

Aspects énergétiques des

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

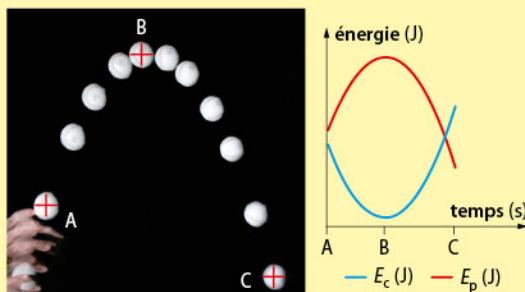
- Un objet en mouvement possède une énergie de mouvement appelée **énergie cinétique E_c** .

L'énergie cinétique d'un objet en translation dépend de sa vitesse, mais aussi de sa masse.

- Un objet placé en altitude possède une énergie de position appelée **énergie potentielle E_p** .

L'énergie potentielle d'un objet dépend de sa hauteur par rapport au sol mais aussi de sa masse.

- Les énergies s'expriment en **joule**.
- Au cours d'un mouvement, l'énergie cinétique d'un objet peut être **convertie** en énergie potentielle et inversement.



Conversion de l'énergie lors du mouvement d'une balle

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Un club de golf en acier arrive à plus de $180 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ pour frapper la balle.



Quel est le type principal d'énergie que possède le club avant l'impact ?

SITUATION 3

Un plongeur saute du haut d'un rocher. Comment varient son énergie cinétique et son énergie potentielle au cours de son saut ?



SITUATION 2

Un barrage permet de retenir de l'eau en altitude.

De quel type est l'énergie ainsi accumulée ?

phénomènes mécaniques

CHAPITRE 12

PHYSIQUE



Dans le ski de vitesse, les descendeurs peuvent atteindre des vitesses parfois supérieures à $240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. La masse du skieur intervient-elle dans la performance ?

EXERCICE 37

NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Énergie cinétique et travail d'une force. Théorème de l'énergie cinétique.
- ▶ Forces conservatives et énergie potentielle, forces non-conservatives ; exemple des frottements.
- ▶ Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique.

CAPACITÉS EXPÉIMENTALES

- ▶ Utiliser un dispositif pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système ➔ ACTIVITÉ 3

1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

CLASSE INVERSÉE

Énergie cinétique et travail d'une force

Les forces et l'énergie sont deux concepts différents en physique.
Quel lien établir entre les deux ?

DOC 1 L'exploit

Jarek Dymek est un polonais qui s'est illustré lors de l'événement « L'homme le plus fort du monde » organisé à Kuala Lumpur le 22 septembre 2002. À cette occasion, il a réussi à tirer sur une piste horizontale un camion de 16 tonnes sur une distance de 30 mètres. La situation peut être modélisée en étudiant le système camion que l'on modélisera par le point C.

- La force de traction \vec{T} modélise l'action du câble tracteur sur le système.
- Le poids \vec{P} vertical modélise l'action mécanique exercée par la Terre sur le système.
- La réaction \vec{R} modélise l'action mécanique du sol qui s'exerce sur le système perpendiculairement au sol.
- La force de frottement \vec{f} modélise l'action mécanique horizontale du sol qui s'exerce sur le système.



EXPLOITATION ET ANALYSE

On considère comme système le camion qui est assimilé à un point matériel C pour l'étude.

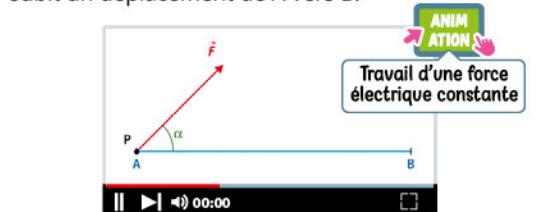
- 1 Quel type d'énergie varie lors de la mise en mouvement du camion ?
- 2 a. Quelles sont les deux forces (doc. 1) qui ont un travail nul lors de la mise en mouvement du camion ?
b. Parmi les deux forces qui travaillent lors de la mise en mouvement du système, identifier celle qui fournirait un travail moteur, puis celle qui fournirait un travail résistant.
c. En déduire à quelle condition portant sur son signe un travail peut être qualifié de moteur ou de résistant.
- 3 Lors de la mise en mouvement du système :
 - Quel est le signe de la variation d'énergie du système ?
 - Quel est le signe de la somme des travaux des forces ?

COMPÉTENCES :

- (APP) Extraire l'information utile de supports variés
(REA) Faire des prévisions à l'aide d'un outil mathématique

DOC 2 Le travail d'une force

Le travail d'une force est l'énergie transmise ou retirée à un système par les effets d'une action mécanique. Le système modélisé par un point matériel P subit un déplacement de A vers B.



Le **travail d'une force constante** \vec{F} , appliquée à un système se déplaçant d'un point A vers un point B se note $W_{AB}(\vec{F})$.

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = \vec{F} \times \vec{AB} \times \cos \alpha$$

intensité de F (en N)
travail de la force entre A et B (en joule J)
produit scalaire
longueur (en m)
angle α formé par \vec{F} et \vec{AB} (en °)

VOCABULAIRE

- **Force constante** : force d'intensité, de sens et de direction invariants au cours du temps.
- **Travail moteur** : l'action mécanique qui agit sur le système favorise son mouvement.
- **Travail résistant** : l'action mécanique s'oppose au mouvement du système.

SYNTHÈSE

Lors de la mise en mouvement, quel est le lien entre la variation d'énergie cinétique du système et la somme des travaux des forces modélisant les actions mécaniques qui s'appliquent sur le système ?

Je réussis si...

- J'utilise l'**expression du travail des différentes forces**.
- J'associe la **variation d'énergie du système** au travail des forces modélisant les actions mécaniques qui s'appliquent sur le système.

2. DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

COMPÉTENCES :

AN/RA1 Proposer une stratégie de résolution
REA Présenter les résultats de manière adaptée

Un numéro de cirque

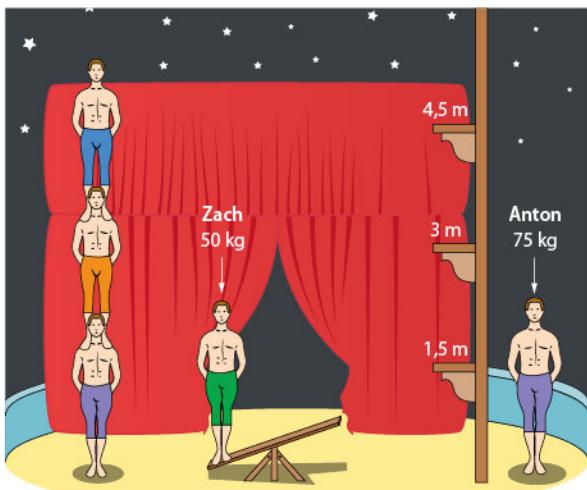
La bascule est une discipline de cirque où des acrobates sautent pour faire voltiger leur partenaire. Comment en expliquer le principe ?

DOC 1 L'acrobatie de A à Z

En sautant dans les airs, Zach doit former le quatrième étage à la pyramide humaine. Pour le projeter, son partenaire, Anton, monte sur l'échelle, puis se laisse chuter sur la bascule. Pour étudier cette situation, on considère Anton et Zach comme des systèmes assimilés à des points matériels. Seuls leurs poids travaillent durant leurs mouvements, les frottements étant considérés comme négligeables.

Donnée :

Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$



DÉMARCHE EXPERTE

Proposer une stratégie pour déterminer la hauteur à laquelle doit sauter Anton pour projeter Zach en haut de la pyramide humaine.

DÉMARCHE AVANCÉE

- Montrer qu'il est possible d'associer au système Zach une énergie potentielle de pesanteur E_{pp} .
- Montrer que pour le déplacement d'un système de masse m d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B , on a la relation $\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A)$.
 - Calculer cette variation pour le système lors du déplacement de Zach.
- Déterminer la hauteur à laquelle doit sauter Anton pour projeter Zach à 4,5 m du sol, en haut de la pyramide humaine.

POUR VISUALISER



Une animation sur le transfert d'énergie mécanique.

DOC 2 Les forces conservatives et la conversion d'énergie

Pour une force conservative, la valeur du travail de cette force ne dépend pas du chemin suivi par le système sur lequel s'applique l'action mécanique (modélisée par cette force). C'est le cas des forces constantes dont l'intensité, la direction et le sens ne varient pas au cours du temps.

À ces forces est associée une énergie potentielle qui ne dépend que de la position du système. Le poids est une force conservative associée à l'énergie potentielle de pesanteur $E_{pp} = mgz$, z étant l'altitude du système de masse m .

Lorsque seules des forces conservatrices travaillent, il y a, pour le système, conversion intégrale d'énergie cinétique E_c en énergie potentielle E_p et réciproquement.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

- Lors de la phase aérienne, identifier la force qui modélise l'action mécanique qui s'exerce sur Zach.
 - Pourquoi peut-on associer une énergie potentielle de pesanteur E_{pp} à cette force ?
- Montrer que pour le déplacement d'un système d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B , on a la relation $\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A)$.
 - Calculer la variation d'énergie potentielle de pesanteur pour Zach s'il est projeté à 4,5 m du sol.
 - S'agit-il d'un gain ou d'une perte en énergie ?
- Quelle énergie doit transférer Anton pour réussir l'acrobatie ? Sous quelle hypothèse ?
 - Déterminer à quelle hauteur sur l'échelle se place Anton afin de projeter Zach à 4,5 m du sol.

Je réussis si...

- Je sais retrouver une force conservative et lui associer une énergie potentielle.
- Je sais identifier une situation de conservation de l'énergie.
- Je détermine la hauteur de placement d'Anton.

3. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre un dispositif expérimental

(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Étude énergétique d'un pendule

Un pendule en oscillation est le siège de transferts d'énergies.
Comment quantifier ces transferts au cours du mouvement ?

DOC 1 Le dispositif expérimental

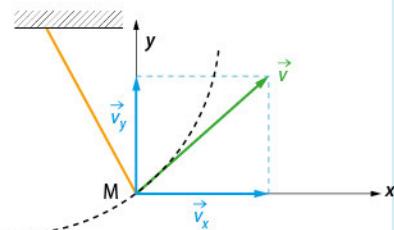
Au cours de ses oscillations, l'altitude et la vitesse d'un pendule varient. On peut suivre ces évolutions en analysant son mouvement à l'aide d'une caméra reliée à un ordinateur et d'un logiciel de traitement d'images (FICHE PRATIQUE p. 390). Choisir la position du centre d'inertie du pendule au repos comme origine des axes.



DOC 2 Vitesse d'un point mobile

La valeur de la vitesse d'un point mobile M dans un plan est obtenue à partir des coordonnées du vecteur vitesse v_x et v_y selon la relation :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$



DOC 3 Forces de frottement fluide

Les forces de frottement fluide peuvent être négligeables devant l'action de la Terre sur le système modélisé par le poids. C'est généralement le cas pour des corps denses et des vitesses modérées.

VOCABULAIRE

- **Oscillation** : mouvement de part et d'autre autour d'une position moyenne.
- **Force de frottement fluide** : force qui modélise les actions mécaniques exercées par un fluide (comme l'air).

EXPLOITATION ET ANALYSE

On étudie le mouvement d'un pendule simple constitué d'une masse m reliée à un fil, système assimilé à un point matériel M. Afficher le graphe montrant l'évolution des positions x et y du système en fonction du temps.

- 1 a. Quel mouvement décrit le système ?
b. Déterminer graphiquement la période T du système.
- 2 À l'aide du tableur, faire calculer pour chaque position la vitesse instantanée v du système, faire afficher le graphe $v = f(x)$. Pour quelle(s) position(s) la vitesse du système est-elle la plus grande ? la plus faible ?
- 3 À l'aide du tableur, faire calculer pour chaque position du système l'énergie cinétique E_c , l'énergie potentielle de pesanteur $E_{pp} = mgy$ et l'énergie mécanique $E_m = E_c + E_{pp}$.
 - a. Comparer E_m et E_c à $t = t_0$ et à $t = t_0 + T/4$. Faire de même entre E_m et E_{pp} .
 - b. En déduire les variations de E_c , E_p et E_m au cours de la durée $\Delta t = T/4$.
 - c. Quel transfert énergétique se produit entre ces deux instants ? et entre $T/4$ et $T/2$?

- 4 Réaliser une seconde étude avec un autre pendule sur lequel s'exercent des actions mécaniques modélisées par des forces de frottements fluides non-négligeables.

SYNTHÈSE

Pour chacune des deux études, représenter sur le même graphe l'évolution des trois formes d'énergie au cours du temps. Que pouvez-vous dire sur les transferts d'énergie au cours du temps ? Y a-t-il dissipation d'énergie ? Déterminer alors le travail des forces non-conservatives.

Je réussis si...

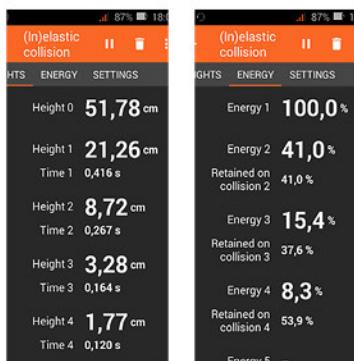
- Je sais calculer de nouvelles grandeurs à l'aide du tableur grapheur.
- Je sais interpréter l'évolution des différentes formes d'énergie au cours du mouvement.
- Je sais identifier des situations de conservation et de non-conservation de l'énergie mécanique.

Rebond sur un support

Des phénomènes dissipatifs lors de collision peuvent être modélisés et utilisés pour mesurer différents paramètres d'une chute avec rebond.

DOC 1 Suivi d'une chute avec une appli

Grâce au microphone d'un smartphone et d'une application adaptée, on mesure les altitudes maximales successives après chaque rebond d'une bille de 30 grammes lâchée ainsi que les durées Δt entre les rebonds. On peut aussi suivre l'évolution de l'énergie lors des rebonds de la bille et accéder sur l'écran directement à la hauteur du lâcher !



VOCABULAIRE

Lors d'un rebond, on appelle **coefficient de restitution R** le rapport des énergies

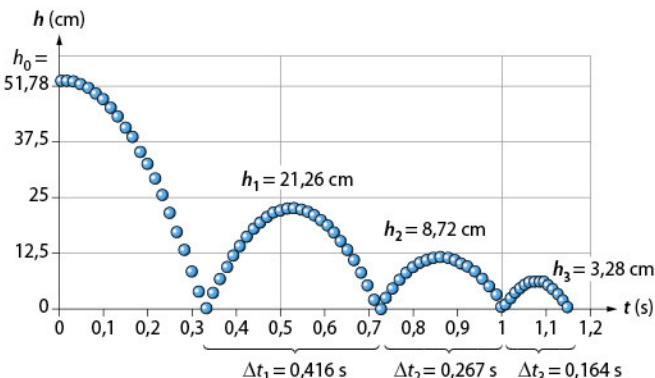
$$\text{cinétiques suivant : } R = \sqrt{\frac{E_c \text{ (après rebond)}}{E_c \text{ (avant rebond)}}}$$

DOC 3 Programmer le suivi d'une chute

L'algorithme suivant en langage Python reconstitue partiellement celui de l'application du smartphone en déterminant la hauteur de lâcher h_0 et en calculant aussi les valeurs des différentes énergies à partir des durées Δt_1 et Δt_2 et de la masse m de la bille.

DOC 2 Position verticale d'une bille au cours du temps

En extrapolant les informations affichées par le smartphone à différents instants, il est possible de construire la représentation de l'évolution de l'altitude h de la bille lâchée en fonction du temps t .



QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

- 1 a.** Exécuter le programme fourni (doc. 3). Comment les énergies cinétiques, potentielles et mécaniques évoluent au cours du temps et entre deux collisions ?
b. À quels instants se produit la dissipation d'énergie mécanique du système ?

- 2 a.** À l'aide du bilan énergétique, démontrer la relation littérale $R = \sqrt{\frac{E_{pp}(h_n)}{E_{pp}(h_{n-1})}} = \sqrt{\frac{h_n}{h_{n-1}}}$.

- b.** Sur l'enregistrement du smartphone vérifier que h_n est proportionnelle à Δt_n^2 et retrouver cette relation dans l'écriture du programme (doc. 3).

```
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 h0 =", 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")
```

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Comment l'application du smartphone peut-elle suivre l'évolution des énergies du système et déterminer la hauteur de lâcher h_0 de la bille ?

Je réussis si...

- Je sais effectuer le bilan énergétique du système en mouvement.
- Je sais relier les grandeurs entre elles.



1 Énergie cinétique et travail d'une force

► Énergie cinétique

Un objet qui se déplace possède une énergie de mouvement, qui dépend de sa vitesse et de sa masse, appelée **énergie cinétique**.

La relation donnant l'**énergie cinétique** E_c d'un système modélisé par un point matériel animé d'un mouvement de translation s'écrit :

$$\text{énergie cinétique (en joule J)} \rightarrow E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad \begin{matrix} \text{masse (en kg)} \\ \downarrow \\ \text{vitesse (en } m \cdot s^{-1}) \end{matrix}$$

EXEMPLE Lors d'un crash-test, l'énergie cinétique est à l'origine de la déformation du véhicule (FIG. 1).

► Travail d'une force constante

Une force constante est une force dont l'intensité, la direction et le sens ne varient pas au cours du temps. Le travail d'une force traduit au niveau énergétique les effets d'une action mécanique sur un système qui se déplace.

Le **travail** d'une **force constante** \vec{F} , appliquée à un système se déplaçant d'un point A vers un point B se note $W_{AB}(\vec{F})$.

$$\text{travail de la force entre A et B (en J)} \rightarrow W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos \alpha \quad \begin{matrix} \text{intensité de } F (\text{en N}) \\ \downarrow \\ \text{produit scalaire} \quad \text{longueur (en m)} \quad \begin{matrix} \text{angle } \alpha \\ \text{formé par } \vec{F} \text{ et } \vec{AB} (\text{en } ^\circ) \end{matrix} \end{matrix}$$

Le travail est une grandeur algébrique de signe positif ou négatif déterminé par la valeur de l'angle α (F et AB étant toujours positives (FIG. 2)) comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$
la force favorise le déplacement.	la force n'agit pas sur le déplacement.	la force s'oppose au déplacement.
le travail est moteur .	le travail est nul .	le travail est résistant .

EXEMPLE Une pomme de masse $m = 130 \text{ g}$ chute verticalement d'une hauteur de $1,0 \text{ m}$. Le poids qui modélise l'action mécanique de la Terre sur la pomme est une force constante d'expression $P = m \times g$ et son point d'application se déplace sur $AB = 1,0 \text{ m}$. \vec{P} et \vec{AB} forment un angle $\alpha = 0,0^\circ$ (FIG. 3). Le travail produit est moteur et vaut : $W_{AB}(\vec{P}) = 130 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 1,0 \times \cos 0,0 = 1,3 \text{ J}$.

► Théorème de l'énergie cinétique

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.

$$\text{variation d'énergie cinétique (en J)} \rightarrow \Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}) \quad \begin{matrix} \text{somme des travaux des forces (en J)} \\ \leftarrow \end{matrix}$$



FIG. 1 Lors de l'impact, la déformation est d'autant plus importante que le véhicule possède une énergie cinétique importante.

UN PONT VERS LES MATHS

Le calcul vectoriel et le produit scalaire sont des notions mathématiques qui se sont développés conjointement à la notion de travail en physique au xixe siècle.

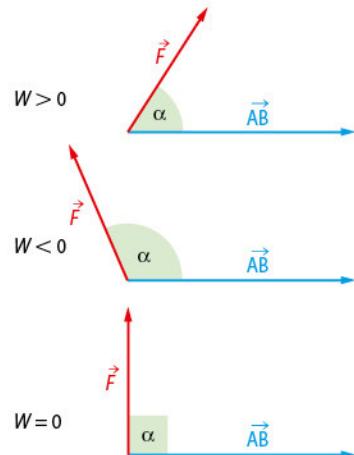


FIG. 2 Travail moteur, résistant ou nul.

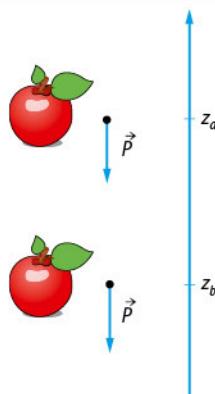


FIG. 3 Le point d'application du poids \vec{P} se déplace en modifiant la vitesse de la pomme, donc son énergie cinétique.



EXEMPLE Lors de la chute précédente de la pomme, le travail du poids correspond à un gain d'énergie cinétique pour la pomme qui s'exprime ainsi : $\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{P})$.

La variation d'énergie cinétique est égale au travail du poids (FIG. 4).

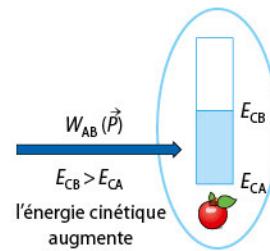


FIG. 4 Lors d'une chute libre, la variation d'énergie cinétique est égale au travail du poids.

2 Forces conservatives et non-conservatives

► Force conservative et énergie potentielle

Une force est dite **conservative** lorsque la valeur de son **travail est indépendante du chemin suivi** par le système sur lequel s'applique l'action mécanique (modélisée par cette force) (FIG. 5).

Toutes les forces constantes sont conservatives.

EXEMPLE En prenant le cas d'un déplacement quelconque d'une balle entre A et B (FIG. 5) :
 $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB}$ or $\vec{AB} = \vec{AH} + \vec{HB}$, $(\vec{P}; \vec{HB}) = 90^\circ$ et $(\vec{P}; \vec{AH}) = 0^\circ$
donc $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AH} + \vec{P} \cdot \vec{HB} = \vec{P} \cdot \vec{AH} = P \times AH \times \cos 0 = mg \times AH = mg \times (z_A - z_H)$.
Puisque $z_H = z_B$, $W_{AB}(\vec{P}) = mg \times (z_A - z_B)$.
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.

À chaque force conservative sera associée une énergie potentielle.
L'énergie potentielle d'un système est liée à sa position.

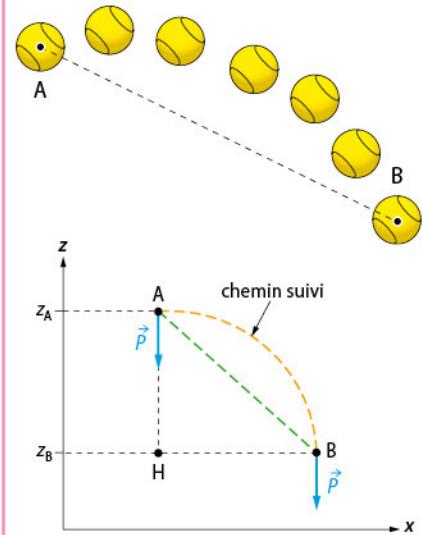


FIG. 5 Le travail du poids, force conservative, est indépendant du chemin suivi.

► Énergie potentielle de pesanteur

La variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'une balle, qui se déplace du point A au point B, est égale à l'opposé du travail du poids sur ce trajet. $\Delta E_{pp} = -W_{AB}(\vec{P})$, c'est-à-dire :

$$E_{ppB} - E_{ppA} = mg \times (z_B - z_A) = mgz_B - mgz_A$$

Par identification des termes de la relation précédente, l'**énergie potentielle de pesanteur** au voisinage de la Terre d'un système dont l'altitude est z s'écrit :

$$\text{énergie potentielle de pesanteur (en J)} \rightarrow E_{pp} = mgz \leftarrow \begin{array}{l} \text{masse (en kg)} \\ \text{altitude (en m)} \\ \text{intensité de la pesanteur (en } m \cdot s^{-2}\text{)} \end{array}$$

Pour cette expression, l'énergie potentielle de pesanteur est nulle à l'origine O où $z = 0$ et l'axe Oz est orienté vers le haut. Au voisinage de la Terre, l'intensité de la pesanteur g est considérée constante.

► Force non-conservatives

Les forces de frottement, la force de tension d'un fil, les forces pressantes sont des forces non-conservatives.

Lorsque le travail d'une force dépend du chemin suivi par le système, la force est dite **non-conservative**.



► Travail d'une force de frottement

Lorsqu'un système est en mouvement sur un support ou au sein d'un fluide, il est soumis à une action mécanique qui s'oppose au mouvement, modélisée par une force appelée force de frottement \vec{f} (FIG. 6).

Le **travail** d'une force de frottement \vec{f} , lors du déplacement rectiligne du système d'un point A à un point B, est toujours résistant.

$$\text{travail de la force de frottement (en J)} \rightarrow W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = f \times AB \times \cos 180^\circ = -f \times AB$$

intensité de F (en N) ↓
longueur (en m) ↑



FIG. 6 Au curling, le travail des forces de frottement s'oppose au mouvement de la pierre.

3 Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

► Énergie mécanique

L'**énergie mécanique** d'un système, correspondant à son énergie totale, est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle.

$$\text{énergie mécanique (en J)} \rightarrow E_m = E_c + E_p$$

énergie cinétique (en J) ↓
énergie potentielle (en J) ↑

► Conservation de l'énergie mécanique

En **l'absence de forces non-conservatives** comme les forces de frottement, il y a **conservation de l'énergie mécanique** au cours du temps.

EXEMPLE Lors du mouvement d'un pendule autour de sa position d'équilibre en l'absence de frottement, l'énergie mécanique du pendule se conserve. Il y a conversion d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique par l'intermédiaire du travail du poids et réciproquement (FIG. 7 et FIG. 8).

► Non-conservation de l'énergie mécanique

En présence de **forces non-conservatives**, l'énergie mécanique du système **ne se conserve plus** dans le temps. Quand l'énergie mécanique diminue, il y a **dissipation d'énergie**. Quand l'énergie augmente, il y a un **gain d'énergie**.

EXEMPLE Lors du mouvement d'un pendule, en présence de frottement dû à l'action de l'air sur le système, l'énergie mécanique diminue au cours du temps, $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) < 0$ (FIG. 9). L'énergie mécanique est dissipée sous forme d'énergie thermique dans le milieu extérieur dont la température s'élève.

La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces non-conservatives.

$$\text{variation d'énergie mécanique (en J)} \rightarrow \Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{f}_{\text{non-conservative}})$$

somme des travaux des forces non-conservatives (en J) ↑

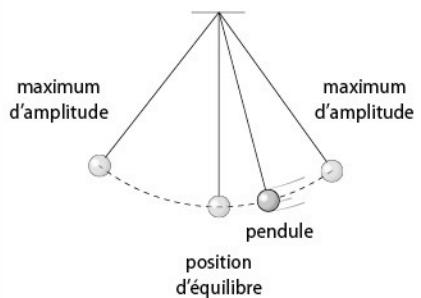


FIG. 7 Oscillation d'un pendule simple.

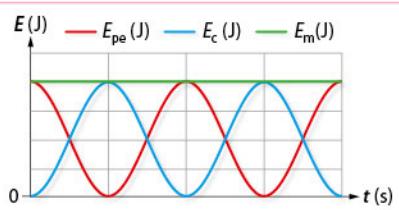


FIG. 8 Sans frottement, l'énergie mécanique du système se conserve.

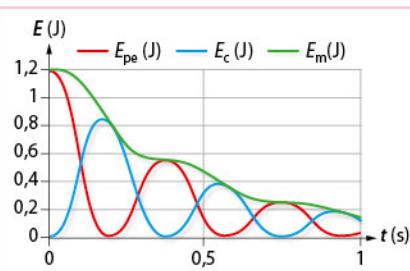


FIG. 9 En présence de frottement, l'énergie mécanique du système diminue.

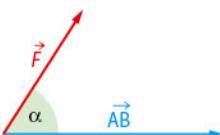
1 Énergie cinétique et travail d'une force

► L'énergie cinétique E_c d'un système modélisé par un point matériel en **mouvement de translation** est donnée par la relation :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

masse (en kg)
énergie cinétique (en joule J) vitesse (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

► Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ d'une **force constante** \vec{F} lors du déplacement \vec{AB} du système est défini par :



$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos \alpha$$

intensité de F (en N)
travail de la force entre A et B (en joule J) produit scalaire longueur (en m) angle α formé par \vec{F} et \vec{AB} (en °)

$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$
La force favorise le déplacement.	La force n'agit pas sur le déplacement.	La force s'oppose au déplacement.
Le travail est moteur .	Le travail est nul.	Le travail est résistant .

Théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

variation d'énergie cinétique (en J) somme des travaux des forces (en J)

2 Forces conservatives et non-conservatives

► Une force est dite **conservative** lorsque la valeur de son travail est indépendante du chemin suivi par le système. Le **poids** \vec{P} est une force conservative.

► L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} au voisinage de la Terre d'un système dont l'altitude est z (selon un axe orienté vers le haut) s'écrit :

$$E_{pp} = mgz$$

masse (en kg)
énergie potentielle de pesanteur (en joule J) altitude (en m)
intensité de la pesanteur (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

► Lorsque le travail d'une force dépend du chemin suivi par le système, la force est dite **non-conservative**.

► Les **forces de frottement** sont des exemples de **forces non-conservatives**. Le travail d'une force de frottement \vec{f} d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne est donné par la relation :

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

intensité de \vec{f} (en N)
travail de la force de frottement (en J) longueur (en m)

3 Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

► L'énergie mécanique E_m d'un système est la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_p .

$$E_m = E_c + E_p$$

énergie mécanique (en J) énergie cinétique (en J)
énergie potentielle (en J)

► Au cours du mouvement, l'énergie mécanique d'un système peut varier ou non. En **l'absence de frottement** (chute libre, mouvement d'un pendule, etc.), l'énergie mécanique **se conserve au cours du**

temps : $\Delta E_m = 0$. Il y a conversion intégrale d' E_c en E_p et réciproquement.

► En présence de force de frottement, l'énergie mécanique varie au cours du temps.

► La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces non-conservatives.

$$\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{f}_{\text{non-conservative}})$$

variation d'énergie mécanique (en J) somme des travaux des forces non-conservatives (en J)

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ SOLUTIONS EN PAGE 423



DONNÉE

► Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

1 Énergie cinétique et travail d'une force

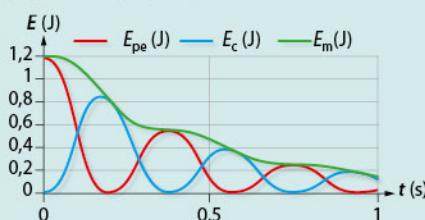
	A	B	C
1 Un objet a son énergie cinétique multipliée par 4 :	si sa masse est multipliée par 4.	si sa vitesse est multipliée par 4.	si sa vitesse est doublée.
2 Pour \vec{F} constante, $W_{AB}(\vec{F})$:	est proportionnel à l'intensité de \vec{F} .	est proportionnel à l'angle $\alpha = (\vec{F}; \overrightarrow{AB})$.	dépend de la vitesse du système.
3 Lors d'une chute verticale, ΔE_c est :	positive comme le travail du poids.	égale à la somme des forces qui modélisent les actions agissant sur le système.	proportionnelle à la hauteur de chute sans frottement.

2 Forces conservatives et non-conservatives

	A	B	C
4 Une force conservative s'exerçant sur le système :	a une valeur du travail indépendante du chemin suivi.	est liée à une forme d'énergie potentielle.	peut être une force de frottement.
5 Pour une pomme de 150 g accrochée à l'arbre à une hauteur 2,0 m du sol :	$E_{pp} = -2,9 \text{ J}$, si l'origine est prise au sol, axe vers le haut.	$E_{pp} = 2,9 \times 10^3 \text{ J}$, si l'origine est prise au sol, axe vers le haut.	$E_{pp} = 0 \text{ J}$, si l'origine est prise au niveau de la pomme.
6 Une luge subit une action mécanique modélisée par une force de frottement sur une ligne droite.	Cette force s'oppose au mouvement.	Le travail de la force de frottement est résistant.	Si $f = 40 \text{ N}$ sur une ligne droite de 2,0 m alors $W_{AB}(f) = -80 \text{ N}$

3 Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

	A	B	C
7 On considère un ballon au cours d'une chute libre (sans frottement).	Son énergie mécanique diminue.	Seule l'action de la Terre modélisée par le poids, force conservative, s'exerce sur le système.	L'énergie cinétique augmente autant que l'énergie potentielle de pesanteur diminue.
8 Sur ce graphique on voit :	que des actions mécaniques modélisées par des forces non-conservatives s'exercent sur le système.	la dissipation d'énergie mécanique au cours du temps.	que le travail des forces non-conservatives vaut 3 J.



Acquérir les notions

1 Énergie cinétique et travail d'une force

Notions du programme

Énergie cinétique
→ EXERCICE 9

Travail d'une force
→ EXERCICES 10 et 11

Théorème de l'énergie cinétique
→ EXERCICES 12 et 13

Ce qu'on attend de moi

- Connaître et utiliser l'expression de l'énergie cinétique de translation.

- Exprimer le travail d'une force constante à l'aide du produit scalaire et le calculer.

- Énoncer le théorème de l'énergie cinétique.
- Déterminer une vitesse ou un travail.

9 Énergie cinétique d'une balle de tennis

Le joueur de tennis John Isner détient le record du service le plus rapide établi lors de la coupe Davis le 6 mars 2016. La vitesse communiquée à la balle était $v = 253 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

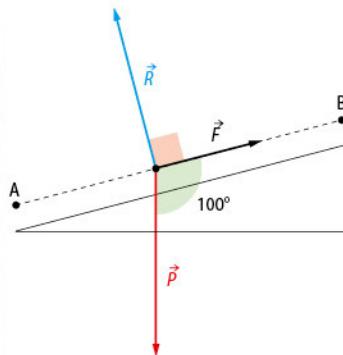
Donnée : masse d'une balle de tennis : $m = 55,0 \text{ g}$.

- Convertir cette vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- En déduire l'énergie cinétique fournie à la balle lors de ce service.

10 Travail de forces constantes

Pour charger un bagage dans la soute de l'avion, on utilise un tapis roulant. Le système bagage, assimilé à un point matériel, est soumis à trois actions mécaniques modélisées par les forces constantes représentées sur le schéma ci-dessous.

Données : Intensités du poids $P = 300 \text{ N}$, de la réaction $R = 295 \text{ N}$, de la traction $F = 80 \text{ N}$; déplacement $AB = 12,0 \text{ m}$.



- Identifier la force dont le travail est nul le long du déplacement AB.
- Exprimer puis calculer $W_{AB}(\vec{F})$ et $W_{AB}(\vec{P})$.
- Préciser si le travail de chaque force est moteur ou résistant.

11 Travail de géante

La grue géante *Big Benny* a soulevé le dôme de béton de la centrale EPR de Flamanville d'une masse de 260 tonnes jusqu'à 100 mètres de hauteur.

- Sur un schéma et sans souci d'échelle, représenter la situation.
- Calculer le travail du poids modélisant l'action mécanique de la Terre sur le dôme lors de son déplacement.
- Que dire du signe de ce travail ?

12 Catapultage d'un avion

Lors de son catapultage depuis un porte avion, l'avion de 14 tonnes atteint en bout de piste, longue de 75 mètres, une vitesse de $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

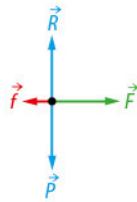


- Énoncer le théorème de l'énergie cinétique.
- Calculer la variation d'énergie cinétique lors de la phase de catapultage.
- Quelle est la valeur de la somme des travaux des forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'appliquent sur l'avion au décollage ?

13 Poussée au bobsleigh

Pendant leur course d'élan, les bobeurs poussent le bobsleigh, initialement à l'arrêt, sur une portion de piste rectiligne et horizontale. Le bobsleigh sera assimilé à un point matériel. On modélisera la poussée par une force \vec{F} , \vec{f} modélisera l'action des forces de frottements, \vec{P} l'action mécanique de la Terre et \vec{R} modélisera la composante verticale de l'action de la piste. Toutes ces forces seront considérées comme constantes.

Données : Intensité de la force de poussée $F = 250 \text{ N}$, des forces de frottement $f = 25 \text{ N}$; masse du bobsleigh $m = 300 \text{ kg}$; longueur de la poussée $AB = 20 \text{ m}$.



- Expliquer pourquoi parmi les quatre forces, deux forces ont un travail nul.
- Exprimer puis calculer $W_{AB}(\vec{F})$ et $W_{AB}(\vec{f})$.
- Déterminer la vitesse v_B communiquée au bobsleigh à la fin de la course d'élan.

2 Forces conservatives et non-conservatives

Notions du programme

Forces conservatives.
Énergie potentielle.
Cas du champ de pesanteur terrestre.

→ EXERCICES 14 15
et 16

Forces non-conservatives :
exemple des frottements.

→ EXERCICES 17 et 18

Ce qu'on attend de moi

- Définir une force conservative.
- Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.

- Définir une force non-conservative.
- Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.



Donnée

► Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

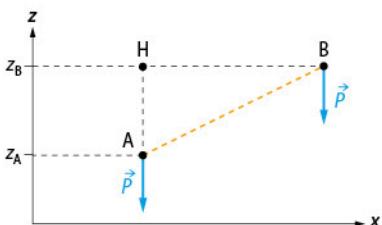
14 Conservative ou non-conservative ?

L'action d'un ressort sur un système est modélisée par une force nommée force de rappel \vec{F} . L'intensité de cette force est proportionnelle à l'étirement du ressort qui est la distance séparant le système, modélisé par un point, de sa position d'équilibre. Le travail de cette force est indépendant du chemin suivi par le système.

1. La force de rappel \vec{F} est-elle une force constante ?
2. La force de rappel est-elle une force conservative ?

15 Expression de l'énergie potentielle de pesanteur

On considère une montgolfière de masse m assimilée à un point. Le poids qui modélise l'action mécanique de la Terre sur le système est une force constante d'expression $P = m \times g$.



1. a. À l'aide du produit scalaire, exprimer le travail $W_{AB}(\vec{P})$ et montrer que $W_{AB}(\vec{P}) = W_{AH}(\vec{P}) + W_{HB}(\vec{P})$.
- b. En déduire que $W_{AB}(\vec{P}) = mg \times (z_A - z_B)$.
- c. Le poids est-il une force保守的的?
- d. Déterminer et commenter le signe de $W_{AB}(\vec{P})$
2. La variation de l'énergie potentielle d'une force保守的的 entre A et B est égale à l'opposé de son travail entre A et B.

a. Exprimer la variation d'énergie potentielle de pesanteur ΔE_{pp} entre A et B.

b. Commenter le signe de cette variation.

c. En déduire une expression de l'énergie potentielle de pesanteur.

d. Cette expression est-elle unique ?

16 Panier

Lorsque le ballon de basket-ball rentre dans le panier, il se trouve à une hauteur de 2,90 m.

Donnée :

Masse du ballon de basket : $m = 0,650 \text{ kg}$.

1. En déduire un calcul de l'énergie potentielle de pesanteur du ballon de basket assimilé à un point matériel.
2. Cette énergie peut-elle être nulle ?

17 Travail des forces de frottement solide

Un palet glisse horizontalement d'un bout à l'autre d'une table plane horizontale de longueur $AB = 2,50 \text{ m}$. Le système palet est assimilé à un point matériel. Les frottements de l'air sont négligés, tandis que ceux dus à l'action de la table sont modélisés par une force d'intensité constante $f = 3,0 \text{ N}$.

1. Sur un schéma, et sans souci d'échelle, représenter :
 - la vecteur vitesse du palet ;
 - la force de frottement due à l'action de la table.
2. Peut-on affirmer que le travail de la force \vec{f} vaut $W_{AB}(\vec{f}) = -7,5 \text{ J}$. Justifier la réponse.
3. a. Sur un déplacement en sens retour de B vers A, calculer $W_{BA}(\vec{f})$.
- b. Faire la somme des travaux des forces correspondant à l'aller-retour et en déduire si cette force est conservative ou non.

18 Travail des forces de frottement fluide

Lors de son retour dans l'atmosphère, une sonde spatiale décrit, après l'ouverture de son parachute, un mouvement vertical et uniforme. Une force de frottement fluide modélise l'action mécanique exercée par l'atmosphère sur la sonde.

Données :

Vitesse de la sonde :

$v = 35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, intensité de la force de frottement fluide :

$f = 2,3 \text{ kN}$.



1. Représenter sur un schéma sans souci d'échelle :
 - le vecteur vitesse v de la sonde ;
 - la force de frottement fluide \vec{f} due à l'air.
2. a. Donner l'expression du travail de cette force de frottement lors d'un déplacement de longueur AB.
- b. Calculer le travail des forces de frottement $W_{AB}(\vec{f})$ pendant une minute de chute.
- c. Commenter le signe de $W_{AB}(\vec{f})$.

3 Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique

Notions du programme

Énergie mécanique
Conservation et non conservation de l'énergie mécanique
Gain ou dissipation d'énergie

► EXERCICES 19 20
21 et 22

Ce qu'on attend de moi

- Identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique.
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples.
- Déterminer le travail des forces non-conservatives.

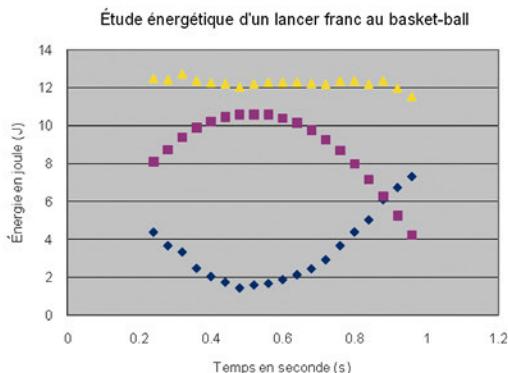
19 Conservation ou non de l'énergie mécanique

Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

- Une balle en chute est soumise à des frottements si la valeur de son énergie mécanique au cours du temps :
 - est constante ;
 - diminue ;
 - augmente.
- Un skieur dévalant une pente n'est pas soumis à des frottements si la valeur de son énergie mécanique au cours du temps :
 - est constante ;
 - diminue ;
 - augmente.
- Lorsque l'énergie cinétique d'un wagon de montagnes russes diminue, son énergie potentielle de pesanteur :
 - diminue ;
 - augmente ;
 - on ne peut pas répondre.

20 Lancer franc

Au basket-ball, un lancer franc est sifflé à la suite d'une faute. Le joueur se place à 4,60 m du panier adverse et a deux occasions pour marquer un point. Grâce à une webcam, un logiciel de traitement de vidéos et un tableau, on effectue l'étude énergétique d'un lancer franc. On obtient le graphe ci-dessous.



- Identifier les tracés représentant les énergies potentielle, cinétique et mécanique.
- En déduire si le ballon est soumis à des forces non-conservatives lors du lancer.
- Donner la valeur de l'énergie mécanique du ballon de basket.

21 Roller-skate



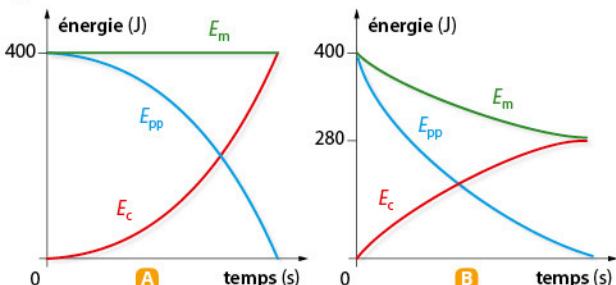
Un skateur se laisse glisser sur une rampe. Il ne prend d'élan à aucun moment. On assimile le skateur dans l'étude à un point matériel.

1. Décrire les échanges d'énergie qui ont lieu au cours des phases de montée et des phases de descente dans les deux cas suivants :

- les frottements sont négligeables ;
 - les frottements ne sont pas négligeables.
- Dans chacun des cas précédents, que peut-on dire de l'énergie mécanique du système ?
 - a. Dans le cas où les frottements sont négligeables, les énergies cinétique et potentielle de pesanteur du système au bas de la rampe sont : $E_{pp} = 1,3 \text{ kJ}$ et $E_c = 1,5 \text{ kJ}$. Exprimer l'énergie mécanique du système puis en déduire sa valeur.
b. Dans le cas où les frottements ne sont plus négligeables, au bout de plusieurs allers-retours sur la rampe, il y a-t-il gain ou dissipation d'énergie pour le système ?

22 Balançoire

Un enfant quitte sa balançoire pour retourner au sol. Le système constitué de l'enfant posé sur la balançoire sera assimilé à un point matériel. Les deux graphes A et B ci-après représentent l'étude énergétique du système dans deux situations différentes. L'origine du repère vertical, tel que $E_{pp} = 0 \text{ J}$, est prise au niveau du sol.



- Que représente l'étude énergétique de ces deux graphes ? Justifier.
- Quelle est la hauteur initiale du système sachant que la masse du système vaut 30 kg.
- Quel graphe représente la situation tenant compte des frottements ? Justifier.
- Déterminer alors deux forces pouvant modéliser les actions mécaniques s'exerçant sur le système. Ces forces sont-elles conservatives ou non ?
- Déterminer, dans cette situation, le travail des forces non-conservatives.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

23 Saut à ski

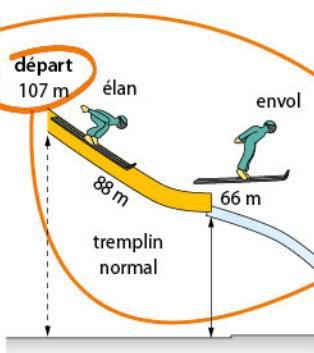
Un sauteur à ski se laisse glisser sans vitesse initiale depuis le sommet d'un tremplin. On assimile le système skieur à un point matériel. On néglige l'action de l'air et les frottements de la piste. La réaction \vec{R} qui modélise l'action du tremplin sur le système est perpendiculaire à la piste.

Données :

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; masse du skieur : $m = 75 \text{ kg}$.

1. **Exprimer** puis calculer le travail des forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur le système depuis le haut du tremplin jusqu'au point d'envol. Commenter leurs signes.

2. **Énoncer** puis appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour déterminer la vitesse du skieur au bas du tremplin avant son envol.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► Certaines actions mécaniques ne sont pas à prendre en compte.

► Le schéma renseigne sur les altitudes en haut et en bas du tremplin.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Seuls le poids et la réaction sont à prendre en compte : $W_{AB}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB}$ or $(\vec{R}; \vec{AB}) = 90^\circ$ donc $W_{AB}(\vec{R}) = 0$

$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB}$ or $\vec{AB} = \vec{AH} + \vec{HB}$, $(\vec{P}; \vec{HB}) = 90^\circ$ et $(\vec{P}; \vec{AH}) = 0^\circ$ donc

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AH} + \vec{P} \cdot \vec{HB} = \vec{P} \cdot \vec{AH} = P \times AH \times \cos 0 = mg \times AH = mg \times (z_A - z_B);$$

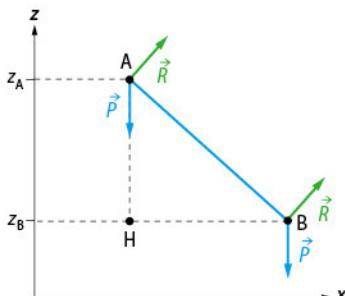
$$W_{AB}(\vec{P}) = 75 \times 9,81 \times (107 - 66) = 3,0 \times 10^4 \text{ J}.$$

Le travail du poids est **moteur** car son signe est **positif**.

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

$$\text{d'où } \frac{1}{2}mv_B^2 = W_{AB}(\vec{P}) \text{ car } v_A = 0. \text{ On en déduit l'expression } v_B = \sqrt{\frac{2 \times W_{AB}(\vec{P})}{m}} \text{ et } v_B = 28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$



LES QUESTIONS À LA LOUPE

► **Exprimer** : donner une relation littérale reliant les grandeurs physiques.

► **Énoncer** : réciter le théorème dans son intégralité.

QUELQUES CONSEILS

1. Schématiser la situation, nommer les points A et B. Tracer les axes et faire apparaître la hauteur et le point H.

Représenter l'angle entre les vecteurs réaction et déplacement.

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi.

EXERCICE SIMILAIRE

24 Force à la voile

Un voilier de 1,2 tonne se déplace sur un plan d'eau. Les actions mécaniques de l'eau seront négligées devant celles du vent modélisées par une force unique de poussée de valeur constante et de direction formant un angle de 20° avec le déplacement du voilier. Le voilier est assimilé à un point matériel.

1. Exprimer le travail des forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur le système.

2. Sur une distance de 2,0 km, la vitesse du voilier passe de 3,0 à $4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. En déduire l'intensité de la force de poussée. L'hypothèse de négliger les frottements semble-t-elle valide ?



Exercice résolu EN AUTONOMIE

25 Chute de grêlons



Des chutes de grêlons peuvent faire d'importants dégâts. Un grêlon de masse $m = 13,0 \text{ g}$ qui chute de $1\ 500 \text{ m}$ d'altitude sans vitesse initiale peut atteindre au sol une vitesse de $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. On assimilera le système grêlon à un point matériel.

Donnée :

Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Les valeurs de masse et hauteur de chute sont renseignés dans l'énoncé.
- La vitesse mesurée indiquée sera à comparer avec la valeur obtenue dans le modèle de la chute sans action de l'air.

1. Quel type d'énergie est responsable du dégât occasionné sur le pare-brise ci-dessus ?

- Faire une étude énergétique en négligeant l'action de l'air sur le grêlon.
 - Calculer la valeur de l'énergie mécanique au point de départ A.
 - Déterminer dans ce cas la vitesse qu'aurait le grêlon en arrivant au sol.
 - Peut-on retenir ce modèle ?
- 3. Faire une étude énergétique** en tenant compte de l'action de l'air sur le grêlon.
Déterminer le travail de la force de frottement qui modélise cette action.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. L'énergie cinétique du grêlon est responsable du dégât.

2. a. Le grêlon chute depuis sa position A vers la position B comme indiqué sur le schéma ci-contre. En l'absence de forces non-conservatives, l'énergie mécanique E_m est constante. $E_m(B) = E_m(A)$.

b. L' E_m du grêlon en A est égale à E_c : $E_m(A) = E_{pp}(A) + E_c(A)$. La chute du système s'effectue sans vitesse initiale, donc $E_c(A) = 0 \text{ J}$. Soit $E_m(A) = E_{pp}(A) = mgz(A) = mgh$; $E_m(A) = 13,0 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 1\ 500 = 1,91 \times 10^2 \text{ J}$.

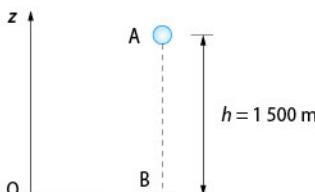
c. Comme $z(B) = 0$, $E_{pp}(B) = 0 \text{ J}$ et $E_m(B) = E_c(B) = \frac{1}{2}mv_B^2$.

donc : $v_B = \sqrt{\frac{2 \times E_m(B)}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times E_m(A)}{m}} = \sqrt{2gh}$ soit $v_B = 172 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 618 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

d. Cette vitesse est bien supérieure à la vitesse mesurée en réalité car il faut prendre en compte l'action mécanique de l'air sur le système modélisée par des **forces non-conservatives**.

3. $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f})$ soit, si v'_B est la vitesse mesurée :

$$W_{AB}(\vec{f}) = E_m(B) - E_m(A) = \frac{1}{2}mv'_B^2 - E_m(A) = -178 \text{ J}$$



LES QUESTIONS À LA LOUPE

- Faire une étude énergétique :** exprimer les différentes formes d'énergie pour décrire l'état du système et les relier grâce au théorème de l'énergie cinétique ou en exprimant la conservation (ou non) de l'énergie mécanique.

QUELQUES CONSEILS

- Faire un schéma de la situation en nommant les points de départ et d'arrivée au cours du déplacement.
- Identifier les cas où l'énergie mécanique se conserve ou pas.
- Utiliser les unités du système international pour appliquer les formules.

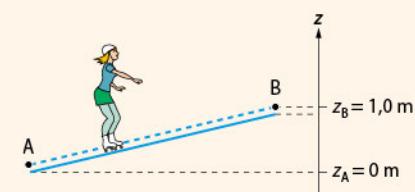
EXERCICE SIMILAIRE

26 Au roller parc

En rollers, Diana remonte la rampe de lancement avec une vitesse initiale v_A , se laissant glisser rectilignement jusqu'à l'arrêt. On assimilera Diana à un point matériel.

Données : $v_A = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; masse $m = 50 \text{ kg}$; $AB = 3,2 \text{ m}$; $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

- En l'absence de frottement, Diana remonte-t-elle jusqu'en haut de la rampe ?
- En réalité, des frottements interviennent. Calculer la valeur maximale de la force de frottement afin que Diana atteigne tout de même le haut de la rampe.



Croiser les notions

27 Chute de billes HISTOIRE DES SCIENCES



Au XVIII^e siècle, le Néerlandais Willem Jacob's Gravesande (1688-1742) réalise des expériences qui consistent à lâcher des billes de cuivre depuis une rampe à différentes hauteurs sur de l'argile molle. Le dispositif est photographié ci-dessous. Gravesande constate que plus la hauteur de chute est grande, plus la vitesse d'impact et donc la profondeur de l'empreinte sur l'argile sont importantes. Il vérifie la théorie alors controversée de la « force vive » de l'allemand Gottfried Leibniz selon laquelle la profondeur de l'empreinte est proportionnelle à la masse et au carré de la vitesse d'impact.



1. À quelle grandeur physique peut-on aujourd'hui associer la « force vive » ? Quelle est son unité ?
2. Décrire les transferts d'énergie qui ont lieu au moment de la chute des billes de cuivre.
3. Vérifier que, sous une certaine hypothèse, la hauteur de lâcher et le carré de la vitesse d'impact sont proportionnels.
4. Pour une même hauteur de lâcher, on réalise au laboratoire une série de mesures indépendantes de la vitesse v qui a donné les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

Mesure	1	2	3	4	5	6
v (en $m \cdot s^{-1}$)	3,11	3,13	3,11	3,10	3,14	3,11

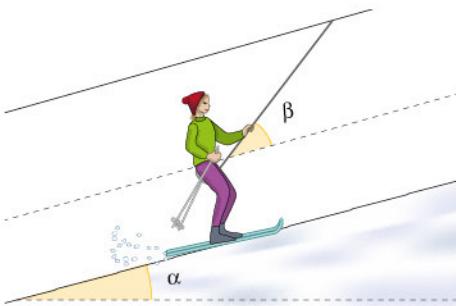
- a. Déterminer la vitesse moyenne et l'écart-type de la série.
- b. Comment qualifier la dispersion obtenue ?

28 Remonte-pente

Un skieur alpin est tracté à vitesse constante sur une piste rectiligne et inclinée. L'action de la piste est modélisée par une force \vec{R} perpendiculaire à la piste. Les frottements exercés par la piste sont eux modélisés par une force unique \vec{f} parallèle au déplacement et la traction de la perche par la force \vec{T} .

Données :

Masse du skieur : $m = 85,5 \text{ kg}$; vitesse de la remontée : $v = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; longueur de la remontée : $L = 300 \text{ m}$; $\alpha = 22^\circ$; $\beta = 30^\circ$ et $T = 430 \text{ N}$.

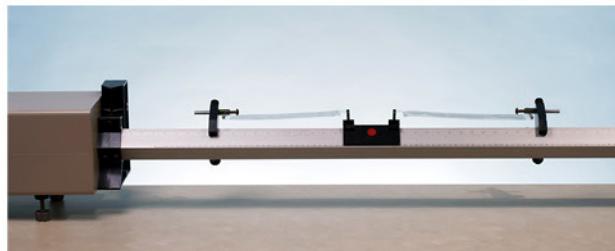


1. a. Effectuer le bilan des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le skieur, puis les représenter sur un schéma.
- b. Qualifier le mouvement du skieur. Que peut-on dire de la résultante de ces forces ?
- c. En déduire la valeur de la somme des travaux des forces.
2. Comment qualifier le travail (moteur, résistant, nul) associé à chaque force ?
3. a. Déterminer la différence d'altitude entre les deux extrémités de la piste.
- b. Établir l'expression littérale du travail de chaque force, puis calculer si possible leur valeur.
- c. En déduire l'intensité de la force de frottement f .

JE VÉRIFIÉ QUE J'AI...

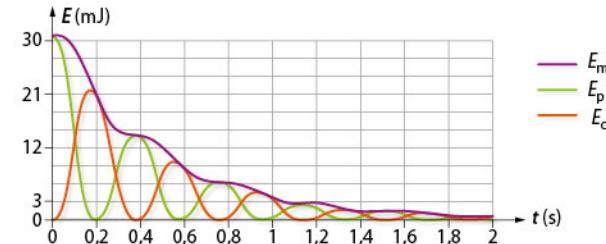
- bien évalué l'angle entre le déplacement et la force ;
- réglé ma calculatrice en mode degré.

29 Énergie potentielle élastique



Le dispositif solide-ressort ci-dessus est constitué d'une masse reliée à deux ressorts sur un plan horizontal. On écarte le ressort de sa position initiale, puis on laisse le dispositif évoluer. Le traitement d'une vidéo donne ensuite accès à la représentation au cours du temps de trois types d'énergie : l'énergie cinétique, l'énergie potentielle élastique liée à la position du système et l'énergie mécanique. Le dispositif solide-ressort sera assimilé à un point matériel.

Donnée : Masse du dispositif solide-ressort : $m = 120 \text{ g}$.



1. L'énergie potentielle élastique est associée aux forces de rappel des ressorts. En déduire à quelle catégorie de force appartiennent les forces de rappel.

2. a. Le système est-il soumis à l'action de forces non-conservatives ? Si oui, lesquelles ?

b. Déterminer sur le graphique le travail des forces non-conservatives : pendant la première seconde du mouvement, puis pendant toute la durée du mouvement.

3. a. Calculer la vitesse maximale atteinte par le dispositif.

b. La dissipation d'énergie varie-t-elle régulièrement au cours du temps ? À quels instants correspondent les pertes maximales d'énergie du système ? Pourquoi ?

30 The end of the track

A bobsled with a mass of 500 kg has finished the run moving at a speed of $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Brakes are now applied to slow down. The sled comes to rest having travelled 200 m of a horizontal part of the track.



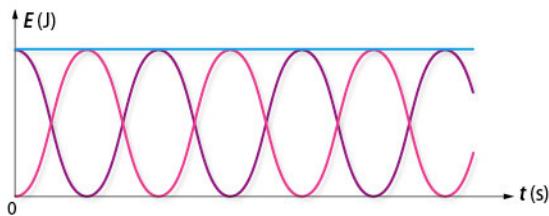
1. Calculate the work done in stopping the bobsled.

2. Assuming that brakes give a constant retarding force, calculate the magnitude of this force.

31 Oscillations d'un pendule

Un pendule, formé d'une masse m et d'un fil inextensible de masse négligeable, est lâché sans vitesse initiale à hauteur h_0 par rapport à sa position d'équilibre. Les courbes des énergies mécanique, potentielle et cinétique sont représentées ci-dessous.

Données : $m = 50 \text{ g}$; $h_0 = 10 \text{ cm}$.



1. a. Donner la forme et la valeur initiale de l'énergie.

b. Sous quelle forme est-elle progressivement transférée ?

2. a. Identifier les formes d'énergie associées à chaque courbe.

b. Quelle forme d'énergie se conserve au cours des oscillations ? Justifier.

c. Donner la valeur de cette énergie.

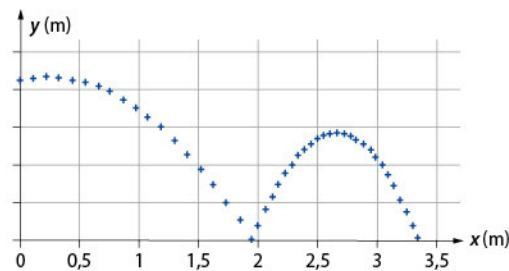
32 Rebond d'une balle

Une balle de masse $m = 60 \text{ g}$ lancée d'une altitude y_0 avec une vitesse initiale v_0 effectue un rebond sur le sol.

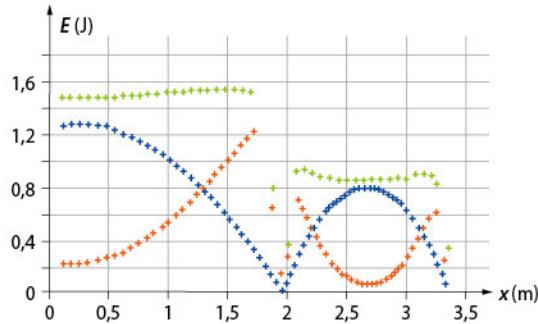
L'enregistrement vidéo de son mouvement et le traitement informatique des données permettent de visualiser :

- les positions successives de son centre d'inertie dans un repère ($O ; x, y$) (courbe **A**). L'origine des altitudes est choisie en O au niveau du sol ;

- les variations des énergies cinétique E_c , potentielle de pesanteur E_{pp} et mécanique E_m de la balle au cours du mouvement (courbes **B**).



A



B

1. a. Donner les expressions littérales des énergies E_c , E_{pp} et E_m en fonction des données de l'énoncé et de la vitesse v de la balle.

b. Identifier chaque courbe du graphe **B** en justifiant les choix.

2. Déduire des courbes la valeur de la vitesse initiale v_0 de la balle, l'altitude y_0 de départ de la balle et la vitesse maximale v_{\max} atteinte par la balle lorsqu'elle touche le sol.

3. De quoi résulte la variation de vitesse de la balle entre le départ et le rebond ?

4. a. Commenter la courbe représentative de l'énergie mécanique à l'instant du choc. Proposer une explication.

b. Évaluer l'énergie dissipée à cet instant.

5. Après le rebond :

a. Quel transfert d'énergie permet à la balle d'atteindre le point culminant de sa trajectoire ?

b. Déterminer les valeurs de la vitesse v_1 et de l'altitude y_1 de la balle au sommet de sa trajectoire.

6. a. Avant et après un rebond, les frottements dus à la résistance de l'air sont négligeables. Justifier.

b. Dans le cas de frottements non négligeables, quelle serait l'allure des courbes représentatives de l'évolution des énergies E_c , E_{pp} et E_m ?

33 Saut du saumon

Le saumon est un poisson anadrome : il naît en eau douce, vit pendant des années en mer, puis peut parcourir des milliers de kilomètres pour retourner à l'endroit où il est né afin de se reproduire. Le poisson doit alors remonter des courants et franchir des cascades en sautant.



On suppose l'eau en haut et en bas de la chute immobile et les frottements négligeables. Le saumon est assimilé à un point matériel.

Calculer la hauteur de saut maximale atteinte par un saumon s'élançant à la vitesse de $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ par rapport à l'eau.

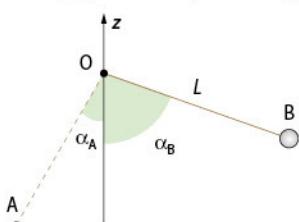
34 Remontée d'un pendule

On incline un pendule d'un angle α_A par rapport à la verticale et on le lance à la vitesse $v_A = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Il arrive en B avec une vitesse nulle.

Données :

Longueur du pendule : $L = 20 \text{ cm}$; $\alpha_A = 30^\circ$.

Les frottements sont négligeables. Au point O, $E_{pp}(O) = 0 \text{ J}$.



- Déterminer l'expression des altitudes en A et B, z_A et z_B , en fonction de L et respectivement α_A et α_B .
- En déduire les expressions des énergies potentielles de pesanteur du pendule en A et B.
- Donner les expressions des énergies mécaniques du pendule en A et B.
- En déduire l'expression de l'angle maximum α_B atteint par le pendule. Calculer sa valeur.

35 Énergie d'une balle de golf

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Une balle de golf de masse $m = 45 \text{ g}$ est située sur le green à une distance $AB = 5,0 \text{ m}$ du trou. Le green monte régulièrement avec une倾inacion $\alpha = 5,0^\circ$ par rapport à l'horizontale. Le golfeur frappe la balle en lui communiquant une vitesse $v_A = 3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La balle roule sur le green selon une trajectoire rectiligne.

On admet que le travail fourni par la force qui modélise l'action des frottements est égal au cinquième du travail du poids de la balle.

DÉMARCHE AVANCÉE

La balle de golf atteint-elle le trou ?

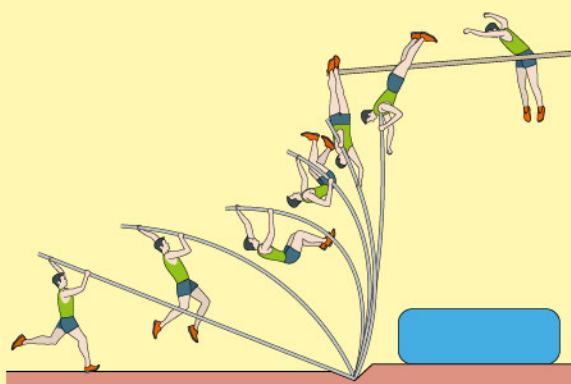
DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

- Quels sont les transferts d'énergie au cours du mouvement de la balle ?
- On note C le point atteint par la balle lorsque son mouvement cesse. Exprimer le travail de la force qui modélise l'action des frottements.
- a. Exprimer la variation d'énergie mécanique entre A et C.
- b. En déduire l'expression de la distance AC.
- c. La balle peut-elle atteindre le trou ? Si oui, quelle sera alors sa vitesse ? Si non, à quelle distance du trou s'arrêtera-t-elle ?

À L'ORAL

36 Saut à la perche

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer les types d'énergie et les transferts d'énergie impliqués dans l'épreuve du saut à la perche.



37 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Le ski de vitesse est le sport non motorisé le plus rapide sur Terre. Skieurs et skieuses peuvent atteindre une vitesse maximale qui est parfois supérieure à $240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.



Préparer un exposé oral pour expliquer si la masse du skieur intervient ou pas dans la performance.

Acquérir des compétences

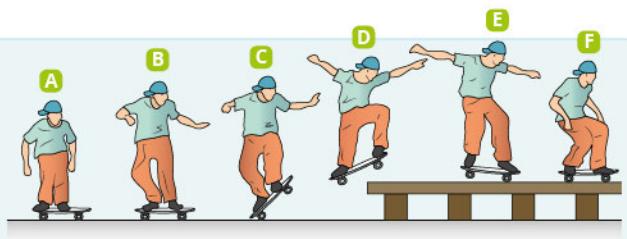
38 Un skate plein d'énergie(s) ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP Rechercher et organiser l'information

Au skateboard, de nombreuses figures mettent en jeu des conversions d'énergie.

DOC 1 Enchaînement d'un ollie et d'un grind

Le skateur avance d'abord en ligne droite à vitesse constante, puis la réalisation d'un *ollie* lui permet d'accéder à un rail et de glisser alors sur les axes de roues réalisant ainsi un *grind*. Cet enchaînement peut se décomposer de la manière représentée ci-contre.



DOC 2 Comment faire un ollie ?

Un *ollie* est la figure de base du skateboard. Il s'agit d'un saut effectué avec la planche.

Durant le « vol », l'action de l'air est négligeable.



ANALYSE

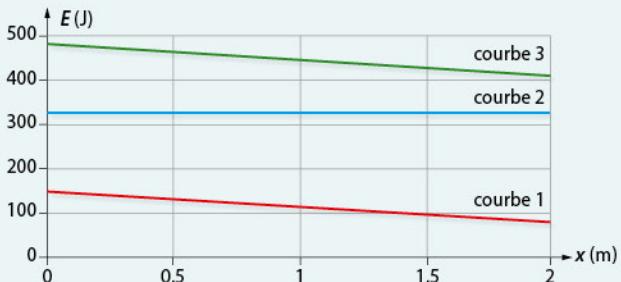
Le *ollie* est déclenché au point C avec une vitesse $v_C = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. L'atterrissement est réalisé sur le rail au point E à 45 cm de hauteur. On assimile le skateur à un point matériel.

Données : Longueur de EF : 2,0 m ; masse du système : $m = 75 \text{ kg}$; intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

- Donner les expressions de l'énergie mécanique au point C et au point E.
- Exprimer puis calculer la vitesse au point E.
- À chaque courbe du document 3, attribuer l'énergie qui lui correspond en justifiant.
- Calculer l'intensité de la force modélisant l'action mécanique du rail sur le système.

DOC 3 Énergies mises en jeu lors du grind

Le graphe ci-dessous représente l'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} , de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie mécanique E_m du système lors du *grind* de E à F.



SYNTHÈSE

Comment le skateur met-il à profit les conversions d'énergie pour réaliser les deux figures successives ?

39 Montagne russe TÂCHE COMPLEXE

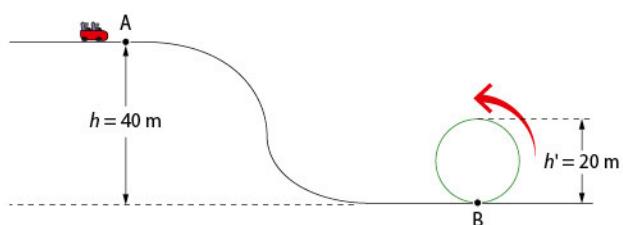
AN/RAI Construire les étapes d'une résolution de problème

Le wagon subit des actions mécaniques liées aux rails modélisées par une force de frottement f supposée constante. On admet que son travail sur une portion curviligne se calcule de façon identique à une portion rectiligne du circuit. On néglige l'action de l'air.

Données : Longueur de la piste : AB = 120 m ; masse du wagon : $m = 500 \text{ kg}$; $f = 600 \text{ N}$.

LE PROBLÈME À RÉSOUVRIR

Quelle doit être la vitesse minimale en A pour que le wagon parcourt la totalité de la boucle avec une vitesse supérieure à $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$?



40 Water jump

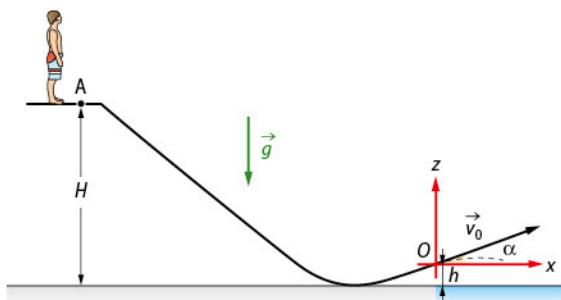
DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI Choisir un modèle ou des lois pertinentes

Le water jump est une activité en plein essor. Le principe est simple : le descendeur se laisse glisser sur un toboggan se terminant par un tremplin. Il effectue alors un saut qui s'achève dans l'eau. Le tremplin utilisé est photographié ci-contre. Le toboggan est abondamment mouillé avant son utilisation. On assimilera le descendeur à un point matériel.

Données :

Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; masse du descendeur : 73 kg.

**DÉMARCHE EXPÉRTE**

En formulant les hypothèses nécessaires et en détaillant toutes les étapes de votre raisonnement, déterminer la vitesse du descendeur en sortie du tremplin.



	Hauteur H	Hauteur h	Angle α
Tremplin débutant	$H_1 = 3,5 \text{ m}$	$h_1 = 0,85 \text{ m}$	$\alpha_1 = 20^\circ$
Tremplin expert	$H_2 = 7,0 \text{ m}$	$h_2 = 1,7 \text{ m}$	$\alpha_2 = 45^\circ$

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Déterminer à quelle catégorie de tremplin appartient celui représenté sur le schéma.

2. a. Entre A et O, pourquoi peut-on supposer que l'énergie mécanique du système se conserve ?

b. Déterminer la vitesse du descendeur en sortie de tremplin.

41 Chute dans un fluide visqueux

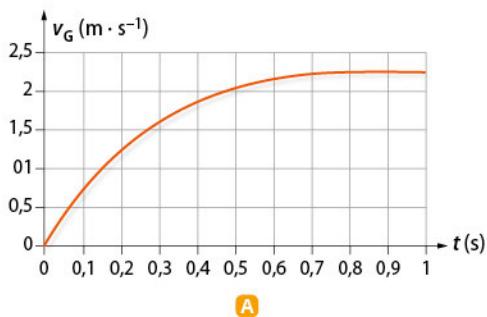
DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

ECE

AN/RAI Proposer un protocole**VAL** Interpréter des mesures

Dans un fluide visqueux comme l'huile, on étudie le mouvement de chute verticale d'une bille lâchée sans vitesse initiale.

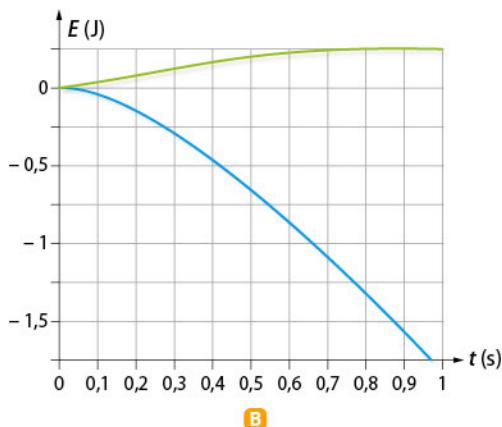
- Proposer un protocole expérimental pour déterminer l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique de la bille au cours du mouvement.
- Des mesures de positions du système au cours du temps ont été répertoriées dans un tableur-grapheur. À partir de ces mesures, les graphiques A et B ont été tracés.
- À l'aide de la courbe du graphique A, distinguer deux phases dans le mouvement de la bille.



b. Sur le graphe B, quelle courbe correspond à l'évolution de l'énergie cinétique ? quelle courbe correspond à celle de l'énergie potentielle de pesanteur ?

c. Pour chacune des deux phases du mouvement, en déduire la valeur du travail des forces de frottements qui modélisent l'action du liquide visqueux sur la bille.

d. Décrire les transferts énergétiques qui ont lieu au cours des deux phases du mouvement.



DES PISTES POUR L'ORAL TERMINAL

Un projet sur le stockage d'énergie sous forme d'énergie mécanique permet de réinvestir des notions de physique diverses (énergie, électricité, etc.) mais aussi de SVT (enjeux contemporains de la planète).

UNE SITUATION À L'ORIGINE DE MON PROJET

Dans une centrale hydroélectrique, de l'énergie est stockée sous forme d'énergie potentielle de pesanteur avant de produire de l'électricité. Les autres énergies renouvelables sont des énergies plus difficiles à stocker à grande échelle.



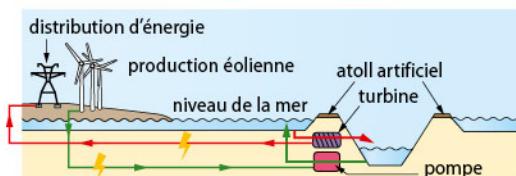
DES DOCUMENTS POUR M'AIDER À L'ORIENTER

Enjeux du stockage de l'énergie

Le stockage sous forme d'énergie mécanique consiste à transformer l'énergie excédentaire du réseau électrique sous forme d'**énergie potentielle** ou **cinétique**. L'objectif est de disposer d'une énergie stockée afin de réguler la production d'électricité et de l'adapter à la demande.

Principe des barrages appliqués en mer

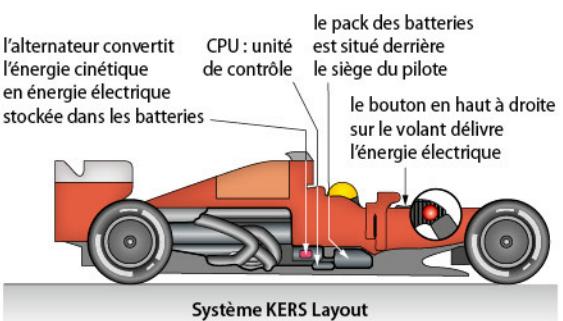
Production : en période de forte demande d'énergie, l'eau de mer remplit l'atoll en passant par des turbines qui produisent de l'électricité.



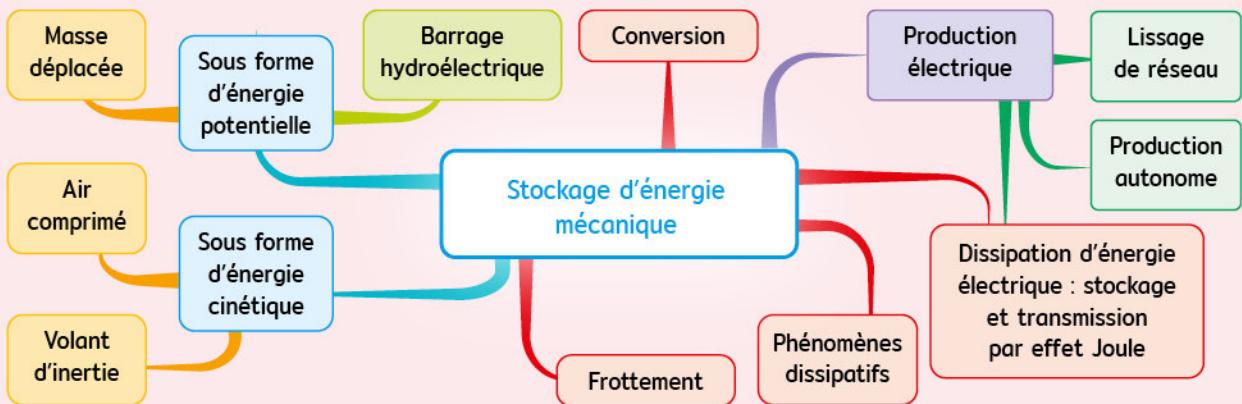
Stockage : en période de forte production des éoliennes et de faible demande, l'électricité sert à alimenter des pompes qui vident le réservoir de l'atoll artificiel.

Dispositif pour stocker l'énergie

Dans le secteur des transports, le dispositif de volant d'inertie permet de stocker l'énergie sous forme d'**énergie cinétique** par la rotation d'un ou plusieurs disque(s) lourd(s) dans le véhicule pour diminuer la consommation d'énergie. Ainsi, le système KERS développé en F1 récupère l'énergie liée au freinage pour une utilisation ultérieure.



DES PISTES DE RECHERCHE À EXPLORER



Le vocabulaire scientifique à utiliser

- énergie cinétique
- énergie potentielle
- énergie mécanique
- énergie renouvelable ou non
- Transformation d'énergie