

## Chapitre 7

### Énergie potentielle et conservation de l'énergie

#### Objectif particulier 2.4

Employer le principe de la conservation de l'énergie à un corps ou un système masse-ressort soumis à une ou plusieurs forces conservatives ou non-conservatives.

---

#### Énergie potentielle

L'une des formes sous laquelle l'énergie est emmagasinée dans un corps est l'énergie potentielle. L'énergie potentielle est l'énergie emmagasinée en fonction de la position.

Le travail effectué par une force conservative est égal à la variation d'énergie potentielle correspondante changée de signe; soit

$$W_F = - \Delta U_F$$

où  $W_F$  est le travail effectué (par le biais de la force conservative  $F$ ) en joules  
et  $\Delta U_F$  est la variation d'énergie potentielle (associée à la force conservative  $F$ ) en joules.

Si  $\Delta U_F > 0$ , il y a une augmentation d'énergie potentielle.

Si  $\Delta U_F < 0$ , il y a une diminution d'énergie potentielle.

Pour la force gravitationnelle (poids), l'énergie potentielle correspondante est

$$U_g = m g h$$

où  $U_g$  est l'énergie potentielle gravitationnelle en joules,  
 $m$  est la masse en kilogrammes,  
 $g$  est l'accélération de la gravité (9,8 m/s<sup>2</sup>)  
et  $h$  est la hauteur en mètres.

L'énergie potentielle gravitationnelle est l'énergie emmagasinée en fonction de la hauteur d'un corps. Par convention, l'énergie potentielle gravitationnelle est nulle si le corps est au sol ( $h = 0$ ).

Alors le travail effectué par la force gravitationnelle est

$$W_g = - \Delta U_g = - m g \Delta h = - m g ( h_f - h_i )$$

où  $W_g$  est le travail effectué par la gravité en joules,  
 $\Delta U_g$  est la variation de l'énergie potentielle gravitationnelle en joules,  
 $m$  est la masse en kilogrammes,  
 $g$  est l'accélération de la gravité (9,8 m/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta h$  est la variation de la hauteur en mètres  
et  $h_i, h_f$  sont les hauteurs initiale et finale en mètres.

Si  $\Delta h > 0$ , il y a une augmentation de l'énergie potentielle gravitationnelle et le travail de la gravité est négatif car  $\theta = 180^\circ$  entre  $\vec{\mathbf{P}}$  et  $\Delta\vec{\mathbf{h}}$ .

Si  $\Delta h < 0$ , il y a une diminution de l'énergie potentielle gravitationnelle et le travail de la gravité est positif car  $\theta = 0^\circ$  entre  $\vec{\mathbf{P}}$  et  $\Delta\vec{\mathbf{h}}$ .

Cette relation se démontre en calculant le travail effectué par le poids.

Pour la force (élastique) exercée par un ressort, l'énergie correspondante est

$$U_r = \frac{1}{2} k x^2$$

où  $U_r$  est l'énergie potentielle élastique en joules,  
 $k$  est la constante d'élasticité en newtons par mètre  
 et  $x$  est l'allongement en mètres.

L'énergie potentielle élastique est l'énergie emmagasinée par un ressort en fonction de la position de l'extrémité de celui-ci. L'énergie potentielle élastique est nulle si le corps est à la position d'équilibre ( $x=0$ ).

Alors le travail effectué par la force élastique est

$$W_r = -\Delta U_r = -\frac{1}{2} k (x_f^2 - x_i^2)$$

où  $W_r$  est le travail effectué par le ressort en joules,  
 $\Delta U_r$  est la variation de l'énergie potentielle élastique en joules,  
 $k$  est la constante d'élasticité en newtons par mètre  
 et  $x_i, x_f$  sont les allongements initial et final en mètres.

On suppose que la force élastique obéit à la loi de Hooke. La loi de Hooke donne la relation entre l'allongement d'un ressort et la force exercée par celui-ci. Dans ce cas, la force est proportionnelle à l'allongement; soit

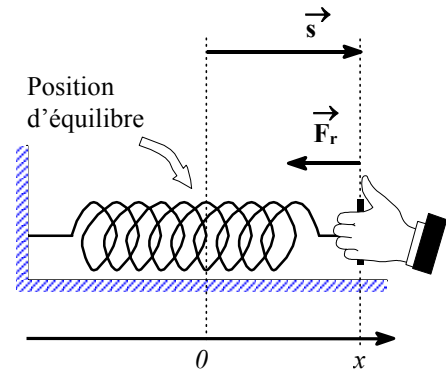
$$F_r = -k x$$

où  $F_r$  est la force exercée par le ressort en newtons,  
 $k$  est la constante d'élasticité en newtons par mètre  
 et  $x$  est l'allongement en mètres.

L'allongement se mesure à partir de la position d'équilibre où se trouve l'extrémité du ressort lorsqu'il n'est pas allongé.

Par convention de signe, l'allongement du ressort est positive lors d'un étirement et négative lors d'un compression.

Si l'allongement est vers la droite, la force exercée par le ressort est vers la gauche. Par convention de signe, la force exercée par le ressort et sont allongement sont de signe contraire.



**Note :** Puisque  $F_r$  et  $x$  sont de signe contraire, la loi de Hooke emploie le signe - (moins).

**1. Une charge de 25 kg est soulevée à une hauteur de 10 m au-dessus du sol.**

- a) Quelle est la force gravitationnelle (poids) exercée sur la charge ?
- b) Quelle est l'énergie potentielle (gravitationnelle) de la charge au sol ?
- c) Quelle est l'énergie potentielle (gravitationnelle) de la charge à la hauteur de 10 m ?
- d) Quel est le travail effectué par la force gravitationnelle lorsque la charge est soulevée à partir du sol jusqu'à la hauteur de 10 m ?

**2. Une masse est fixée à l'extrémité d'un ressort horizontal. Le ressort est comprimé de 5 cm. La constante d'élasticité  $k$  du ressort est de 6 N/m.**

- a) Quelle est la force (élastique) exercée par le ressort ?
- b) Quelle est l'énergie potentielle (élastique) du système masse-ressort à l'équilibre ?
- c) Quelle est l'énergie potentielle (élastique) du système masse-ressort pour une compression de 5 cm ?
- d) Quel est le travail effectué par le ressort lorsque le système masse-ressort est comprimé de 5 cm à partir de la position d'équilibre ?

**Conservation de l'énergie pour un système fermé**

L'énergie mécanique emmagasinée dans un corps est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle du corps. Lors d'un travail effectué par une force gravitationnelle ou par un ressort, on a

$$\begin{cases} W_{NET} = \Delta K \\ W_{NET} = -\Delta U \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta K = -\Delta U \\ \Delta K + \Delta U = 0 \end{cases}$$

- où  $W_{NET}$  est le travail net en joules,
- $\Delta K$  est la variation d'énergie cinétique en joules
- et  $\Delta U$  est la variation d'énergie potentielle en joules.

Qualitativement, l'augmentation de l'énergie cinétique est égale à la diminution de l'énergie potentielle. De plus, on a

$$\begin{cases} E = K + U \\ \Delta K + \Delta U = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (K_f - K_i) + (U_f - U_i) = 0 \\ (K_f + U_f) - (K_i + U_i) = 0 \\ E_f - E_i = 0 \\ \Delta E = 0 \end{cases}$$

- où
- $E$  est l'énergie mécanique en joules,
  - $K$  est l'énergie cinétique en joules,
  - $U$  est l'énergie potentielle en joules,
  - $\Delta K$  est la variation d'énergie cinétique en joules,
  - $\Delta U$  est la variation d'énergie potentielle en joules,
  - $K_i, K_f$  sont les énergies cinétiques initiale et finale en joules,
  - $U_i, U_f$  sont les énergies potentielles initiale et finale en joules
  - $E_i, E_f$  sont les énergies mécaniques initiale et finale en joules
- et  $\Delta E$  est la variation d'énergie mécanique en joules.

L'énergie mécanique d'un corps subissant une force gravitationnelle ou élastique est constante. L'énergie cinétique peut se convertir en énergie potentielle et vice versa. L'énergie mécanique à l'intérieur du système se conserve.

**3. Un corps de 10 kg fait une chute d'une hauteur de 6 m par rapport au sol. La vitesse initiale du corps est nulle.**

- a) Quelle est l'énergie potentielle initiale du corps ?
- b) Quelle est l'énergie potentielle finale du corps juste avant l'impact au sol ?
- c) Quelle est l'énergie cinétique initiale du corps ?
- d) Quelle est l'énergie cinétique finale du corps juste avant l'impact au sol ?

**4. Une masse est fixée à l'extrémité d'un ressort horizontal. Le système masse-ressort est initialement comprimé de 8 cm. La masse fixée au ressort est de 1,5 kg. La constante d'élasticité  $k$  du ressort est de 4 N/m. Un crochet retient le système masse-ressort comprimé.**

- a) Quelle est l'énergie potentielle initiale du système masse-ressort ?
- b) Quelle est l'énergie cinétique de la masse à la position d'équilibre si le crochet est retiré ?
- c) Quelle est l'énergie mécanique du système masse-ressort ?
- d) Quelle est la vitesse de la masse à la position d'équilibre si le crochet est retiré ?

**5. Une bille d'acier est placée sur une rampe inclinée à 20° par rapport à l'horizontale. Le déplacement sur la rampe est de 50 cm. La vitesse initiale de la bille est nulle. Il y a un ressort horizontal au bas de la rampe, au niveau du sol, sur lequel la bille ira se frapper. La masse de la bille est de 50 g. La constante d'élasticité  $k$  du ressort est de 10 N/m.**

- a) Quelle est l'énergie potentielle initiale de la bille en haut de la rampe ?

- b) Quelle est l'énergie cinétique de la bille au bas de la rampe avant de frapper le ressort ?
- c) Quelle est la vitesse de la bille au bas de la rampe avant de frapper le ressort ?
- d) Quelle est le déplacement de l'extrémité du ressort lorsque la bille s'immobilise sur le ressort ?
- 6. Un chariot roule à grande vitesse dans les montagnes russes d'un parc d'amusement. La masse du chariot (avec ses occupants) est de 765 kg. La vitesse du chariot au sommet d'une pente est de 19 m/s et elle atteint 30 m/s dans le creux de la pente.**
- a) Quelle est la variation d'énergie potentielle du chariot ?
- b) Quelle est la hauteur de la montagne par rapport au creux ?
- 7. Un fusil à ressort est utilisé pour projeter horizontalement une bille de 75 g à une vitesse de 0,65 m/s. Le ressort du fusil est à nouveau comprimé de la même distance pour projeter horizontalement d'autres billes.**
- a) À quelle vitesse sera projetée une deuxième bille de 40 g dans les mêmes conditions ?
- b) Quelle est la masse d'une troisième bille si elle est projetée à la vitesse de 0,6 m/s dans les mêmes conditions ?
- 8. Une charge est suspendue à l'extrémité d'un ressort vertical. La masse de la charge est de 0,3 kg. La constante d'élasticité  $k$  du ressort est de 40 N/m.**
- a) Quelle est l'allongement du ressort lorsque la charge est au repos à l'extrémité du ressort ?

**Note :** La position de la charge suspendue lorsqu'elle est au repos à l'extrémité du ressort est la nouvelle position d'équilibre du système masse-ressort.

- b) Quelle est la variation d'énergie potentielle élastique lorsque le ressort s'allonge de la position d'équilibre sans la charge à la position d'équilibre avec la charge ?
- c) Quelle est la variation d'énergie potentielle gravitationnelle lorsque le ressort s'allonge de la position d'équilibre sans la charge à la position d'équilibre avec la charge ?
- d) Quelle est l'énergie cinétique à la position d'équilibre avec la charge si on laisse tomber la charge suspendue au ressort à partir de la position d'équilibre sans la charge ?

### Forces conservatives

Les forces gravitationnelles et les forces élastiques sont appelées forces conservatives car le travail, effectué par elles, produit une variation d'énergie potentielle du système.

$$\begin{cases} W_g = -\Delta U_g \\ W_r = -\Delta U_r \end{cases}$$

- où  $W_g$  est le travail effectué par la gravité en joules,  
 $\Delta U_g$  est la variation de l'énergie potentielle gravitationnelle en joules,  
 $W_r$  est le travail effectué par le ressort en joules  
 et  $\Delta U_r$  est la variation de l'énergie potentielle élastique en joules.

Un système dans lequel les forces en présence sont des forces gravitationnelles ou des forces élastiques est appelé système fermé. La conservation de l'énergie pour un système fermé est

$$\Delta K + \Delta U_g + \Delta U_r = 0$$

ou

$$K_i + (U_g)_i + (U_r)_i = K_f + (U_g)_f + (U_r)_f$$

où  $\Delta K$  est la variation d'énergie cinétique en joules,  
 $\Delta U_g$  est la variation de l'énergie potentielle gravitationnelle en joules,  
 $\Delta U_r$  est la variation de l'énergie potentielle élastique en joules,  
 $K_i, K_f$  sont les énergies cinétiques initiale et finale en joules,  
 $(U_g)_i, (U_g)_f$  sont les énergies potentielles gravitationnelles initiale et finale en joules  
 et  $(U_r)_i, (U_r)_f$  sont les énergies potentielles élastiques initiale et finale en joules.

**9. Un corps de 4 kg en chute libre tombe de 1,5 m.**

- a) Quelle est la diminution d'énergie potentielle du corps ?
- b) Quelle est l'augmentation d'énergie cinétique du corps ?

**10. Un ressort comprimé de 4 cm projette horizontalement un corps. La constante d'élasticité du ressort est de 20 N/m.**

- a) Quelle est la diminution d'énergie potentielle du ressort ?
- b) Quelle est l'augmentation d'énergie cinétique du corps ?

**Forces non-conservatives**

Les forces extérieures (exercées par des personnes, des moteurs, des pistons,...) et les forces de frottement sont appelées forces non-conservatives car le travail, effectué par elles, produisent une variation de l'énergie mécanique du système.

Si le travail effectué par une force extérieure est positif, la force extérieure fournit de l'énergie au système. Dans ce cas, on a

$$W_{EXT} = E_{gagnée}$$

où  $W_{EXT}$  est le travail (positif) effectué par les forces extérieures en joules  
 et  $E_{gagnée}$  est l'énergie mécanique gagnée par le biais des forces extérieures en joules.

Le travail effectué par une force de frottement cinétique fait perdre de l'énergie au système. Alors, on a

$$-W_f = E_{perdue}$$

où  $W_f$  est le travail (négatif) effectué par la force de frottement cinétique en joules  
 et  $E_{perdue}$  est l'énergie mécanique perdue par le biais de la force de frottement cinétique en joules.

La variation d'énergie mécanique du système est alors

$$\Delta E = E_{\text{gagnée}} - E_{\text{perdue}}$$

où  $\Delta E$  est la variation d'énergie mécanique en joules,  
 $E_{\text{gagnée}}$  est l'énergie mécanique gagnée par le biais des forces extérieures en joules  
 et  $E_{\text{perdue}}$  est l'énergie mécanique perdue par le biais de la force de frottement cinétique en joules.

### Conservation de l'énergie pour un système ouvert

Un système dans lequel il y a une force extérieure (exercée par un moteur, un piston,...) ou une force de frottement cinétique est appelé système ouvert. La conservation de l'énergie pour un système ouvert est

$$\Delta K + \Delta U_g + \Delta U_r = \Delta E$$

ou

$$K_i + (U_g)_i + (U_r)_i + E_{\text{gagnée}} - E_{\text{perdue}} = K_f + (U_g)_f + (U_r)_f$$

où  $\Delta K$  est la variation d'énergie cinétique en joules,  
 $\Delta U_g$  est la variation de l'énergie potentielle gravitationnelle en joules,  
 $\Delta U_r$  est la variation de l'énergie potentielle élastique en joules.  
 $\Delta E$  est la variation d'énergie mécanique en joules,  
 $K_i, K_f$  sont les énergies cinétiques initiale et finale en joules,  
 $(U_g)_i, (U_g)_f$  sont les énergies potentielles gravitationnelles initiale et finale en joules,  
 $(U_r)_i, (U_r)_f$  sont les énergies potentielles élastiques initiale et finale en joules,  
 $E_{\text{gagnée}}$  est l'énergie mécanique gagnée par le biais des forces extérieures en joules  
 et  $E_{\text{perdue}}$  est l'énergie mécanique perdue par le biais de la force de frottement cinétique en joules.

**11. Un monte-charge soulève une charge de 100 N d'une hauteur de 5 m. La tension dans le câble est de 120 N.**

- Quelle est l'augmentation d'énergie totale de la charge ?
- Quelle est l'augmentation d'énergie potentielle de la charge ?
- Quelle est l'augmentation d'énergie cinétique de la charge ?

**12. Un corps de 0,1 kg glisse sur une surface inclinée à 22° sur une distance de 0,2 m. La force de frottement cinétique est de 0,3 N.**

- Quelle est la diminution d'énergie totale du corps ?
- Quelle est la diminution d'énergie potentielle du corps ?
- Quelle est l'augmentation d'énergie cinétique du corps ?

- 13. Une force extérieure horizontale de 4 N tire un corps sur une distance horizontale de 1,2 m. La force de frottement cinétique est de 1,5 N.**
- a) Quelle est l'énergie du corps gagnée par le biais de la force extérieure ?
  - b) Quelle est l'énergie du corps perdue par le biais de la force de frottement cinétique ?
  - c) Quelle est l'augmentation d'énergie cinétique du corps ?
- 14. Un piston exerce une force extérieure (constante) de 3 N pour comprimer un ressort de la position d'équilibre jusqu'à 5 cm. La constante d'élasticité du ressort vaut 30 N/m. Un corps de 0,6 kg est fixé à l'extrémité libre du ressort. Une force de frottement cinétique de 1,5 N s'oppose au mouvement du piston.**
- a) Quelle est l'énergie totale du système masse-ressort gagnée par le biais de la force extérieure ?
  - b) Quelle est l'énergie totale du système masse-ressort perdue par le biais de la force de frottement cinétique ?
  - c) Quelle est l'augmentation d'énergie potentielle du système masse-ressort ?
  - d) Quelle est l'augmentation d'énergie cinétique de la masse fixée à l'extrémité du ressort ?
- 15. Un corps de 0,1 kg au bas d'un plan incliné à 15° est projeté par un ressort initialement comprimé de 3,5 cm. Le corps se déplace jusqu'à 10 cm vers la haut du plan incliné avant de s'immobiliser. La constante d'élasticité du ressort est de 60 N/m. Une force de frottement s'oppose au mouvement du corps.**
- a) Quelle est la diminution d'énergie potentielle du ressort ?
  - b) Quelle est l'augmentation d'énergie potentielle du corps ?
  - c) Quelle est l'énergie totale du système masse-ressort perdue par le biais de la force de frottement cinétique ?
  - d) Quelle est la grandeur de la force de frottement cinétique ?

### Solutions

1. a) 245 N b) 0 J c) 2 450 J d) -2 450 J
2. a) 0,3 N b) 0 J c) 7,5 mJ d) -7,5 mJ
3. a) 588 J b) 0 J c) 0 J d) 588 J
4. a) 12,8 mJ b) 12,8 mJ c) 12,8 mJ d) 13,1 cm/s
5. a) 83,8 mJ b) 83,8 mJ c) 1,83 m/s d) 12,9 cm
6. a) 206 kJ b) 27,5 m
7. a) 0,89 m/s b) 88 g
8. a) 7,35 cm b) 108 mJ c) -216 mJ d) 108 mJ
9. a) 58,8 J b) 58,8 J
10. a) 0,016 J b) 0,016 J
11. a) 600 J b) 500 J c) 100 J
12. a) 0,060 J b) 0,073 J c) 0,013 J
13. a) 4,8 J b) 1,8 J c) 3,0 J
14. a) 0,150 J b) 0,075 J c) 0,038 J d) 0,037 J
15. a) 0,037 J b) 0,025 J c) 0,012 J d) 0,12 N