Correction des exercices du chapitre 14 :

Attention les corrections ne sont pas toujours rédigées correctement.
Les solutions rédigées sont faites en classe ou dans le livre avec l'exercice résolu p 266

QCM .... p. 265

1. C ; **2. A** et **C** ; **3. A** et **B** ; **4. A** et **B** ; **5. C** ; **6. B** ; **7. B** ; **8. C** ; **9. A**.

Exercices — Appliquer le cours .... p. 268

2 Utiliser les unités

La valeur de la vitesse doit s'exprimer en mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$).

3 Réfléchir à propos de l'énergie cinétique

Exemple de réponse :
Le passager d'une voiture qui roule sur une route a une vitesse nulle dans le référentiel de la voiture, et non nulle dans un référentiel terrestre. Il possède donc une énergie cinétique nulle dans le référentiel de la voiture et non nulle dans un référentiel terrestre.

4 Calculer une énergie cinétique

L'énergie cinétique de la tortue vaut :

$$\mathscr{E}_c = \frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} \times 1{,}50 \text{ kg} \times \left(\frac{0{,}25}{3{,}6} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}\right)^2 = 3{,}6 \times 10^{-3} \text{ J}$$

5 Calculer une valeur de vitesse

L'énergie cinétique du cycliste est 3,2 kJ. On en déduit sa vitesse :

$$\mathscr{E}_c = \frac{1}{2} m \times v^2$$

Donc

$$v = \sqrt{\frac{2\,\mathscr{E}_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}2 \times 10^3 \text{ J}}{70 \text{ kg}}} = 9{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

6 Calculer le travail d'une force

Le déplacement a pour longueur AB = 50 cm.
Le travail de la force constante $\vec{F}$ est donc :

$$W_{A \to B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos 30°$$

$$W_{A \to B}(\vec{F}) = 3{,}0 \text{ N} \times 50 \times 10^{-2} \text{ m} \times \cos(30°) = 1{,}3 \text{ J}$$

w

7 Étudier le signe d'un travail

a. $W_{A \to B}(\vec{F}) < 0$

b. $W_{A \to B}(\vec{F}) = 0$

c. $W_{A \to B}(\vec{F}) > 0$

d. $W_{A \to B}(\vec{F}) < 0$

e. $W_{A \to B}(\vec{F}) > 0$

8 Calculer une variation d'énergie cinétique

D'après le théorème de l'énergie cinétique, la variation d'énergie cinétique correspond au travail des forces appliquées au système.
Dans ce cas :

$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A \to B}} = W_{A \to B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(25°)$$

$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A \to B}} = 10 \text{ N} \times 5{,}0 \text{ m} \times \cos(25°) = 45 \text{ J}$$

9 Exprimer littéralement une valeur de vitesse

On utilise le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A \to B}} = \frac{1}{2} m \times v_B^2 - \frac{1}{2} m \times v_A^2 = W_{A \to B}(\vec{F})$$

La valeur de la vitesse v_A étant nulle, on en déduit :

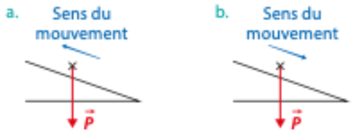
$$\frac{1}{2}\, m \times v_B^2 = W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$$

donc

$$v_B = \sqrt{\frac{2\, W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)}{m}}$$

10 Caractériser le travail d'une force

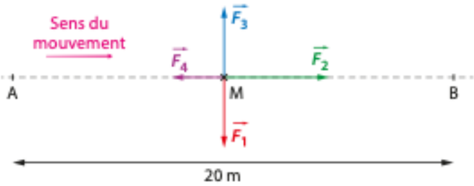
1. Seul le sens du mouvement change entre les deux schémas.



2. situation **a** : l'angle entre le poids et le vecteur déplacement est compris entre 90° et 180° : le travail du poids est négatif.
situation **b** : l'angle entre le poids et le vecteur déplacement est compris entre 0 et 90° : le travail du poids est positif.

11 Calculer le travail d'une force de frottement

1. La force de frottement est la force $\vec{F_4}$ car son sens est opposé à celui du mouvement qui s'effectue de A vers B.



2. Les forces sont représentées à l'échelle. Ainsi :

Valeur de la force	Distance de représentation
$F_2 = 300$ N	1,4 cm
F_4	0,7 cm

$$F_4 = 300\ \text{N} \times \frac{0{,}7\ \text{cm}}{1{,}4\ \text{cm}} = 1{,}5 \times 10^2\ \text{N}$$

Remarque : suivant le support utilisé les longueurs peuvent être différentes mais le segment fléché représentant $\vec{F_4}$ est toujours deux fois plus petit que celui représentant $\vec{F_2}$.
On peut alors calculer le travail de cette force :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right) = \vec{F_4} \cdot \vec{AB} = F_4 \times AB \times \cos(180°) = 150\ \text{N} \times 20\ \text{m} \times (-1)$$
$$= -3{,}0 \times 10^3\ \text{J}$$

12 Calculer une altitude

L'énergie potentielle de pesanteur vaut 45 J.

$$\mathscr{E}_p = m \times g \times z \text{ donc } z = \frac{\mathscr{E}_p}{m \times g} = \frac{45\ \text{J}}{3{,}0\ \text{kg} \times 10\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}} = 1{,}5\ \text{m}$$

Le pot de fleur est situé à 1,5 mètre du sol.

13 Calculer une variation d'énergie potentielle

Au cours de sa chute, le système est soumis à son poids qui est une force conservative. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur est égale à l'opposé du travail du poids.
Dans ce cas :

$$\Delta\mathscr{E}_{pA\to B} = -\, W_{A\to B}\left(\vec{P}\right) = -m \times g \times (z_A - z_B)$$
$$= -3{,}0\ \text{kg} \times 10\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times 10\ \text{m} = -\,3{,}0 \times 10^2\ \text{J}$$

L'énergie potentielle de pesanteur du système a diminué de $3{,}0 \times 10^2$ joules.

14 Exprimer l'énergie mécanique

1. a. Lorsqu'il est accroché à l'arbre, l'énergie mécanique du fruit vaut :

$$\mathscr{E}_{m,\ arbre} = \mathscr{E}_{c,\ arbre} + \mathscr{E}_{p,\ arbre} = \frac{1}{2} m \times v_{arbre}^2 + m \times g \times z_{arbre}$$

Comme la vitesse est nulle lorsque le fruit est accroché dans l'arbre, on en déduit :

$$\mathscr{E}_{m,\ arbre} = m \times g \times z$$

b. Juste avant de toucher le sol, l'énergie mécanique du système est :

$$\mathscr{E}_{m,\ sol} = \mathscr{E}_{c,sol} + \mathscr{E}_{p,sol} = \frac{1}{2} m \times v_{sol}^2 + m \times g \times z_{sol}$$

Comme l'altitude z_{sol} est nulle au niveau du sol, on en déduit :

$$\mathscr{E}_{m,\ sol} = \frac{1}{2} m \times v_{sol}^2$$

2. Le système {fruit} n'est soumis qu'à son poids puisqu'on néglige l'action de l'air. Le poids est une force conservative. Le système {fruit} a donc son énergie mécanique qui se conserve au cours de sa chute.

15 Calculer une valeur de vitesse

L'altitude initiale est $z_i = h$.
Pour la position initiale :

$$\mathscr{E}_{m,\ i} = \mathscr{E}_{c,\ i} + \mathscr{E}_{p,\ i} = \frac{1}{2} m \times v_i^2 + m \times g \times h$$

Comme la vitesse initiale est nulle, on en déduit : $\mathscr{E}_{m,\ i} = m \times g \times h$
Juste avant de toucher le sol, l'énergie mécanique du système est :

$$\mathscr{E}_{m,\ sol} = \mathscr{E}_{c,sol} + \mathscr{E}_{p,sol} = \frac{1}{2} m \times v_{sol}^2 + m \times g \times z_{sol}$$

Comme l'altitude z_{sol} est nulle au niveau du sol, on en déduit :

$$\mathscr{E}_{m,\ sol} = \frac{1}{2} m \times v_{sol}^2$$

La pierre n'est soumise qu'à des forces conservatives puisqu'on néglige l'action de l'air. Son énergie mécanique se conserve, donc : $\mathscr{E}_{m,\ i} = \mathscr{E}_{m,\ sol}$

d'où : $m \times g \times h = \frac{1}{2} m \times v_{sol}^2$

et finalement : $v_{sol} = \sqrt{2\ g \times h}$

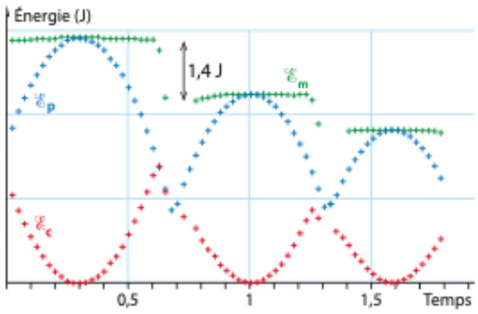
16 Déterminer le travail de forces non conservatives

Le travail des forces non conservatives exercées sur un système est égal à la variation d'énergie mécanique de ce système.
Pour déterminer le travail des forces non conservatives appliquées à un système, il faut donc :
– faire un bilan des forces appliquées au système et identifier les forces non conservatives ;
– calculer la variation d'énergie mécanique de ce système ;
– indiquer que cette variation est égale au travail des forces non conservatives.

17 Étudier l'évolution de l'énergie mécanique

• Le premier rebond correspond à la première date à laquelle :
– la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p$, de la balle est minimale ;
– la valeur de l'énergie cinétique $\mathscr{E}_m$, de la balle est maximale ;
– il a lieu pour $t = 0{,}7$ s.
• Le deuxième rebond correspond à la deuxième date à laquelle :
– la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p$, de la balle est minimale ;
– la valeur de l'énergie cinétique $\mathscr{E}_m$, de la balle est maximale ;
– il a lieu pour $t = 1{,}4$ s.

2. Entre 0,5 s et 1 s, l'énergie mécanique a diminué d'environ 1,4 J. Le travail des forces non conservatives est donc environ – 1,4 J.



 p. 270

18 Côté maths
Quel travail !

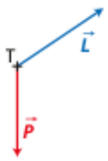
1. La force $\vec{F}$ modélise l'action de la perche sur le wakeboarder.
2. a. Le travail d'une force $\vec{F}$ entre A et B est défini par :
$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}\cdot\overrightarrow{AB} = F\times AB\times\cos\left(\widehat{\vec{F}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right)$$
b. Le travail de cette force vaut :
$$W_{A\to B}(\vec{F}) = 115\ \text{N}\times 150\ \text{m}\times\cos(40°) = 1{,}3\times10^{4}\ \text{J}$$

19 Connaître les critères de réussite
Freinage d'un véhicule

1. La force $\vec{F_1}$ correspond au poids du véhicule.
La force $\vec{F_2}$ correspond à l'action perpendiculaire du support.
La force $\vec{F_3}$ correspond à la « force de freinage ».
2. Pour le poids du véhicule : $\widehat{\vec{F_1}\,;\,\overrightarrow{AB}} = 90°$.
Le travail a donc pour expression :
$$W_{A\to B}(\vec{F_1}) = \vec{F_1}\cdot\overrightarrow{AB} = F_1\times AB\times\cos\left(\widehat{\vec{F_1}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right) = 0\ \text{J}$$
Pour l'action normale du support : $\widehat{\vec{F_2}\,;\,\overrightarrow{AB}} = 90°$.
Le travail a donc pour expression :
$$W_{A\to B}(\vec{F_2}) = \vec{F_2}\cdot\overrightarrow{AB} = F_2\times AB\times\cos\left(\widehat{\vec{F_2}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right) = 0\ \text{J}$$
Pour la « force de freinage » : $\widehat{\vec{F_3}\,;\,\overrightarrow{AB}} = 180°$.
Le travail a donc pour expression :
$$W_{A\to B}(\vec{F_3}) = \vec{F_3}\cdot\overrightarrow{AB} = F_3\times AB\times\cos\left(\widehat{\vec{F_3}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right) = -F_3\times AB$$
3. Par application du théorème de l'énergie cinétique :
$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = \frac{1}{2}m\times v_B^2 - \frac{1}{2}m\times v_A^2 = W_{A\to B}(\vec{F_3})$$
Ici $v_B = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc : $\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = -\frac{1}{2}m\times v_A^2 = -F_3\times AB$
$$\text{Ainsi : } F_3 = \frac{m\times v_A^2}{2\ AB} = \frac{1000\ \text{kg}\times\left(\frac{80}{3{,}6}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}\right)^2}{2\times 50\ \text{m}} = 4{,}9\times10^{3}\ \text{N}$$

20 Tarzan

1. Tarzan, modélisé par le point matériel T, est soumis à son poids $\vec{P}$ et à l'action $\vec{L}$ de la liane.



2. Entre la position de départ A et celle d'arrivée B, le travail du poids est :
$$W_{A\to B}(\vec{P}) = m\times g\times(z_A - z_B)$$
3. a. D'après le théorème de l'énergie cinétique, la variation d'énergie cinétique du système est égale à la somme des travaux de toutes les forces extérieures appliquées au système :
$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = \sum W_{A\to B}(\vec{F_i})$$
b. Par application du théorème de l'énergie cinétique :
$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = W_{A\to B}(\vec{P}).$$
$$\text{Ainsi : } \frac{1}{2}m\times v_B^2 - \frac{1}{2}m\times v_A^2 = m\times g\times(z_A - z_B)$$
La vitesse étant nulle au point de départ, il vient : $\frac{1}{2}v_B^2 = g\times(z_A - z_B)$
Donc :
$$v_B = \sqrt{2\ g\times(z_A - z_B)} = \sqrt{2\times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\times(15-11)\text{m}} = 8{,}9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

21 Exercice à caractère expérimental
Chute libre ?

1. a. Dans l'hypothèse d'une chute libre, la balle n'est soumise qu'à l'action de son poids $\vec{P}$.
b. Entre les positions M_4 et M_8, le travail du poids est :
$$W_{M_4\to M_8}(\vec{P}) = m\times g\times\left(z_{M_4} - z_{M_8}\right)$$
$$W_{M_4\to M_8}(\vec{P}) = 46\times10^{-3}\ \text{kg}\times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\times\left(17\times10^{-2}\ \text{m} - 5{,}3\times10^{-2}\ \text{m}\right) = 5{,}3\times10^{-2}\ \text{J}$$
Entre ces positions, le travail du poids est moteur.
2. Calculons les énergies cinétiques en M_4 et M_8
$$\mathscr{E}_{cM_4} = \frac{1}{2}m\times v_{M_4}^2 = \frac{1}{2}\times 46\times10^{-3}\ \text{kg}\times(0{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})^2 = 1{,}5\times10^{-2}\ \text{J}$$
$$\mathscr{E}_{cM_8} = \frac{1}{2}m\times v_{M_8}^2 = \frac{1}{2}\times 46\times10^{-3}\ \text{kg}\times\left(1{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}\right)^2 = 6{,}6\times10^{-2}\ \text{J}$$
3. La variation d'énergie cinétique est donc :
$$\Delta\mathscr{E}_{c_{M_4\to M_8}} = \mathscr{E}_{cM_8} - \mathscr{E}_{cM_4} = 5{,}1\times10^{-2}\ \text{J}$$
Cette variation d'énergie cinétique est inférieure au travail du poids. Il existe donc une autre force qui travaille et dont le travail est négatif. Il s'agit des forces de frottement. La chute n'est donc pas une chute libre.

22 The apple's legend

Traduction : *La légende raconte qu'une pomme tombant en chute libre sur la tête d'Isaac Newton lui a révélé la théorie de la gravitation universelle.*
• *Si la pomme était située à 2,0 m au-dessus de la tête de Newton, à quelle vitesse l'a-t-elle heurtée ?*
La pomme tombe en chute libre. Elle n'est donc soumise qu'à son poids. On peut utiliser le théorème de l'énergie cinétique ou la conservation de l'énergie mécanique pour répondre à cette question.
Démarche avec le théorème de l'énergie cinétique.
À l'instant initial, dans la position que nous noterons A, la pomme possède une vitesse de valeur nulle et une altitude $z_A = 2$ m, si l'on prend la tête de NEWTON notée B comme référence des altitudes.
Par utilisation du théorème de l'énergie cinétique on a :
$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = W_{A\to B}(\vec{P})$$
donc : $\frac{1}{2}m\times v_B^2 - \frac{1}{2}m\times v_A^2 = m\times g\times(z_A - z_B)$
Et dans cette situation on a : $v_A = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $z_B = 0$ m
donc : $\frac{1}{2}m\times v_B^2 = m\times g\times z_A$
Ainsi : $v_B = \sqrt{2\,g\times z_A} = \sqrt{2\times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\times 2\ \text{m}} = 6{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Démarche avec la conservation de l'énergie mécanique
Comme la pomme est en chute libre, elle n'est soumise qu'à son poids, qui est une force conservative. Donc l'énergie mécanique du système {pomme} se conserve.
En notant A la position de la pomme lorsqu'elle est dans l'arbre et B la position lorsqu'elle heurte la tête et on peut écrire :
$$\mathscr{E}_{mA} = \mathscr{E}_{mB}$$
donc :
$$\frac{1}{2}m\times v_B^2 + m\times g\times z_B = \frac{1}{2}m\times v_A^2 + m\times g\times z_A$$
En A, la pomme possède une vitesse nulle et une altitude $z_A = 2$ m, si l'on prend B comme référence des altitudes. L'expression devient alors : $\frac{1}{2}m\times v_B^2 = m\times g\times z_A$
Ainsi : $v_B = \sqrt{2\,g\times z_A} = \sqrt{2\times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\times 2\ \text{m}} = 6{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

23 À chacun son rythme
Montagnes russes

1. Au cours du mouvement, l'énergie mécanique du wagon se conserve car on suppose les frottements et l'action de l'air comme négligeables. Il y a donc conversion de l'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique. L'énergie cinétique et donc la valeur de la vitesse est la plus grande à l'endroit où l'énergie potentielle de pesanteur est la plus faible. Cela se produit dans la position B du wagon, c'est-à-dire la position de plus basse altitude.

2. En A, l'expression de l'énergie mécanique est :

$$\mathscr{E}_{mA} = \frac{1}{2}\, m \times v_A^2 + m \times g \times z_A$$

Comme $v_A = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: $\mathscr{E}_{mA} = m \times g \times z_A$

3. En B, l'expression de l'énergie mécanique est :

$$\mathscr{E}_{mB} = \frac{1}{2}\, m \times v_B^2 + m \times g \times z_B$$

4. D'après le texte, les frottements de l'air sont négligeables et le travail de la force exercée par la piste est nul. On peut en déduire que seul le poids travaille. Il y a donc conservation de l'énergie mécanique du wagon : $\mathscr{E}_{mA} = \mathscr{E}_{mB}$

soit : $m \times g \times z_A = \frac{1}{2} m \times v_B^2 + m \times g \times z_B$

On en déduit : $v_B = \sqrt{2\ g \times (z_A - z_B)}$

5. La différence d'altitude entre A et B est = 12,0 m + 4,0 m = 16,0 m.

On peut alors calculer la valeur de la vitesse en B :

$v_B = \sqrt{2 \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times 16{,}0\ \text{m}}$

$v_B = 17{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ soit $63{,}8\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

La limite de 60 km·h⁻¹ est dépassée dans la position B. Le wagon ne respecte pas la limitation imposée par la commission de sécurité.

Remarque : il est cependant probable que les frottements de l'air et les frottements du rail ne sont pas négligeables, dans ce cas la valeur de la vitesse en B sera inférieure à celle que l'on vient de calculer.

24 Le tir à l'arc vertical

1.a. On néglige l'action de l'air. La flèche est donc seulement soumise à son poids.

b.

Le travail du poids de la flèche entre D et A a pour expression :

$$W_{D\to A}(\vec{P}) = m \times g \times (z_D - z_A)$$

3. a. Pour atteindre l'oiseau, il faut que la vitesse en A soit au minimum égale à $0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

b. Par application du théorème de l'énergie cinétique :

$\Delta\mathscr{E}_{c_{D\to A}} = W_{D\to A}(\vec{P})$

Donc $\frac{1}{2}\, m \times v_A^2 - \frac{1}{2}\, m \times v_D^2 = m \times g \times (z_D - z_A)$

Si $v_A = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ on a alors : $-\frac{1}{2}\, m \times v_D^2 = m \times g \times (z_D - z_A)$

Ainsi : $v_D = \sqrt{-\ 2\ g \times (z_D - z_A)}$

$v_D = \sqrt{-2 \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times (2{,}0\ \text{m} - 30{,}0\ \text{m})} = 23{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

La vitesse de départ en D doit avoir au minimum pour valeur $23{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

25 Énergie cinétique d'une balle qui chute

1. a. La moyenne est : $\bar{v} = 6{,}258\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. On exprimera le résultat avec le nombre de chiffres significatifs adéquat à la dernière question.

b. L'énergie cinétique moyenne est :

$$\overline{\mathscr{E}_c} = \frac{1}{2}\, m \times \bar{v}^2 = \frac{1}{2} \times 0{,}3000 \times 6{,}258^2 = 5{,}874\ \text{J}$$

La valeur sera arrondie à la question 4 en comparant avec l'incertitude-type.

2. On dispose de 10 répétitions de la mesure. L'incertitude sur la valeur de la vitesse est donnée par la relation : $u(v) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{10}}$

L'écart type calculé à l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice est $\sigma_{n-1} = 0{,}015\,49\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Donc $(v) = \frac{0{,}015\,49\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{\sqrt{10}} = 4{,}899 \times 10^{-3}\ \ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3. L'incertitude sur l'énergie cinétique vaut donc :

$u(\mathscr{E}_c) = 2 \times 5{,}874\ \text{J} \times \frac{4{,}899 \times 10^{-3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{6{,}258\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}} = 9{,}197 \times 10^{-3}\ \text{J}$

Cette incertitude est arrondie par excès à $u(\mathscr{E}_c) = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{J}$

4. On a donc : $5{,}86\ \text{J} < \mathscr{E}_c < 5{,}88\ \text{J}$

26 Quel saut !

1. a. Entre sa position initiale, que nous noterons A et sa position finale, que nous noterons B, la variation d'énergie potentielle de pesanteur de Luke AIKINS est :

$$\Delta\mathscr{E}_{P_{A\to B}} = -\ W_{A\to B}(\vec{P}) = -\ m \times g \times (z_A - z_B)$$

b. La différence $z_A - z_B$ est la « hauteur de chute », elle est égale à 7 600 m.

La variation d'énergie potentielle de pesanteur est donc égale à :

$\Delta\mathscr{E}_{P_{A\to B}} = -\ 80{,}0\ \text{kg} \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times 7600\ \text{m}$

$= -\ 5{,}96 \times 10^6\ \text{J}$

2. a. Lors d'une chute libre le système n'est soumis qu'à son poids. L'énergie mécanique du système se conserve et on peut écrire $\mathscr{E}_{mA} = \mathscr{E}_{mB}$ ou $-\Delta\mathscr{E}_{m_{A\to B}} = 0\ \text{J}$.

Ainsi : $\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = -\ \Delta\mathscr{E}_{P_{A\to B}} = 5{,}96 \times 10^6\ \text{J}$.

b. La variation d'énergie cinétique $\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}}$ est égale à :

$$\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = \frac{1}{2}\, m \times v_B^2 - \frac{1}{2}\, m \times v_A^2$$

Comme la vitesse initiale est nulle, il vient : $\Delta\mathscr{E}_{c_{A\to B}} = \frac{1}{2}\, m \times v_B^2$

Donc : $v_B = \sqrt{\frac{2 \times \Delta\mathscr{E}_{cA\to B}}{m}}$ $\quad v_B = \sqrt{\frac{2 \times 5{,}96 \times 10^6\ \text{J}}{80{,}0\ \text{kg}}}$

$v_B = 386\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

3. La valeur réelle de la vitesse est inférieure à celle que l'on obtiendrait avec une chute libre. Les forces de frottement, non conservatives, ne sont donc pas négligeables. Ce sont elles qui freinent la chute.

27 Python

Oscillations d'un pendule

Ressources Python et aide à la mise en œuvre : lycee.hachette-education.com/pc/1re

1. Au lancement du programme, on observera le tracé des courbes donnant l'énergie potentielle de pesanteur, l'énergie cinétique et l'énergie mécanique au cours du temps.

2. À la ligne 6, on constate que

```
6    m=0.100
```

Le tableau des données montre que *z* est en mètre.

La ligne 20 montre que les énergies sont en joule.

La formule de la ligne 14 impose que *m* soit en kilogramme.

La masse du pendule est donc 0,100 kg soit 100 g.

3. Sur le même principe que pour l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur, on demande au programme de calculer l'énergie mécanique. On s'est placé après les lignes de création des énergies cinétique et potentielle de pesanteur dans le programme.

```
16   '''Détermination des valeurs de l'énergie\
     mécanique et création des valeurs'''
17   Em=[]
18   for i in range(len(Z)) :
19     Em=Em+[Ec[i]+Epp[i]]
```

$v_O = \sqrt{2 \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times (3{,}20 \text{ m} - 0{,}90 \text{ m})}$

$v_O = 6{,}7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

On retrouve bien la valeur annoncée dans le texte.

Utilisation de la piste pour experts

4. La valeur de la vitesse en O' (sortie du tremplin) est deux fois plus importante que celle acquise avec la piste pour débutants, soit $v_{O'} = 13{,}4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

En considérant qu'il y a conservation de l'énergie mécanique, il vient : $\mathscr{E}_{m A'} = \mathscr{E}_{m O'}$

donc : $\frac{1}{2} m \times v_{A'}^2 + m \times g \times z_{A'} = \frac{1}{2} m \times v_{O'}^2 + m \times g \times z_{O'}$

Comme $v_{A'} = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $z_{A'} = \frac{1}{2g} v_{O'}^2 + z_{O'}$

$z_{A'} = \frac{1}{2 \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}} \times (13{,}4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 + 1{,}50 \text{ m}$

$z_{A'} = 10{,}7 \text{ m}$

La hauteur H_2 au départ de la piste experts est 10,7 m.

30 Les centrales STEP

1. Dans les bassins d'altitude, l'énergie est stockée sous forme d'énergie potentielle de pesanteur.

2. a. On prend le niveau de la mer comme référence de l'énergie potentielle.

Le volume étant de $2{,}0 \times 10^6 \text{ m}^3$ d'eau, on peut en déduire la masse, puis l'énergie potentielle de pesanteur : $\mathscr{E}_p = \rho_{eau} \times V \times g \times z$

Remarque : ce choix de niveau de référence influe sur les valeurs des énergies (questions **2. a** et **b**) mais pas sur leur différence (question **3 .a** et suivantes).

Pour le bassin inférieur : $\mathscr{E}_{p\,I} = \rho_{eau} \times V \times g \times z_I$

$\mathscr{E}_{p\,I} = 1{,}0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 2{,}0 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times 1\,800 \text{ m}$

$\mathscr{E}_{p\,I} = 3{,}5 \times 10^{13} \text{ J}$

b. Pour le bassin supérieur : $\mathscr{E}_{p\,S} = \rho_{eau} \times V \times g \times z_S$

$\mathscr{E}_{p\,S} = 1{,}0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 2{,}0 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times 2\,500 \text{ m}$

$\mathscr{E}_{p\,S} = 4{,}9 \times 10^{13} \text{ J}$

3. a. La variation d'énergie potentielle de pesanteur est :

$$\Delta \mathscr{E}_{p,I \to S} = \mathscr{E}_{pS} - \mathscr{E}_{pI} = 1{,}4 \times 10^{13} \text{ J}$$

b. Cette opération de turbinage s'effectue la nuit car la demande en énergie électrique est moins importante.

4. a. Lors d'un pic de consommation, l'eau passe du bassin supérieur au bassin inférieur.

La perte d'énergie potentielle de pesanteur permet de récupérer de l'énergie électrique. Pour la calculer il faut tenir compte du rendement de conversion annoncé dans le texte.

$$\mathscr{E}_{elec} = \frac{70}{100} \times |\Delta \mathscr{E}_p| = 9{,}8 \times 10^{12} \text{ J}$$

b. L'énergie électrique est libérée sur une durée de 3 heures. La puissance de la centrale STEP est :

$$\mathscr{P}_{elec} = \frac{\mathscr{E}_{elec}}{\Delta t}$$

$$\mathscr{P}_{elec} = \frac{9{,}8 \times 10^{12} \text{ J}}{3\,600 \text{ s} \cdot \text{h}^{-1} \times 3 \text{ h}}$$

$$\mathscr{P}_{elec} = 9{,}1 \times 10^8 \text{ W}$$

31 Sous le pont, on y passe

1. a. La surface de l'eau est prise comme référence de l'énergie potentielle.

Entre sa position initiale, que nous noterons A et sa position finale, que nous noterons B, la variation d'énergie potentielle de la travée est :

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ travée } A \to B} = - W_{A \to B}(\vec{P}) = - m_{travée} \times g \times (z_A - z_B)$

$= m_{travée} \times g \times (z_B - z_A)$

b. Lors d'une levée complète:

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ travée } A \to B} = 2\,750 \times 10^3 \text{ kg} \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times (53{,}0 \text{ m} - 5{,}00 \text{ m})$

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ travée } A \to B} = 1{,}29 \times 10^9 \text{ J}$

2. La variation d'énergie potentielle des contrepoids se déplaçant dans le sens inverse de la travée, de B en A est égale à :

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ contrepoids } B \to A} = - W_{B \to A}(\vec{P})$

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ contrepoids } B \to A} = - m_{contrepoids} \times g \times (z_B - z_A)$

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ contrepoids } B \to A} = m_{contrepoids} \times g \times (z_A - z_B)$

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ contrepoids } B \to A} = 2\,694 \times 10^3 \text{ kg} \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times (5{,}00 \text{ m} - 53{,}0 \text{ m})$

$\Delta \mathscr{E}_{p \text{ contrepoids } B \to A} = - 1{,}27 \times 10^9 \text{ J}$

Cette perte d'énergie potentielle des contrepoids gagnée par la travée est inférieure au gain d'énergie potentielle nécessaire pour que la travée atteigne le point B. La chute contrôlée des contrepoids ne permet pas à elle seule de lever la travée.

3. a. L'énergie électrique fournie par l'ensemble des moteurs est :

$\mathscr{E}_{elec} = \mathscr{P}_{elec} \times \Delta t$

$\mathscr{E}_{elec} = 1{,}30 \times 10^2 \times 10^3 \text{ W} \times 11 \times 60 \text{ s}$

$\mathscr{E}_{elec} = 8{,}58 \times 10^7 \text{ J}$

b. L'énergie libérée par les contrepoids additionnée à l'énergie délivrée par les moteurs est égale à :

$$1{,}27 \times 10^9 \text{ J} + 8{,}58 \times 10^7 \text{ J} = 1{,}36 \times 10^9 \text{ J}.$$

L'énergie apportée à la travée est alors suffisante pour atteindre les $1{,}29 \times 10^9$ J nécessaires.

32 Un ollie au skateboard

Étude énergétique du « ollie »

1. Dans la position initiale notée A, l'énergie mécanique du skateur est :

$$\mathscr{E}_{mA} = \frac{1}{2} m \times v_A^2 + m \times g \times z_A$$

En B, l'énergie mécanique du skateur est :

$$\mathscr{E}_{mB} = \frac{1}{2} m \times v_B^2 + m \times g \times z_B$$

2. On néglige les forces de frottement (action de l'air). Le skateur n'est donc soumis qu'à son poids qui est une force conservative. Son énergie mécanique se conserve, donc $\mathscr{E}_{mA} = \mathscr{E}_{mB}$.

3. a. La relation précédente conduit à :

$$\frac{1}{2} m \times v_A^2 + m \times g \times z_A = \frac{1}{2} m \times v_B^2 + m \times g \times z_B$$

On en déduit :

$$v_B = \sqrt{v_A^2 - 2 \times g \times (z_B - z_A)}$$

$$v_B = \sqrt{v_A^2 - 2 \times g \times h}$$

b. On a :

$v_B = \sqrt{(4{,}20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 - 2 \times 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times 0{,}50 \text{ m}}$

$v_B = 2{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Étude énergétique du grind

4. Lorsqu'il est sur le rail, le skate-boarder et son skate sont soumis :

– au poids $\vec{P}$

– à l'action perpendiculaire du support $\vec{R}$

– à la force de frottement $\vec{f}$

Soit C la position d'arrêt du skate au bout de la barre du grind, on applique le théorème de l'énergie cinétique.

Le poids et l'action normale du support sont deux forces qui ne travaillent pas car elles sont perpendiculaires au déplacement.

On a alors :

$$\Delta \mathscr{E}_c = W_{C \to D}(\vec{f})$$

donc :

$$\frac{1}{2} m \times v_C^2 - \frac{1}{2} m \times v_B^2 = f \times BC \times \cos(180°)$$

$$\frac{1}{2} m \times v_C^2 - \frac{1}{2} m \times v_B^2 = -f \times BC$$

Comme $v_c = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, on en déduit :

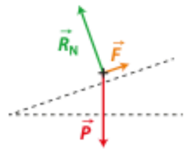
$BC = \frac{m \times v_B^2}{2\,f}$

$BC = \frac{80{,}0 \text{ kg} \times (2{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2}{2 \times 30{,}0 \text{ N}} = 10 \text{ m}$

$BC = 10 \text{ m}$

33 Bagages en soute

Schématisons les forces s'exerçant sur le bagage



2. a. $W_{A\to B}(\vec{P}) = \vec{P}\cdot\overrightarrow{AB} = m \times g \times (z_A - z_B)$

Or $z_A - z_B = -\ AB \times \sin\alpha$, donc :

$W_{A\to B}(\vec{F}) = -m \times g \times \ell \cdot \sin\alpha$

b. Le travail de la force motrice est :

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F}\cdot\overrightarrow{AB} = F \times \ell \times \cos\left(\widehat{\vec{F}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right)$$
$$= F \times \ell \times \cos(0°) = F \times \ell$$

Le travail de l'action du support est :

$$W_{A\to B}(\vec{R}) = \vec{R}\cdot\overrightarrow{AB} = R \times AB \times \cos\left(\widehat{\vec{R}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right)$$
$$= R \times \ell \times \cos(90°) = 0\ \text{J}$$

Ce travail est nul.

3. a. Le mouvement est uniforme entre A et B car la valeur de la vitesse reste constante. Donc l'énergie cinétique reste également constante et la variation d'énergie cinétique est nulle.

b. On utilise le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta\mathscr{E}_c = W_{A\to B}(\vec{P}) + W_{A\to B}(\vec{F})$$

La variation d'énergie cinétique est nulle. On en déduit :

$$W_{A\to B}(\vec{P}) = -\ W_{A\to B}(\vec{F})$$

donc :

$$m \times g \times \ell \times \sin\alpha = F \times \ell$$

ainsi

$F = m \times g \times \sin\alpha$

$F = 20\ \text{kg} \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times \sin(15°)$

$F = 5{,}1 \times 10^2\ \text{N}$

Vers l'épreuve écrite

p. 275

34 le badminton (20 min)

1. D'après la photographie, la règle mesure 1,00 m dans la réalité. Sur la photographie, elle mesure 2,0 cm. L'altitude du volant par rapport au sol est de 3,0 cm sur la photographie. On en déduit la hauteur véritable du volant : $h = 1{,}00\ \text{m} \times \dfrac{3{,}0\ \text{cm}}{2{,}0\ \text{cm}} = 1{,}5\ \text{m}$

Remarque : suivant le support utilisé les longueurs peuvent être différentes mais cela ne modifie pas la hauteur du volant. Suivant la précision des mesures, l'altitude trouvée peut cependant être un peu différente.

b. On détermine l'énergie potentielle de pesanteur du volant :

$$\mathscr{E}_p = m \times g \times z$$

Avec $h = 1{,}4$ m :

$\mathscr{E}_p = 5{,}6 \times 10^{-3}\ \text{kg} \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times 1{,}4\ \text{m} = 0{,}077\ \text{J}$

Avec $h = 1{,}5$ m :

$\mathscr{E}_p = 5{,}6 \times 10^{-3}\ \text{kg} \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times 1{,}5\ \text{m} = 0{,}082\ \text{J}$

On retrouve bien une énergie en accord avec le graphique.

2. a. On constate graphiquement que l'énergie mécanique du système ne se conserve pas. Le système {volant} est donc soumis à des forces non conservatives qui travaillent.

b. La variation d'énergie mécanique du système correspond au travail des forces non conservatives. D'après le graphique : $\Delta\mathscr{E}_m = 0{,}042\ \text{J} - 0{,}080\ \text{J} = -0{,}038\ \text{J}$.

Le travail de ces forces conservatives est résistant et est égal à $-\ 3{,}8 \times 10^{-2}$ J.

3. a. C'est l'action de l'air sur le volant de badminton qui est modélisée par les forces non conservatives (forces de frottement).

b. Le travail des forces non conservatives est égal à la variation de l'énergie mécanique.

En notant $\overrightarrow{AB}$ le déplacement on a donc :

$$\Delta\mathscr{E}_m = \vec{F}\cdot\overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos\left(\widehat{\vec{F}\,;\,\overrightarrow{AB}}\right) = F \times AB \times \cos(180°)$$
$$= -\ F \times AB$$

On en déduit

$$F = \frac{-\Delta\mathscr{E}_m}{AB}$$

$$F = \frac{-(-0{,}038\ \text{J})}{1{,}5\ \text{m}}$$

$$F = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{J}$$

35 Le pendule de Newton (20 min)

1.a. Théorème de l'énergie cinétique : la variation d'énergie cinétique d'un système est égale à la somme des travaux de toutes les forces appliquées au système :

$$\Delta\mathscr{E}_c = \sum_i W_{A\to B}(\vec{F}_i)$$

b. Seul le poids travaille donc :

$\Delta\mathscr{E}_c = W_{A\to B}(\vec{P})$

Donc

$\frac{1}{2}\, m \times v_B^2 - \frac{1}{2}\, m \times v_A^2 = m \times g \times (z_A - z_B)$

On lâche la boule de la position A. Sachant que la vitesse initiale au point A est nulle, on en déduit la valeur de la vitesse v_B au point B :

$$\frac{1}{2}\, m \times v_B^2 = m \times g \times (z_A - z_B)$$

Soit :

$$v_B = \sqrt{2\ g \times (z_A - z_B)}$$

Application numérique :

$v_B = \sqrt{2 \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1} \times 16{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m}}$

$v_B = 1{,}77\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

2. Toute l'énergie est transmise sans perte, successivement aux autres boules du pendule. L'énergie cinétique de la dernière boule lorsqu'elle se met en mouvement est donc :

$\mathscr{E}_c = \frac{1}{2}\, m \times v^2$

$\mathscr{E}_c = \frac{1}{2} \times 0{,}100\ \text{kg} \times \left(1{,}77\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}\right)^2$

$\mathscr{E}_c = 1{,}57 \times 10^{-1}\ \text{J}$

3. Dans cette hypothèse, l'énergie cinétique de la boule étant intégralement convertie en énergie potentielle de pesanteur, la dernière boule remonte à 16 cm au-dessus de sa position initiale.

4. L'action de l'air sur le système et une dissipation de l'énergie lors des chocs peuvent expliquer l'arrêt progressif des mouvements.

Vers l'oral

p. 276

36 Application

1. Lire le texte :

– Il est question du record du monde de saut à la perche de Renaud Lavillenie.

– Il est fait mention de l'énergie mécanique et de sa conservation.

– Cette conservation est observée lorsqu'il n'y a pas de force non conservative appliquée au système qui travaille.

2. Lire la question posée :

Il faut déterminer la valeur de la vitesse d'arrivée sur le sautoir en utilisant le principe de conservation de l'énergie mécanique pour un système non soumis à des forces conservatives.

3. Lire les documents :

Doc. A : il pose le contexte. La masse de Renaud Lavillenie est indiquée.

Doc. B : l'énergie cinétique est intégralement convertie en énergie potentielle, donc il y a conservation de l'énergie mécanique.
Doc C : La hauteur de départ, par rapport au sol, est de 1,10 mètre si on assimile le perchiste à son centre de gravité.

4. Préparer la réponse : 4 parties

– Contexte : Renaud Lavillenie a battu le record du monde. Essayons de déterminer sa vitesse au moment de s'élever pour franchir la barre ;
– on utilise la conservation de l'énergie mécanique du système. Dans la position initiale, son altitude est 1,10 m. Dans la position finale, son altitude est 6,16 m et sa vitesse est nulle ;
– comparaison avec une valeur réaliste ;
– conclure.

5. Répondre :

En 2016, le perchiste Renaud Lavillenie a battu le record du monde. En considérant le système {perchiste} comme uniquement soumis à des forces conservatives, déterminons la valeur de la vitesse du système au moment où il s'élève pour franchir la barre.
L'énergie mécanique se conserve au cours des différents moments de son saut. Ainsi :

$$\mathscr{E}_{m\,A} = \mathscr{E}_{m\,B}$$

donc :

$$\frac{1}{2}\,m \times v_A^2 + m \times g \times z_A = \frac{1}{2}\,m \times v_B^2 + \ m \times g \times z_B$$

D'après le texte on a $v_B = 0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ donc

$$\frac{1}{2}\,m \times v_A^2 + m \times g \times z_A = \ m \times g \times z_B$$

Ainsi :

$$v_A = \sqrt{2\ g \times (z_B - z_A)}$$

$$v_A = \sqrt{2 \times 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \times (6{,}16\ \text{m} - 1{,}10\ \text{m})}$$

$$v_A = 9{,}96\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ soit } 35{,}9\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$$

En considérant que l'énergie mécanique du perchiste se conserve, on trouve que celui-ci arrive avec une vitesse de valeur proche de 36 kilomètres par heure. Cette valeur est assez élevée. L'hypothèse selon laquelle toute l'énergie cinétique est convertie en énergie potentielle de pesanteur est certainement erronée. Le perchiste utilise ses muscles pour se « tirer » vers le haut avec les bras, cela augmente son énergie mécanique.

Je m'exprime à l'oral sur

Les formes d'énergies

- **Des affiches liées à la sécurité routière affirment parfois : « Un choc à 50 km/h équivaut à une chute dans le vide du haut d'un édifice de 3 étages » Justifier cette réponse.**

Un corps de masse m animé d'une vitesse v possède l'énergie cinétique $\mathscr{E}_c = \frac{1}{2}\,m \times v^2$

Cette énergie cinétique peut être intégralement convertie en énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p = m \times g \times z$ si l'on néglige les actions de frottement.
On aura alors $\frac{1}{2}\,m \times v^2 = m \times g \times z$ soit $z = \frac{v^2}{2g}$.

Application numérique : $z = \dfrac{(50\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} / 3{,}6)^2}{2 \times 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$

soit $z \approx 10$ m ce qui correspond environ à la hauteur de 3 étages.

- **Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie cinétique d'un TGV en vitesse de croisière ?**

La masse d'une rame de TGV est environ 400 tonnes soit : $m \approx 4 \times 10^5$ kg.
La valeur de sa vitesse de croisière est voisine de 300 km×h^{-1} soit $v \approx 80\ \text{m} \times \text{s}^{-1}$.
Son énergie cinétique $\mathscr{E}_c = \frac{1}{2}\,m \times v^2$ a donc pour ordre de grandeur $\mathscr{E}_c \approx 10^9$ J ou 1 GJ

- **Citer une situation dans laquelle l'énergie mécanique d'un système ne se conserve pas.**

L'énergie mécanique d'un système ne se conserve pas si ce système est soumis à au moins une force non conservative.
On peut citer les situations suivantes :
– avion qui accélère sur le tarmac (soumis à la poussée des réacteurs) ;
– voiture qui freine sur une route (soumise à la force de freinage) ;
– feuille d'arbre qui tombe (soumise à l'action de l'air).