Chapitre 13

Principe de conservation de l'énergie

13.1 Le concept d'énergie

En Physique, les objets possèdent de l'énergie qu'ils peuvent s'échanger de deux façons
- sous forme de chaleur (énergie thermique)
- sous forme de travail, une force qui déplace ou déforme l'objet

L'énergie d'un corps va augmenter ou diminuer et on observera les effets de ces transferts (figure 13.1).

Figure 13.1 – *Sur ce tableau, un attelage de bœufs travaille en tirant une charrue. La force s'exerce sur toute la distance du sillon, les animaux dégagent aussi de la chaleur à cause de l'effort à fournir. L'énergie est libérée sous deux formes : le travail et la chaleur ("Labourage nivernais", Rosa Bonheur, 1849, RMN-Grand Palais, Musée d'Orsay)*

13.2 Principe général de la conservation de l'énergie en Physique

L'énergie en Physique se conserve, elle n'est pas crée ou détruite. Si un corps perd de l'énergie, c'est qu'un autre corps la reçoit . Ce principe de conservation de l'énergie est un des principaux piliers de la Physique.

13.3 Énergie cinétique

Un corps de masse m (en kg) qui se déplace à une vitesse v (en $m.s^{-1}$) possède une *énergie cinétique* E_c, exprimée en joules (J) égale à

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

13.4 Énergie potentielle de pesanteur

Un corps de masse m (en kg), situé dans un champ de pesanteur g, à une altitude h (en m) mesurée par rapport à une référence arbitraire (figure 13.2), possède une *énergie potentielle de pesanteur* E_p exprimée en joules (J) donnée par la formule

$$E_p = m \times g \times h$$

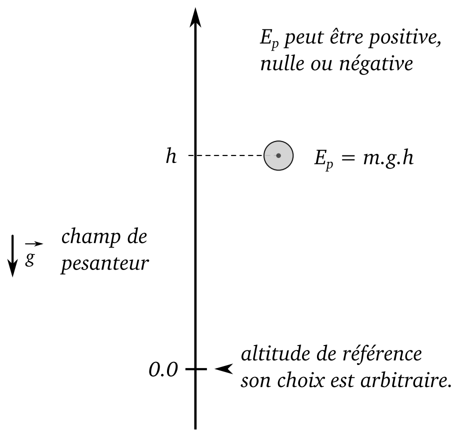

Figure 13.2 – *Pour définir l'énergie potentielle de pesanteur, il faut définir arbitrairement une origine pour la mesure de l'altitude h d'un objet de masse m. L'énergie potentielle de pesanteur peut prendre toutes les valeurs et elle s'exprime en joules*

13.5 Énergie mécanique

13.5.1 Définition

L'énergie mécanique E_m d'un corps est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle

$$E_m = E_c + Ep$$

13.5.2 Cas de conservation de l'énergie mécanique

En absence de pertes d'énergies par le corps son énergie mécanique est constante dans le temps. Cela implique qu'il peut y avoir une infinité de solution pour $E_m = E_c + Ep$, l'énergie cinétique peut varier de $0\ J$ à E_m et de la même façon E_p varie de E_m à $E_m - E_c$.

Des exemples de conservation de l'énergie mécanique

— oscillation d'un pendule
— chute libre (dans le vide)

13.5.3 Cas de non conservation de l'énergie mécanique

En présence de pertes d'énergies par le corps, son énergie mécanique décroît dans le temps jusqu'à être immobile (énergie cinétique nulle) et être à l'énergie potentielle la plus basse.

Des exemples de non conservation de l'énergie mécanique

— freinage d'une voiture : les disques de freins chauffent par frottement et l'énergie thermique est transférée à l'air
— chute au bout d'un parachute : la toile brasse l'air qui s'engouffre dedans et transmet à l'air de l'énergie cinétique, l'air devient turbulent dans le sillage du parachute.
— ré-entrée atmosphérique d'une capsule spatiale : son bouclier thermique va transformer l'énergie mécanique en chaleur qu'il va perdre en se désagrégeant dans l'atmosphère, la sonde va perdre ainsi son énergie cinétique et passer de quelques km/s à quelques dizaines de m/s de vitesse de chute.

13.6 Exercices

Ex.4 p.229	Ex.6 p.229	Ex.7 p.229
Ex.8 p.229	Ex.11 p.230	Ex.12 p.230
Ex.13 p.230	Ex.14 p.230	Ex.22 p.233
Ex.23 p.233	Ex.24 p.234	Ex.26 p.235

13.7 Corrections

Exercice 4 p.229 1–b, 2-c, 3-c , 4-a, 5-a, 6-e, 7-d.

Exercice 6 p.229 **1.**$E = \frac{1}{2} \times m \times V^2$ E est l'énergie cinétique, en joules, m est la masse, en kg et V est la vitesse, en $m.s^{-1}$. **2.** $E = \frac{1}{2} \times 19.9 \times (0.67)^2 = 4.47\ J$.

Exercice 7 p.229 **1.** On convertit la masse en kg : $m = 1.25\ t = 1.25 \times 10^3\ kg$ On convertit la vitesse en $m.s^{-1}$: $v = 50\ km/1h = \frac{50000\ m}{3600\ s} = 13.9\ m.s^{-1}$. On calcule alors l'énergie cinétique : $E = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 10^3 \times 13,9^2 = 121\ KJ$ **2.** $E = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 10^3 \times (27.8)^2 = 482\ KJ$, quatre fois l'énergie de la question 1).

Exercice 8 p.229 **1.a** et **1.b** L'expression « littérale » est l'expression « avec des lettres », c'est à dire que l'on demande de donner une formule mathématique. $E = m \times g \times z$, avec E l'énergie en joules, g accélération de pesanteur ($9.8 m.s^{-2}$ en moyenne sur la Terre) et z l'altitude en m de l'objet par rapport à une altitude de référence choisie arbitrairement. **2.** $m = 50\ kg$, $z = 7.0\ m$ donc $E = 50 \times 9.8 \times 7.0 = 3,4\ KJ$.

Exercice 11 p.230 **1.** $E = \frac{1}{2} \times m \times V^2$ avec $m = 800\ kg$ et $V = 60\ km/1h = 60000\ m/3600\ s = 16.7\ m.s^{-1}$. Donc $E = \frac{1}{2} \times 800 \times 16.7^2 = 111\ kJ$. **2.** C'est toute cette énergie cinétique que doit perdre la voiture. Lors du freinage, les sabots de frein pincent fortement les disques qui vont chauffer très fortement à cause des frottements. C'est cette élévation de température qui évacuera l'énergie cinétique de la voiture. Cela signifie notamment que si les freins sont trop chauds, il ne sera plus possible de s'arrêter, cette situation dangereuse peut apparaître en montagne lors d'une descente d'un col si on n'utilise pas assez le frein moteur.

Exercice 12 p.230 **1.** On fait l'hypothèse de l'absence de frottements qui ferait perdre l'énergie mécanique de la balle. Le corps n'est soumis qu'à une seule force : son poids. L'énergie mécanique doit alors se conserver. **2.**

$$\begin{aligned}\Delta E_p &= |E_{pf.} - E_{pi.}| \\ &= |m \times g \times 0 - m \times g \times z| \\ &= |-45 \times 10^{-3} \times 9.81 \times 10| \\ &= 4.4\ J\end{aligned}$$

le corps a perdu de l'énergie potentielle.

3. Comme l'énergie mécanique doit se conserver, cette énergie potentielle perdue a été transformée en énergie cinétique.

$$\begin{aligned}\Delta E_c &= |E_{cf.} - E_{ci.}| \\ &= |\frac{1}{2} \times m \times V_f^2 - \frac{1}{2} \times m \times V_i^2| \\ &= 4.4\ J\end{aligned}$$

4. La vitesse initiale est nulle donc

$$\frac{1}{2} \times m \times V_f^2 = 4.4\ J$$

et donc

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 4.4}{0.045}} = 14\ m.s^{-1}$$

soit environ 50 $km.h^{-1}$.

Exercice 13 p.230 **1.** L'énergie mécanique ne varie pas car son altitude est constante et sa vitesse est constante. **2.** L'énergie chimique apportée sert à vaincre les différentes forces de frottement dans le moteur et la transmission, entre les pneumatiques et la route, et la résistance à l'avancement dans l'air. Dans un moteur, la part des pertes par frottement est très importante, seule 10 % à 20 % de l'énergie chimique est utile pour la propulsion.

Exercice 14 p.230 **1.** 1-énergie potentielle, 2-énergie potentielle et cinétique, 3-idem à 2, 4-énergie cinétique, 5-idem 2 et 3 , 6-énergie cinétique. **2.** De 1 à 2 : transfert de E_p vers E_c . De 2 à 3 : transfert de E_p vers E_c puis de transfert de E_c vers E_p. De 3 à 4 : transfert de E_p vers E_c, E_p devient nulle. De 4 à 5 : transfert de E_c vers E_p De 5 à 6 : transfert de E_p vers E_c. **3.** Pour les points d'altitude la plus basse, c'est à dire les positions 4 et 6.

Exercice 22 p.233 **1.** $E_c = \frac{1}{2} \times m \times V^2$, E_c est l'énergie cinétique (en joules), m est la masse du pendule (en kg) et V sa vitesse linéaire (en $m.s^{-1}$). Dans le cas du pendule, la vitesse change de direction, elle est toujours tangente à la trajectoire, perpendiculaire au fil de tension. **2.a** $E_p = m \times g \times z$, E_p énergie potentielle de pesanteur (en Joules), m masse (en kg), et z altitude mesurée par rapport à une référence de hauteur (en m). **2.b** On regarde le graphique et on lit sur la courbe verte (E_p) la valeur de l'angle pour laquelle l'énergie est nulle. On voit que $\theta_0 = 0\ ^o$, c-à-d d'après le schéma, quand le pendule est vertical (point le plus bas). **3.** L'énergie mécanique (courbe bleue) est constante, elle ne varie pas. On en conclut qu'il n'y a pas de perte d'énergie et que les frottements sont quasi inexistants. **4.** Il y a un transfert permanent de l'énergie potentielle vers l'énergie cinétique et réciproquement, la somme des deux quantités d'énergies étant toujours constante. **5.a** $E_c + E_p = constante$, E_c est maximale si E_p est minimale. Dans notre cas $E_p = 0\ J$ au minimum, quand l'angle est nul. C'est donc pour cette position où l'énergie cinétique est maximale. **5.b** À ce moment, $E_c = 15 \times 10^{-3}\ J$ (lecture graphique pour l'angle nulle, sur la courbe rouge). Donc $15 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} \times m \times V^2$ avec m= $30 \times 10^{-3}\ kg$. On en déduit alors que

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 15 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-3}}} = 1.00\ m.s^{-1}$$

5.c Quand l'énergie cinétique est nulle, le pendule ne bouge plus, il a atteint sa hauteur maximale et alors $E_p = 15\ mJ$. On a donc $15 \times 10^{-3} = m \times g \times Z_{max}$. Donc

$$Z_{max} = \frac{15 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-3} \times 9.8} = 5.0\ cm$$

Exercice 23 p.233 **1.** $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} \times m \times V^2 + m \times g \times y$ **2.** Au point A $V = 160\ km.h^{-1} = 44.4\ m.s^{-1}$. **3.a** On utilise le triangle AOB. On connaît la longueur AB, la hauteur $OB = y_B$ et l'angle α. On utilise la définition mathématique du sinus d'un angle et donc ici $\sin(\alpha) = \frac{y_B}{AB}$. Donc $y_B = AB \times \sin(\alpha)$. **3.b** et **3.c**

$$\begin{aligned} E_{pi} &= 0\ J \\ E_{pf.} &= m \times g \times Z_B \\ &= m \times g \times AB \times \sin(\alpha) \\ &= 180 \times 9.81 \times 7.86 \times \sin(27^o) \\ &= 6.3.0 \times 10^3\ J \end{aligned}$$

La variation sera donc

$$\Delta E_p = E_{pf.} - E_{pi.} = 6.30 \times 10^3\ J$$

3.d Par hypothèse, la vitesse restant constante, l'énergie cinétique reste constante. Mais l'énergie potentielle augmente. Donc finalement, l'énergie mécanique du système augmente ici de 6.3 kJ. **4.** Les deux points ont la même altitude donc l'énergie potentielle sera identique. Si les pertes par frottement (avec l'air) sont négligeables, alors on peut dire que l'énergie mécanique sera constante et que l'énergie cinétique en B sera identique à celle en C.

Exercice 24 p.234
ATTENTION : DANS LE GRAPHE DU LIVRE LES COURBES SONT INVERSÉES !
1.a L'eau dans la canette a une température initiale de 70^oC. On voit que la courbe bleue qui démarre à 70^oC décroît pour tendre vers une valeur limite de 36^oC environ. La variation de température de l'eau de la canette sera donc

$$\Delta\theta = \theta_{2f.} - \theta_{2i.} = 36 - 70 = -34^oC$$

variation de température négative, la canette a perdue de l'énergie. **1.b** La canette a perdue de l'énergie thermique.

$$E_{therm.} = \rho \times V_2 \times c_{eau} \times (\theta_{2f.} - \theta_{2i.})$$

avec $m = \rho \times V_2$ et donc

$E_{therm.} = 1.000 \times 0.200 \times 4.18 \times (-34) = -28.4\ kJ$

2.a $\Delta\theta = \theta_{1f.} - \theta_{1i.} = 35 - 20 = 15\ ^oC$ l'eau du calorimètre a reçue de l'énergie. **2.b**

$$E_{therm} = \rho \times V_1 \times c_{eau} \times (\theta_{1f.} - \theta_{1i.)}$$

avec $m = \rho \times V_1$ et $\Delta\theta = \theta_{1f.} - \theta_{1i.}$. On effectue ensuite les calculs en faisant très attention aux unités à utiliser dans les formules.

$$E_{therm} = 1.000 \times 0.450 \times c_{eau} \times 15 = 28.2\ kJ$$

3. Le calorimètre se réchauffe aussi, il absorbe une partie de l'énergie thermique (d'où les 0.2 kJ manquants dans l'eau du calorimètre).

Exercice 26 p.235 **1.**

$$E_c = \frac{1}{2} \times M \times V^2 = \frac{1}{2} \times 1620 \times 10^2 = 8000\ J$$

2. Comme toute l'énergie cinétique se transforme en énergie thermique $800\ J = m \times C \times \Delta\theta$ donc

$$\Delta\theta = \frac{8000\ J}{m \times C} = \frac{8000\ J}{0.250 \times 260} = 123\ ^oC$$

la température des plaques de frein augmente de $123\ ^oC$. **3.a** Non, l'énergie cinétique doit diminuer, sinon, on est mal, la vitesse reste constante jusqu'à l'impact. **3.b** Oui, on transfert l'énergie qui passe de la forme cinétique à la forme thermique. **3.c** L'énergie cinétique est proportionnelle au carré de la vitesse, donc si la vitesse double l'énergie est multipliée par 4 ! Or l'énergie thermique est bien proportionnelle à l'augmentation de température, donc si ma vitesse double, je dois dissiper 4 fois plus d'énergie, et donc la température des plaques de frein est multipliée par quatre, soit ici presque 500 ^oC ! ! On « allume les freins », c'est à dire qu'ils sont détruits et paf le scooter (et le chat sur le dessin) ...