergie mécanique, E_m.

$$E_m = E_c + E_p$$

N.B: Comme le travail est une quantité proportionnelle à une longueur. On ne peut pas écrire $W_{A\to B} = W(A) - W(B)$, car *W* n'est pas une fonction, elle n'est pas définie en un point.

- ***Forces non conservatives***

Lorsqu’on écrit $W = \Delta E_c$, il s'agit de toutes les forces agissant sur l'objet, c.à.d. des forces conservatives et des forces non conservatives. Entre deux instants t_o et t_f, l’énergie mécanique ne se conserve pas. Une partie de l’énergie est donnée à l’extérieur sous forme de chaleur, à cause des frottements. Il en résulte que l’énergie mécanique finale est inférieure à l’énergie mécanique initiale.

à $t = t_i$, $E_m^i = E_p^i + E_c^i$

à $t = t_f$, $E_m^f = E_p^f + E_c^f$

La variation d’énergie mécanique est :

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = \underbrace{\left(\sum W_{FC} + \sum W_{FNC}\right)}_{\Delta E_c} + \Delta E_p$$

où W_{FC} et W_{FNC} représentent les travaux des forces conservatives et non conservatives respectivement.

Par la suite:

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = \underbrace{\sum W_{FC} + \Delta E_p}_{0} + \sum W_{FNC}$$

$$\Delta E_m = \sum W_{FNC}$$

La variation d’énergie mécanique est égale à la somme des travaux de toutes les forces non conservatives.