QUANTUM

PHYSIQUE

2e cycle du secondaire • 3e année

POUR FAIRE LE POINT

Corrigé

CHENELIÈRE ÉDUCATION

Table des matières

MODULE 5

L'ÉNERGIE ET SES TRANSFORMATIONS

Chapitre 15 Le travail et la puissance mécanique

Manuel, p. 325 à 338

POUR FAIRE LE POINT

Section 15.1 Le travail

Manuel, p. 330

1. $F = 620$ N $\quad \Delta s = 160$ m $\quad \theta = 42°$

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 620 \text{ N} \times 160 \text{ m} \times \cos 42°$

$= 7{,}4 \times 10^4$ J

2. $F = ?\quad \Delta s = 25$ m $\quad \theta = 30° \quad W = 9\,600$ J

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta \Rightarrow$

$$F = \frac{W}{\Delta s \times \cos\theta} = \frac{9\,600 \text{ J}}{25 \text{ m} \times \cos 30°} = 443 \text{ N} = 0{,}44 \text{ kN}$$

3. $F = 640$ N $\quad \Delta s = 24$ m $\quad \theta = ? \quad W = 12\,500$ J

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta \Rightarrow$

$$\cos\theta = \frac{W}{F \times \Delta s} = \frac{12\,500 \text{ J}}{640 \text{ N} \times 24 \text{ m}} = 0{,}81 \Rightarrow \theta = 36°$$

4. $m = 60$ kg $\quad \Delta s = 20$ m $\quad \theta = ? \quad W_g = ?$

La force gravitationnelle s'exerçant sur la femme est:

$F_g = mg = 60 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 588$ N.

Cette force est dirigée vers le bas, tout comme le déplacement, donc $\theta = 0$.

$W_g = F_g \times \Delta s \times \cos\theta = 588 \text{ N} \times 20 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 1{,}2 \times 10^4$ J

5. $F = 5\,000$ N $\quad v = 2$ m/s $\quad \Delta t = 20$ s $\quad W = ?$

La vitesse est constante, donc le mouvement est rectiligne uniforme.

$\Delta s = x_f - x_i = v_i \Delta t = 2 \text{ m/s} \times 20 \text{ s} = 40$ m

On considère que la force exercée est dans le sens du déplacement: $\theta = 0°$.

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 5\,000 \text{ N} \times 40 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 2 \times 10^5$ J

6. $m = 71 \text{ kg} + 179 \text{ kg} = 250$ kg $\quad \Delta s = 58$ m

On considère que le moteur soulève la plate-forme à vitesse constante: la force F exercée vers le haut sur la plate-forme est donc égale en grandeur à la force gravitationnelle.

$F = mg = 250 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 2{,}45 \times 10^3$ N

Cette force est dans le sens du déplacement: $\theta = 0°$.

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 2{,}45 \times 10^3 \text{ N} \times 58 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 1{,}4 \times 10^5$ J

7. $F = 250$ N $\quad \Delta s = 12{,}75$ m $\quad W = ?$

La force exercée par la personne est dans le sens du déplacement: $\theta = 0°$.

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 250 \text{ N} \times 12{,}75 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 3{,}19 \times 10^3$ J

Section 15.2 La puissance mécanique

Manuel, p. 334

1. $W = 6 \times 10^4$ J $\quad \Delta t = 5 \text{ min} = 300$ s $\quad P = ?$

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{6 \times 10^4 \text{ J}}{300 \text{ s}} = 200 \text{ W} = 0{,}2 \text{ kW}$$

2. $W = 7{,}5 \times 10^4$ J $\quad \Delta t = ? \quad P = 2{,}5$ kW

$$P = \frac{W}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{W}{P} = \frac{7{,}5 \times 10^4 \text{ J}}{2{,}5 \times 10^3 \text{ W}} = 30 \frac{\text{J}}{\text{J/s}}$$

$\Delta t = 30$ s

3. $m = 1{,}50$ t $\Delta s = 65$ m $\Delta t = 3{,}50$ min $P = ?$

En supposant que la vitesse d'ascension est constante, la force exercée par la grue est égale en grandeur à la force gravitationnelle :

$F = mg = 1\,500 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 1{,}47 \times 10^4$ N

et cette force est dirigée dans le sens du déplacement : $\theta = 0°$.

Le travail effectué par la grue vaut :

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 1{,}47 \times 10^4 \text{ N} \times 65 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 9{,}6 \times 10^5$ J

et il est effectué en : $\Delta t = 3{,}50 \text{ min} = 210$ s.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{9{,}6 \times 10^5 \text{ J}}{210 \text{ s}} = 4{,}6 \text{ kW}$$

4. $m = 250$ kg $\Delta s = 30$ m $\Delta t = 20$ s $P = ?$

En supposant que la vitesse d'ascension est constante, la force exercée par le moteur est égale en grandeur à la force gravitationnelle :

$F = mg = 250 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 2{,}45 \times 10^3$ N

et on considère que cette force est dirigée dans le sens du déplacement : $\theta = 0°$.

Le travail effectué par le moteur vaut :

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 2{,}45 \times 10^3 \text{ N} \times 30 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 7{,}4 \times 10^4$ J

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{7{,}4 \times 10^4 \text{ J}}{20 \text{ s}} = 3{,}7 \times 10^3 \text{ W} = 3{,}7 \text{ kW}$$

5. $W = 70$ kJ $P = 40$ kW $\Delta t = ?$

$$P = \frac{W}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{W}{P} = \frac{70 \times 10^3 \text{ J}}{40 \times 10^3 \text{ W}} = 1{,}8 \text{ s}$$

6. $m = 1{,}25$ t $\Delta s = 57{,}4$ m $\Delta t = 3{,}5$ s $P = ?$

En supposant que la vitesse d'ascension est constante, la force exercée par la grue est égale en grandeur à la force gravitationnelle :

$F = mg = 1\,250 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 1{,}23 \times 10^4$ N

et cette force est dirigée dans le sens du déplacement : $\theta = 0°$.

Le travail effectué par la grue vaut :

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$W = 1{,}23 \times 10^4 \text{ N} \times 57{,}4 \text{ m} \times \cos 0° = 7{,}0 \times 10^5$ J

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{7{,}0 \times 10^5 \text{ J}}{3{,}5 \text{ s}} = 2{,}0 \times 10^5 \text{ W} = 200 \text{ kW}$$

7. $\Delta s = 92$ m Débit $= 75$ L/s $P = ?$

Élever à vitesse constante un litre d'eau nécessite une force de grandeur égale au poids de ce litre d'eau : $F_{\text{litre}} = mg = 1{,}0 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 9{,}80$ N.

Pour 75 L d'eau, la force à exercer est :

$F = 75 \times F_{\text{litre}} = 75 \times 9{,}80 \text{ N} = 735$ N.

Tout se passe comme si la pompe élevait 75 L d'une hauteur de 92 m chaque seconde. Ainsi, le travail effectué par la pompe en une seconde est :

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 735 \text{ N} \times 92 \text{ m} \times \cos 0°$

$= 6{,}8 \times 10^4$ J

et la puissance nécessaire est :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{6{,}8 \times 10^4 \text{ J}}{1{,}0 \text{ s}} = 6{,}8 \times 10^4 \text{ W} = 68 \text{ kW}.$$

8. $m = 613$ kg $P = 950$ W $v = ?$

La force nécessaire pour soulever la masse à vitesse constante est :

$F = mg = 613 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 6{,}00 \times 10^3$ N.

On considère que la force exercée par le chariot est dans le sens du déplacement, donc verticale : $\theta = 0°$.

$W = F \times \Delta s \times \cos 0° = F \times \Delta s$

et $P = \dfrac{W}{\Delta t} = \dfrac{F \times \Delta s}{\Delta t}$

Le rapport $\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ correspond à la vitesse. Ainsi,

$P = F \times v \Rightarrow$

$$v = \frac{P}{F} = \frac{950 \text{ W}}{6{,}00 \times 10^3 \text{ N}} = 0{,}158 \frac{\text{kg m}^2 \text{ s}^{-3}}{\text{kg m s}^{-2}} = 0{,}158 \text{ m/s}.$$

Chapitre 15
Le travail et la puissance mécanique

Manuel, p. 338

1. $F = 7{,}50 \times 10^3$ N $\Delta s = 3{,}20$ km $P = 25$ kW $\Delta t = ?$

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 7{,}50 \times 10^3$ N

$\times (3{,}20 \times 10^3 \text{ m}) \times \cos 0° = 2{,}40 \times 10^7$ J

$$P = \frac{W}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{2{,}4 \times 10^7 \text{ J}}{25 \times 10^3 \text{ W}} = 960 \text{ s} = 16 \text{ min}$$

2. Si l'ascenseur monte à vitesse constante, la force à exercer est toujours de grandeur égale à la force gravitationnelle (au cours de la phase d'accélération, la force à exercer est plus grande que mg, au cours de la décélération, la force à exercer est plus petite que mg ; on peut considérer que ces deux phases se compensent).

Le déplacement est identique, que l'ascenseur monte lentement ou vite. Le travail est donc le même dans les deux cas.

Si l'ascenseur monte plus vite, la puissance de son moteur devra toutefois être supérieure, puisque Δt sera plus petit.

3. $F = 5{,}0$ N $\quad m = 6{,}0$ kg $\quad v = 2{,}5$ m/s

La force est parallèle au plancher, tout comme le déplacement : $\theta = 0°$.

a) $\Delta t = 25$ s $\quad W = ?$

Puisque la vitesse est constante :

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta s = v \times \Delta t$$

$$\Delta s = 2{,}5 \text{ m/s} \times 25 \text{ s} = 63 \text{ m}$$

$$W = F \times \Delta s \times \cos \theta$$

$$= 5{,}0 \text{ N} \times 63 \text{ m} \times \cos 0° = 315 \text{ J}.$$

b) $$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{315 \text{ J}}{25 \text{ s}} = 13 \text{ W}$$

c) Puisque la vitesse est constante, la force de frottement est égale en grandeur (mais de sens opposé) à la force motrice. Donc, $F_f = 5{,}0$ N.

4. $m = 1\,300$ kg $\quad \Delta s = 40$ m $\quad \Delta t = 75$ s

a) $W = ?$

En considérant que la montée se fait à vitesse constante, le moteur de l'ascenseur exerce sur la cabine (par l'intermédiaire du câble) une force dirigée vers le haut de grandeur égale à :

$$F = mg = 1\,300 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 = 1{,}27 \times 10^4 \text{ N}.$$

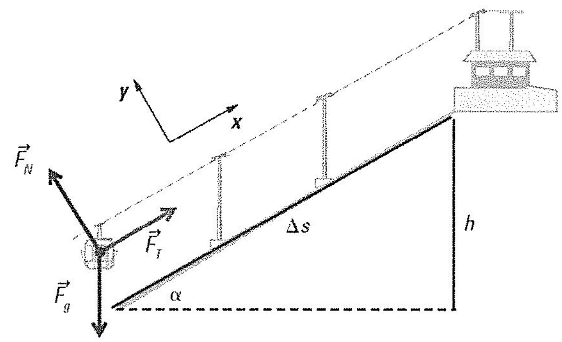
Le travail effectué sur la cabine au cours d'une montée vaut :

$$W = F \times \Delta s \times \cos \theta = (1{,}27 \times 10^4 \text{ N}) \times 40 \text{ m} \times \cos 0° = 5{,}1 \times 10^5 \text{ J}.$$

b) $$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{5{,}1 \times 10^5 \text{ J}}{75 \text{ s}} = 6{,}8 \times 10^3 \text{ W} = 6{,}8 \text{ kW}$$

5. $h = 300$ m $\quad m_{skieur} = 80$ kg $\quad$ Débit = 3 skieurs en 30 s

a) On considère un siège de télésiège tiré sur une distance Δs et une hauteur h par une tension F_T :



Pour éviter toute confusion entre l'angle θ existant entre $\vec{F}_T$ et $\Delta\vec{s}$ et l'inclinaison du plan incliné, on utilise α comme symbole pour cette inclinaison.

Le travail effectué par la tension (donc par le moteur du télésiège) est égal à :

$$W = F_T \times \Delta s \times \cos 0° = F_T \times \frac{h}{\sin \alpha},$$

car $h = \Delta s \times \sin \alpha$.

La force F_T nécessaire est donnée par l'application de la deuxième loi de Newton en x :

$$F_{Rx} = F_T - mg \sin \alpha = ma_x = 0 \Rightarrow F_T = mg \sin \alpha.$$

Ainsi :

$$W = mg \sin \alpha \times \frac{h}{\sin \alpha} = mgh.$$

Le travail ne dépend pas de la pente, uniquement de la dénivellation h.

La puissance dépensée pour monter trois skieurs en 30 secondes est donc de :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t}$$

$$= \frac{(3 \times 80 \text{ kg}) \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 300 \text{ m}}{30 \text{ s}}$$

$$= 2{,}4 \times 10^4 \text{ W}.$$

Bien sûr, le télésiège ne transporte probablement pas trois skieurs au sommet en 30 secondes.

Par exemple, il transporte peut-être 30 skieurs répartis sur 10 sièges, chaque siège mettant 300 secondes à se rendre au sommet. La puissance exigée du moteur du télésiège est alors la même que si un siège montait en 30 secondes.

b) Si le frottement augmente de 25 % la puissance requise, les moteurs doivent fournir une puissance égale à :

$P' = 2{,}4 \times 10^4\ \text{W} + 0{,}25 \times (2{,}4 \times 10^4\ \text{W})$

$= 2{,}4 \times 10^4\ \text{W} + 0{,}6 \times 10^4\ \text{W}$

$= 3{,}0 \times 10^4\ \text{W}.$

6. $F = 60\ \text{N}$ $s = 400\ \text{m}$ $l_{\text{corde}} = 1{,}50\ \text{m}$

$h_{\text{corde}} = 90\ \text{cm} = 0{,}90\ \text{m}$

$\theta = ?$ $W = ?$

$$\sin\theta = \frac{h}{l} = \frac{0{,}90\ \text{m}}{1{,}50\ \text{m}} = 0{,}60 \Rightarrow \theta = 37°$$

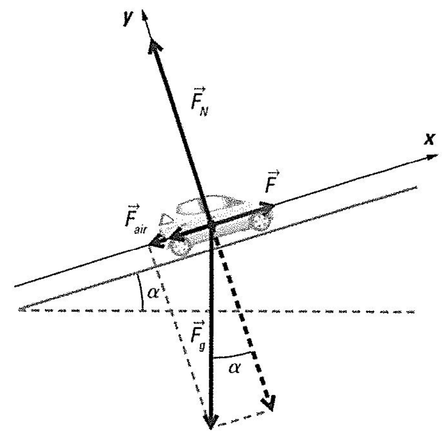
$W = F \times \Delta s \times \cos\theta = 60\ \text{N} \times 400\ \text{m} \times \cos 37°$

$= 1{,}9 \times 10^4\ \text{J}$

7. $m = 2\,000\ \text{kg}$ $v = 90\ \text{km/h} = 25\ \text{m/s}$ $F_{\text{air}} = 450\ \text{N}$

$\alpha = 6°$

a) La figure suivante représente toutes les forces qui s'appliquent sur la voiture. Ces forces sont la force motrice ($\vec{F}$), le poids du véhicule ($\vec{F}_g$), la force normale ($\vec{F}_N$) et la résistance de l'air ($\vec{F}_{\text{air}}$).



b) Pour déterminer la force motrice, il faut appliquer la deuxième loi de Newton, en considérant l'accélération en *x* nulle puisque la vitesse est constante :

$F_{Rx} = F - F_{\text{air}} - mg\sin\alpha = ma_x = 0$

$F = F_{air} + mg\sin\alpha$

$= 450\ \text{N} + 2\,000\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times \sin 6°$

$= 450\ \text{N} + 2\,049\ \text{N} = 2{,}5 \times 10^3\ \text{N}.$

c) Pendant $\Delta t = 5\ \text{min} = 300\ \text{s}$, la voiture a parcouru la distance Δs :

$\Delta s = v \times \Delta t = 25\ \text{m/s} \times 300\ \text{s} = 7{,}5 \times 10^3\ \text{m}.$

La force étant parallèle au déplacement, le travail effectué par le moteur de la voiture est donc :

$W = F \times \Delta s \times \cos\theta$

$= 2{,}5 \times 10^3\ \text{N} \times (7{,}5 \times 10^3\ \text{m}) \times \cos 0°$

$= 19 \times 10^6\ \text{J} = 19\ \text{MJ}$

d) $$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{19 \times 10^6\ \text{J}}{300\ \text{s}} = 63 \times 10^3\ \text{W} = 63\ \text{kW}$$

Chapitre 16 L'énergie mécanique

Manuel, p. 339 à 362

POUR FAIRE LE POINT

Section 16.1 L'énergie cinétique

Manuel, p. 341

1. $$m = 150\ \text{t} \times \frac{1\,000\ \text{kg}}{1\ \text{t}} = 150\,000\ \text{kg}$$

$$v = 850\ \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \times \frac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}} = 236\ \text{m/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(150\,000\ \text{kg})(236\ \text{m/s})^2 = 4{,}18 \times 10^9\ \text{J}$$

2. $m = 9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$ $v = 2 \times 10^6\ \text{m/s}$ $E_c = ?$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times (9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}) \times (2{,}0 \times 10^6\ \text{m/s})^2$$

$= 1{,}8 \times 10^{-18}\ \text{J}$

3. La voiture de 900 kg. Sa masse est deux fois plus petite, mais avec une vitesse deux fois plus grande, le facteur v^2 est quatre fois plus grand que pour l'autre voiture. L'énergie cinétique de la voiture de 900 kg est donc le double de celle de la voiture de 1 800 kg. (Ce raisonnement basé sur l'analyse de l'équation de l'énergie cinétique est confirmé si on calcule les énergies cinétiques : pour la petite voiture, $E_c = 3{,}5 \times 10^5$ J et pour la grosse voiture, $E_c = 1{,}7 \times 10^5$ J.)

4. $m = 200\ \text{g} = 0{,}200\ \text{kg} \quad v = ? \quad E_c = 10{,}0\ \text{J}$

$$E_c = \frac{1}{2}\,mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 10{,}0\ \text{J}}{0{,}200\ \text{kg}}} = 10{,}0\ \text{m/s}$$

5. $m = ? \quad v = 15{,}0\ \text{m/s} \quad E_c = 48{,}4\ \text{J}$

$$E_c = \frac{1}{2}\,mv^2 \Rightarrow m = \frac{2E_c}{v^2} = \frac{2 \times 48{,}4\ \text{J}}{(15{,}0\ \text{m/s})^2} = 0{,}430\ \text{kg}$$

6. $m = 75{,}0\ \text{kg} \quad v_1 = 20{,}0\ \text{m/s} \quad v_2 = ?$ si $E_{c2} = 2E_{c1}$

$$E_{c1} = \frac{1}{2}\,mv_1^2 = \frac{1}{2}\,(75{,}0\ \text{kg})\,(20{,}0\ \text{m/s})^2 = 1{,}50 \times 10^4\ \text{J}$$

$E_{c2} = 2E_{c1} = 3{,}00 \times 10^4$ J,

$$\text{donc } v_2 = \sqrt{\frac{2E_{c2}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times (3{,}00 \times 10^4\ \text{J})}{75{,}0\ \text{kg}}} = 28{,}3\ \text{m/s}$$

7. Diamètre = 1,00 km = 1 000 m

$v = 20{,}0\ \text{km/s} = 2{,}00 \times 10^4\ \text{m/s} \quad E_c = ?$

$$\square = \frac{m}{V} = 3{,}00\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\ \text{kg}}{1\,000\ \text{g}} \times \frac{10^6\ \text{cm}^3}{\text{m}^3} = 3\,000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = \square V = \rho\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right) = 3\,000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{4\pi}{3} \times (500\ \text{m})^3$$

$$= 1{,}57 \times 10^{12}\ \text{kg}$$

$$E_c = \frac{1}{2}\,mv^2 = \frac{1}{2}\,(1{,}57 \times 10^{12}\ \text{kg})\,(2{,}00 \times 10^4\ \text{m/s})^2$$

$$= 3{,}14 \times 10^{20}\ \text{J}$$

Section 16.2 Le théorème de l'énergie cinétique

Manuel, p. 346

1. a) $\theta_{F_g} = 90°,\ W_{F_g} = 0$

b) $\theta_{F_N} = 90°,\ W_{F_N} = 0$

c) $\theta_{F_f} = 180°,\ W_{F_f} < 0$

d) $\theta_{F_T} < 90°,\ W_{F_T} > 0$

2. $F = 20\,000\ \text{N} \quad \Delta s = 1\,000\ \text{m}$

$m_{\text{train}} = 40\ \text{t} + 4 \times 15\ \text{t} = 100\ \text{t} = 1{,}00 \times 10^5\ \text{kg}$

La force motrice est dans le sens du déplacement, donc $\theta = 0°$.

a) $W_F = F \times \Delta s \times \cos\theta = 20\,000\ \text{N} \times 1\,000\ \text{m} \times \cos 0° = 2{,}00 \times 10^7\ \text{J}$

b) Pour $\vec{F}_g$ et $\vec{F}_N$, $\theta = 90° \Rightarrow W_{F_g} = W_{F_N} = 0$

$W_{tot} = W_f + W_{F_g} + W_{F_N} = 2{,}00 \times 10^7\ \text{J} + 0 + 0$
$= 2{,}00 \times 10^7\ \text{J}$

c) $E_{ci} = 0$

$W_{tot} = 2{,}00 \times 10^7\ \text{J} = E_{cf} - E_{ci}$

$$E_{cf} = W_{tot} = 2{,}00 \times 10^7\ \text{J} = \frac{1}{2}\,mv_f^2$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2\,(2{,}00 \times 10^7\ \text{J})}{1{,}00 \times 10^5\ \text{kg}}} = 20{,}0\ \text{m/s}$$

3. $m = 10{,}0\ \text{kg} \quad a = 0{,}250\ \text{m/s}^2 \quad \Delta s = 5\ \text{m}$

a) Il faut déterminer la tension dans la corde, équivalente à la force exercée par l'enfant. Avec un axe des x orienté vers le haut, on a :

$F_R = F_T - F_g = F_T - mg = ma \Rightarrow F_T = m(g + a)$

$F_T = 10{,}0\ \text{kg} \times (9{,}80\ \text{m/s}^2 + 0{,}250\ \text{m/s}^2) = 101\ \text{N}$

$W_{F_T} = F_T \times \Delta s \times \cos\theta_T = 101\ \text{N} \times 5\ \text{m} \times \cos 0°$
$= 505\ \text{J}.$

b) $W_{F_g} = mg \times \Delta s \times \cos \theta_g$
$= 10{,}0 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} \times \cos(180°) = -490 \text{ J}$

c) $W_{tot} = W_{F_T} + W_{F_g} = 505 \text{ J} - 490 \text{ J} = 15 \text{ J}$

d) $v_i = 0$, donc $E_{ci} = 0$

$E_{cf} = W_{tot} = 15 \text{ J} = \frac{1}{2} mv_f^2$, donc

$$v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 15 \text{ J}}{10{,}0 \text{ kg}}} = 1{,}7 \text{ m/s}$$

4. $m = 0{,}170 \text{ kg} \quad v_i = 15{,}0 \text{ m/s} \quad v_f = 0 \quad \Delta s = 38{,}3 \text{ m}$
$F_f = ?$

$E_{ci} = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}170 \text{ kg} \times (15{,}0 \text{ m/s})^2 = 19{,}1 \text{ J}$

$E_{cf} = 0$

$W_{tot} = E_{cf} - E_{ci} = 0 \text{ J} - 19{,}1 \text{ J} = -19{,}1 \text{ J}$

La force de frottement est opposée au déplacement Δs. Les autres forces, $\vec{F}_N$ et $\vec{F}_g$, sont orientées à 90° du déplacement.

$W_{tot} = W_{F_f} + W_{F_N} + W_{F_g}$
$= F_f \times \Delta s \times \cos 180° + 0 + 0$

$$F_f = \frac{W_{tot}}{\Delta s\,(-1)} = \frac{-19{,}1 \text{ J}}{38{,}3 \text{ m} \times (-1)} = 0{,}499 \text{ N}$$

5. $m = 0{,}0200 \text{ kg} \quad v_i = 500 \text{ m/s} \quad v_f = 0 \quad \Delta s = 0{,}100 \text{ m}$

a) $E_{ci} = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}0200 \text{ kg} \times (500 \text{ m/s})^2$
$= 2\,500 \text{ J}$

$E_{cf} = 0$

$\Delta E_c = E_{cf} - E_{ci} = 0 - 2\,500 \text{ J} = -2\,500 \text{ J}$

La balle a perdu 2 500 J d'énergie cinétique.

b) $W_{tot} = E_{cf} - E_{ci} = -2\,500 \text{ J}$

Si la balle arrive horizontalement, la cible exerce une force moyenne F, horizontale, qui ralentit la balle : cette force est opposée au déplacement Δs (à noter que la force exercée par la cible pourrait être qualifiée de force normale ; dans l'équation ci-dessous, la force normale est la force verticale s'opposant au poids et se trouve donc à 90° du déplacement).

$W_{tot} = W_F + W_{F_N} + W_{F_g}$
$= F \times \Delta s \times \cos 180° + 0 + 0$

$$F = \frac{W_{tot}}{\Delta s\,(-1)} = \frac{-2\,500 \text{ J}}{0{,}100 \text{ m} \times (-1)} = 2{,}50 \times 10^4 \text{ N}$$

6. $m = 20{,}0 \text{ kg} \quad v_i = 0 \quad F = 100 \text{ N} \quad \theta = 37{,}0°$
$F_f = 75{,}0 \text{ N} \quad \Delta s = 5{,}00 \text{ m} \quad v_f = ?$

Il faut d'abord déterminer le travail total.

$W_{tot} = W_F + W_{F_g} + W_{F_N} + W_{F_f}$
$= 100 \text{ N} \times 5{,}00 \text{ m} \times \cos 37{,}0° + 0 + 0$
$+ 75{,}0 \text{ N} \times 5{,}00 \text{ m} \times \cos 180° = 24{,}3 \text{ J}$

$W_{tot} = E_{cf} - E_{ci}$, donc $E_{cf} = W_{tot} + E_{ci}$
$= 24{,}3 \text{ J} + 0 \text{ J} = 24{,}3 \text{ J}$

$E_{cf} = \frac{1}{2} mv_f^2$, donc

$$v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 24{,}3 \text{ J}}{20{,}0 \text{ kg}}} = 1{,}56 \text{ m/s}$$

7. $m = 0{,}250 \text{ kg} \quad v_i = 10{,}0 \text{ m/s} \quad v_f = 0 \quad \Delta s = 5{,}10 \text{ m}$

a) $E_{ci} = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}250 \text{ kg} \times (10{,}0 \text{ m/s})^2$
$= 12{,}5 \text{ J}$

$E_{cf} = 0$

$\Delta E_c = E_{cf} - E_{ci} = 0 \text{ J} - 12{,}5 \text{ J} = -12{,}5 \text{ J}$

b) $W_{F_g} = F_g \times \Delta s \times \cos \theta = mg \times \Delta s \times \cos \theta$
$W_{F_g} = 0{,}250 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 5{,}10 \text{ m} \times \cos 180°$
$= -12{,}5 \text{ J}$

Puisque la gravité est la seule force s'exerçant sur la balle (en l'absence de résistance de l'air), W_{F_g} est égal au travail résultant, qui est égal à la variation d'énergie cinétique.

8. A et D.

D'après la deuxième loi de Newton, si la force résultante n'est pas nulle, il y a accélération, et cette accélération est orientée dans le sens de la force résultante. S'il y a accélération dans le sens du déplacement, la vitesse finale est plus grande que la vitesse initiale, donc B est faux et D est vrai. Puisque la variation d'énergie cinétique, ici positive, est égale au travail total, ce dernier est positif et donc l'énoncé E est faux. Enfin, C est faux : on peut penser à un traîneau qu'on tire sur une surface horizontale au moyen d'une corde inclinée par rapport à l'horizontale : aucune des forces (tension, force normale, frottement, poids) ne se trouve dans le sens du déplacement.

9. $m = 60,0 \text{ kg} \quad v_i = 0 \quad E_{ci} = 0$

$$v_f = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1\,000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 27,8 \text{ m/s}$$

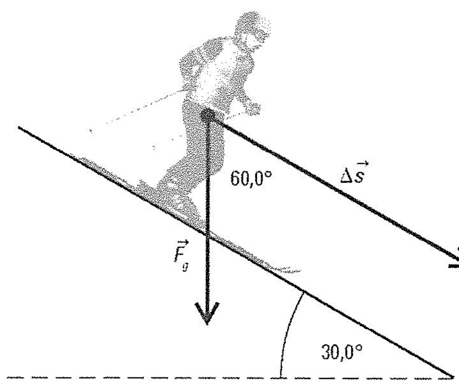
$$E_{cf} = \frac{1}{2} mv_f^2 = \frac{1}{2} (60,0 \text{ kg}) (27,8 \text{ m/s})^2$$

$= 2,32 \times 10^4$ J

$W_{tot} = E_{cf} - E_{ci} = 2,32 \times 10^4 \text{ J} = W_{F_g} + W_{F_N}$

$W_{F_N} = 0$, car $\theta_{F_N} = 90°$, donc

$W_{F_g} = 2,32 \times 10^4 \text{ J} = F_g \times \Delta s \times \cos 60,0°$



$$\Delta s = \frac{W_{F_g}}{mg \cos 60,0°} = \frac{2,32 \times 10^4 \text{ J}}{60,0 \text{ kg} \times 9,80 \text{ m/s}^2 \times \cos 60,0°}$$

$= 78,9$ m

10. $m = 100\,000 \text{ t} \quad v_i = 50,0 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$

$v_f = 0 \quad \Delta s = 4,00 \text{ km} \quad F_f = ?$

$$E_{ci} = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} (1,00 \times 10^8 \text{ kg}) (13,9 \text{ m/s})^2$$

$= 9,66 \times 10^9$ J

$v_f = 0$, donc $E_{cf} = 0$

$W_{tot} = E_{cf} - E_{ci} = -9,66 \times 10^9$ J

$W_{tot} = W_{F_g} + W_{F_N} + W_{F_f} = 0 + 0 + W_{F_f}$

$= F_f \times \Delta s \times \cos 180°$

$$F_f = \frac{W_{F_f}}{\Delta s \times \cos 180°} = \frac{-9,66 \times 10^9 \text{ J}}{4,00 \times 10^3 \text{ m} \times (-1)}$$

$= 2,42 \times 10^6$ N

Section 16.3 L'énergie potentielle gravitationnelle

Manuel, p. 349

1. $m = 60$ kg

Au bas de l'escalier : $h_i = 0$ et $E_{pgi} = 0$

En haut de l'escalier : $h_f = 10 \times 0,200 \text{ m} = 2,00$ m

$E_{pgf} = mgh_f = 60,0 \text{ kg} \times 9,80 \text{ m/s}^2 \times 2,00 \text{ m} = 1\,176$ J

Le gain d'énergie potentielle est :

$\Delta Epg = Epgf - Epgi = 1\,176 - 0 \text{ J} = 1\,176$ J

$= 1,18 \times 10^3$ J.

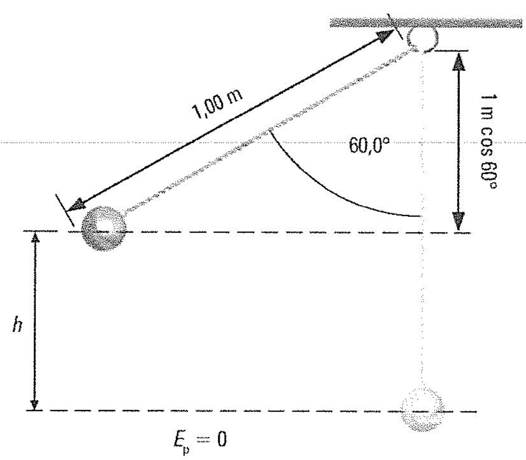
2. $m = 1,00$ kg

On choisit comme niveau de référence le bas de la pente. Alors :

$h = 20,0 \text{ m} \times \sin 12,0° = 4,16$ m

$E_{pg} = mgh = 1,00 \text{ kg} \times 9,80 \text{ m/s}^2 \times 4,16 \text{ m} = 40,8$ J.

3. $m = 2,00 \text{ kg} \quad L = 1,00 \text{ m} \quad \theta = 60,0°$



En choisissant le niveau de référence au point le plus bas où peut passer la masse du pendule si on le relâche, on a :

$h = 1,00 \text{ m} - (1,00 \text{ m} \times \cos 60,0°) = 0,50$ m

$E_{pg} = mgh = 2,00 \text{ kg} \times 9,80 \text{ m/s}^2 \times 0,50 \text{ m} = 9,8$ J.

4. $m = 80$ kg

En choisissant comme niveau de référence le point le plus bas atteint par l'homme, on écrit :

$h_i = 30$ m $\quad h_f = 0$

$E_{pgi} = mgh_i = 80 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 30 \text{ m}$

$= 2{,}4 \times 10^4$ J ou 24 kJ

$E_{pgf} = mgh_f = 0.$

5. Puisque l'énergie potentielle augmente, la personne monte. On peut considérer que le niveau de référence se situe à l'endroit où se trouvait la personne initialement, alors $E_{pgi} = 0$ et

$E_{pgf} = 19\,600 \text{ J} = mgh_f.$

$h_f = 50{,}0 \text{ m} \times \sin 30{,}0° = 25{,}0 \text{ m}$

$$m = \frac{E_{pgf}}{gh_f} = \frac{19\,600 \text{ J}}{9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 25{,}0 \text{ m}} = 80{,}0 \text{ kg}$$

6. $m = 1\,000$ t $\quad E_{pg} = 78{,}0$ GJ $\quad h = ?$

$$E_{pg} = mgh \Rightarrow h = \frac{E_{pg}}{mg} = \frac{78{,}0 \times 10^9 \text{ J}}{1{,}00 \times 10^6 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2}$$

$h = 7{,}96 \times 10^3 \text{ m} = 7{,}96$ km

Section 16.4 La conservation de l'énergie mécanique

Manuel, p. 353

1. D.

L'énoncé B est vrai, car à mi-hauteur, l'énergie potentielle, proportionnelle à h, vaut la moitié de sa valeur maximale. L'énergie potentielle perdue s'est transformée en énergie cinétique. En revanche, l'énoncé D est faux, car la vitesse n'est pas directement proportionnelle à l'énergie cinétique. À l'arrivée au sol, l'énergie cinétique est deux fois plus grande qu'à mi-hauteur. Puisque $v \propto \sqrt{E_c}$, à l'arrivée au sol, la vitesse est 1,41 fois plus grande qu'à mi-hauteur.

2. $m = 1{,}00$ kg

Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : le sol. Ainsi, $h_i = 2{,}00$ m.

a) $Epg_i = mgh_i = 1{,}00 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 2{,}00 \text{ m}$

$= 19{,}6$ J

b) $E_{ci} = 0$, car $v_i = 0$

c) $Epg_f = 0$, car $h_f = 0$

d) $E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$

donc $E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{pgf}$

$= 0 \text{ J} + 19{,}6 \text{ J} - 0 \text{ J} = 19{,}6$ J

e) $E_{cf} = \frac{1}{2} mv_f^2$, donc $v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 19{,}6 \text{ J}}{1{,}00 \text{ kg}}}$

$= 6{,}26$ m/s

3. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : l'eau.

Instant initial : envol du plongeur.

$v_i = 4{,}00$ m/s $\quad h_i = 10{,}0$ m

Instant final : entrée dans l'eau. $v_f = ?$ $\quad h_f = 0$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$$\frac{1}{2} mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2} mv_f^2 + mgh_f$$

En simplifiant l'équation, on obtient :

$v_f^2 = v_i^2 + 2gh_i = (4{,}00 \text{ m/s})^2 + 2 \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 10{,}0 \text{ m}$

$= 212 \text{ m}^2/\text{s}^2$

$v_f = 14{,}6$ m/s.

4. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : la patinoire.

$h_i = 0 \quad v_i = 25{,}0 \text{ m/s} \quad h_f = 12{,}0 \text{ m} \quad v_f = ?$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$$\frac{1}{2} mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2} mv_f^2 + mgh_f$$

En simplifiant l'équation, on obtient :

$v_f^2 = v_i^2 - 2gh_f = (25{,}0 \text{ m/s})^2 - 2 \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 12{,}0 \text{ m}$

$= 390 \text{ m}^2/\text{s}^2$

$v_f = 19{,}7$ m/s.

5. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : le point le plus bas atteint (point B).

$h_A = 10 \text{ m} \quad h_B = 0 \quad h_C = 3 \text{ m} \quad m = 90 \text{ kg} \quad v_A = 0$

a) $E_A = ?$

$$E_A = E_{cA} + E_{pgA} = \frac{1}{2} mv_A^2 + mgh_A$$

$= \frac{1}{2} \times 90 \text{ kg} \times (0)^2 + 90 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m}$

$= 8{,}8 \times 10^3$ J

b) $v_B = ?$

Puisque la pente est glacée, on considère le frottement négligeable et l'énergie mécanique est conservée.

Instant initial : traîneau au point A.

Instant final : traîneau au point B.

$E_A = E_B$

$\Rightarrow E_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B = \frac{1}{2}mv_B^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_B^2$

$v_B^2 = \frac{2E_A}{m} = \frac{2 \times (8{,}8 \times 10^3\ J)}{90\ kg} = 196\ m^2/s^2$

$v_B = 14\ m/s$

c) $v_c = ?$

Instant initial : traîneau au point A.

Instant final : traîneau au point C.

$E_A = E_C \Rightarrow E_A = E_{cC} + E_{pgC} = \frac{1}{2}mv_C^2 + mgh_C$

$E_{pgC} = mgh_C = 90\ kg \times 9{,}80\ m/s^2 \times 3\ m = 2{,}6 \times 10^3\ J$

$E_{cC} = E_A - E_{pgC} = 8{,}8 \times 10^3\ J - 2{,}6 \times 10^3\ J$
$= 6{,}2 \times 10^3\ J$

$E_{cC} = \frac{1}{2}mv_c^2$

$\Rightarrow v_c = \sqrt{\frac{2E_{cC}}{m}}$

$= \sqrt{\frac{2 \times (6{,}2 \times 10^3)\ J}{90\ kg}} = 12\ m/s$

6. $m = 4{,}00\ kg$

Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : le sol.

$h_i = 2{,}00\ m$

$\Rightarrow E_{pgi} = mgh_i = 4{,}00\ kg \times 9{,}80\ m/s^2 \times 2{,}00\ m = 78{,}4\ J$

$v_i = 14{,}0\ m/s$

$\Rightarrow E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 4{,}00\ kg \times (14{,}0\ m/s)^2 = 392\ J$

a) Instant final : quand le poids est au sommet de la trajectoire.

$h_f = 6{,}50\ m$

$E_{pgf} = mgh_f = 4{,}00\ kg \times 9{,}80\ m/s^2 \times 6{,}50\ m = 255\ J$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$

$E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{pgf} = 392\ J + 78{,}4\ J - 255\ J$

$= 215\ J = \frac{1}{2}mv_f^2$

$v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 215\ J}{4{,}00\ kg}} = 10{,}4\ m/s$

b) Instant final : quand le poids arrive au sol.

$h_f = 0 \quad E_{pgf} = mgh_f = 0$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$

$E_{cf} = E_{ci} + E_{pgi} - E_{pgf} = 392\ J + 78{,}4\ J - 0\ J$

$= 470\ J$

$v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 470\ J}{4{,}00\ kg}} = 15{,}3\ m/s$

7. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : le sol.

$h_i = 2{,}20\ m \quad v_i = ? \quad h_f = 3{,}05\ m \quad v_f = 8{,}00\ m/s$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f$

En simplifiant l'équation, on obtient :

$v_i^2 = v_f^2 + 2g(h_f - h_i) = (8{,}00\ m/s)^2$
$+ 2 \times 9{,}80\ m/s^2 \times (3{,}05\ m - 2{,}20\ m) = 80{,}7\ m^2/s^2$

$v_i = 8{,}98\ m/s.$

8. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : le bas de la pente.

$h_i = 2{,}00\ km \times \sin 35° = 1{,}15\ km \quad v_i = 0 \quad h_f = 0$

$v_f = ?$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f$

$v_f^2 = 2gh_i = 2 \times 9{,}80\ m/s^2 \times 1{,}15 \times 10^3\ m$
$= 2{,}25 \times 10^4\ m^2/s^2$

$v_f = 150\ m/s = 540\ km/h$

Dans la réalité, la résistance de l'air et le frottement sur la neige limitent la vitesse atteinte.

9. $m = 200\ \text{g} = 0{,}200\ \text{kg}$

$v_i = 20{,}0\ \text{m/s}$

$E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}200\ \text{kg} \times (20{,}0\ \text{m/s})^2 = 40{,}0\ \text{J}$

Point de référence choisi pour l'énergie potentielle : le sol.

$h_i = 0 \quad E_{pgi} = 0$

a) $E_{cf} = E_{pgf}$, donc $E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} = 2E_{pgf}$

$$E_{pgf} = \frac{E_{ci}}{2} = \frac{40{,}0\ \text{J}}{2} = 20{,}0\ \text{J} = mgh_f$$

$$h_f = \frac{E_{pgf}}{mg} = \frac{20{,}0\ \text{J}}{0{,}200\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2} = 10{,}2\ \text{m}$$

b) $E_{cf} = \frac{E_{pgf}}{4}$, donc $E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} = \frac{5E_{pgf}}{4}$

$$E_{pgf} = \frac{4E_{ci}}{5} = \frac{4 \times 40{,}0\ \text{J}}{5} = 32{,}0\ \text{J} = mgh_f$$

$$h_f = \frac{E_{pgf}}{mg} = \frac{32{,}0\ \text{J}}{0{,}200\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2} = 16{,}3\ \text{m}$$

10. Niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle : le point le plus bas atteint par le pendule.

$v_i = 4{,}00\ \text{m/s} \quad h_i = 0$

$v_f = 0 \quad h_f = ? \quad \theta = ?$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f$$

$$\frac{1}{2}mv_i^2 = mgh_f, \text{ donc } h_f = \frac{v_i^2}{2g} = \frac{(4{,}00\ \text{m/s})^2}{2 \times 9{,}80\ \text{m/s}^2}$$

$= 0{,}816\ \text{m}$

Si le pendule s'immobilise à un angle θ par rapport à la verticale :

$h_f = L - L\cos\theta = L(1 - \cos\theta)$, donc

$$1 - \cos\theta = \frac{h_f}{L} = \frac{0{,}816\ \text{m}}{2{,}00\ \text{m}} = 0{,}408$$

$\cos\theta = 0{,}592$, donc $\theta = 53{,}7°$.

Section 16.5 La conservation de l'énergie totale

Manuel, p. 356

1. *a)* L'énergie cinétique (ou énergie éolienne).
   b) L'énergie rayonnante.
   c) L'énergie potentielle élastique.
   d) L'énergie chimique.

2. Julie utilise de l'énergie chimique pour accélérer et gagner de l'énergie cinétique. À cause du frottement et de la résistance de l'air, l'énergie cinétique se transforme en énergie thermique contenue dans l'air, le vélo et la chaussée.

3. Sur le tremplin, Guillaume possède de l'énergie potentielle gravitationnelle, qui se transforme en énergie cinétique lorsqu'il plonge. À cause de la résistance de l'air et de l'eau, l'énergie cinétique se transforme en énergie thermique contenue dans l'air, l'eau et Guillaume.

4. En énergie rayonnante (lumineuse) et en énergie thermique.

5. $m = 170\ \text{g} = 0{,}170\ \text{kg} \quad v_i = 10\ \text{m/s} \quad v_f = 0$
   $\Delta E_{th} = ?$

   $E_{ci} = \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}170\ \text{kg} \times (10\ \text{m/s})^2 = 8{,}5\ \text{J}$

   $E_{cf} = 0$

   $E_{pgi} = E_{pgf}$

   $E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} + \Delta E_{th} \Rightarrow \Delta E_{th} = E_{ci} = 8{,}50\ \text{J}$

6. $m = 60{,}0\ \text{kg} \quad v_i = 0 \quad v_f = 12{,}0\ \text{m/s} \quad \Delta E_{th} = ?$

   Niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle : le bas de la pente.

   $E_{ci} = 0$

   $E_{pgi} = mgh_i = 60{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 50{,}0\ \text{m} \times \sin 25{,}0°$
   $= 1{,}24 \times 10^4\ \text{J}$

   $E_{cf} = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2} \times 60{,}0\ \text{kg} \times (12{,}0\ \text{m/s})^2 = 4{,}32 \times 10^3\ \text{J}$

   $E_{pgf} = 0$

   $E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} + \Delta E_{th} \Rightarrow$

   $\Delta E_{th} = E_{pgi} - E_{cf} = 12{,}4\ \text{kJ} - 4{,}32\ \text{kJ} = 8{,}1\ \text{kJ}$

Chapitre 16
L'énergie mécanique

Manuel, p. 361 et 362

1. *a)* Énergie potentielle la plus grande : en A ; la plus petite : en D.

b) Énergie cinétique la plus grande : en D (c'est là que le maximum d'énergie potentielle gravitationnelle s'est transformé en énergie cinétique) ; énergie cinétique la plus petite : en A.

c) Égale.

2. *a)* La vitesse à l'arrivée en bas est la même pour les deux billes, car elles ont la même énergie potentielle au départ et donc la même énergie cinétique à l'arrivée.

b) La bille sur la glissière concave accélère davantage au départ. Comme sa vitesse reste toujours supérieure à celle de la bille sur la glissière rectiligne (sauf au moment de l'arrivée en bas), elle arrive en bas la première.

3. $v_i = 30{,}0\ \dfrac{\text{km}}{\text{h}} \times \dfrac{1\,000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \times \dfrac{1\ \text{h}}{3\,600\ \text{s}} = 8{,}33\ \text{m/s}$

Point de référence choisi pour l'énergie potentielle : le sol.

$h_i = 100\ \text{m} \quad v_f = ? \quad h_f = 0$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$\dfrac{1}{2} mv_i^2 + mgh_i = \dfrac{1}{2} mv_f^2 + mgh_f$

$v_f^2 = v_i^2 + 2gh_i = (8{,}33\ \text{m/s})^2 + 2\,(9{,}80\ \text{m/s})^2\,(100\ \text{m})$

$= 2\,029\ \text{m}^2/\text{s}^2$

$v_f = 45{,}0\ \text{m/s}$

4. $m = 500\ \text{g} = 0{,}500\ \text{kg}$

Point de référence choisi pour l'énergie potentielle : le sol.

$h_i = 2{,}00\ \text{m} \quad h_f = 1{,}50\ \text{m}$

$E_{pgi} = mgh_i = 0{,}500\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 2{,}00\ \text{m}$

$= 9{,}80\ \text{J} \quad (E_{ci} = 0)$

$E_{pgf} = mgh_f = 0{,}500\ \text{kg} \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 1{,}50\ \text{m}$

$= 7{,}35\ \text{J} \quad (E_{cf} = 0)$

L'énergie perdue est devenue de l'énergie thermique.

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} + \Delta E_{thf}$

$\Rightarrow \Delta E_{thf} = E_{pgi} - E_{pgf}$

$= 9{,}80\ \text{J} - 7{,}35\ \text{J} = 2{,}45\ \text{J}$

5. Niveau de référence pour l'énergie potentielle : le point le plus bas atteint par la masse.

$h_i = 1{,}00\ \text{m} \quad v_i = 0 \quad h_f = 0 \quad v_f = ?$

$E_{ci} = \dfrac{1}{2} mv_i^2 = 0 \quad E_{pgi} = mgh_i$

$E_{cf} = \dfrac{1}{2} mv_f^2 \qquad E_{pgf} = 0$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \Rightarrow mgh_i = \dfrac{1}{2} mv_f^2$

$v_f^2 = 2gh_i = 2 \times 9{,}80\ \text{m/s}^2 \times 1{,}00\ \text{m} = 19{,}6\ \text{m}^2/\text{s}^2$

$v_f = 4{,}43\ \text{m/s}$

6. La vitesse maximale est atteinte au point le plus bas de la trajectoire, lequel est choisi comme niveau de référence pour l'énergie potentielle. L'homme et la femme atteignent la même hauteur. L'énergie potentielle au début d'une oscillation se transforme entièrement en énergie cinétique au bas de la trajectoire : $mgh_i = \dfrac{1}{2} mv_f^2$. Les masses se simplifient et on constate que l'homme et la femme auront la même vitesse maximale au bas de la trajectoire.

7. $m = 1{,}0\ \text{kg}$

Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle : la surface de l'eau.

$h_i = 0 \quad v_i = 10\ \text{m/s} \quad h_f = ? \quad v_f = 0$

$E_{ci} = \dfrac{1}{2} mv_i^2 = \dfrac{1}{2} \times 1{,}0\ \text{kg} \times (10\ \text{m/s})^2 = 50\ \text{J}$

$E_{pgi} = mgh_i = 0$

$E_{cf} = \dfrac{1}{2} mv_f^2 = 0 \quad E_{pgf} = mgh_f$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \Rightarrow E_{ci} = mgh_f$

$h_f = \dfrac{E_{ci}}{mg} = \dfrac{50\ \text{J}}{1{,}0\ \text{kg} \times 9{,}8\ \text{m/s}^2} = 5{,}1\ \text{m}$

8. $m = 70{,}0\ \text{kg} \quad h = 2\,000\ \text{m}$

a) L'énergie potentielle gagnée vaut

$E_{pg} = mgh = 70{,}0\ \text{kg} \times 9{,}80\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2\,000\ \text{m} = 1\,372\ \text{kJ}$

b) L'énergie chimique dépensée est quatre fois plus grande que l'énergie mécanique produite :

$E_{chim} = 4 \times E_{mécan} = 4 \times E_{pg} = 4 \times 1\,372$ kJ $= 5\,488$ kJ.

La masse de tissu adipeux perdue sera donc de

$$\Delta m = \frac{5\,488 \text{ kJ}}{30 \text{ kJ/g}} = 183 \text{ g.}$$

9. $h_i = 83{,}0$ m Débit $= 35\,000$ L/s $P = ?$

Puisque 1 L d'eau a une masse de 1 kg, la masse d'eau arrivant au pied de la chute en une seconde est $m = 35\,000$ kg.

Si le niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle est au bas de la chute, et en considérant comme négligeable la vitesse de l'eau en haut de la chute, on a :

$E_{ci} \approx 0$

$E_{pgi} = mgh_i = 35\,000 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 83{,}0 \text{ m} = 2{,}85 \times 10^7$ J

$E_{cf} = ?$ $E_{pgf} = 0$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc $E_{cf} = 2{,}85 \times 10^7$ J.

L'eau effectue un travail et met en mouvement des turbines reliées à des génératrices. En supposant que toute l'énergie cinétique de l'eau arrivant en bas de la chute peut être transformée en électricité, la puissance électrique serait :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{2{,}85 \times 10^7 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 2{,}85 \times 10^7 \text{ W} = 28{,}5 \text{ MW.}$$

10. $m = 2{,}0$ kg

Pour la distance $\Delta s = 1{,}0$ m, on a $v_i = 5{,}0$ m/s

$v_f = 3{,}0$ m/s.

Le bloc ralentit et s'arrête à cause du frottement. On applique le théorème de l'énergie cinétique :

$$E_{ci} = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}0 \text{ kg} \times (5{,}0 \text{ m/s})^2 = 25 \text{ J}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2} mv_f^2 = \frac{1}{2} \times 2{,}0 \text{ kg} \times (3{,}0 \text{ m/s})^2 = 9{,}0 \text{ J.}$$

Trois forces sont présentes ($\vec{F}_g$, $\vec{F}_N$ et $\vec{F}_f$), mais seul le frottement effectue un travail, car $\vec{F}_g$ et $\vec{F}_N$ sont perpendiculaires au déplacement $\Delta \vec{s}$.

Ainsi, $W_{tot} = W_{F_f} = F_f \times \Delta s \times \cos 180°$.

$W_{F_f} = E_{cf} - E_{ci} = 9{,}0 \text{ J} - 25 \text{ J} = -16 \text{ J} \Rightarrow$

$$F_f = \frac{W_{F_f}}{\Delta s \cos 180°} = \frac{-16 \text{ J}}{1 \text{ m} \times (-1)} = 16 \text{ N}$$

Une fois la force de frottement connue, on peut déterminer la distance $\Delta s'$ supplémentaire parcourue avant l'arrêt.

$E_{ci} = 9{,}0$ J $E_{cf} = 0$ $W_{Ff} = F_f \times \Delta s' \times \cos 180°$

$W_{Ff} = E_{cf} - E_{ci} = -9{,}0$ J, donc

$$\Delta s' = \frac{W_{F_f}}{F_f \cos 180°} = \frac{-9{,}0 \text{ J}}{16 \text{ N} \times (-1)} = 0{,}56 \text{ m}$$

11. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle gravitationnelle : la section horizontale.

Pour la descente :

$v_i = 4{,}00$ m/s $h_i = 3{,}00$ m

$v_f = ?$ $h_f = 0$

$$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} \Rightarrow \frac{1}{2} mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2} mv_f^2$$

$\Rightarrow v_i^2 + 2gh_i = v_f^2$

$v_f^2 = (4{,}00 \text{ m/s})^2 + 2 \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 3{,}00 \text{ m} = 74{,}8 \text{ m}^2\text{/s}^2$

$v_f = 8{,}65$ m/s

Sur la section horizontale, il n'y a pas de perte de vitesse.

Pour la montée :

$v_i = 8{,}65$ m/s $h_i = 0$

$v_f = 0$ $h_f = ?$

$$\frac{1}{2} mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2} mv_f^2 + mgh_f, \text{ donc } gh_f = \frac{v_i^2}{2}$$

$$h_f = \frac{v_i^2}{2g} = \frac{(8{,}65 \text{ m/s})^2}{2 \times 9{,}80 \text{ m/s}^2} = 3{,}82 \text{ m.}$$

La distance Δs parcourue sur le plan ascendant est donnée par $h_f = \Delta s \times \sin 30°$.

$$\Delta s = \frac{h_f}{\sin 30°} = \frac{3{,}82 \text{ m}}{\sin 30°} = 7{,}64 \text{ m}$$

Ce problème aurait aussi pu être résolu en une seule étape, sans déterminer la vitesse au bas de la descente. L'instant initial est alors celui pour lequel $h_i = 3{,}00$ m, et l'instant final est celui pour lequel $v_f = 0$.

12. $m = 30{,}0$ kg

Niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle : le bas de la glissade.

Pour la descente :

$v_i = 0 \quad E_{ci} = 0$

$h_i = 20{,}0 \text{ m} \times \sin 25{,}0° = 8{,}45 \text{ m}$

$E_{pgi} = mgh_i = 30{,}0 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 8{,}45 \text{ m} = 2\,484 \text{ J}$

$v_f = ? \quad E_{cf} = ?$

$h_f = 0 \quad E_{pgf} = 0$

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc $E_{cf} = E_{pgi} = 2\,484$ J.

Pour la section horizontale, on peut traiter le mouvement à l'aide du théorème de l'énergie cinétique. L'énergie cinétique finale pour la descente devient l'énergie cinétique initiale pour la section horizontale.

$E_{ci} = 2\,484 \text{ J} \quad E_{cf} = 0$

$W_{tot} = W_{F_g} + W_{F_N} + W_{F_f} = 0 + 0 + W_{F_f}$

$= F_f \times \Delta s \times \cos 180° = E_{cf} - E_{ci} = -2\,484 \text{ J}$

$$F_f = \frac{E_{cf} - E_{ci}}{\Delta s \times \cos 180°} = \frac{-2\,484 \text{ J}}{8{,}00 \text{ m} \times (-1)} = 311 \text{ N}$$

13. Niveau de référence choisi pour l'énergie potentielle gravitationnelle : le bas des chutes.

L'énergie potentielle de 1,00 kg d'eau en haut des chutes est :

$E_{ci} \approx 0 \quad E_{cf} \approx 0 \quad E_{pgf} = 0$

$E_{pgi} = mgh_i = 1{,}00 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 52 \text{ m} = 510 \text{ J}$

Cette énergie se transforme en énergie cinétique au cours de la descente, puis en énergie thermique $\Delta E_{th} = Q$ une fois l'eau freinée au bas des chutes.

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf} + \Delta E_{th} \Rightarrow \Delta E_{th} = E_{pgi}$

Pour 1 kg d'eau, $\Delta E_{th} = Q = 510$ J.

$Q = mc\Delta T \Rightarrow$

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{510 \text{ J}}{1{,}00 \text{ kg} \times 4\,186 \dfrac{\text{J}}{\text{kg} \times °\text{C}}} = 0{,}12 \text{ °C}$$

14. $m = 600 \text{ g} = 0{,}600$ kg

Niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle : le point le plus bas atteint par la masse.

Instant initial : quand le fil forme un angle de 30° avec la verticale.

$$E_{ci} = \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}600 \text{ kg} \times (3{,}00 \text{ m/s})^2 = 2{,}70 \text{ J}$$

$h_i = 1{,}20 \text{ m} - 1{,}20 \text{ m} \times \cos 30{,}0° = 0{,}161 \text{ m}$

$E_{pgi} = mgh_i = 0{,}600 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 \times 0{,}161 \text{ m}$

$= 0{,}947$ J

a) Instant final : quand la masse est remontée le plus possible ; alors $v_f = 0$ et $E_{cf} = 0$.

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$2{,}70 \text{ J} + 0{,}947 \text{ J} = 0 + E_{pgf}$

$E_{pgf} = 3{,}65 \text{ J} = mgh_f \Rightarrow$

$$h_f = \frac{E_{pgf}}{mg} = \frac{3{,}65 \text{ J}}{0{,}600 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2} = 0{,}621 \text{ m}$$

L'angle θ maximal est tel que $h_f = L - L \cos \theta = L(1 - \cos \theta)$, où L est la longueur du fil.

$$1 - \cos \theta = \frac{h_f}{L} = \frac{0{,}621 \text{ m}}{1{,}20 \text{ m}} = 0{,}518, \text{ donc}$$

$\cos \theta = 0{,}482$ et $\theta = 61{,}2°$

b) Instant final : quand la masse passe au point le plus bas ; alors $h_f = 0$ et $E_{pgf} = 0$.

$E_{ci} + E_{pgi} = E_{cf} + E_{pgf}$, donc

$2{,}70 + 0{,}947 \text{ J} = E_{cf} + 0$

$$E_{cf} = 3{,}65 \text{ J} = \frac{1}{2} mv_f^2, \text{ donc}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2E_{cf}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}65 \text{ J}}{0{,}600 \text{ kg}}} = 3{,}49 \text{ m/s}$$

Pour obtenir la tension F_T dans le fil, il faut considérer le diagramme de forces et le fait que le mouvement est circulaire (la tension agit comme force centripète). Avec un axe des x dirigé vers le haut, l'accélération en x est l'accélération centripète :

$$F_{Rx} = F_T - F_g = ma_x = ma_c = \frac{mv^2}{r},$$

où v est la vitesse v_f calculée ci-dessus et r est la longueur du fil.

$$F_T = mg + \frac{mv_f^2}{L}$$

$$= 0{,}600 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2 + \frac{0{,}600 \text{ kg} \times (3{,}49 \text{ m/s})^2}{1{,}20 \text{ m}}$$

$= 12{,}0$ N

Chapitre 17 L'énergie potentielle élastique

Manuel, p. 363 à 377

POUR FAIRE LE POINT

Section 17.1
Le comportement des ressorts hélicoïdaux contraints

Manuel, p. 368 et 369

1. Un ressort est dit hélicoïdal lorsque sa forme est celle d'une hélice.

2. Les différents types de ressorts hélicoïdaux sont les ressorts de compression, de tension et de torsion.

3. Un ressort de compression est conçu pour être comprimé. Durant son fonctionnement, les forces sont dirigées vers chaque extrémité du ressort et la longueur du ressort diminue. À l'inverse, le ressort de tension est conçu pour être allongé. Au cours de son fonctionnement, les forces sont dirigées de manière à augmenter sa longueur.

4. Les propriétés physiques des ressorts hélicoïdaux dépendent du diamètre du fil utilisé, du diamètre et de la longueur du ressort, du nombre de spires et du type de matériau employé pour la fabrication du fil.

5. La force de rappel d'un ressort s'exerce selon l'axe du ressort et est toujours opposée au déplacement de l'extrémité libre du ressort. Elle tend à ramener le ressort à sa longueur naturelle, celle qu'il a quand aucune force ne s'exerce sur lui.

6. $\Delta x = 55\text{ cm} = 0{,}55\text{ m}$ $\quad k = 48\text{ N/m}$ $\quad F_r = ?$

$F_r = k\Delta x = 48\text{ N/m} \times 0{,}55\text{ m} = 26\text{ N}$

7. $F = 100\text{ N}$ $\quad \Delta x = 4\text{ cm} = 0{,}04\text{ m}$ $\quad k = ?$

La force F_r exercée par le ressort est égale en grandeur (mais opposée en direction) à la force extérieure F appliquée :

$F_r = F = 100\text{ N}$

$$F_r = k\Delta x \Rightarrow k = \frac{F_r}{\Delta x} = \frac{100\text{ N}}{0{,}04\text{ m}} = 2{,}5 \times 10^3\text{ N/m}.$$

8. $m = 510\text{ g} = 0{,}510\text{ kg}$ $\quad \Delta x = 0{,}500\text{ m}$ $\quad k = ?$

Cet exercice est similaire à l'exemple B de la section 17.1, à la page 367 du manuel. Une fois le ressort étiré, la masse est soumise à deux forces : la force gravitationnelle, dirigée vers le bas, et la force de rappel du ressort, dirigée vers le haut. Puisque la masse est immobile, les deux forces sont de grandeur égale : $F_r = F_g$.

Il en découle que :

$$k\Delta x = mg \Rightarrow k = \frac{mg}{\Delta x} = \frac{0{,}510\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2}{0{,}500\text{ m}}$$

$k = 10{,}0\text{ N/m}$ ou $10{,}0\text{ kg/s}^2$.

9. La force extérieure qu'il faut exercer pour comprimer un ressort est $F = F_r = k\Delta x$. Pour comprimer des ressorts sur la même distance Δx, la force à exercer est plus grande si la constante de rappel est supérieure. C'est donc le ressort A qui est le plus difficile à comprimer.

10. $\Delta x = 1{,}85\text{ cm} = 0{,}0185\text{ m}$ $\quad F = 85{,}5\text{ N}$

Ces données permettent de déterminer la constante de rappel du ressort.

La force exercée par le ressort est égale en grandeur (mais opposée en direction) à la force extérieure appliquée :

$F_r = F = 85{,}5\text{ N}$

$$F_r = k\Delta x \Rightarrow k = \frac{F_r}{\Delta x} = \frac{85{,}5\text{ N}}{0{,}0185\text{ m}} = 4{,}64 \times 10^3\text{ N/m}.$$

Pour comprimer le ressort de $\Delta x' = 4{,}95\text{ cm}$, la force à appliquer est :

$F' = F_r' = k\Delta x' = 4{,}64 \times 10^3\text{ N/m} \times 0{,}0495\text{ m} = 230\text{ N}.$

11. $m = 100\text{ g} = 0{,}100\text{ kg}$ $\quad \Delta x = 50\text{ cm} = 0{,}50\text{ m}.$

a) La masse est soumise à deux forces : la force gravitationnelle, dirigée vers le bas, et la force de rappel du ressort, dirigée vers le haut. Puisque la masse est immobile, les deux forces sont de grandeur égale.

$F_r = F_g \Rightarrow k\Delta x = mg \Rightarrow$

$$k = \frac{mg}{\Delta x} = \frac{0{,}100\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2}{0{,}50\text{ m}} = 2{,}0\text{ N/m}$$

b) Si la personne tire la masse vers le bas sur une distance de 20 cm, la nouvelle élongation devient $\Delta x' = 70$ cm $= 0{,}70$ m.

La force exercée par le ressort sur la masse est alors égale à :

$F_r' = k\,\Delta x' = 2{,}0$ N/m $\times$ 0,70 m $=$ 1,4 N.

Cette force est contrebalancée par la gravité et par la traction F_{pers} exercée par la personne. En grandeur, on a : $F_r' = F_g + F_{pers}$.

$F_{pers} = F_r' - mg = 1{,}4\text{ N} - 0{,}100\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2$

$= 1{,}4\text{ N} - 0{,}98\text{ N} = 0{,}4\text{ N}$

Cette personne doit donc exercer une force allant jusqu'à 0,4 N pour étirer le ressort sur une distance de 20 cm supplémentaires.

c) $m = 300$ g

$k\,\Delta x = mg \Rightarrow$

$$\Delta x = \frac{mg}{k} = \frac{0{,}300\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2}{2{,}0\text{ N/m}} = 1{,}5\text{ m}$$

Comme avec la masse de 100 g le ressort était étiré de 50 cm, et qu'avec la masse de 300 g, il est étiré de 1,5 m, le déplacement est de 1,0 m vers le plancher.

12. $k = 2{,}4 \times 10^3$ N/m $\quad m = 62$ kg

$F_g = mg = 62\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 = 608\text{ N}$

Si le poids est réparti également, chaque ressort subit une force F extérieure égale à :

$$F = \frac{F_g}{6} = \frac{608\text{ N}}{6} = 101\text{ N}$$

Chaque ressort exerce une force de rappel F_r égale en grandeur à F : $F_r = F = 101$ N.

$F_r = k\,\Delta x \Rightarrow$

$$\Delta x = \frac{F_r}{k} = \frac{101\text{ N}}{2{,}4 \times 10^3\text{ N/m}} = 0{,}042\text{ m} = 4{,}2\text{ cm}$$

Chacun des ressorts est comprimé de 4,2 cm.

13. $F = 365$ N $\quad \Delta x = 0{,}30$ m

La force exercée par le ressort est égale en grandeur (mais opposée en direction) à la force extérieure appliquée :

$F_r = F = 365$ N

$$F_r = k\,\Delta x \Rightarrow k = \frac{F_r}{\Delta x} = \frac{365\text{ N}}{0{,}30\text{ m}} = 1{,}2 \times 10^3\text{ N/m.}$$

a) Si $F = 400$ N, $F_r = 400$ N $\Rightarrow$

$$\Delta x = \frac{F_r}{k} = \frac{400\text{ N}}{1{,}2 \times 10^3\text{ N/m}} = 0{,}33\text{ m} = 33\text{ cm}$$

b) Si $F = 223$ N, $F_r = 223$ N $\Rightarrow$

$$\Delta x = \frac{F_r}{k} = \frac{223\text{ N}}{1{,}2 \times 10^3\text{ N/m}} = 0{,}19\text{ m} = 19\text{ cm}$$

c) Si $F = 2{,}0$ N, $F_r = 2{,}0$ N $\Rightarrow$

$$\Delta x = \frac{F_r}{k} = \frac{2{,}0\text{ N}}{1{,}2 \times 10^3\text{ N/m}} = 0{,}0017\text{ m} = 0{,}17\text{ cm}$$

14. $F = 0{,}18$ N $\quad \Delta x = 15$ mm

a) La force exercée par le ressort est égale en grandeur (mais opposée en direction) à la force extérieure appliquée par l'élève :

$F_r = F = 0{,}18$ N

$$F_r = k\,\Delta x \Rightarrow k = \frac{F_r}{\Delta x} = \frac{0{,}18\text{ N}}{15 \times 10^{-3}\text{ m}} = 12\text{ N/m.}$$

b) La force exercée par le ressort sur l'élève vaut 0,18 N (troisième loi de Newton).

15. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire : « Quel est l'allongement de ce ressort si la masse accrochée à l'extrémité subit une force gravitationnelle égale à 2,4 N ? »

$k = 48$ N/m $\quad F_g = 2{,}4$ N

La masse accrochée au ressort subit deux forces : la force gravitationnelle, dirigée vers le bas, et la force de rappel du ressort, dirigée vers le haut. Puisque la masse est immobile : $F_r = F_g$

$$k\,\Delta x = F_g \Rightarrow \Delta x = \frac{F_g}{k} = \frac{2{,}4\text{ N}}{48\text{ N/m}} = 0{,}050\text{ m} = 5{,}0\text{ cm.}$$

16. $k = 600$ N/m $\quad \Delta x = 7{,}5$ cm $= 0{,}075$ m $\quad m = ?$

Le poisson accroché au ressort est soumis à deux forces : la force gravitationnelle, dirigée vers le bas, et la force de rappel du ressort, dirigée vers le haut. Puisque le poisson est immobile : $F_r = F_g$

$k\,\Delta x = mg \Rightarrow$

$$m = \frac{k\,\Delta x}{g} = \frac{600\text{ N/m} \times 0{,}075\text{ m}}{9{,}80\text{ m/s}^2} = 4{,}6\text{ kg.}$$

17. Unité de $k = \dfrac{\text{N}}{\text{m}} = \dfrac{\text{kg} \times \text{m} \times \text{s}^{-2}}{\text{m}} = \text{kg s}^{-2}$

Section 17.2
L'énergie emmagasinée dans un ressort

Manuel, p. 373

1. $m = 0{,}100$ kg $\quad k = 9{,}60$ N/m

a) La pomme accrochée au ressort est soumise à deux forces égales : la force gravitationnelle, dirigée vers le bas, et la force de rappel du ressort, dirigée vers le haut.

$F_r = F_g \Rightarrow k\,\Delta x = mg \Rightarrow$

$$\Delta x = \frac{mg}{k} = \frac{0{,}100\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2}{9{,}60\text{ N/m}} = 0{,}102\text{ m}$$

$= 10{,}2$ cm

b) $E_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}60\text{ N/m} \times (0{,}102\text{ m})^2$

$= 0{,}0499\text{ N} \times \text{m} = 0{,}0499$ J

2. $F = 125$ N $\quad \Delta x = 0{,}250$ m

La force exercée par le ressort est égale en grandeur (mais opposée en direction) à la force extérieure exercée sur le ressort : $F_r = F = 125$ N

$$F_r = k\,\Delta x \Rightarrow k = \frac{F_r}{\Delta x} = \frac{125\text{ N}}{0{,}250\text{ m}} = 500\text{ N/m.}$$

a) $E_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \times 500\text{ N/m} \times (0{,}250\text{ m})^2$

$= 15{,}6\text{ N} \times \text{m} = 15{,}6$ J

b) Si $\Delta x' = 0{,}150$ m :

$E'_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x')^2 = \frac{1}{2} \times 500\text{ N/m} \times (0{,}150\text{ m})^2$

$= 5{,}63$ J

$\Delta E_{pe} = E'_{pef} - E_{pei} = 5{,}63\text{ J} - 15{,}6\text{ J} = -10{,}0$ J

3. $k = 4{,}40 \times 10^4$ N/m $\quad \Delta x_i = 12{,}5$ cm $\quad \Delta x_f = 15$ cm

$E_{pei} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x_i)^2 = \frac{1}{2} \times (4{,}40 \times 10^4\text{ N/m}) \times (0{,}125\text{ m})^2$

$= 344$ J

$E_{pef} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x_f)^2 = \frac{1}{2} \times (4{,}40 \times 10^4\text{ N/m}) \times (0{,}15\text{ m})^2$

$= 495$ J

$\Delta E_{pe} = E_{pef} - E_{pei} = 495\text{ J} - 344\text{ J} = 151\text{ J} = 0{,}15$ kJ

4. $k = 750$ N/m

a) $E_{pei} = 45$ J

$$E_{pei} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x_i)^2 \Rightarrow \Delta x_i = \sqrt{\frac{2E_{pei}}{k}} = \sqrt{\frac{2 \times 45\text{ J}}{750\text{ N/m}}}$$

$$\Delta x_i = \sqrt{0{,}120\,\frac{\text{kg m}^2\text{ s}^{-2}}{\text{kg m s}^{-2}/\text{m}}} = 0{,}35\text{ m}$$

b) $E_{pef} = 2E_{pei} = 2 \times 45\text{ J} = 90$ J

$$E_{pef} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x_f)^2 \Rightarrow \Delta x_f = \sqrt{\frac{2E_{pef}}{k}}$$

$$\Delta x_f = \sqrt{\frac{2 \times 90\text{ J}}{750\text{ N/m}}} = \sqrt{0{,}240\,\frac{\text{kg m}^2\text{ s}^{-2}}{\text{kg m s}^{-2}/\text{m}}} = 0{,}49\text{ m}$$

Il faut étirer le ressort d'une distance supplémentaire égale à :

$d = \Delta x_f - \Delta x_i = 0{,}49\text{ m} - 0{,}35\text{ m} = 0{,}14$ m.

5. $\Delta x = 0{,}400$ m $\quad E_{pei} = 5 \times 10^2$ J

a) Les données fournies permettent de déduire la valeur de k :

$$E_{pei} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x_i)^2 \Rightarrow k = \frac{2E_{pei}}{(\Delta x_i)^2} = \frac{2 \times 5 \times 10^2\text{ J}}{(0{,}400\text{ m})^2}$$

$$k = 6250\,\frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{m}^2} = 6{,}3 \times 10^3\text{ N/m.}$$

La force extérieure F nécessaire pour produire un allongement de 0,400 m est :

$F = F_r = k\,\Delta x = 6{,}3 \times 10^3\text{ N/m} \times 0{,}400$ m

$= 2{,}5 \times 10^3$ N.

b) $F' = F_r' = 1\,000$ N

$$\Delta x' = \frac{F_r'}{k} = \frac{1000\text{ N}}{6{,}3 \times 10^3\text{ N/m}} = 0{,}16\text{ m}$$

$E_{pe}' = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x')^2 = \frac{1}{2} \times 6{,}3 \times 10^3\text{ N/m} \times (0{,}16\text{ m})^2$

$= 81$ J

L'énergie potentielle élastique varie de :

$\Delta E_{pe} = E_{pe}' - E_{pe} = 81\text{ J} - 500\text{ J} = -4{,}2 \times 10^2$ J.

Chapitre 17
L'énergie potentielle élastique

Manuel, p. 377

1. Note : Dans la première impression du manuel, on devrait lire en *b* 2,00 kg plutôt que 2 kg.

$k = 2\,000$ N/m $\Delta x = 0{,}400$ m

a) $E_{pe} = ?$

$$E_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \times 2\,000 \text{ N/m} \times (0{,}400 \text{ m})^2$$

$= 160$ J

b) $m = 2{,}00$ kg $v_i = 0$

Le ressort se détend et perd de l'énergie potentielle élastique, qui est transférée à la masse sous forme d'énergie cinétique. Il n'y a pas de frottement et l'énergie mécanique est conservée. On suppose que le ressort est orienté horizontalement, ainsi l'énergie potentielle gravitationnelle de la masse ne varie pas.

Instant initial : ressort comprimé, masse immobile.

$E_{ci} = 0$ $E_{pei} = 160$ J

Instant final : ressort détendu ($\Delta x_f = 0$), masse à vitesse v_f maximale.

$$E_{cf} = \frac{1}{2} m v_f^2 \quad E_{pef} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x_f)^2 = \frac{1}{2} \times k \times 0^2 = 0$$

$$E_{ci} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pef} \Rightarrow 0 + 160 \text{ J} = \frac{1}{2} m v_f^2 + 0 \Rightarrow$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2 \times 160 \text{ J}}{2{,}00 \text{ kg}}} = 12{,}6 \text{ m/s}$$

2. $k = 650$ N/m $\Delta x_i = 0{,}100$ m

a) $E_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \times 650 \text{ N/m} \times (0{,}100 \text{ m})^2$

$= 3{,}25$ J

b) $E_{pe}' = \frac{1}{2}\,k\,(\Delta x')^2 = 3E_{pe} = 3 \times 3{,}25 \text{ J} = 9{,}75 \text{ J}$

$$\Delta x' = \sqrt{\frac{2E_{pe}'}{k}} = \sqrt{\frac{2 \times 9{,}75 \text{ J}}{650 \text{ N/m}}} = \sqrt{0{,}0300 \frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{N/m}}}$$

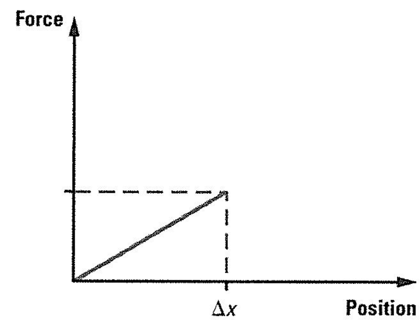
$= 0{,}173$ m

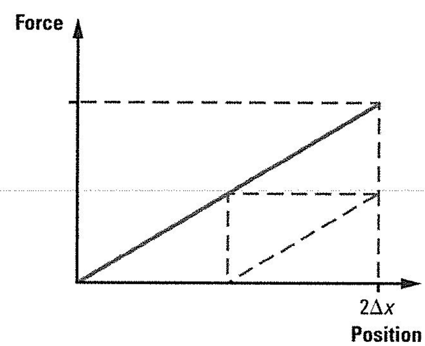
On doit comprimer le ressort d'une distance supplémentaire égale à :

$d = \Delta x' - \Delta x = 0{,}173 \text{ m} - 0{,}100 \text{ m} = 0{,}073 \text{ m}.$

3. *a)* Lorsque l'allongement Δx double, l'énergie potentielle élastique quadruple, car $E_{pe} \propto \Delta x^2$.

b) Les graphiques ci-dessous représentent la force appliquée à un ressort pour l'allonger (ou le comprimer) en fonction de la position de l'extrémité du ressort pour un allongement Δx et pour un allongement $2\Delta x$.





La surface sous la courbe correspond au travail effectué sur le ressort, donc à l'énergie potentielle élastique emmagasinée dans le ressort. On constate que quand le ressort est deux fois plus allongé, à droite, la surface sous la courbe est quatre fois plus grande (elle contient quatre triangles équivalents à celui du graphique du haut). L'énergie potentielle élastique est donc quatre fois plus grande.

La force gravitationnelle est constante et un graphique de la force nécessaire pour élever un objet en fonction de la hauteur comporte donc une droite horizontale. Si la hauteur double, la surface sous la courbe ne fait que doubler : l'énergie potentielle gravitationnelle est proportionnelle à la hauteur.

4. $m = 65{,}0$ kg

La personne saute, atteint un point 30 m sous son point de départ. La force de rappel, plus grande que la force gravitationnelle, remonte la personne, qui retombe, etc., jusqu'à ce que la personne s'immobilise.

Selon les données, puisque l'élastique mesure 15 m à son point d'équilibre, $\Delta x = 30\text{ m} - 15\text{ m} = 15\text{ m}$.

Comme le suggère l'indice, il faut tenir compte de la conservation de l'énergie.

Point de référence choisi pour l'énergie potentielle gravitationnelle : le point le plus bas atteint par la personne.

Instant initial : personne au début du saut $v_i = 0$
$h_i = 30\text{ m} \quad \Delta x_i = 0$.

Instant final : personne au bas du saut $v_f = 0$
$h_f = 0 \; \Delta x_f = 15\text{ m}$.

L'énergie mécanique est conservée :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

$$E_{ci} = E_{cf} = 0 \quad E_{pei} = 0 \quad E_{pgf} = 0$$

$$E_{pgi} = mgh_i = E_{pef} = \frac{1}{2} k(\Delta x_f)^2$$

$$k = \frac{2mgh_i}{(\Delta x_f)^2} = \frac{2 \times 65{,}0\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 30\text{ m}}{(15\text{ m})^2}$$

$$= 170\text{ kg/s}^2 \text{ ou } 170\text{ N/m}$$

5. Selon le graphique, pour allonger le ressort de $\Delta x = 0{,}8$ m, la force appliquée doit être égale à 50 N : $F = F_r = 50$ N.

a) $F_r = k\Delta x \Rightarrow k = \dfrac{F_r}{\Delta x} = \dfrac{50\text{ N}}{0{,}8\text{ m}} = 63\text{ N/m}$

b) Les unités de la surface sous la courbe sont des newtons multipliés par des mètres, soit des joules.

6. $\Delta x = 35{,}0\text{ cm} = 0{,}350\text{ m} \quad F = 10{,}5\text{ N}$

La force exercée par le ressort est égale en grandeur (mais opposée en direction) à la force extérieure exercée sur le ressort : $F_r = F = 10{,}5$ N

$$F_r = k\,\Delta x \Rightarrow k = \frac{F_r}{\Delta x} = \frac{10{,}5\text{ N}}{0{,}350\text{ m}} = 30{,}0\text{ N/m}.$$

a) $E_{pe} = \dfrac{1}{2} k(\Delta x)^2 = \dfrac{1}{2} \times 30{,}0\text{ N/m} \times (0{,}350\text{ m})^2$

$= 1{,}84\text{ N} \times \text{m} = 1{,}84\text{ J}$

b) Si $\Delta x' = 0{,}200$ m :

$$E'_{pe} = \frac{1}{2} k(\Delta x')^2 = \frac{1}{2} \times 30{,}0\text{ N/m} \times (0{,}200\text{ m})^2$$

$$E'_{pe} = 0{,}600\text{ J}$$

$$\Delta E_{pe} = E'_{pe} - E_{pe} = 0{,}600\text{ J} - 1{,}84\text{ J} = -1{,}24\text{ J}$$

7. $m = 0{,}20\text{ kg} \quad k = 55\text{ N/m}$

a) Pour cette question, on choisit le niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle à l'endroit où se trouve la masse après sa chute de 1,5 cm sous le point où elle se trouvait au bout du ressort non tendu.

Instant initial : ressort non tendu.
$v_i = 0 \quad h_i = 1{,}5\text{ cm} \quad \Delta x_i = 0$

Instant final : après la chute de 1,5 cm.
$v_f = ? \quad h_f = 0 \quad \Delta x_f = 1{,}5\text{ cm}$

L'énergie mécanique est conservée :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

$$E_{ci} = 0 \quad E_{pei} = 0 \quad E_{pgf} = 0$$

$$E_{pgi} = E_{cf} + E_{pef} \Rightarrow mgh_i = \frac{1}{2} mv_f^2 + \frac{1}{2} k(\Delta x_f)^2.$$

Dans cette équation, v_f est la seule inconnue.

$$\frac{1}{2} mv_f^2 = mgh_i - \frac{1}{2} k(\Delta x_f)^2$$

$$= 0{,}20\text{ kg} \times 9{,}80\text{ m/s}^2 \times 0{,}015\text{ m}$$

$$- \frac{1}{2} \times 55\text{ N/m} \times (0{,}015\text{ m})^2$$

$$\frac{1}{2} mv_f^2 = 0{,}029\text{ J} - 0{,}0062\text{ J} = 0{,}023\text{ J}$$

$$v_f^2 = \frac{2 \times 0{,}023\text{ J}}{0{,}20\text{ kg}} = 0{,}23\text{ m}^2/\text{s}^2 \Rightarrow v_f = 0{,}48\text{ m/s}$$

b) Pour cette question, on choisit le niveau de référence pour l'énergie potentielle gravitationnelle au point le plus bas qu'atteint la masse. Le ressort est alors étiré d'une distance Δx_f.

Instant initial : ressort non tendu.
$v_i = 0 \quad h_i = \Delta x_f = ? \quad \Delta x_i = 0$

Instant final : point le plus bas.
$v_f = 0 \quad h_f = 0 \quad \Delta x_f = ?$

L'énergie mécanique est conservée :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef}$$

$$E_{ci} = E_{cf} = 0 \quad E_{pei} = 0 \quad E_{pgf} = 0$$

$$E_{pgi} = E_{pef} \Rightarrow mg\Delta x_f = \frac{1}{2}k(\Delta x_f)^2 \Rightarrow$$

$$\Delta x_f = \frac{2mg}{k} = \frac{2 \times 0{,}20 \text{ kg} \times 9{,}80 \text{ m/s}^2}{55 \text{ N/m}} = 0{,}071 \text{ m.}$$

8. $k = 12$ N/m $\quad \Delta x_i = 4$ cm $\quad m = 8{,}3 \times 10^{-3}$ kg

Le ressort, initialement comprimé de 4 cm, est relâché et fait accélérer la bille en exerçant une force sur elle. Comme le ressort est à l'horizontale, il n'y a aucune variation d'énergie potentielle gravitationnelle.

L'énergie potentielle élastique que possède initialement le ressort se transforme en énergie cinétique de la bille. En quittant le ressort, la bille possède une vitesse v_f qu'il faut déterminer pour ensuite analyser le mouvement de la bille.

Instant initial : ressort comprimé, bille immobile.
$v_i = 0 \quad \Delta x_i = 4$ cm

Instant final : ressort détendu, bille en mouvement. $v_f = ? \quad \Delta x_f = 0$

L'énergie mécanique est conservée :

$$E_{ci} + E_{pgi} + E_{pei} = E_{cf} + E_{pgf} + E_{pef} \Rightarrow$$

$$0 + 0 + E_{pei} = E_{cf} + 0 + 0$$

$$\frac{1}{2}k(\Delta x_i)^2 = \frac{1}{2}mv_f^2 \Rightarrow$$

$$v_f^2 = \frac{k(\Delta x_i)^2}{m} = \frac{12 \text{ N/m} \times (0{,}04 \text{ m})^2}{8{,}3 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 2{,}3 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_f = 1{,}5 \text{ m/s}$$

La bille quitte la table à une hauteur de 93 cm. On utilise un système de coordonnées avec l'origine de l'axe des x située à la verticale du bord de la table et l'origine de l'axe des y au niveau du sol. Les variables nécessaires à la description du mouvement de projectile sont les suivantes.

$\Delta t = ?$	$x_i = 0$	$y_i = 0{,}93$ m	$v_{ix} = 1{,}5$ m/s	$v_{iy} = 0$	$a_x = 0$
	$x_f = ?$	$y_f = 0$	$v_{fx} = 1{,}5$ m/s	$v_{fy} = ?$	$a_y =$ -9,80 m/s²

$$y_f = y_i + v_{iy}\Delta t + \frac{1}{2} a_y \Delta t^2, \text{ donc}$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{-2y_i}{a_y}} = \sqrt{\frac{-2 \times 0{,}93 \text{ m}}{-9{,}80 \text{ m/s}^2}} = 0{,}44 \text{ s}$$

$$x_f = x_i + v_{ix}\Delta t = 0 + 1{,}5 \text{ m/s} \times 0{,}44 \text{ s} = 0{,}66 \text{ m}$$

La bille parcourt une distance horizontale de 66 cm.