

Fiche

Dans *La Science et l'Hypothèse* (1902), Henri Poincaré écrit : « Dans ce cas simple (système isolé formé d'un certain nombre de points matériels), l'énoncé du principe de la conservation de l'énergie est d'une extrême simplicité. » Plus loin, pour des systèmes complexes, il ajoute, de manière provocatrice « parmi les fonctions qui demeurent constantes... comment choisir celle qui doit s'appeler l'énergie ? Nous n'avons plus rien qui puisse nous guider dans notre choix. Il ne nous reste plus qu'un énoncé pour le principe de la conservation de l'énergie ». Et, il ajoute un peu plus loin « personne n'ignore que la conservation de l'énergie est un fait expérimental ».

I. Travail d'une force

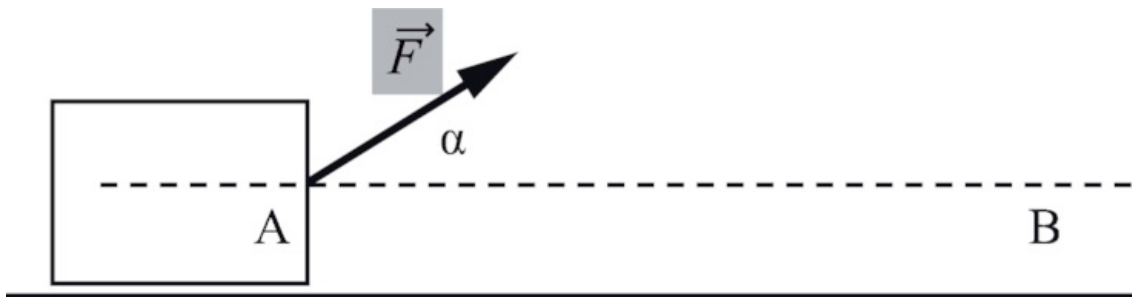
Notion de travail d'une force

- Un solide soumis à une force dont le point d'application se déplace peut :
 - être mis en mouvement (**exemple** : shoot dans un ballon de foot) ;
 - changer d'altitude (**exemple** : bille qui tombe) ;
 - se déformer temporairement ou définitivement (**exemples** : les oscillations d'un ressort ou une voiture lors d'un accident) ;
 - voir sa température s'élever (**exemple** : disques de frein lors d'un freinage).
- Dans tous ces cas, on dit que la force **fournit un travail**.

Travail d'une force constante

- Une force est dite **conservative** si le travail de cette force est **indépendant du chemin suivi**. Si ce n'est pas le cas, elle est alors dite **non conservative**.
- Le travail d'une force constante $W_{AB}(\vec{F})$ est égal au **produit scalaire** de la force \vec{F} par la longueur \vec{AB} :

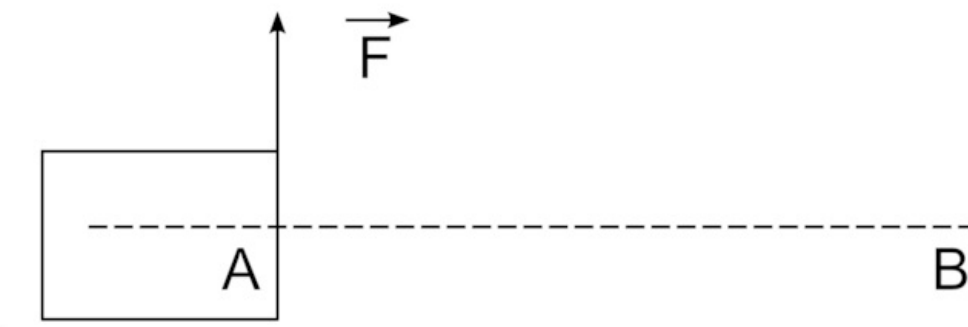
$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(\vec{F}, \vec{AB}).$$



- Le travail peut être négatif (travail **résistant**) ou positif (travail **moteur**).

Différents cas particuliers :

- La force \vec{F} est perpendiculaire au déplacement :



$$W_{AB}(\vec{F}) = 0J$$

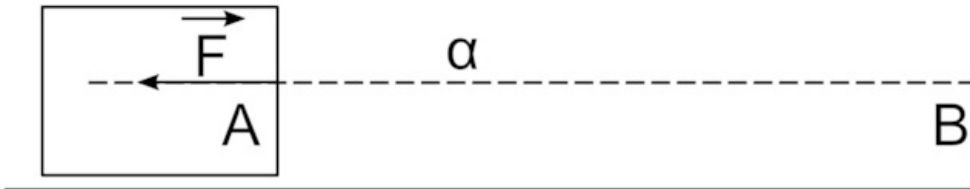
- La force \vec{F} a la même direction et le même sens que le déplacement :

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



Le travail de \vec{F} favorise le déplacement de A vers B, on dit $W_{AB}(\vec{F}) < 0$ que le travail est **moteur**.

- La force \vec{F} a la même direction que le déplacement, mais un sens opposé :



Le travail de \vec{F} ne favorise pas le déplacement de l'objet de A vers B, on dit que le travail est **résistant**.

Travail du poids

- Si l'on reste assez proche de la surface de la Terre, le poids d'un corps peut être considéré comme une force constante. Le travail du poids, au cours d'un déplacement du centre de gravité G, d'une position A vers une position B s'écrit :

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

- Le travail du poids est indépendant du chemin parcouru. C'est une force **conservative**. Il ne dépend que de la différence d'altitude entre les points d'arrivée z_B et de départ z_A de G.
- Le travail du poids est positif si m **descend** (travail moteur) et il est négatif si m **monte** (travail résistant).

Travail d'une force non conservative : travail des forces de frottement au cours d'une trajectoire rectiligne

- Les forces de frottements \vec{f} , supposées constantes, sont en sens opposé du mouvement :

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \cdot AB$$

- Avec AB la longueur du chemin suivi. Ici le travail dépend du chemin suivi entre l'état initial et l'état final. On dit que \vec{f} **n'est pas conservative**. Le travail des forces de frottement est **résistant**.

 Exercice n°1

II. Travail et énergie cinétique

Énergie cinétique

- Un solide de masse m en mouvement **de translation** (tous les points sont animés **du même vecteur vitesse** \vec{v}) à la vitesse v possède l'énergie cinétique :

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

- E_c est en joule (J), m est en kilogramme (kg), v est en mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$).

Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide, entre deux instants $t_{initial}$ (position A) et t_{final} (position B), est égale à la somme des travaux des forces extérieures appliquées au solide entre ces deux instants.

- Pour un solide en translation soumis aux forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$, on peut écrire :

$$\frac{1}{2}m \cdot v_{final}^2 - \frac{1}{2}m \cdot v_{initial}^2 = W(\vec{F}_{ext}) + \dots$$

soit :

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

III. Travail et énergie potentielle de pesanteur

Le travail du poids

- Le travail du poids, au cours d'un déplacement du centre de gravité G, d'une position A vers une position B s'écrit :

$$W_{AB}(\vec{P}) = -m \cdot g \cdot (Z_B - Z_A).$$

- Le poids est une force conservative, on dit qu'il dérive d'une énergie potentielle :

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

en posant : $E_{ppA} = mgz_A + cte$ et $E_{ppB} = mgz_B + cte$.

- Cette constante représente la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur à l'altitude $z = 0$ m. Pour simplifier, on prend par convention $cte = 0$ J pour $z = 0$ m.

- Cette relation signifie que la variation d'énergie potentielle de pesanteur est le travail qu'il faut fournir pour éloigner un corps du centre de la Terre d'un point A à un point B, le corps étant au repos en A et en B.

Énergie potentielle de pesanteur

- On appelle énergie potentielle de pesanteur, notée E_p , la grandeur définie par :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot h$$

où h est l'altitude en m.

IV. Énergie mécanique et frottements

L'énergie mécanique

On définit l'énergie mécanique comme la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle :

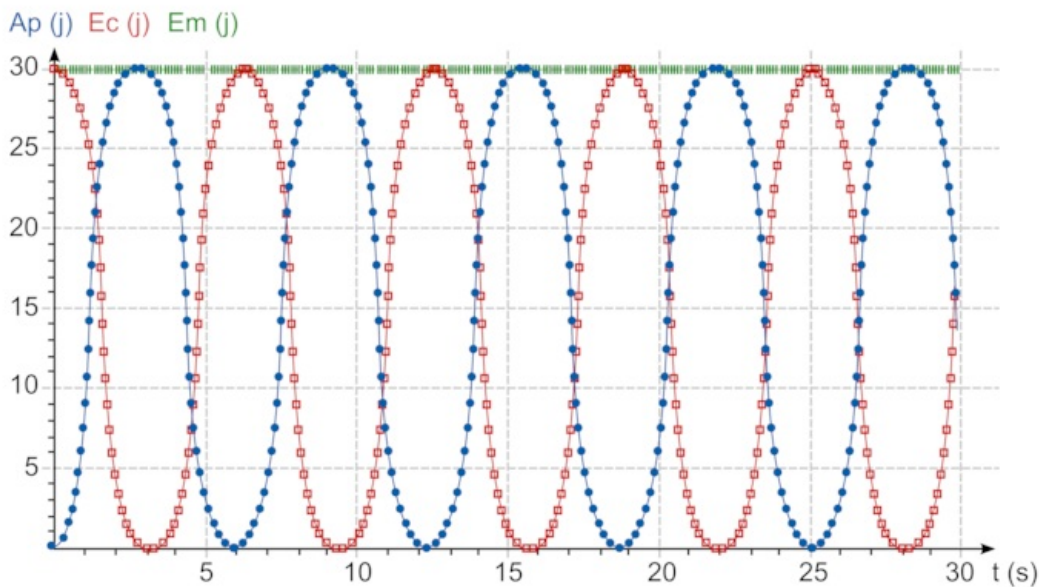
$$E_m = E_c + E_{pp} = m \cdot g \cdot z + \frac{1}{2}m \cdot v^2.$$

Conservation de l'énergie mécanique

- Lorsque le système n'est soumis qu'à des forces conservatives, l'énergie mécanique est constante (se conserve), c'est-à-dire que la variation d'énergie mécanique est nulle. On a alors :

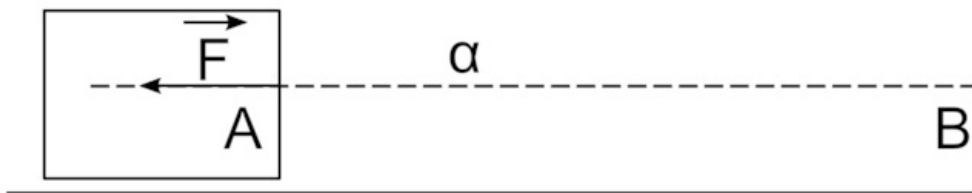
$$\Delta E_m = 0.$$

- **Exemple** : un pendule de masse m est mis en mouvement. On suppose que les forces de frottement sont négligeables. Lorsque l'énergie mécanique se conserve, si l'énergie cinétique augmente, alors l'énergie potentielle diminue. Il y a **transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique ou inversement**.



Non-conservation de l'énergie mécanique

- En revanche, lorsque l'on ne peut plus négliger les forces de frottement, la variation de l'énergie mécanique ΔEm est négative (diminution), de même que la somme des travaux résistants des forces de frottement.
- Exemple : un pendule de masse m est mis en mouvement.



• Dans ce cas précis, l'énergie mécanique ne se conserve plus, elle diminue au cours du mouvement : l'échange entre l'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie cinétique n'est plus réciproque, l'énergie potentielle de pesanteur diminue beaucoup plus vite que l'énergie cinétique n'augmente.

• Par conséquent, lorsque le système est soumis au moins à une force non conservative, **son énergie mécanique ne se conserve pas**, la variation d'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces non conservatives (forces de frottement). On a alors :

$$\Delta Em = \overrightarrow{(f_{non\ conservative})}.$$

[Exercice n°2](#)

[Exercice n°3](#)

[Exercice n°4](#)

À savoir et savoir réaliser :

- Connaître l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
- Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
- Connaître ce qu'est le travail d'une force et l'expression du travail dans le cas d'une force constante.
- Utiliser l'expression du travail $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$ dans le cas de forces constantes.
- Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
- Connaître ce qu'est une force conservative.
- Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre.
- Connaître ce qu'est une force non-conservative.

- Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
- Connaître ce qu'est l'énergie mécanique.
- Identifier des situations de conservation et de non-conservation de l'énergie mécanique.
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc.
- Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives.