



CH 11 : ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES

(Chapitre 14 du livre p 255)

(THÈME 3 : L'ÉNERGIE – CONVERSIONS ET TRANSFERTS)

ACTIVITÉ 1 : ÉNERGIE MÉCANIQUE LORS D'UNE CHUTE LIBRE

Objectifs :

- Exploiter un enregistrement vidéo pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement ;
- Utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur ;
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique en l'absence de frottement.

Le parc de Tivoli Fridehne au Danemark propose une attraction à grande vitesse, la Sky Tower. Quelle vitesse maximale un visiteur peut-il espérer atteindre en participant à cette attraction ?

I. Documents :

Doc. 1 : Sky Tower



Vidéo à télécharger

La Sky Tower du parc de Tivoli Friheden permet de prendre de la hauteur pour atteindre une valeur élevée de vitesse par transfert d'énergie lors d'une chute. Pour cela, le visiteur est amené au point de départ par ascenseur. Fixé à un harnais puis lâché pour réaliser une impressionnante chute libre d'une hauteur de 30m, le visiteur tombe avec une grande vitesse dans un filet de sécurité.



* Ouvrir le fichier vidéo « REB-VERT » à l'aide du logiciel Latis-Pro (cf. **notice d'utilisation de Latis-Pro dans votre dossier classe**) correspondant au lancement d'un solide de masse $m = 50 \text{ g}$ sans vitesse initiale dans le référentiel terrestre.

* Visionner la séquence.

* Démarrer le pointage en cliquant au centre du solide sur chacune des images de la séquence.

* Dans le logiciel de traitement, créer les grandeurs correspondant à l'énergie cinétique E_c , l'énergie potentielle de pesanteur E_p et à l'énergie mécanique E_m (**notice d'utilisation de Latis-Pro dans votre dossier classe**).

* Afficher les courbes représentant l'évolution de ces énergies au cours du temps.



Vidéo à télécharger

Doc. 2 Modélisation d'une chute du haut de la Sky Tower



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

On considère un système de masse m (en kg) assimilé à un point matériel d'énergie cinétique $\mathcal{E}_c$ (en J), et dont l'altitude z (en m) est repérée sur un axe vertical ascendant Oz

Énergie potentielle de pesanteur (J)	Énergie mécanique (J)
$\mathcal{E}_p = m \times g \times z$	$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$

L'énergie mécanique d'un système uniquement soumis à son poids est conservée.

Donnée

- $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

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

joule (J) (kg) (m/s)

II. Questions :

1. Mettre en œuvre le protocole expérimental du document 2.
Pour cela, dans le menu « traitements et calculs spécifiques », il faut considérer la vitesse comme étant la dérivée de la position par rapport au temps et effectuer un glisser-déposer.
Pour les énergies, il faut créer ces grandeurs physiques dans le menu « feuille de calcul ».
2. Expliquer l'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur E_p et de l'énergie cinétique E_c .
3. À partir des résultats expérimentaux, vérifier que l'énergie mécanique se conserve dans les conditions de l'expérience. La balle est-elle en chute libre ?
4. En considérant que l'énergie mécanique se conserve dans les conditions décrites dans le document 1, déterminer la valeur maximale $v_{\max}$ qu'un visiteur peut espérer atteindre en participant à l'attraction Sky Tower.
5. Si l'on néglige les frottements, la durée pour atteindre la valeur de vitesse $v_{\max}$ s'exprime par la relation $\Delta t = v_{\max} / g$ avec $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
Calculer la durée Δt de la chute dans la Sky Tower. Cette durée paraît-elle réaliste (vidéo du doc 1) ?

Annexe de l'activité 1 – L'énergie mécanique avec Latis-Pro

I. Chute d'une balle de tennis

1. Découverte de Latispro

- Lancer le logiciel *Latispro* en cliquant sur l'icône du bureau.
- Dans le menu Editions>Analyse de séquences vidéos>fichiers
- Charger la séquence vidéo intitulée « *REB-VERT* »
- Pour visionner la séquence vidéo complète, cliquer sur « *Lecture* » au bas de la fenêtre.
- Après avoir visionner la vidéo, on peut revenir au départ en cliquant sur .
- Les flèches  et  permettent de se déplacer image par image dans la vidéo.

2. Etalonnage et pointage

- En utilisant le bouton « *Sélection de l'origine* » choisir la position du centre de la balle sur la dernière image du clip comme origine du repère.
- Cliquer sur « *Sélection de l'étalon* ». Un curseur en forme de croix apparaît alors. Placer les deux points de repérage de manière à attribuer une hauteur de 1m à la barre rouge uniquement visible sur la première image.
- Dans la partie « *Sens des axes* », choisir un axe vertical orienté vers le haut.
- Pour finir, cliquer sur « *Sélection manuelle des points* », pour procéder au pointage du centre de la balle.
- En fin de pointage fermer la fenêtre vidéo et cliquer sur  pour visualiser les courbes *Mouvement X* et *Mouvement Y*.

II. Exploitation du relevé

- a. La chute étant verticale, quelle courbe peut-on supprimer ?
- b. Renommer la courbe restante "*h*".
- c. Cliquer sur "*Traitements*" → "*Calculs spécifiques*" → "*Dérivée*" et glisser la courbe *h* dans le champ "*courbe*" puis cliquer sur le bouton « *Calcul* » et fermer cette fenêtre.
- d. Renommer alors la courbe "*Dérivée de h*" qui vient d'apparaître en "*V*", la vitesse de la balle.
- e. Cliquer sur "*Traitements*" → "*feuille de calcul*".
Créer alors les trois grandeurs physiques suivantes : E_c , E_p et E_m .
On prendra $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ et $m = 0,050 \text{ kg}$. Pour valider ces nouvelles grandeurs appuyer sur F2.
Il est possible de fermer cette feuille de calcul à chaque instant sans risque de perdre les données.
- f. Afficher à l'écran ces trois énergies en glissant les grandeurs dans le champ "*courbe*".
- g. Conclure quant à la conservation de l'énergie mécanique de la balle de tennis lors de cette chute.



CH 11 : ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES

(Chapitre 14 du livre p 255)

(THÈME 3 : L'ÉNERGIE – CONVERSIONS ET TRANSFERTS)

ACTIVITÉ 2 : LE THÉORÈME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

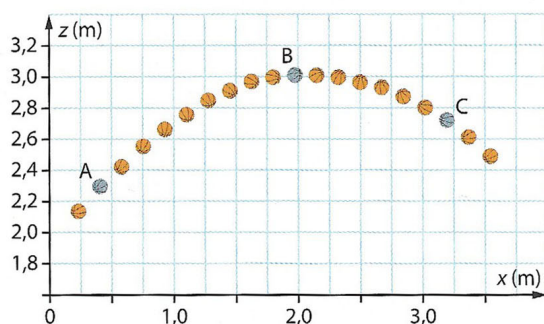
- Objectifs :** - Utiliser l'expression du travail d'une force constante ;
- Exploiter le théorème de l'énergie cinétique.

Pour réussir un lancer franc, un basketteur doit effectuer son « shoot » en ajustant la hauteur du lancer, l'angle de tir et l'énergie cinétique communiquée au ballon.

A Chronophotographie d'un tir en cloche

On dispose du pointage du tir en cloche d'un ballon de basket de masse $m = 0,624 \text{ kg}$, assimilable à un point matériel.

L'action de l'air sur le système {ballon} est négligeable.



On a repéré trois positions A, B et C occupées par le ballon au cours de son mouvement.

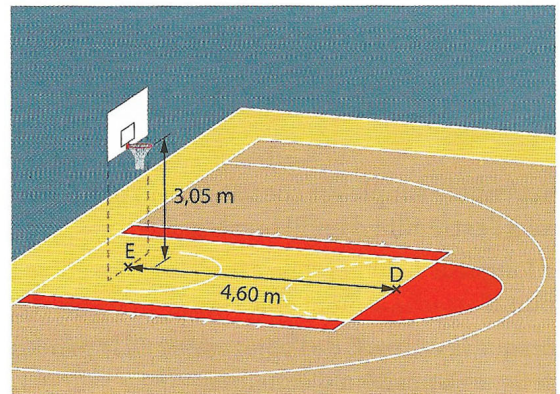
Un traitement informatique a permis de calculer la valeur de la vitesse du ballon en A, B et C :

Position	Valeur de la vitesse ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
A	5,9
B	4,6
C	5,2

B Un lancer franc au basket

L'analyse d'un tir en lancer franc par un joueur a conduit aux résultats suivants :

	À la verticale du point	
	D	E
Altitude du ballon $z \text{ (m)}$	2,53	z_E
Valeur de la vitesse du ballon $v \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	6,90	6,25



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

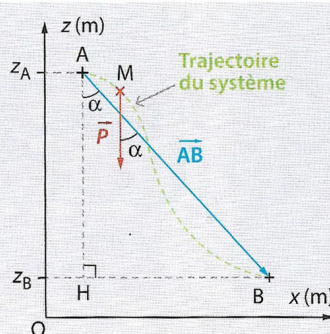
• Travail du poids d'un corps

Le travail du poids $W(\vec{P})$ d'un système modélisé par un point matériel M de masse m qui se déplace d'une position A à une position B a pour expression :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \times g \times (z_A - z_B)$$

W en J, z en m, g en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$

z est l'altitude, repérée sur un axe vertical ascendant Oz.



• Théorème de l'énergie cinétique

La variation de l'énergie cinétique d'un système en mouvement d'une position A à une position B, est égale à la somme des travaux de toutes les forces appliquées au système entre A et B.

$$\Delta \mathcal{E}_{cA \rightarrow B} = \mathcal{E}_{cB} - \mathcal{E}_{cA} = \sum_i W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_i)$$

$\mathcal{E}_c$ en J, W en J

Donnée

$$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Analyse des documents

Confronter un modèle à des résultats expérimentaux VAL

- 1 Appliquer le théorème de l'énergie cinétique (complément scientifique) au ballon et utiliser les résultats expérimentaux de l'encadré A pour vérifier que l'action de l'air sur le système est négligeable.

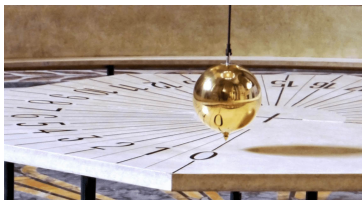
Exploiter des informations ANA-RAIS

- 2 Justifier par un calcul que le lancer franc décrit dans l'encadré B n'est pas réussi.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

- 3 Que permet l'exploitation du théorème de l'énergie cinétique ?



CH 11 : ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES (THÈME 3 : L'ÉNERGIE – CONVERSIONS ET TRANSFERTS)

ACTIVITÉ 3 : LE PENDULE DE FOUCAULT

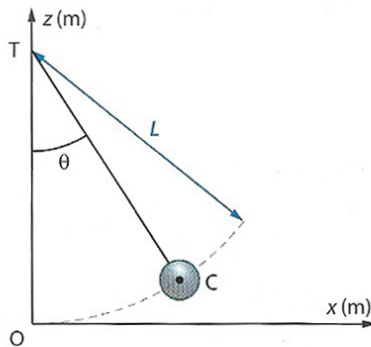
Objectifs :

- Réaliser et exploiter un enregistrement vidéo pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement ;
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique en l'absence de frottement.

On peut observer au Panthéon, à Paris, la reconstitution de l'expérience menée par Léon Foucault en 1851 qui avait pour objectif de mettre en évidence la rotation de la Terre sur elle-même.

Le dispositif possède une sphère en plomb de 28 kg et de 20 cm de diamètre, suspendue sous le dôme par un fil très fin de 67 m de longueur. Le pendule ainsi constitué peut osciller pendant plusieurs heures.

A Le pendule simple

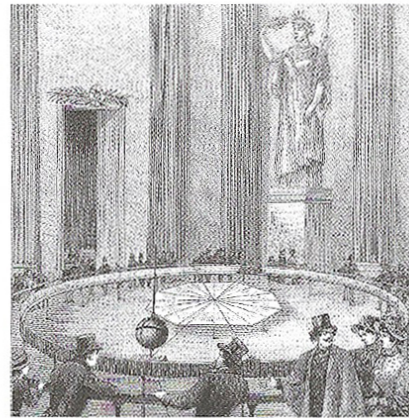


Un pendule simple est constitué d'un petit objet, fixé à l'extrémité d'un fil inextensible.

La longueur L du pendule est la distance entre le point d'attache T du fil et le centre C de l'objet.

Lorsque le centre C de l'objet est en O , le pendule est dans sa position d'équilibre.

B Le pendule de FOUCAULT



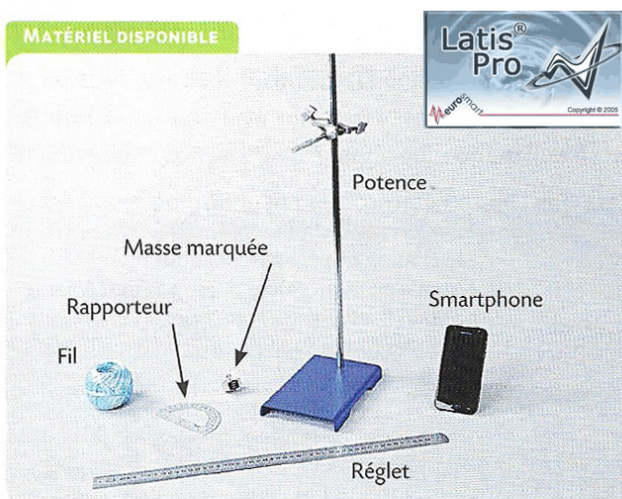
> Gravure extraite du journal « L'Illustration »

Pour être mis en oscillation, le pendule de FOUCAULT est écarté de sa position d'équilibre jusqu'au bord d'un grand cercle en bois, appelé rampe, puis il est lâché sans vitesse initiale.

Le centre de la sphère est alors à une hauteur de 6,7 cm par rapport à sa position d'équilibre.

Sur une courte durée, les frottements peuvent être négligés.

MATÉRIEL DISPONIBLE



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

On considère un système de masse m (en kg) assimilé à un point matériel d'énergie cinétique $\mathcal{E}_c$ (en J), et dont l'altitude z (en m) est repérée sur un axe vertical ascendant Oz

Énergie potentielle de pesanteur (J)	Énergie mécanique (J)
$\mathcal{E}_p = m \times g \times z$	$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$
$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$	Donnée $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
joule (J) (kg) (m/s)	

On utilisera le logiciel latis-Pro pour le « pointage vidéo », après avoir converti la vidéo en format avi.

Pour le calcul de $\mathcal{E}_p$, $\mathcal{E}_c$ et $\mathcal{E}_m$, on ouvrira la fenêtre « Traitements » / « Feuille de calculs » dans le logiciel. Dans cette feuille de calcul : «sqr» correspond à la fonction carré et «sqrt» à la racine carrée.

Investigation

- 1 À partir du matériel disponible, proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de vérifier que, sur une courte durée, l'énergie mécanique d'un pendule oscillant est constante.

Exploiter des informations ANALYSES

- 2 Utiliser l'expérience précédente pour vérifier que la valeur de la vitesse du pendule de FOUCAULT est $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ lorsqu'il passe par sa position d'équilibre.



CH 11 : ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES (THÈME 3 : L'ÉNERGIE – CONVERSIONS ET TRANSFERTS)

ACTIVITÉ 4 : TRAVAIL D'UNE FORCE NON CONSERVATIVE

Objectifs :

- Réaliser et exploiter un enregistrement vidéo pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement ;
- Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail d'une force non conservative.

Downhill et Freeride consistent à dévaler les routes montagneuses en longboard dans l'esprit de recherche de vitesse pour le Downhill, ou de recherche de sensations de glisse pour le Freeride. Dans les deux cas, la planche doit être rigide pour éviter le phénomène de wobble (vibrations incontrôlées) et d'une longueur variant entre 90 et 105cm. Les vitesses atteintes peuvent dépasser les 140km/h, c'est pourquoi cela reste une pratique à haut risque ! Le matériel évolue très vite afin de limiter les forces de frottements et aller toujours plus vite !



Vidéo descente : <https://www.youtube.com/watch?v=Hog-qHx4dD0>

Document 1 : Liste de matériel

- Une petite voiture ;
- Un plan incliné ;
- Deux règles de 30 cm ;
- Un smartphone muni de son câble USB ;
- Un ordinateur et le logiciel Latis-Pro (pour l'analyse des images).

Document 2 : Précautions pour réaliser une vidéo

Positionner la caméra à au moins deux mètres de ce que l'on filme.
S'assurer que la caméra restera fixe et que son axe de visée est perpendiculaire au plan du mouvement.
S'assurer que toute la scène entre dans le champ de la caméra.
Placer deux règles (horizontalement et verticalement) dans le plan du mouvement pour donner l'échelle.

Document 3 : Mode d'emploi du logiciel Latis-Pro

En annexe des précédents TP, vous avez un mode d'emploi pour exploiter une vidéo.

Document 4 : Forces conservatives et forces non conservatives

Une force dont le travail ne dépend que des positions des points de départ et d'arrivée (et non de la trajectoire du système en mouvement) est appelée force conservative. *Exemple : le poids.*

Une force dont le travail ne dépend pas que des positions des points de départ et d'arrivée (mais aussi du chemin emprunté) est appelée force non conservative. *Exemple : les forces de frottement fluide ou solide.*

Document 5 : Théorème de l'énergie mécanique

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie mécanique sur le trajet AB est égale à la somme des travaux des forces non conservatives associées au système.

$$\Delta E_{m(A \rightarrow B)} = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{\text{nonconservatives}})$$

Mise en œuvre et questions :

- a) Filmer la descente, sans vitesse initiale de la petite voiture (système) sur le plan incliné.
- b) À l'aide du logiciel Latis-Pro, déterminer la vitesse maximale atteinte en fin de descente.
- c) À l'aide du théorème de l'énergie mécanique, déterminer la valeur du travail de la force de frottement puis la valeur de la force de frottement.

Questions complémentaires :

- d) Déterminer toutes les forces qui s'appliquent sur le système (la petite voiture).
- e) Parmi toutes les forces citées précédemment, une force est considérée ici comme négligeable. Laquelle ?
- f) Parmi les trois forces restantes :
 - Quelle est la force qui fournit un travail moteur ?
 - Quelle est la force qui fournit un travail résistant ?
 - Quelle est la force qui ne travaille pas ?

Annexe de l'activité 4

Travail d'une force de frottement – Non conservation de l'énergie mécanique

Travail d'une force de frottement

Lorsqu'un point matériel se déplace dans un fluide ou sur un support solide, il subit des forces de frottement (DOC. 3).

● Dans un fluide (liquide, gaz), ce point matériel subit une **force de frottement fluide** dont :

- la direction est parallèle à celle du vecteur vitesse ;
- le sens est opposé à celui du mouvement ;
- la norme est d'autant plus grande que la valeur de la vitesse est grande.

● Au contact d'un solide, ce point matériel subit une **force de frottement solide** dont :

- la direction est dans le plan du support ;
- le sens est opposé à celui du mouvement.

Les forces de frottement, qu'elles soient de nature fluide ou solide, sont des forces non conservatives.

Dans l'hypothèse d'une force de frottement $\vec{F}$ de norme constante lors d'un déplacement rectiligne d'un point A vers un point B,

le travail $\mathcal{W}_{AB}(\vec{F})$ de cette force s'exprime par :

$$\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos \alpha \quad \text{avec } \alpha = 180^\circ, \text{ soit } \cos \alpha = -1.$$

Donc :

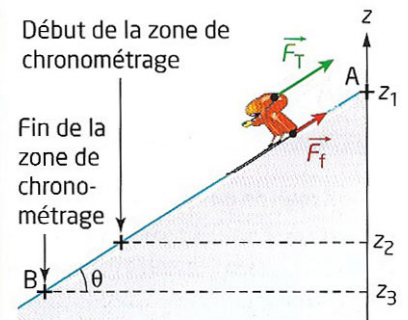
$$\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}) = -F \times AB$$

Unités SI :

$\mathcal{W}_{AB}(\vec{F})$ en joule (J)

F en newton (N)

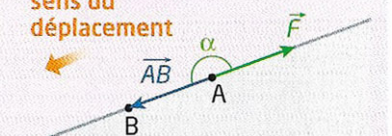
AB en mètre (m)



3. $\vec{F}_f$ est une force de frottement solide et $\vec{F}_T$ est une force de frottement fluide.

POINT MATHS

sens du déplacement



$$\vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos \theta = -F \times AB$$

Le travail d'une force de frottement est toujours un **travail résistant**.

Conservation ou non conservation de l'énergie mécanique

L'énergie mécanique $\mathcal{E}_m$ d'un point matériel est la somme de son énergie cinétique $\mathcal{E}_c$ et de son énergie potentielle de pesanteur $\mathcal{E}_{pp}$.

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{pp}$$

Unités SI :

$\mathcal{E}_m$, $\mathcal{E}_c$ et $\mathcal{E}_{pp}$ en joule (J)

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie mécanique d'un point matériel entre les points A et B est égale à la somme des travaux des forces non conservatives appliquées au système.

$$\Delta \mathcal{E}_m = \sum \mathcal{W}_{AB}(\vec{F}_{\text{non conservatives}})$$

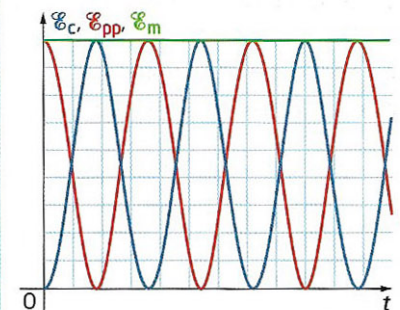
Unités SI :

$\Delta \mathcal{E}_m$ en joule (J)

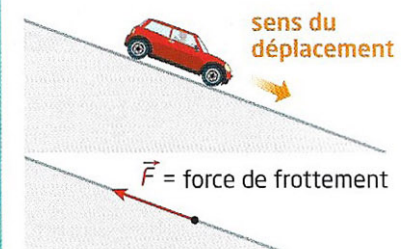
$\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}_{\text{non conservatives}})$ en joule (J)

● En l'absence de force non conservative, par exemple en l'absence de force de frottement, l'énergie mécanique se conserve : $\mathcal{E}_m(A) = \mathcal{E}_m(B)$, soit $\Delta \mathcal{E}_m = 0$ (DOC. 4).

● En présence de forces non conservatives, par exemple en présence d'une force de frottement $\vec{F}$, l'énergie mécanique diminue : $\Delta \mathcal{E}_m = \mathcal{W}_{AB}(\vec{F}) < 0$ (DOC. 5).



4. Représentation des énergies d'un pendule lors d'oscillations sans frottement. L'énergie mécanique se conserve : il y a conversion d'énergie entre les formes cinétique et potentielle de pesanteur.



5. Lors du freinage d'une voiture, le travail de la force de frottement entraîne une diminution de l'énergie mécanique jusqu'à l'annulation de l'énergie cinétique.



CH 11 : ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES (THÈME 3 : L'ÉNERGIE – CONVERSIONS ET TRANSFERTS)

ACTIVITÉ 5 : RECORD DU MONDE DE VITESSE À SKI

Objectifs :

- Utiliser l'expression du travail d'une force dans le cas d'une force de valeur constante
- Utiliser le produit scalaire de deux vecteurs
- Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne
- Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail de forces non conservatives

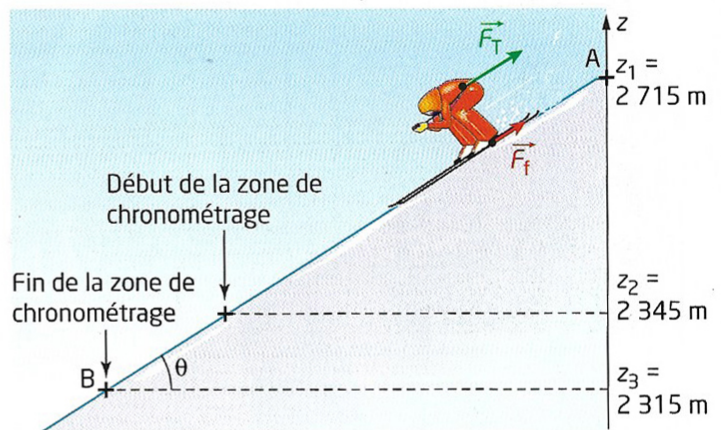
Le 26 mars 2016, l'Italien Ivan Origone s'élance sans vitesse initiale sur la piste Chabrières de Vars (Hautes-Alpes) : il parcourt les 450 m de la zone d'élan, puis il entre dans la zone de chronométrage où est mesurée la durée mise pour parcourir 100 m. La valeur de la vitesse moyenne mesurée sur cette zone est de $254,958 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$! Ivan Origone détient depuis ce jour le record du monde de vitesse à ski.

● Quelle est l'influence des forces de frottements sur la valeur de la vitesse atteinte lors de cette descente ?



DOCUMENT Schéma de la situation

- Le système {skieur ; équipement} est modélisé par un point matériel et son mouvement est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
- La masse de ce système est $m = 110 \text{ kg}$.



DONNÉES

- Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Norme de la force de frottement de la neige sur les skis : $F_f = 0,040 m \times g \times \cos \theta$.
- Si la descente avait lieu sans frottement, l'énergie mécanique du système se conserverait : $\Delta \mathcal{E}_m = 0$.
- Norme de la force de frottement de l'air sur le skieur, appelée force de traînée aérodynamique, en fonction de la valeur v de la vitesse du skieur : $F_T = k \times S \times v^2$, où k est le coefficient de traînée et S la surface frontale du skieur.

Questions

1 RÉALISER

- Exprimer la variation d'énergie mécanique $\Delta \mathcal{E}_m$ du point matériel modélisant le système {skieur ; équipement} entre le point de départ A et le point de sortie B de la zone de chronométrage, en supposant que la descente a lieu sans frottement. En déduire la valeur $v_{B_{\max}}$ de la vitesse maximale que le skieur peut atteindre au point B. À quoi est due la différence entre cette valeur calculée et la valeur effectivement mesurée ?
- En utilisant la valeur v_B de la vitesse mesurée lors du chronométrage et la réponse à la question précédente, calculer le travail des forces de frottements, c'est-à-dire la perte d'énergie mécanique due à l'ensemble des frottements sur le trajet AB.

c. Calculer la valeur de l'angle θ de la pente.

d. Calculer le travail $\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}_f)$ de la force de frottement de la neige sur les skis sur le trajet AB.

e. Déduire des réponses aux questions 1.b. et 1.d. le travail $\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}_T)$ de la force de traînée aérodynamique sur le trajet AB.

2 VALIDER

a. Expliquer pourquoi il n'est pas possible d'utiliser un produit scalaire pour calculer le travail $\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}_T)$ de la force de traînée, comme à la question 1.d.

b. En comparant les travaux calculés en 1.d. et 1.e., expliquer pourquoi il est essentiel pour le skieur d'adopter une position qui minimise sa surface frontale.