VI. Travail, énergie, principes de conservation

Prof. Cécile Hébert

28 octobre 2021

Plan du cours

Table des matières

VI - 1 Travail d’une force, puissance

Définitions

Exemple 1 : travail du poids dans un tir balistique

Exemple 2 : travail de la force de frottements

Par définition, la puissance est la variation du travail W par unité de temps.

La puissance P est $P = \frac{\delta W}{\mathrm{d}t}$.

Résumé

Le travail d’une force pour un déplacement infinitésimal $\mathrm{d}\vec{r}$ est

$$\delta W^{\vec{F}} = \vec{F}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

Donc pour un déplacement de A à B, le travail est

$$W_{AB}^{\vec{F}} = \int_A^B \delta W^{\vec{F}} = \int_A^B \vec{F}(\vec{r}) \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

Travail en Joules [J] ; 1 J = 1 N·m = 1 kg·m^2·s^{-2}

La puissance P est $P = \frac{\delta W}{\mathrm{d}t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$.

La puissance est en Watt [W] ; 1W= 1J·s^{-1}

Puissance : ordre de grandeurs.

5-10 W : Ampoule basse consommation
20-40 W : Puissance consommée par le cerveau humain
100 W : Puissance consommée par le corps humain au repos
300-400W : Un PC
736W : Un cheval-vapeur
900 W : la puissance de sortie d’un humain en bonne santé (non-athlétique) sur les 6 premières secondes d’un sprint de 30 secondes

1 kW à 2 kW : puissance d’une bouilloire électrique domestique
12 kW : La puissance du flash d’un appareil photo amateur (12 joules délivrés en 1 milliseconde)
40 kW à 200 kW : intervalle de puissance de sortie approximative des automobiles

3 MW : puissance de sortie mécanique d’une locomotive diesel
290 MW : Puissance de l’usine de Fionnay (Gde Dixence)

2 GW : puissance du complexe hydro-electrique Cleuson-Dixence
18,2 GW : la puissance électrique générée du barrage des Trois Gorges en Chine

12 TW : la puissance moyenne de la consommation énergétique mondiale
50 à 200 TW : dégagement d’énergie d’un cyclone tropical

174 PW : Puissance du soleil reçue par la Terre

VI - 2 Energie cinétique

D’où sort la notion d’énergie cinétique ?

Mouvement curviligne sous l’action d’une force totale $\vec{F}_{\text{tot}}$:

VI - 2 Energie cinétique

Résumé

Par définition, l'énergie cinétique est :

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

Si l'objet est soumis à plusieurs forces $\vec{F}_i$ entre A et B, $\vec{F}^{\text{tot}} = \sum \vec{F}_i$

$$W_{AB}^{\text{tot}} = \sum W^{\vec{F}_i} = E_{c,B} - E_{c,A}$$

Exemple

Vitesse au sol acquise par un objet lâché d’une hauteur *h* avec une vitesse nulle

VI - 3 Energie potentielle et énergie mécanique

Exemple du travail du poids :

Par définition, l'énergie potentielle $E_p^{\vec{F}}(x, y, z)$ est une fonction des coordonnées d'espace (x, y, z) qui est associée à la force considérée $\vec{F}$, a la dimension d'une énergie et est telle que

$$W_{AB}^{\vec{F}} = E_{p,A}^{\vec{F}} - E_{p,B}^{\vec{F}}$$

Énergie potentielle dans le champ de pesanteur terrestre :

Énergie potentielle d’un ressort :

Energie mécanique

On définit l'énergie mécanique E_m par

$$E_m = E_p + E_c$$

Frottements :

Récapitulatif :

Pour certaines forces, on peut trouver la fonction énergie potentielle telle que $W_{AB}^{\vec{F}} = E_{p,A} - E_{p,B}$. Ces forces sont dites "conservatives" car elles conservent l'énergie mécanique.

Si plusieurs forces conservatives entrent en jeu $E_p^{\text{tot}} = \sum E_p^i$

S'il y a plusieurs forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, ...

$$W_{AB}^{\text{tot}} = W_{AB}^{\vec{F}_1} + W_{AB}^{\vec{F}_2} + ... = E_{c,B} - E_{c,A}$$

Pour les $\vec{F}_i$ conservatives $W_{AB}^{\vec{F}_i} = E_{p,A}^i - E_{p,B}^i$

Pour les $\vec{F}_j$ non conservatives $W_{AB}^{\vec{F}_j} = \int_A^B \vec{F}_j \cdot d\vec{r}$

Énergie potentielle dans le champ de pesanteur terrestre :

$$mgz$$

Énergie potentielle d’un ressort :

$$\frac{1}{2}kx^2$$

L’énergie potentielle est définie à une constante près (l’endroit où on prend le référence). Ça n’est pas un problème car seule la différence d’énergie potentielle a un sens physique.

VI - 4 Lien entre force et énergie potentielle

Cas à une dimension selon (Ox), pour une force conservative :

Cas à 3 dimensions : $E_p(x, y, z)$.

$$\vec{F} = \left| \begin{array}{l} -\dfrac{\partial E_p}{\partial x} \\ -\dfrac{\partial E_p}{\partial y} \\ -\dfrac{\partial E_p}{\partial z} \end{array} \right. = -\vec{\nabla} E_p$$

Surfaces équipotentielles :

Une force est conservative si et seulement si :

Il existe une *fonction* $E_p(x, y, z)$ telle que $W_{AB}^{\vec{F}} = E_p(A) - E_p(B)$

ou

Il existe une *fonction* $E_p(x, y, z)$ telle que $\vec{F} = -\vec{\nabla} E_p$

ou

Le travail de $\vec{F}$ ne dépend pas du chemin suivi

ou

Le travail de $\vec{F}$ est nul sur tout chemin fermé

ou

$\vec{\nabla} \wedge \vec{F} = \vec{0}$

VI - 5 Energie potentielle et équilibre

Si à la position x_0 $\frac{\mathrm{d}E_p}{\mathrm{d}x}(x_0) = 0$, alors $F(x_0) = 0$.

Pas de force appliquée sur l'objet. Si l'objet est immobile en x_0, il y reste. C'est une position d'équilibre.