

LE TRAVAIL : UN MODE DE TRANSFERT D'ÉNERGIE

Commençons ce chapitre par étudier la relation qu'il y a entre le travail des forces extérieures qui s'exercent sur un solide et une forme d'énergie : l'énergie cinétique qui dépend de la vitesse acquise par ce solide.

I- TRAVAIL ET ÉNERGIE CINÉTIQUE

1- Etude expérimentale de la chute libre d'un corps

TP : Vitesse et travail au cours d'une chute libre sans vitesse initiale

Dans le bilan du TP, on a établi la relation entre le travail du poids et la vitesse du centre d'inertie du solide entre deux positions A et B :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \frac{1}{2}m \cdot v_G^2(B) - \frac{1}{2}m \cdot v_G^2(A)$$

Cette relation fait apparaître la grandeur $\frac{1}{2}m \cdot v_G^2$ qui s'exprime en Joule et qui est appelée énergie cinétique.

Donnons la définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation.

2- Définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation

L'énergie cinétique E_c d'un solide de masse m , animé d'un mouvement de translation dans un référentiel où la vitesse de son centre d'inertie G est v_G , a pour expression :

$$E_c = \frac{1}{2}m \cdot v_G^2$$

E_c : énergie cinétique du solide (J)

m : masse du solide (kg)

v_G : vitesse du centre d'inertie du solide ($m \cdot s^{-1}$)

Remarque : Comme la vitesse, l'énergie cinétique d'un solide dépend du référentiel d'étude.

Quand un solide, animé d'un mouvement de translation, n'est soumis qu'à son poids, on a la relation suivante :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \frac{1}{2}m \cdot v_G^2(B) - \frac{1}{2}m \cdot v_G^2(A)$$

$$W_{AB}(\vec{P}) = E_c(B) - E_c(A) = \Delta E_c$$

Généralisons cette relation au cas d'un solide, animé d'un mouvement de translation, soumis à diverses forces extérieures. On a :

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

Cette relation relie la variation de l'énergie cinétique d'un solide aux travaux de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Cette relation est connue sous le nom de : Théorème de l'énergie cinétique.

3- Enoncé du théorème de l'énergie cinétique pour un solide en translation

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide de masse m animé d'un mouvement de translation entre deux positions A et B est égale à la somme des travaux de toutes les forces extérieures qui s'appliquent sur ce solide lors du déplacement entre A et B :

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

Remarque 1 :

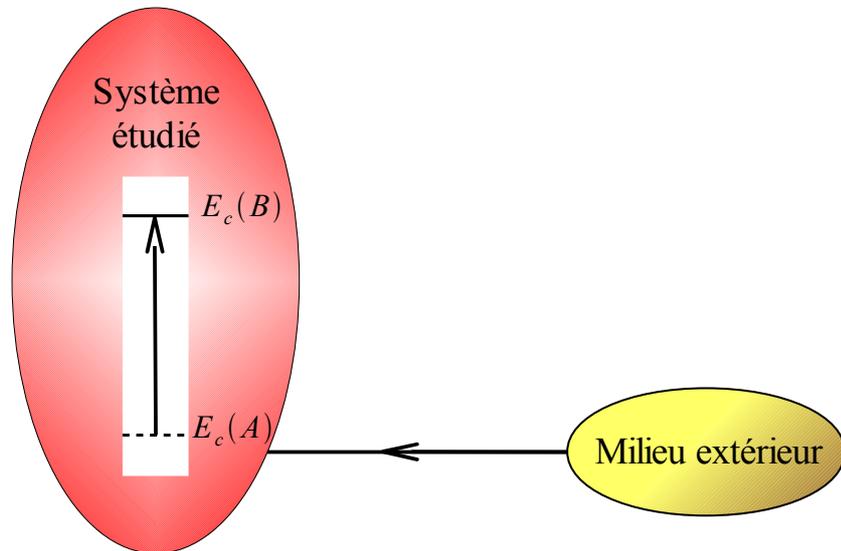
- Si $W_{AB}(\vec{F}_{ext}) > 0$ alors $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) > 0$ et donc $E_c(B) > E_c(A)$: l'énergie cinétique du solide augmente puisque le travail est moteur.
- Si $W_{AB}(\vec{F}_{ext}) < 0$ alors $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) < 0$ et donc $E_c(B) < E_c(A)$: l'énergie cinétique du solide diminue puisque le travail est résistant.

⇒ Le travail des forces extérieures permet d'augmenter ou de diminuer l'énergie du système. C'est un mode de transfert d'énergie entre le système et le milieu extérieur : il permet à un système d'échanger de l'énergie avec le milieu extérieur.

Pour représenter les échanges d'énergie d'un système avec le milieu extérieur, on utilise un diagramme d'énergie :

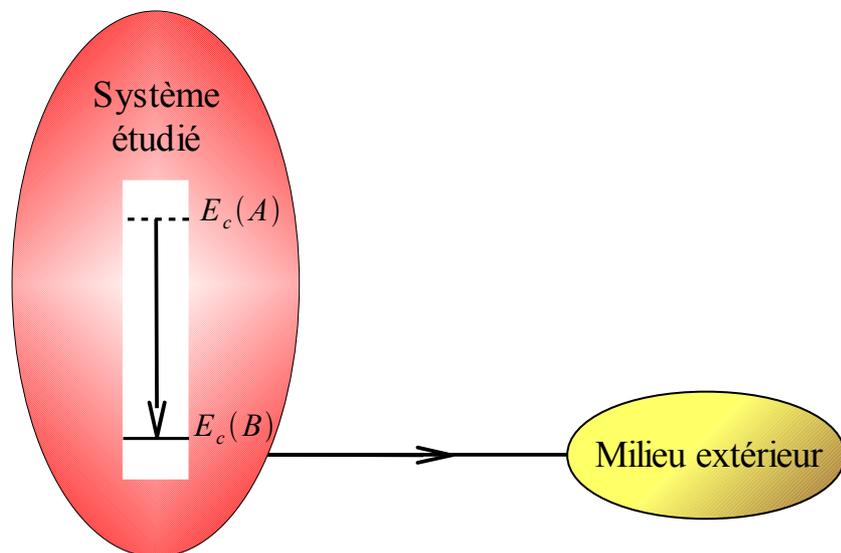
$$W_{AB}(\vec{F}_{ext}) > 0$$

Le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur



$$W_{AB}(\vec{F}_{ext}) < 0$$

Le système donne de l'énergie au milieu extérieur



Remarque 2 :

Si $W_{AB}(\vec{F}_{ext}) = 0$ alors $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = 0$ et donc

$E_c(B) = E_c(A)$: l'énergie cinétique du solide reste constante :

- *soit parce que $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ (1^{ère} loi de Newton),*
- *soit parce que $\Sigma \vec{F}_{ext} \perp \vec{AB}$ (exemple : satellite en orbite autour de la terre)*

Passons à l'étude d'une forme d'énergie liée à l'altitude du centre de gravité du système. C'est l'énergie potentielle de pesanteur.

II- TRAVAIL ET ÉNERGIE POTENTIELLE DE PESANTEUR

Afin d'établir son expression, réalisons l'activité de découverte sur l'énergie potentielle de pesanteur.

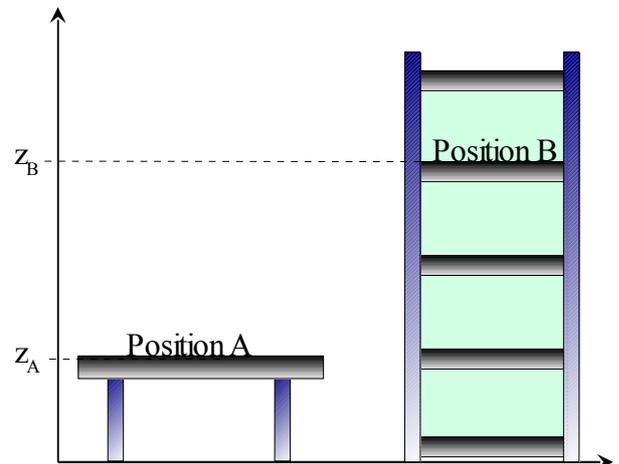
1- Notion et expression de l'énergie potentielle de pesanteur

ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE SUR L'ÉNERGIE POTENTIELLE DE PESANTEUR

Un livre, de masse m , est posé sur une table. Une personne le déplace pour le poser sur une étagère.

On définit les paramètres suivants :

- ✓ z_A : altitude du centre de gravité du livre lorsqu'il est posé sur la table,
- ✓ z_B : altitude du centre de gravité du livre lorsqu'il est posé sur l'étagère,
- ✓ $v_G(A)$: vitesse du centre de gravité du livre lorsqu'il est posé sur la table,
- ✓ $v_G(B)$: vitesse du centre de gravité du livre lorsqu'il est posé sur l'étagère,
- ✓ F : force exercée par la personne sur le livre,
- ✓ E_{PP} : Energie potentielle de pesanteur.



- a) Effectuer un bilan des forces extérieures qui s'exercent sur le livre lorsqu'il passe de la position A à la position B.

Système d'étude : le livre

Référentiel d'étude : terrestre supposé galiléen

Forces extérieures :

- *Poids du livre P*
- *Force exercée par la personne F*

- b) Donner les valeurs de $v_G(A)$ et de $v_G(B)$ dans le référentiel terrestre.

$$v_G(A) = 0 \text{ m.s}^{-1} \quad v_G(B) = 0 \text{ m.s}^{-1}$$

- c) Etablir l'expression de la variation de l'énergie cinétique et donner sa valeur.

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \frac{1}{2} m \cdot v_G^2(B) - \frac{1}{2} m \cdot v_G^2(A) = 0 \text{ J}$$

- d) Etablir l'expression du travail du poids : $W_{AB}(P)$.

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = m g (z_A - z_B) = -m g (z_B - z_A) \text{ travail résistant}$$

- e) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au livre entre les positions A et B, donner l'expression du travail de la force F : $W_{AB}(F)$.

Dans le référentiel d'étude, appliquons, au livre, le théorème de l'énergie cinétique entre les positions A et B :

$$\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_{ext}) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{F}) = 0 \text{ donc}$$

$$W_{AB}(\vec{F}) = -W_{AB}(\vec{P}) = m g (z_B - z_A) \text{ travail moteur}$$

- f) On associe au travail de la force F , un accroissement d'une nouvelle forme d'énergie, appelée énergie potentielle de pesanteur. Donner la relation entre $W_{AB}(F)$ et ΔE_{pp} .

$$W_{AB}(\vec{F}) = \Delta E_{pp}$$

- g) Donner la relation entre $W_{AB}(P)$ et ΔE_{pp} .

La variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide, en interaction avec la Terre, au cours d'un déplacement amenant son centre de gravité d'un point A d'altitude z_A au point B d'altitude z_B est égale à l'opposé du travail du poids au cours de ce déplacement :

$$\Delta E_{pp} = -W_{AB}(\vec{P})$$

- h) Donner l'expression de $E_{pp}(A)$ en fonction de z_A et l'expression de $E_{pp}(B)$ en fonction de z_B .

De $\Delta E_{pp} = -W_{AB}(\vec{P})$, on tire

$$E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg(z_B - z_A) = mgz_B - mgz_A$$

On pose donc $E_{pp}(A) = mgz_A$ et $E_{pp}(B) = mgz_B$

- i) Généraliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.

Tout solide de masse m , en interaction avec la Terre, dont le centre de gravité est situé à une altitude z_G par rapport au sol possède de l'énergie potentielle de pesanteur.

L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} de ce solide est donnée par la relation suivante :

$$E_{pp} = mgz_G$$

E_{pp} : énergie potentielle de pesanteur (J)

m : masse du solide (kg)

g : intensité de pesanteur ($N \cdot kg^{-1}$)

z_G : altitude du centre de gravité G repérée sur un axe vertical orienté vers le haut (m)

L'énergie potentielle de pesanteur est calculée par rapport au niveau du sol c'est-à-dire on choisit $E_{pp} = 0$ J lorsque $z = 0$ m.

2- Transferts d'énergie dans le cas d'une chute libre

IP : Etude énergétique d'une chute libre avec vitesse initiale

Passons à l'étude d'une nouvelle forme d'énergie appelée énergie interne.

III- TRAVAIL ET ÉNERGIE INTERNE

Nous avons vu dans le chapitre : « Travail d'une force constante », qu'une force dont le point d'application se déplace et qui permet de modifier la vitesse ou l'altitude d'un système, travaille.

Ce qui fait que le travail d'une force peut faire varier la vitesse du système ou/et faire varier l'altitude du système. Donc le travail d'une force peut faire varier l'énergie cinétique ou/et faire varier l'énergie potentielle de pesanteur du système.

Voyons quels sont les autres effets du travail d'une force sur un système.

ACTIVITÉ : LES AUTRES EFFETS DU TRAVAIL D'UNE FORCE ; NOTION D'ÉNERGIE INTERNE

Introduction :

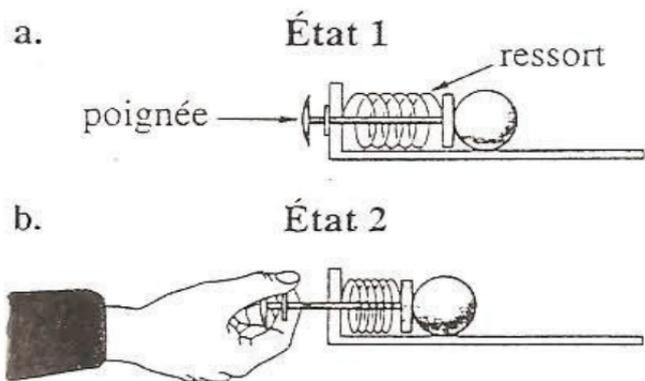
Le travail d'une force, exercée sur un système, peut faire varier la vitesse de celui-ci ou / et peut faire varier l'altitude de celui-ci. **Donc le travail d'une force, exercée sur un système, peut faire varier l'énergie cinétique de celui-ci ou / et faire varier l'énergie potentielle de pesanteur de celui-ci.**

1. Etude du lancer d'une boule de flipper

Le lanceur est constitué d'une pièce métallique, sur laquelle s'appuie la boule, et d'un ressort.

Le ressort a initialement sa longueur naturelle, il n'est ni comprimé, ni allongé (Etat 1).

Le joueur tire sur la poignée et comprime le ressort (Etat 2).



Questions :

a) La force, exercée par le joueur sur la poignée, travaille-t-elle ?

Oui car le point d'application de cette force se déplace et elle déforme le ressort.

b) Que transfère le travail de cette force au ressort ?

Le travail de cette force transfère de l'énergie au ressort. Le ressort emmagasine de l'énergie élastique.

c) Que se passe-t-il lorsque le ressort libère cette énergie emmagasinée ?

Lorsque le ressort libère cette énergie emmagasinée, il revient à son état initial et met en mouvement la bille \Rightarrow il transfère de l'énergie

cinétique à la bille.

Conclusion.

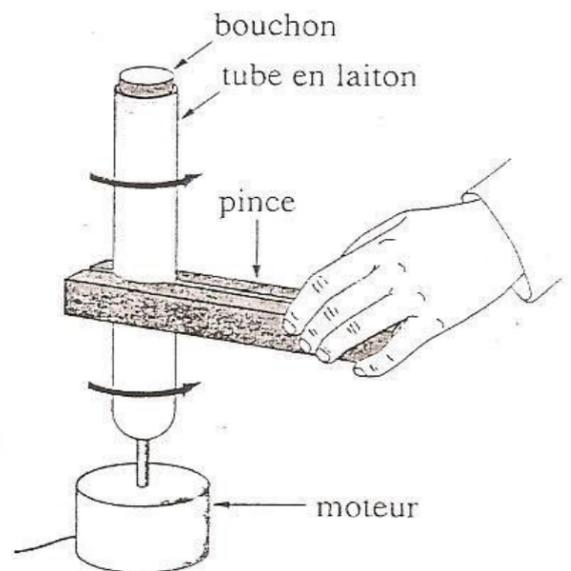
Le travail d'une force peut provoquer la déformation élastique d'un système et lui permettre d'emmagasiner de l'énergie (énergie élastique)

2. Expérience de Tyndall (physicien irlandais 1820 - 1893)

Un tube en laiton, contenant de l'eau à une température de 20°C, est fermé par un bouchon de caoutchouc. Il est mis en rotation par un moteur électrique.

Pendant 1 à 2 minutes, l'expérimentateur serre la pince en bois sur le tube.

On arrête la rotation et on mesure la température de l'eau ; celle-ci s'est élevée jusqu'à la valeur de 40 °C.



Questions :

- a. Les forces de frottement entre la pince et le tube travaillent-elles ?

Oui car le point d'application de celles-ci se déplace et elles permettent une élévation de la température de l'eau.

- b. Que transfère le travail des forces de frottement sur le système {tube + eau} ?

Le travail des forces de frottement transfère de l'énergie au système. Le système emmagasine de l'énergie (énergie thermique)

On reprend l'expérience précédente en plaçant de l'éther dans le tube en laiton. La température initiale de l'éther est de 20°C. On met, à nouveau, le tube en mouvement et on le serre avec une pince. Assez rapidement, le bouchon est projeté et une forte odeur d'éther se répand dans la pièce.

Question :

Le système {éther + tube} a emmagasiné de l'énergie. Que s'est-il passé à l'intérieur du tube ?

L'éther liquide s'est échauffé de 20°C jusqu'à sa température d'ébullition (35°C). A cette température, l'éther passe de l'état liquide à l'état

gazeux. La pression à l'intérieur du tube augmente.

Conclusion.

Le travail d'une force peut provoquer l'augmentation de la température du système, peut modifier l'état physique de celui-ci et lui permettre d'emmagasiner de l'énergie (énergie thermique, énergie cinétique)

3. Notion de l'énergie interne

L'énergie interne d'un système, notée en général U , est l'énergie emmagasinée par ce système autrement que sous forme d'énergie cinétique E_c ou d'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} .

Exemples :

- a. énergie *thermique*
- b. énergie *élastique*
- c. énergie *chimique*
- d. énergie *nucléaire*

Annexe :

- 1- énergie thermique : énergie cinétique microscopique des particules constituant le système,
- 2- énergie élastique : elle a pour origine l'existence des forces d'interaction entre les particules,
- 3- énergie chimique : elle a pour origine l'existence des forces d'interaction entre les atomes à l'intérieur des molécules,
- 4- énergie nucléaire : elle a pour origine l'existence des forces d'interaction entre les nucléons à l'intérieur du noyau.