Manuel p. 268

Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques

LE PROGRAMME

2. Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques

Cette partie prolonge le thème « Mouvement et interactions » dont les situations d'étude peuvent être analysées du point de vue de l'énergie. Le travail des forces est introduit comme moyen d'évaluer les transferts d'énergie en jeu et le théorème de l'énergie cinétique comme bilan d'énergie, fournissant un autre lien entre forces et variation de la vitesse. Les concepts d'énergie potentielle et d'énergie mécanique permettent ensuite de discuter de l'éventuelle conservation de l'énergie mécanique, en particulier pour identifier des phénomènes dissipatifs.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Énergie cinétique, énergie potentielle (dépendant de la position), bilan énergétique pour un système simple, conversion d'un type d'énergie en un autre.

Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***
Énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel. Travail d'une force. Expression du travail dans le cas d'une force constante. Théorème de l'énergie cinétique.	Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel. Utiliser l'expression du travail $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$ dans le cas de forces constantes. Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
Forces conservatives. Énergie potentielle. Cas du champ de pesanteur terrestre.	Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre.
Forces non-conservatives : exemple des frottements.	Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
Énergie mécanique. Conservation et non conservation de l'énergie mécanique. Gain ou dissipation d'énergie.	Identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique. Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc. Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives. *Utiliser un dispositif (smartphone, logiciel de traitement d'images, etc.) pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système dans différentes situations : chute d'un corps, rebond sur un support, oscillations d'un pendule, etc.* **Capacité numérique :** utiliser un langage de programmation pour effectuer le bilan énergétique d'un système en mouvement. **Capacité mathématique** : utiliser le produit scalaire de deux

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 268

SITUATION 1

Il s'agit de vérifier que les élèves ont bien acquis au niveau du cycle 4 que l'énergie cinétique était une énergie liée au mouvement d'un objet.

› Exemple de réponse attendue

Le club de golf, avant impact, a une vitesse de plus de 180 km · h^{-1}. Donc le type principal d'énergie que possède le club, avant impact, est l'énergie cinétique.

› En classe de 1re spécialité

Divers cas de variation d'énergie cinétique sont au programme et seront traités quantitativement dans ce chapitre.

SITUATION 2

Il s'agit de vérifier que les élèves ont bien acquis au niveau du cycle 4 que l'énergie potentielle était une énergie liée à la position du système.

› Exemple de réponse attendue

L'énergie accumulée par le système {eau} est liée à son altitude. Donc le type principal d'énergie que possède le système est l'énergie potentielle (de pesanteur).

› En classe de 1re spécialité

La notion d'énergie potentielle dont l'énergie potentielle de pesanteur est traitée ainsi que la notion de force conservative associée.

SITUATION 3

Il s'agit de vérifier que les élèves ont bien acquis au niveau du cycle 4 qu'au cours du mouvement, énergie cinétique et énergie potentielle de pesanteur peuvent se convertir l'une en l'autre.

› Exemple de réponse attendue

Au cours du saut, le système {plongeur} chute donc son altitude et son énergie potentielle de pesanteur diminue. Tandis que la vitesse du système augmente donc son énergie cinétique augmente. Il y a conversion d'énergie potentielle en énergie cinétique au cours du saut.

› En classe de 1re spécialité

La notion de transfert d'énergie est généralisée à l'étude des systèmes conservatifs (activités 2 et 3) et non conservatifs (activités 3 et 4).

ACTIVITÉS

p. 270 ACTIVITÉ 1

Énergie cinétique et travail d'une force .... *Classe inversée*

Commentaires pédagogiques

Cette activité de découverte en classe inversée permet de découvrir la notion de travail en physique, un nouvel outil mathématique traité en spécialité mathématiques : le produit scalaire et le vocabulaire associé. Cette activité permet également d'établir une première approche du théorème de l'énergie cinétique et un lien entre variation d'énergie cinétique d'un système (dans le cas d'une translation) et la somme des travaux des forces modélisant les actions mécaniques qui s'appliquent sur le système.

■ Animation

(→ *disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève*.)

◗ *Travail d'une force électrique constante* *p. 270*

Cette animation met en évidence les paramètres affectant le travail d'une force.

› Exploitation et analyse

1. Lors de la mise en mouvement du camion, l'énergie cinétique (de translation) liée au mouvement varie.

2. a. La réaction normale et le poids forment chacun un angle de 90° avec le déplacement donc les travaux de ces deux forces sont nuls.
b. Le travail de la force de traction est moteur car la traction favorise le mouvement. Le travail des forces de frottements est résistant car les forces de frottement s'opposent au mouvement.
c. Pour la force de frottement, $W_{AB}(\vec{f}) < 0$ car α = 180° et cos α = – 1 alors que pour la force de traction $W_{AB}(\vec{f}) > 0$ car $\alpha = 0°$ et cos $\alpha = 1$.
Un travail moteur sera donc positif tandis qu'un travail résistant sera négatif.

3. a. Au cours du transfert, le système a son énergie cinétique qui augmente donc $\Delta E_c > 0$.
b. Le transfert énergétique positif est supérieur au transfert négatif car $\Delta E > 0$ donc la somme des travaux des forces est positive.

› Synthèse

La variation d'énergie cinétique est égale à la somme des travaux des forces modélisant les actions mécaniques qui s'exercent sur le système. C'est le théorème de l'énergie cinétique.

Un numéro de cirque

p. 271 **ACTIVITÉ 2**

Commentaires pédagogiques

Cette activité permet de réinvestir la notion de conversion d'énergie vue au collège en cycle 4 entre énergie cinétique et énergie potentielle de pesanteur. Cette activité introduit la notion de force conservative associée à la conservation de l'énergie. Les démarches différenciées permettent de mieux accompagner les élèves dans le formalisme de ce type d'exercice.

■ Animation

(→ *disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève*.)

◗ *Transfert d'énergie mécanique* p. 271

Une animation sur le transfert d'énergie mécanique en lien direct avec le numéro de cirque de la bascule coréenne permet d'accompagner certains élèves dans la résolution de l'activité.

›Démarche élémentaire

1. a. Lors de la phase aérienne, le poids modélise l'action mécanique exercée par la Terre sur le système Zach.

b. Le poids $\vec{P}$ est une force constante donc c'est une force conservative et on peut associer une énergie potentielle à cette force que l'on nommera énergie potentielle de pesanteur E_{pp}.

2. a. En l'absence de frottement, un opérateur extérieur doit apporter un travail $W_{AB}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp}$ pour amener le système de l'altitude z_A à l'altitude z_B, $\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA} = mg(z_A - z_B)$.

Remarque : $\Delta E_{pp} = -mg(z_A - z_B)\cos(0) = mg(z_B - z_A)$.

b. $\Delta E_{pp} = 50 \times 9{,}8 \times 4{,}5 = 2{,}2 \times 10^3$ J.

c. $\Delta E_{pp} > 0$, il s'agit d'un gain d'énergie.

3. a. En formulant les hypothèses que seules des forces conservatives s'exercent et que la bascule transfère l'énergie d'Anton vers Zach sans perte La variation d'énergie d'Anton doit être de $-2{,}2 \times 10^3$ J.

b. La variation d'énergie potentielle de pesanteur pour Anton s'écrit :

$\Delta E_{pp} = -m'gh$ soit $h = \dfrac{-\Delta E_{pp}}{m' \times g} = -3{,}0$ m. Anton se place sur l'échelle à 3,0 m.

›Démarche avancée

1. Le poids $\vec{P}$ est une force constante donc c'est une force conservative et on peut associer à cette force une énergie potentielle que l'on nommera énergie potentielle de pesanteur E_{pp}.

2. a. En l'absence de frottement, un opérateur extérieur doit apporter un travail $W_{AB}\left(\vec{P}\right) = -\Delta E_{pp}$ pour amener le système de l'altitude z_A à l'altitude z_B, $\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA} = mg(z_A - z_B)$.

Remarque : $\Delta E_{pp} = -mg(z_A - z_B)\cos(0) = mg(z_B - z_A)$

b. Pour une projection à 4,5 m du sol, $\Delta E_{pp} = 50 \times 9{,}8 \times 4{,}5 = 2{,}2 \times 10^3$ J.

3. En supposant que seules des forces conservatives s'exercent et que la bascule transfère l'énergie d'Anton vers Zach sans perte d'énergie, la variation d'énergie d'Anton doit être de $-2{,}2 \times 10^3$ J. La variation d'énergie potentielle de pesanteur pour Anton s'écrit :

$\Delta E_{pp} = -m'gh$ soit $h = \dfrac{-\Delta E_{pp}}{m' \times g} = -3{,}0$ m. Anton se placera donc sur l'échelle à 3,0 m.

›Démarche experte

Pour Zach, $\Delta E_{pp} = -mg(z_A - z_B)\cos(0) = mg(z_B - z_A)$, soit, pour une projection à 4,5 m du sol, $\Delta E_{pp} = 50 \times 9{,}8 \times 4{,}5 = 2{,}2 \times 10^3$ J.

En supposant négligeable les forces de frottement, seul le poids qui est une force conservative s'exerce. En supposant également que la bascule transfère l'énergie d'Anton vers Zach sans perte d'énergie. D'après la conservation de l'énergie, Anton doit céder une énergie correspondante à celle reçue par Zach.

Soit h la hauteur de chute d'Anton. Pour Anton, la variation d'énergie potentielle de pesanteur s'écrit

$\Delta E pp = -m'gh$ soit $h = \dfrac{-\Delta E_{pp}}{m' \times g} = -3{,}0$ m. Anton se placera donc sur l'échelle à 3,0 m.

p. 272 **ACTIVITÉ 3**

Étude énergétique d'un pendule .... *TP*

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité de type démarche expérimentale permet d'identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique. Les élèves réaliseront une vidéo puis utiliseront un tableur-grapheur pour représenter l'évolution des énergies cinétique et potentielle de pesanteur.

›Exploitation et analyse

1. a. Le système décrit un mouvement périodique avec des oscillations autour de la position du pendule au repos. Sa trajectoire est une portion de cercle.

b. La période T du système est mesurée pour plusieurs aller-retours du pendule afin d'augmenter la précision de la mesure.

2. La vitesse du système est la plus grande lorsque l'altitude est la plus basse. La vitesse est la plus faible (nulle) pour les altitudes les plus élevées.

3. a. L'énergie mécanique E_m à $t = t_0$ est sous forme d'énergie potentielle de pesanteur E_{pp}. Elle vaut mgy_0. L'énergie mécanique E_m à $t = t_0 + \frac{T}{4}$ est sous forme d'énergie cinétique.

Elle vaut $mgy_0 = \frac{1}{2}\ mv_{(t0+\frac{T}{4})}{}^2$.

b. Au cours de cette durée, $\Delta E_m = 0$ J, $\Delta E_c = -\Delta E_{pp}$.

c. Au cours de cette durée, E_{pp} est convertie intégralement en E_c. Puis entre $t_0 + \frac{T}{4}$ et $t_0 + \frac{T}{2}$, E_c est convertie intégralement en E_{pp}.

4. On peut remplacer la masse du pendule par un objet de densité plus proche de l'air. Les forces de frottements fluides seront alors non négligeables.

›Synthèse

Dans le premier cas, il y a conservation de l'énergie mécanique. Dans le second cas, il y a non conservation de l'énergie mécanique mais dissipation d'énergie, le travail des forces non conservatives est égal à la variation de l'énergie mécanique (négative).

p. 273 **ACTIVITÉ 4**

Rebond sur un support

Commentaires pédagogiques

Dans cette activité de type résolution de problème, l'élève étudie la chute avec rebond d'une bille. Il met en évidence des phénomènes dissipatifs lors des collisions. Le suivi d'une chute peut être réalisé avec l'application gratuite d'un smartphone Phyphox®. La modélisation proposée à l'élève est en langage Python. L'élève doit exécuter le programme fourni en renseignant le programme avec les valeurs extraites du document 1, puis raisonner à partir des résultats et de la courbe du document 2 pour comprendre le principe de fonctionnement de l'application.

Programme Python

```
«»»
Programme associé à la résolution de problème :
rebond sur un support
physique chimie 1re spécialité éditions bordas
«»»
m = float(input("entrez la masse m de la
bille en gramme : "))
t1 = float(input("entrez la durée t1
affichée sur le smartphone : "))
t2 = float(input("entrez la durée t2 : "))
h1 = 9.81/2*(t1/2)**2
h2 = 9.81/2*(t2/2)**2
h0 = h1**2/h2
K0 = P0 = m*10**-3*9.81*h0
K1 = P1 = t2/t1*P0
K2 = P2 = (t2/t1)**2*P1
print("Résultats :")
print("hauteur de lâcher calculée ho =",
round(h0,2), "m")
print("Energie potentielle initiale
Epp(h0) =",round(P0,2),"J")
print("Energie cinétique avant collision
Ec(0) =",round(K0,2),"J")
print("Epp(h1) =",round(P1,2),"J")
print("Avant deuxième collision Ec(1) =
",round(K1,2),"J")
print("Epp(h2) =",round(P2,2),"J")
print("Avant troisième collision Ec(2)
=",round(K2,2),"J")
```

›Réponse aux questions préliminaires

1. a. D'après les valeurs retournées par le programme python $E_c(0) = E_{pp}(h_0) = 0{,}15$ J ; $E_{pp}(h_1) = E_c(1) = 0{,}1$ J ; $E_{pp}(h_2) = E_c(2) = 0{,}04$ J Donc entre deux collisions, il y a conservation de l'énergie mécanique, l'énergie cinétique est intégralement convertie en énergie potentielle de pesanteur et réciproquement. Au cours de chaque collision, l'énergie mécanique diminue.

b. Il y a dissipation de l'énergie mécanique du système pendant la collision où l'énergie cinétique après collision est plus faible que l'énergie cinétique avant la collision ($R < 1$).

2. a. D'après la conservation de l'énergie mécanique entre deux collisions (modèle de la chute libre), il y a conversion intégrale de l'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique (et réciproquement). Donc l'énergie cinétique avant la collision est égale à l'énergie potentielle maximale précédente : $E_c(n) = E_{pp}(h_n)$.

Ainsi $R = \sqrt{\frac{E_c(n)}{E_c(n-1)}} = \sqrt{\frac{E_{pp}(h_n)}{E_{pp}(h_{n-1})}}$. Or $E_{pp}(z = h) = mgh$

d'où finalement : $R = \sqrt{\frac{E_{pp}(h_n)}{E_{pp}(h_n - 1)}} = \sqrt{\frac{h_n}{h_n - 1}}$.

b. D'après les valeurs affichées par le smartphone, on vérifie que le rapport $\frac{h_n}{\Delta t_{n^2}}$ est quasi constant pour tous les rebonds et vaut $1{,}22\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$. On retrouve cette proportionnalité dans les expressions de h_1 et h_2 du programme Python.

›Le problème à résoudre

Grâce à l'enregistrement sonore des rebonds, l'application du smartphone mesure les intervalles de temps Δt entre chacun d'eux. Elle en déduit la hauteur maximale du rebond correspondant (voir le programme python). Elle calcule ensuite la hauteur de chute initiale h_0 par la relation $h_0 = \frac{h_1^2}{h_2}$ du programme.

L'application du smartphone utilise les valeurs de Δt_n mesurées à l'aide du microphone de l'appareil. Pour le suivi des énergies en supposant que l'énergie initiale E_0 est de 100 % au départ de la chute, l'appli calcule les énergies après chacun des deux premiers rebonds par : $E_n = R^n \times E_0$. avec $R = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$.

Remarque : d'autres facteurs correctifs sont ajoutés ensuite par l'application pour les pourcentages suivants.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel p. 278

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

Acquérir les notions p. 279

› Énergie cinétique et travail d'une force

9 **1.** $v = \frac{253}{3,600} = 70,3$ m · s^{-1}.

2. $E_c = \frac{1}{2}\ mv^2$; $E_c = \frac{1}{2} \times 55 \times 10^{-3} \times (\frac{253}{3,600})^2 = 136$ J.

10 **1.** $\vec{R}$ et $\overrightarrow{AB}$ forment un angle $\alpha = 90,0°$. Donc c'est la force $\vec{R}$ dont le travail est nul.

2. $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos 0$ car $(\vec{F}\ ;\ \overrightarrow{AB}) = 0°$ d'où $W_{AB}(\vec{F}) = 80 \times 12,0 \times 1 = 9,6.10^2$ J.

$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = P \times AB \times \cos(100)$ car $(\vec{P}\ ;\ \overrightarrow{AB}) = 100°$ donc $W_{AB}(\vec{P}) = -\ 6,25 \times 10^2$ J.

3. Le travail du poids est résistant car sa valeur est négative, le travail de la force de traction est moteur car positif.

11 **1.** Placer les points A et B, orienter le vecteur poids $\vec{P}$ selon la verticale vers le bas, et représenter l'angle $\alpha = 180°$.

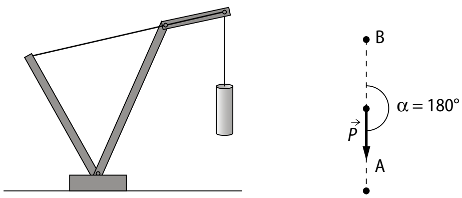


schéma — modélisation

2. $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = P \times AB \times \cos(180)$ donc $W_{AB}(\vec{P}) = -\ 260 \times 10^3 \times 9,8 \times 100 = -\ 2,5 \times 10^8$ J.

3. Ce travail est négatif car le travail du poids est résistant, le poids s'oppose au mouvement du dôme.

12 **1.** La variation d'énergie cinétique d'un système qui se déplace d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux des forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'appliquent sur le solide lors de son déplacement.

2. $\Delta E_c = \frac{1}{2}\ mv_f{}^2 - 0$, soit $\Delta E_c = \frac{1}{2} \times 14 \times 10^3 \times (\frac{250}{3,600})^2 = 3,4 \times 10^7$ J.

3. D'après le théorème de l'énergie cinétique, la somme vaut : $3,4 \times 10^7$ J.

13 **1.** $\vec{R}$ et $\vec{P}$ sont perpendiculaires à $\overrightarrow{AB}$ donc leur travail est nul.

2. $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos 0$ car $(\vec{F}\ ;\ \overrightarrow{AB}) = 0°$ d'où $W_{AB}(\vec{F}) = 250 \times 20 \times 1 = 5,0 \times 10^3$ J

$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} = f \times AB \times \cos(180)$ car $(\vec{f}\ ;\ \overrightarrow{AB}) = 180°$ donc $W_{AB}(\vec{f}) = -\ 5,0 \times 10^2$ J.

3. D'après le théorème de l'énergie cinétique appliqué entre A et B,

$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = W_{AB}(\vec{F}) + W_{AB}(\vec{f})$ soit avec $v_A = 0$, $v_B = \sqrt{\frac{2 \times (W_{AB}(\vec{F}) + W_{AB}(\vec{f}))}{m}}$, soit $v_B = 5,5$ m · s^{-1}.

› Forces conservatives et non-conservatives

14 **1.** L'intensité de la force dépend de l'étirement du ressort et donc de la position du système : la force n'est pas constante.

2. Par définition, une force conservative est une force dont la valeur du travail est indépendante du chemin suivi, donc la force de rappel est une force conservative.

15 **1. a.**

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = \vec{P} \cdot (\overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HB})$$
$$= \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} + \vec{P} \cdot \overrightarrow{HB} = W_{AH}(\vec{P}) + W_{HB}(\vec{P}).$$

b. $(\vec{P}\ ;\ \overrightarrow{HB}) = 90°$ et $(\vec{P}\ ;\ \overrightarrow{AH}) = 180°$ donc

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} + \vec{P} \cdot \overrightarrow{HB} = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} = P \times AH \times \cos 180$$
$$= mg \times AH \times (-1) = -\ mg \times (z_H - z_A).$$

Puisque $z_H = z_B$, $W_{AB}(\vec{P}) = mg \times (z_A - z_B)$.

c. Le travail du poids ne dépend que de l'altitude z_A et z_B et non du chemin suivi. Le poids est donc une force conservative.

d. $W_{AB}(\vec{P}) = mg \times (z_A - z_B) < 0$ le travail du poids est résistant, le poids s'oppose au mouvement.

2. a. $\Delta E_{pp} = -\ W_{AB}(\vec{P})$

c'est-à-dire $E_{ppB} - E_{ppA} = mg \times (z_B - z_A) > 0$

b. Cette variation est positive car en augmentant son altitude, le système a emmagasiné une énergie en réserve appelée énergie potentielle. Cette énergie pourra être restituée ensuite par exemple en perdant de l'altitude.

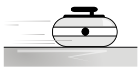
c. $E_{ppB} - E_{ppA} = mgz_B - mgz_A$ donc on peut écrire $E_{pp} = mgz$ avec E_{pp} nulle à l'origine des z pour $z = 0$.

d. Cette expression n'est pas unique, elle est définie à une constante près car elle dépend du niveau de référence choisi.

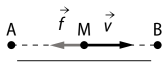
16 **1.** En prenant le niveau du sol pour niveau de référence, $E_{pp} = mgz = 18$ J.

2. En prenant le niveau du panier pour niveau de référence alors $E_{pp} = 0$ J.

17 **1. a.** et **b.** $\vec{v}$ et $\vec{f}$ sont de sens opposé.



schéma



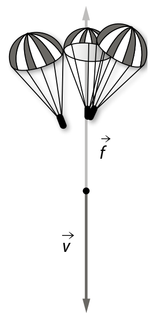
modélisation

2. $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} = -f \times AB$ et $W_{AB}(\vec{f}) = -7{,}5$ J.

3. a. Sur un déplacement retour, $\vec{f}$ est d'intensité constante mais le vecteur change de sens car la force de frottement est de sens opposé au vecteur vitesse.
$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{BA} = -f \times AB$ soit $W_{AB}(\vec{f}) = -7{,}5$ J.

b. Si f est une force conservative, alors son travail ne dépend pas du chemin suivi.
Pour un aller-retour depuis A en passant par B, $W_{total} = -15$ J.
Pour un aller-retour jusqu'au milieu M de AB, le travail aurait été moitié moindre. Ainsi le travail dépend du chemin suivi et les forces de frottement sont non conservatives.

18 **1. a. et b.** $\vec{v}$ vertical orienté vers le sol et $\vec{f}$ vertical et de sens opposé.



2. a. $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} = -f \times AB$.

b. En une minute soit 1/60e d'heure, $AB = 35 \times 10^3/60 = 583$ m soit $W_{AB}(\vec{f}) = -1{,}3 \times 10^6$ J.

c. Le travail est négatif car la force s'oppose au mouvement.

›Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

19 **1.** Réponse b.

2. Réponse a.

3. Réponse c. Lorsque l'énergie cinétique d'un wagon de montagne russe diminue, son énergie potentielle de pesanteur peut augmenter ou non cela dépend de l'existence de force de frottements.

20 **1. a.** Le tracé représentant l'énergie mécanique est en jaune sur le graphique. L'énergie potentielle de pesanteur est en violet, sa variation est proportionnelle à l'altitude du ballon. L'énergie cinétique est en bleu sur le graphique, elle diminue lors de la phase de montée du ballon puis augmente lors de la phase de descente.
b. L'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement, donc il n'y pas de forces non conservatives modélisant une action mécanique lors du lancer.

2. La valeur de l'énergie mécanique est égale à 12 J environ.

21 **1. a.** Toute l'énergie potentielle du skateur se transforme en énergie cinétique lors de la descente et inversement lors de la montée.
b. Une partie de l'énergie potentielle de pesanteur du skateur se transforme en énergie cinétique et l'autre en énergie thermique par l'intermédiaire des forces de frottement lors de la descente.

2. L'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement si les frottements sont négligeables et ne se conserve pas dans le cas contraire.

3. a. $E_m = E_{pp} + E_c$ soit $E_m = 2{,}8$ kJ.
b. Em diminue, il y a dissipation d'énergie pour le système.

22 **1. a.** Comme l'énergie potentielle diminue au cours du temps, l'étude énergétique représente la descente de l'enfant depuis la balançoire jusqu'au sol.

b. $\Delta E_{pp} = -mgh$ soit $h = \dfrac{-\Delta E_{pp}}{m \times g} = -1{,}4$ m. Le système était à une hauteur de 1,4 m au-dessus du sol.

2. a. L'enfant est soumis à des frottements dans le cas où l'énergie mécanique ne se conserve pas au cours du temps. Il s'agit du graphe représenté à droite.
b. S'exercent alors les actions mécaniques modélisées par le poids et les forces de frottement. Le poids est une force conservative mais pas les forces de frottement.
c. Le travail des forces non conservatives correspond à la variation d'énergie mécanique :
$\Delta E_m = \Delta E_{pp} = 280 - 400 = -120$ J.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 282 et 283

24 **1.** Le poids et la réaction sont perpendiculaires au déplacement donc $W_{AB}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \overrightarrow{AB}$
or $(\vec{R}\,;\overrightarrow{AB}) = 90°$ donc $W_{AB}(\vec{R}) = 0$ J.
$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$ or $(\vec{P}\,;\overrightarrow{AB}) = 90°$ donc $W_{AB}(\vec{P}) = 0$ J.

$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$, $(\vec{F}\ ;\ \overrightarrow{AB}) = 20°$

donc $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos 20$.

2. La variation d'énergie cinétique d'un système qui se déplace d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux des forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'appliquent sur le solide lors de son déplacement :

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{F})$$

d'où $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos 20 = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

d'où $F = \dfrac{m \times (v_B^2 - v_A^2)}{2 \times AB \times \cos(20)}$ et $F = 3{,}6$ N.

Cette intensité est faible donc on ne peut pas négliger les frottements.

26 **1.** En l'absence de frottement, il y a conservation de l'énergie mécanique entre le point A et le point C correspondant à l'arrêt du système (pour $v_C = 0$).

$E_{mC} = E_{mA}$ d'où $mg(z_C - z_A) = \frac{1}{2}mv_A^2$ ce qui donne $z_C = \dfrac{v_A^2}{2g}$ et $z_C = 1{,}3$ m.

Diana remontera bien la rampe intégralement.

2. En présence de frottement, le système Diana pour entrer en jeu doit atteindre l'altitude z_B du point B avec une vitesse $v_B = 0$ m · s^{-1} :

$$\Delta E_m = E_{mB} - E_{mA} = E_{ppB} - E_{cA} = mgz_B - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{f})$$

Ce qui donne : $W_{AB}(\vec{f}) = -135$ J. Or $W_{AB}(\vec{f}) = -f \cdot AB$

soit $f = \dfrac{-W_{AB}(\vec{f})}{AB}$ $f = 42$ N.

La force ne doit pas dépasser 42 N.

Croiser les notions

p. 284

27 **1.** La force vive est proportionnelle à la masse et au carré de la vitesse, on peut l'associer à l'énergie cinétique. Son unité est le joule.

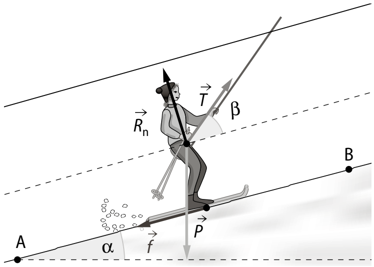
2. Au moment de la chute des billes de cuivre, il y a conversion intégrale d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique si l'action de l'air est négligée.

3. Si l'action de l'air est négligée, il y a conservation de l'énergie mécanique en l'absence de forces non conservatives. $E_{mA} = E_{mB}$ d'où $\frac{1}{2} \cdot mv_B^2 = mgh$: v_B^2 et h sont proportionnels.

4. a. Après utilisation des fonctions statistiques de la calculatrice, on trouve $v_{moyenne} = 3{,}12$ m · s^{-1} et écart type $= 0{,}014$ m · s^{-1}.

b. La dispersion est faible.

28 **1. a.** Le skieur est soumis au poids $\vec{P}$, à la force de traction $\vec{T}$, à la réaction $\vec{R}$ de la piste et une force de frottement $\vec{f}$.



b. Le mouvement est rectiligne uniforme. D'après le principe d'inertie, la résultante des forces est nulle.

c. $W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{f}) + W_{AB}(\vec{T}$

$= \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} + \vec{R} \cdot \overrightarrow{AB} + \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} + \vec{T} \cdot \overrightarrow{AB}$

$= (\vec{P} + \vec{R} + \vec{f} + \vec{T}) \cdot \overrightarrow{AB} = \vec{0} \cdot \overrightarrow{AB} = 0.$

2. $\vec{T}$ fournit un travail moteur, $\vec{R}$ ne travaille pas, $\vec{f}$. et $\vec{P}$ fournissent un travail résistant.

3. a. En notant A le bas de la piste, B le sommet, on a : $z_A - z_B = -L \cdot \sin\alpha = -112$ m.

b. $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = -9{,}4 \times 10^4$ J.

$W_{AB}(\vec{T}) = T \times AB \times \cos\beta$ car $(\vec{F}\ ;\ \overrightarrow{AB})$

$= \beta \cdot W_{AB}(\vec{T}) = 1{,}1 \times 10^5$ J.

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

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

c. Puisque la somme des travaux des forces est nul :

$W_{AB}(\vec{f}) = -(W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + +W_{AB}(\vec{T})) = -f \times AB$

d'où $f = \dfrac{W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{T})}{AB} = 59$ N.

29 **1.** Les forces de rappel sont associées à des énergies potentielles donc ce sont des forces conservatives.

2. a. L'énergie mécanique varie donc le système est soumis à l'action de forces non conservatives (comme l'action du support sur le système modélisée par des forces de frottements solides).

b. $\Delta E_{m1s} = 27$ mJ, $\Delta E_{mtotal} = 30$ m J.

3. L'énergie cinétique maximale est égale à 21 mJ.

D'où $v_{max} = \sqrt{\dfrac{E_{cmax}}{2 \times m}}$

soit $v_{max} = \sqrt{\dfrac{0{,}021}{2 \times 0{,}120}} = 0{,}30$ m · s^{-1}.

b. La dissipation d'énergie varie irrégulièrement au cours du temps, la dissipation est maximale quand la vitesse est maximale ce qui correspond à des frottements maximaux.

30 *La fin de la piste*

Un bobsleigh de masse 500 kg termine sa course avec une vitesse finale de 40 m · s⁻¹. Il enclenche les freins pour ralentir. L'engin s'arrête au bout de 200 m de parcours sur une portion horizontale de la piste.

1. Calculer le travail de la force pour stopper le bobsleigh.

2. En supposant la force de freinage constante, calculer la valeur de cette force.

1. D'après le théorème de l'énergie cinétique, $\Delta E_c = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{f})$, seule la force de freinage f travaille car la réaction et le poids sont perpendiculaires à la portion de piste horizontale :

$$W_{AB}(\vec{f}) = \Delta E_c = 0 - \frac{1}{2} m v_A^2 = -4{,}0 \times 10^5 \text{ J}.$$

2. $f = \dfrac{-W_{AB}(\vec{f})}{AB} = 2{,}0 \times 10^3$ N.

31 **1. a.** L'énergie initiale est sous forme d'énergie potentielle de pesanteur.
$E_{pp}(0) = mgh_0 = 0{,}049$ J.
b. Elle est transférée sous forme d'énergie cinétique.

2. a. E_c est nulle à l'origine, E_{pp} est maximale à $t = 0$ et E_m est constante.
b. E_m se conserve car les forces de frottements sont négligeables devant l'action du poids.
c. $E_m = E_{pp}(0) = mgz_0$; $E_m = 0{,}049$ J.

32 **1. a.** $E_c = \frac{1}{2}mv^2$; $E_p = mgy$;

$$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2}mv^2 + mgy.$$

b. L'évolution de E_{pp} est la courbe bleue car E_{pp} est proportionnelle à y, celle de E_c est la courbe rouge qui augmente lors de la phase descendante. Leur somme E_m est la courbe verte.

2. $E_c(0) = 0{,}2$ J au départ de la balle donc $v_0 = 3$ m · s⁻¹.
$E_{pp}(0) = 1{,}3$ J au départ de la balle de $y_0 = 2{,}2$ m.
$E_{cmax} = 1{,}3$ J donc $v_{max} = 6{,}6$ m · s⁻¹.

3. Avant le premier choc, l'énergie mécanique se conserve. Il se produit un transfert total d'énergie de la forme potentielle de pesanteur vers la forme cinétique.

4. a. À l'instant du choc, l'énergie mécanique passe d'une valeur constante à une autre plus faible. Il y a une dissipation de l'énergie mécanique de la balle.
b. Graphiquement, on estime $\Delta E_m = \Delta E_c = -0{,}6$ J.

5. a. Après le rebond, il y a transfert d'énergie de la forme cinétique vers la forme potentielle de pesanteur.
b. Graphiquement, on estime $E_{pp1} = 0{,}8$ J et $E_{c1} = 0{,}05$ J donc $y_1 = 1$ m et $v_1 = 1$ m · s⁻¹.

6. a. Avant et après le rebond, l'énergie mécanique se conserve. Le travail des forces de frottements est donc négligeable.
b. La présence de frottements entraînerait une diminution progressive de l'énergie mécanique au cours du temps entre deux rebonds successifs.

33 Comme les frottements sont négligés, l'énergie mécanique du saumon se conserve. Soit A le point d'où il part au bas de la chute et B le point où il atteint le haut de la chute. Soit A l'origine du repère vertical (Az) prise au niveau du bas de la chute ($E_{ppA} = 0$ J).
Ainsi $E_{mA} = E_{mB}$ soit $E_{cA} + E_{ppA} = E_{cB} + E_{ppB}$ avec $E_{ppA} = 0$ J et $E_{cB} = 0$ J (le système atteint le point B avec une vitesse nulle). $z_B = \dfrac{v_A^2}{2 \times g}$.
La hauteur maximale atteinte par ce saumon est $z_B = 3{,}5$ m.

34 **1. a.** $z_A = -L\cos\alpha_A$ et $z_B = -L\cos\alpha_B$
b. $E_{ppA} = -mgL\cos\alpha_A$ et $E_{ppA} = -mgL\cos\alpha_B$

2. a. $E_{mA} = E_{ppA} + E_{cA} = -mgL\cos\alpha_A + \frac{1}{2} mv_A^2$
et $E_{mB} = E_{ppB} + E_{cB} = -mgL\cos\alpha_B$ car $E_{cB} = 0$ J.
b. Les frottements étant négligeables, l'énergie mécanique du pendule se conserve au cours de son mouvement. Il vient donc : $E_{mA} = E_{mB}$ soit :

$$-mgL\cos\alpha_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = -mgL\cos\alpha_B$$

$$-gL\cos\alpha_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = -gL\cos\alpha_B$$

$$\cos\alpha_B = \cos\alpha_A - \frac{v_A^2}{2\,gL}$$

$\cos\alpha_B = 0{,}61$ soit $\alpha_B = 52°$.

35 **› Démarche élémentaire**

1. Au cours du mouvement de la balle, une partie de l'énergie cinétique est convertie en énergie potentielle de pesanteur. L'autre partie est dissipée par les frottements.

2. $W_{AC}(\vec{f}) = -f \cdot AC = -\dfrac{mg}{5} \times AC \times \sin\alpha$
par hypothèse.

3. a. $\Delta E_m = E_{mC} - E_{mA} = E_{pC} - E_{cA}$

$$= mg \times AC \times \sin(\alpha) - \frac{1}{2}mv_A^2.$$

b. $\Delta E_m = W_{AC}(\vec{f})$ d'où $mg \times AC \times \sin\alpha - \frac{1}{2}mv_A^2$

$$= -\frac{mg}{5} \times AC \times \sin\alpha$$

$$-\frac{1}{2}mv_A^2 = -\frac{mg}{5} \times AC \times \sin\alpha - mg \times AC \times \sin\alpha$$

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{6\,mg}{5} \times AC \times \sin\alpha$$

$$AC = \frac{5v_A^2}{12\,g \times \sin\alpha}$$

AC = 4,4 m. La balle n'atteint pas le trou. Elle s'arrête à 0,6 m du trou.

❯Démarche avancée

Soit C le point atteint par la balle lorsque son mouvement cesse. La variation d'énergie mécanique entre A et C est égale au travail des forces de frottement qui modélisent les actions mécaniques qui s'exercent entre A et C.

$\Delta E_m = E_{mC} - E_{mA} = E_{pC} - E_{cA}$

$= mg \times AC \times \sin\alpha - \frac{1}{2}mv_A^2$

Or $\Delta E_m = W_{AC}(\vec{f})$

d'où $mg \times AC \times \sin\alpha - \frac{1}{2}mv_A^2 = -\frac{mg}{5} \times AC \times \sin\alpha$

$$AC = \frac{5v_A^2}{12\,g \times \sin\alpha}$$

AC = 4,4 m. La balle n'atteint pas le trou. Elle s'arrête à 0,6 m du trou.

36 Exemple d'exposé oral

Les différents types d'énergie à évoquer seront l'énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, énergie mécanique du perchiste, l'énergie potentielle élastique de la perche.

Il s'agira de présenter les transferts d'énergies au cours des différentes étapes du saut : course d'élan, appui sur la perche, phase d'ascension, phase de descente et réception sur le tapis.

37 Exemple d'exposé oral

On considérera le skieur comme un point matériel. Au cours de la descente à plus de 240 km · h⁻¹, interviennent des forces de frottement. D'après le théorème de l'énergie cinétique, la variation d'énergie cinétique est égale à la somme du travail du poids et du travail des forces de frottement. La variation d'énergie cinétique et le travail du poids sont proportionnels à la masse m par contre il n'y a pas de proportionnalité entre la masse et le travail des forces de frottements. On en déduit que la masse intervient dans la performance.

Acquérir des compétences

p. 287

38 Analyse

1. a. On nomme *z* l'altitude du système par rapport au sol, choisi comme référence.

$E_{mC} = \frac{1}{2}m \cdot v_C^2 + 0$ et $E_{mE} = \frac{1}{2}m \cdot v_E^2 + m \cdot g \cdot z_E$.

b. L'action de l'air est négligeable donc l'énergie mécanique se conserve : $E_{mC} = E_{mE}$

d'où $\frac{1}{2}m \cdot v_C^2 = \frac{1}{2}m \cdot v_E^2 + m \cdot g \cdot z_E$

et $v_E = \sqrt{v_c^2 - 2gz_E}$ soit $v_E = 2{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. a. Lors du *grind*, l'altitude reste constante, donc l'énergie potentielle de pesanteur ne varie pas. E_{pp} correspond à la courbe 2. *E*m est la somme de E_c et E_{pp}, la courbe 3 correspond à E_m, la courbe 1 à E_c.

b. On lit graphiquement $\Delta E_m = W_{EF}(\vec{f}) = -70$ J. En supposant la force de frottement constante, on obtient $W_{EF}(\vec{f}) = -f \cdot EF$ soit $f = \frac{-W_{EF}(\vec{f})}{EF}$ d'où $f = 35$ N.

❯Synthèse

Au cours du « ollie », après le décollage, le système est en chute libre de C à E, il y a conservation de l'énergie mécanique et conversion d'énergie cinétique en énergie potentielle de pesanteur (et réciproquement dans la phase de descente).

Au cours du *grind*, les frottements sur la barre permettent de ralentir le skate. L'énergie mécanique ne se conserve plus dans cette figure.

39 On considère le système Wagon, assimilé à un point matériel.

Si le système parcourt la boucle, la vitesse minimale au cours du parcours est obtenue au sommet de la boucle, situé à la verticale de B. On nommera ce sommet de la boucle point S. v_S doit être supérieure à 20 km · h⁻¹ par hypothèse.

L'énergie mécanique du système se dissipe par l'intermédiaire des forces de frottements des rails représentées par le vecteur $\vec{f}$, on néglige l'action de l'air.

Entre les points A et S ; $\Delta E_m = E_{mS} - E_{mA} = W_{AS}(\vec{f})$. Or $\Delta E_m = E_{ppS} + E_{cS} - (E_{ppA} + E_{cA})$. En choisissant l'altitude du système par rapport au sol comme référence, on obtient :

$$\Delta E_m = mgh' + \frac{1}{2}mv_S^2 - mgh - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AS}(\vec{f}).$$

Expression de $W_{AS}(\vec{f})$:

$$W_{AS}(\vec{f}) = W_{AB}(\vec{f}) + W_{BS}(\vec{f}) = -f \times AB - f \times \pi \times \frac{h'}{2}.$$

On isole v_A dans l'équation suivante :

$$mgh' + \frac{1}{2}mv_S^2 - mgh - \frac{1}{2}mv_A^2 = -f \times AB - f \times \pi \times \frac{h'}{2}$$

$$mgh' + \frac{1}{2}mv_S^2 - mgh + f \times AB + f \times \pi \times \frac{h'}{2} = \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$mgh' + \frac{1}{2}mv_S^2 - mgh + f \times (AB + \pi \times \frac{h'}{2}) = \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$2\,gh' + v_S^2 - 2gh + \frac{2f}{m} \times (AB + \pi \times \frac{h'}{2}) = v_A^2$$

$$v_A = \sqrt{v_S^2 + 2\,g(h' - h) + \frac{2f}{m} \times (AB + \pi \times \frac{h'}{2})}$$

Soit en prenant pour v_s la vitesse minimale de 20 km · h⁻¹ :

$$v_A = \sqrt{\left(\frac{20}{3,6}\right)^2 + 2 \times 9,8 \times (20-40) + \frac{2 \times 600}{500} \times \left(120 + \pi \times \frac{20}{2}\right)}$$
$$= 1,5 \text{ m} \cdot {}^{-1}.$$

La vitesse minimale en A doit être de 1,5 m · s⁻¹.

40 › Démarche avancée

1. Avec un rapporteur, on obtient une mesure de l'angle égale à 20°. Le tremplin est un tremplin débutant.

2. a. Le toboggan est abondamment mouillé, on peut négliger les frottements du tremplin. La seule force non conservative qui intervient est la réaction de la piste mais celle-ci étant perpendiculaire à la piste, son travail est nul. On peut ainsi supposer que l'énergie mécanique du système se conserve entre A et O.

b. D'après la conservation de l'énergie mécanique et en prenant pour niveau de référence des énergies potentielles de pesanteur le niveau du sol, on obtient :

$E_{mO} = E_{mA}$ soit : $mgh + \frac{1}{2}mv_O^2 = mgH + \frac{1}{2}mv_A^2$

d'où $\frac{1}{2}mv_O^2 = mgH - mgh$ car $v_A = 0$

et $v_0 = \sqrt{2g(H-h)}$

soit $v_0 = \sqrt{2 \times 9,81 \times (3,5 - 0,85)} = 7,2$ m · s⁻¹.

41 **1.** On réalise la vidéo d'une chute de bille dans une éprouvette remplie d'huile. Avec un logiciel de traitement d'image, après étalonnage et positionnement des axes, on obtient un fichier contenant les positions successives de la bille à différents instants. A l'aide d'un tableur-grapheur, on peut alors obtenir les vitesses verticales v_y associées à chaque instant.

On crée les grandeurs $E_c = \frac{1}{2}mv_y^2$, $E_{pp} = mg_y$ et

$E_m = E_c + E_{pp}$ puis on trace leur évolution en fonction du temps.

2. a. Phase 1 : mouvement rectiligne accéléré entre $t = 0$ s et $t = 0,7$ s.
Phase 2 : mouvement rectiligne uniforme à partir de $t = 0,7$ s.

b. L'énergie cinétique de la bille augmente dans la première phase puis reste constante dès le début de la seconde phase. L'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie mécanique diminuent au cours des deux phases. La courbe verte représente l'énergie cinétique et la courbe bleue l'énergie potentielle de pesanteur.

c. Au cours de la première phase :
$\Delta E_{c1} = 0,25$ J et $\Delta E_{pp1} = -1,1$ J.
$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp}$ soit $\Delta E_{m1} = -0,85$ J.
Or $W_1(f) = \Delta E_{m1}$ donc $W_1(f) = -0,85$ J
De même au cours de la seconde phase : $\Delta E_{c2} = 0$ J et $\Delta E_{pp2} = -1,75 + 1,1 = -0,65$ J
d'où $\Delta E_{m2} = -0,65$ J. Or $W_2(f) = \Delta E_{m2}$
donc $W_2(f) = -0,65$ J.

d. Au cours de la première phase, il y a transfert d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique et dissipation d'énergie (sous forme thermique). Au cours de la seconde phase, il y a dissipation d'énergie potentielle de pesanteur sous forme thermique.