

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 :

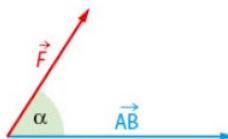
$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

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



$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
$0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$
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)

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)

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) altitude (en m)
énergie potentielle de pesanteur (en joule J) 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 :

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

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

QCM



DONNÉE

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

1 Énergie cinétique et travail d'une force

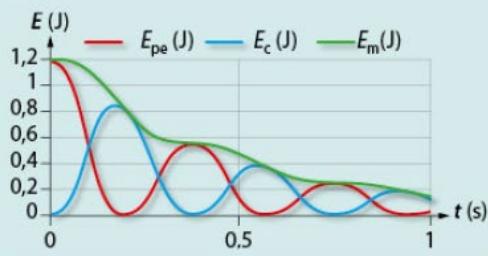
	A	B	C
1 Un objet a son énergie cinétique multipliée par 4 :	si sa masse est multipliée par 4.	si sa vitesse est multipliée par 4.	si sa vitesse est doublée.
2 Pour \vec{F} constante, $W_{AB}(\vec{F})$:	est proportionnel à l'intensité de \vec{F} .	est proportionnel à l'angle $\alpha = (\vec{F}; \vec{AB})$.	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.



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 $v = 253 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

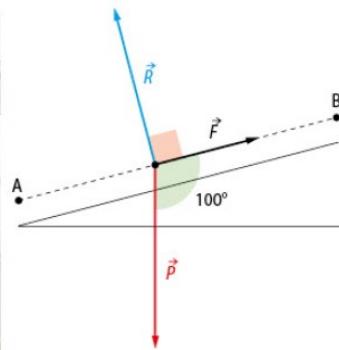
Donnée : masse d'une balle de tennis : $m = 55,0 \text{ g}$.

- 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 $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.



1. Énoncer le théorème de l'énergie cinétique.

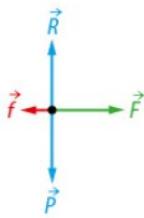
2. Calculer la variation d'énergie cinétique lors de la phase de catapultage.

3. 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 : Intensités 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 $AB = 20 \text{ m}$.



1. Expliquer pourquoi parmi les quatre forces, deux forces ont un travail nul.

2. Exprimer puis calculer $W_{AB}(\vec{F})$ et $W_{AB}(\vec{f})$.

3. Déterminer la vitesse v_B communiquée au bobsleigh à la fin de la course d'élan.

Donnée

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

14 Conservative ou non-conservative ?

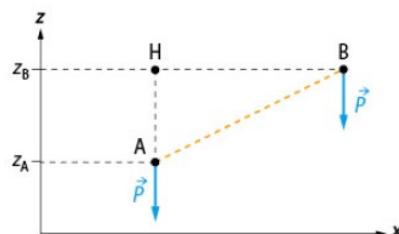
L'action d'un ressort sur un système est modélisée par une force nommée force de rappel \vec{F} . L'intensité de cette force est proportionnelle à l'étiirement du ressort qui est la distance séparant le système, modélisé par un point, de sa position d'équilibre. Le travail de cette force est indépendant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

d. Déterminer et commenter le signe de $W_{AB}(\vec{P})$

2. La variation de l'énergie potentielle d'une force conservatrice 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 :

a. le vecteur vitesse du palet ;

b. 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 :

a. le vecteur vitesse v de la sonde ;

b. la force de frottement fluide \vec{f} due à l'air.

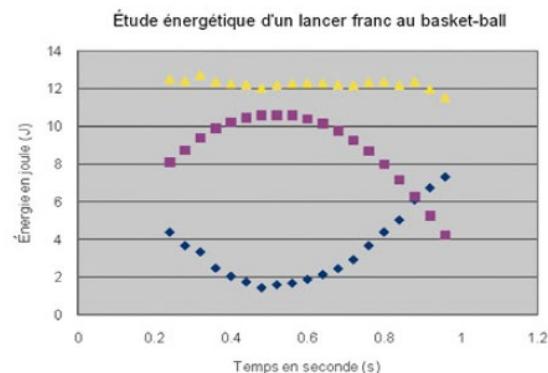
2. a. Donner l'expression du travail de cette force de frottement lors d'un déplacement de longueur AB.

b. Calculer le travail des forces de frottement $W_{AB}(\vec{f})$ pendant une minute de chute.

c. Commenter le signe de $W_{AB}(\vec{f})$.

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 tableur, on effectue l'étude énergétique d'un lancer franc. On obtient le graphe ci-dessous.



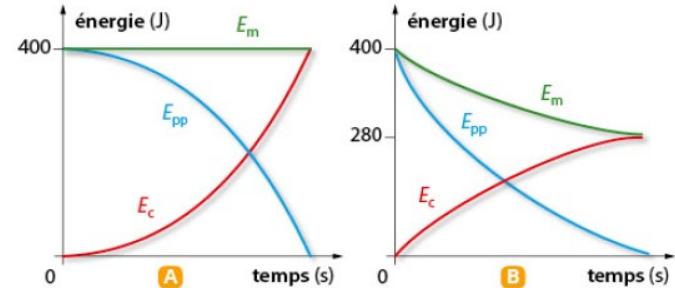
1. a. Identifier les tracés représentant les énergies potentielle, cinétique et mécanique.

b. En déduire si le ballon est soumis à des forces non-conservatives lors du lancer.

2. Donner la valeur de l'énergie mécanique du ballon de basket.

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.



1. a. Que représente l'étude énergétique de ces deux graphes ? Justifier.

b. Quelle est la hauteur initiale du système sachant que la masse du système vaut 30 kg.

2. a. Quel graphe représente la situation tenant compte des frottements ? Justifier.

b. Déterminer alors deux forces pouvant modéliser les actions mécaniques s'exerçant sur le système. Ces forces sont-elles conservatives ou non ?

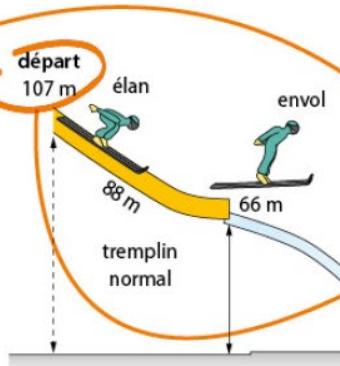
c. Déterminer, dans cette situation, le travail des forces non-conservatives.

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 R qui modélise l'action du tremplin sur le système est perpendiculaire à la piste.

Données :

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



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.

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.

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 ?



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 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 :

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

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 ?

2. a. Faire une étude énergétique en négligeant l'action de l'air sur le grêlon.
 - b. Calculer la valeur de l'énergie mécanique au point de départ A.
 - c. Déterminer dans ce cas la vitesse qu'aurait le grêlon en arrivant au sol.
 - d. 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.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

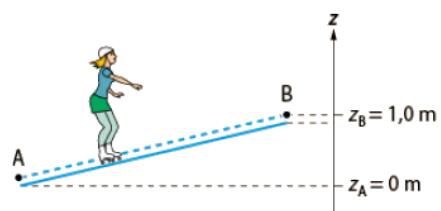
- **Faire une étude énergétique :** exprimer les différentes formes d'énergie pour décrire l'état du système et les relier grâce au théorème de l'énergie cinétique ou en exprimant la conservation (ou non) de l'énergie mécanique.

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.

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

1. En l'absence de frottement, Diana remonte-t-elle jusqu'en haut de la rampe ?
2. 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.

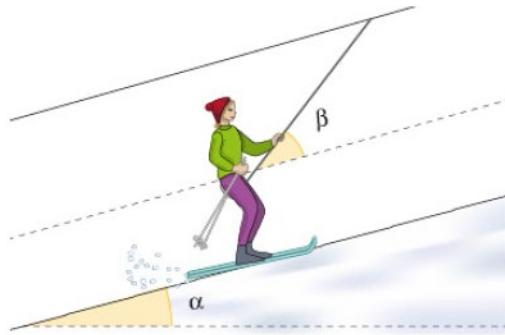


28 Remonte-pente

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 $T = 430 \text{ N}$.

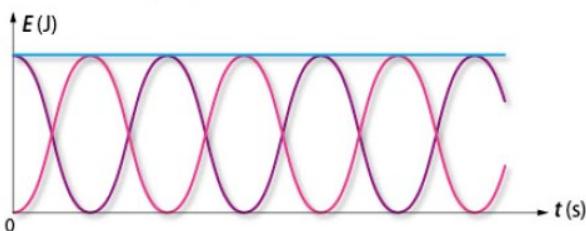


1. a. Effectuer le bilan des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le skieur, puis les représenter sur un schéma.
- b. Qualifier le mouvement du skieur. Que peut-on dire de la résultante de ces forces ?
- c. En déduire la valeur de la somme des travaux des forces.
2. Comment qualifier 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 .

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



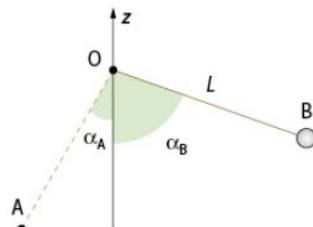
1. a. Donner la forme et la valeur initiale de l'énergie.
- b. Sous quelle forme est-elle progressivement transférée ?
2. a. Identifier les formes d'énergie associées à chaque courbe.
- b. Quelle forme d'énergie se conserve au cours des oscillations ? Justifier.
- c. Donner la valeur de cette énergie.

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, $E_{pp}(O) = 0 \text{ J}$.



1. a. 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 .

- b. En déduire les expressions des énergies potentielles de pesanteur du pendule en A et B.

2. a. Donner les expressions des énergies mécaniques du pendule en A et B.

- 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 inclinaison $\alpha = 5,0^\circ$ 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

1. Quels sont les transferts d'énergie au cours du mouvement de la balle ?

2. 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.

3. 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 ?