CHAPITRE 14 : ÉNERGIE MECANIQUE

I. Énergie cinétique d'un système

1. Définition de l'énergie cinétique

Dans un référentiel donné, l'énergie cinétique E_c d'un système s'exprime par la relation :

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

- E_c est l'énergie cinétique en joule note J ;
- m est la masse du système en kilogramme noté kg ;
- v est la vitesse du système en mètre par seconde noté $m.s^{-1}$.

Application : Calculez l'énergie cinétique d'une voiture de $1{,}0\ t$ roulant à la vitesse de $90\ km.h^{-1}$.

Attention : Une force est dite constante lorsque sa valeur, son sens et sa direction ne varient pas au cours du temps.

Remarque : Dans l'expression de l'énergie cinétique, il faut toujours penser à exprimer la vitesse en $m.s^{-1}$ et la masse en kg.

Rappel : $1\ m.s^{-1} = 3{,}6\ km.h^{-1}$

2. Travail d'une force

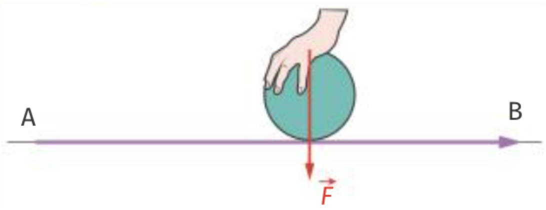
Le travail d'une force est une grandeur physique permettant d'évaluer l'effet de cette force sur l'énergie cinétique d'un système au cours d'un mouvement. Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace de A vers B s'exprime par la relation scalaire :

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

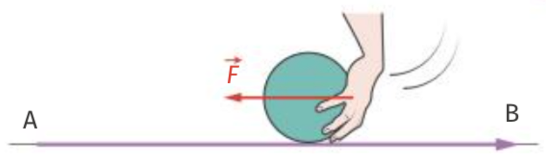
- $W_{AB}(\vec{F})$ est le travail de la force $\vec{F}$ en J ;
- F est la valeur de cette force en N ;
- AB est le déplacement en m ;
- α est l'angle entre la direction de la force $\vec{F}$ et celle du déplacement $\overrightarrow{AB}$.

Quatre cas peuvent alors se présenter :

La force $\vec{F}$ ne travaille pas sur le déplacement $\overrightarrow{AB}$: $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont orthogonaux. $W_{AB}(\vec{F}) = 0\ J$.

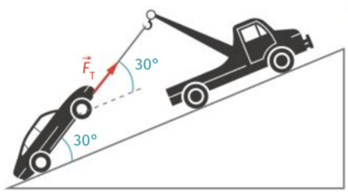


La force $\vec{F}$ travaille et ce travail est dit résistant car la force s'oppose au déplacement : $W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot AB \cdot \cos(180) < 0\ J$.



La force $\vec{F}$ travaille et ce travail est dit moteur car la force et le déplacement sont dans le même sens : $W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot AB \cdot \cos(0) > 0\ J$.

Angle quelconque, le travail est moteur (angle inférieur à 90°) :$W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot AB \cdot \cos(30)\ 0\ J$.



Attention : Une force est dite constante lorsque sa valeur, son sens et sa direction ne varient pas au cours du temps.

3. Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen tel que le référentiel terrestre, la variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m entre un point A et un point B

est égale à la somme des travaux des forces $\vec{F}$ agissant sur le système :

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

Les termes de cette relation s'expriment tous en joule.

II. Énergie potentielle de pesanteur d'un système

1. Définition de l'énergie potentielle de pesanteur

Dans un référentielle donné, en orientant l'axe des altitudes vers le haut, l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un système s'exprime par la relation :

$$\boxed{E_{pp} = m \cdot g \cdot z}$$

- E_{pp} est l'énergie potentielle de pesanteur en J ;
- m est la masse du système en kg ;
- g est l'intensité de la pesanteur terrestre en $N.kg^{-1}$;
- z est l'altitude par rapport à la référence en m.

Attention : Il est impératif de définir une référence des altitudes avant de déterminer l'énergie potentielle de pesanteur. Pour une chute, il est commode de choisir le point le plus bas de la trajectoire (le sol en général) pour lequel $z = 0$.

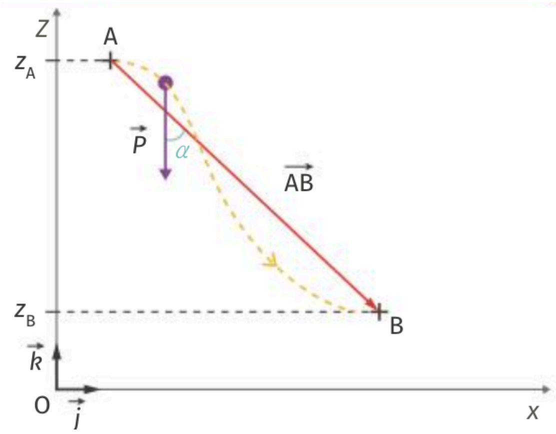
2. Force conservative : l'exemple du poids

Tout corps de masse m, placé dans un champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ est soumis à son propre poids $\vec{P}$. Lorsque l'objet se déplace d'un point A à un point B, le travail du poids s'exprime par la relation :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot AB \cdot cos\ (\alpha)}$$

Exemple : D'après le schéma suivant, en faisant de la trigonométrie élémentaire, on a $\cos(\alpha) = \frac{z_A - z_B}{AB}$. Ainsi, $W_{AB}(\vec{P}) = P \cdot AB \cdot \frac{z_A - z_B}{AB} = P(z_A - z_B) = \boxed{mg(z_A - z_B)}$

- $W_{AB}(\vec{P})$ est le travail du poids en J ;
- m est la masse en kg ;
- g est l'intensité du champ de pesanteur en $N.kg^{-1}$;
- $(z_A - z_B)$ est la différence d'altitude entre A et B repérés sur un axe vertical orienté vers le haut, en mètre.



Le travail du poids ne dépend que des altitudes de départ et d'arrivée, il ne **dépend pas** du **chemin** suivi par le système. On parle dans ce cas de force **conservative**.

Attention : Le produit scalaire est le produit de deux vecteurs mais c'est une valeur numérique réelle. Attention à bien se relire pour vérifier que le symbole d'un produit scalaire n'est pas coiffé d'une flèche et qu'il a bien une unité associée.

3. Travail d'une force non conservative

Lors d'un déplacement rectiligne de longueur AB, le travail de la force de frottement $W_{AB}(\vec{f})$ est donné par la relation :

$$\boxed{W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB}}$$

La force de frottement s'opposant généralement au mouvement du système, le travail s'écrit alors :

$$W_{AB}(\vec{f}) = f \cdot AB \cdot \cos(180) = -f \cdot AB < 0\ J$$

Ce travail est résistant.

Le travail de la force de frottement dépend du chemin suivi. On parle dans ce cas de force non conservative.

III. Énergie mécanique d'un système

1. Définition de l'énergie mécanique

Dans un référentiel donné, on associe à un système plongé dans un champs de pesanteur une énergie mécanique notée E_m, telle que :

$$\boxed{E_m = E_c + E_{pp}}$$

- E_m est l'énergie mécanique en J ;
- E_c est l'énergie cinétique en J ;
- E_{pp} est l'énergie potentielle de pesanteur en J.

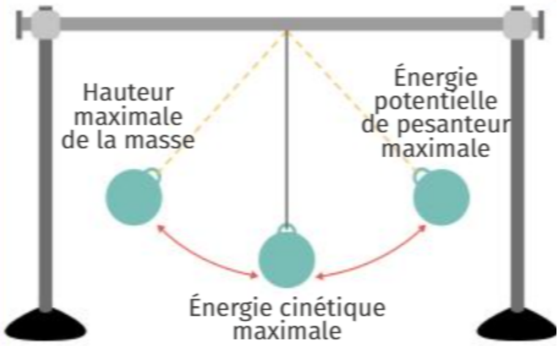
2. Conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'un système est soumis uniquement à des forces conservatives ou à des forces dont le travail est nul, alors son énergie mécanique se conserve. On peut écrire :

$$\boxed{\Delta E_m(A \to B) = E_m(B) - E_m(A) = 0}$$

Autrement dit :

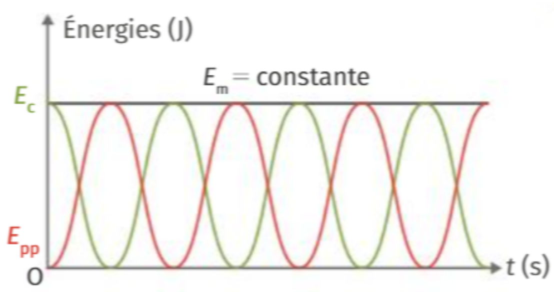
$$\boxed{E_m(A) = E_m(B)}$$



De plus, comme : $\Delta E_m(A \to B) = \Delta E_c(A \to B) + \Delta E_{pp}(A \to B)$, on a :

$$\boxed{\Delta E_c(A \to B) = -\Delta E_{pp}(A \to B)}$$

Dans le cas où l'énergie mécanique d'un système se conserve, alors toute l'énergie cinétique perdue est convertie en énergie potentielle de pesanteur et inversement.



L'énergie mécanique se conserve, le mouvement se prolonge indéfiniment.

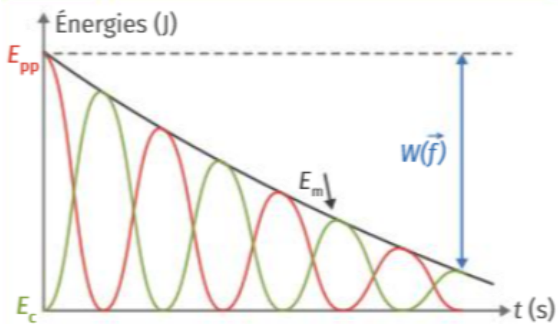
3. Non-conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'un système est soumis à des forces non conservatives qui travaillent, alors son énergie mécanique ne se conserve pas. On peut écrire :

$$\boxed{\Delta E_m(A \to B) = E_m(B) - E_m(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})}$$

- $\sum W(\vec{F}_{nc})$ est la somme des travaux des forces non conservatives s'appliquant sur le système (frottements par exemple).

Dans le cas où l'énergie mécanique d'un système ne se conserve pas, alors l'énergie cinétique du système est partiellement convertie en énergie potentielle et inversement.



L'énergie mécanique diminue au cours du temps à cause des forces de frottements, le mouvement finit par s'arrêter.

Application : En supposant les forces de frottement négligeables, utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour calculer l'altitude maximale atteinte par une balle de tennis lancée à la vitesse v_A verticalement depuis $2{,}0\ m$ au-dessus du sol.

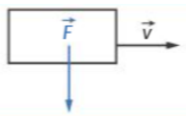
- Masse de la balle de tennis : $57 g$;
- Vitesse initiale de la balle : $v_A = 7{,}0\ m.s^{-1}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9{,}81\ N.kg^{-1}$.

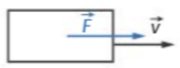
IV. Exercices

Exercice n°1

1. L'énergie cinétique d'une balle de golf de masse $m = 100\ g$ et d'une vitesse de $36\ km.h^{-1}$ vaut :
   a. $5{,}00\ J$;
   b. $5{,}00 \times 10^3\ J$;
   c. $64{,}8\ J$.
2. Une force est dite conservative si :
   a. Le travail de cette force est nul ;
   b. Le travail de cette force est indépendant du chemin suivi par le système ;
   c. Le travail de cette force est indépendant de l'état final du système.
3. Le travail de la force $\vec{F}$ est moteur dans le cas :

   a. 

   b. 

   c. 

4. La variation d'énergie cinétique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B s'écrit :
   a. $\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$;
   b. $\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc}) - W_{AB}(\vec{P})$;
   c. $\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F})$.
5. L'énergie potentielle de pesanteur d'un plongeur d masse $m = 100\ kg$ situé à $20\ m$ sous le niveau de la mer, on prenant le niveau de la mer pour référence des énergies potentielles, vaut :
   a. $-2{,}0 \times 10^4\ J$;
   b. $2{,}0 \times 10^4\ J$;
   c. $2{,}0 \times 10^3\ J$.
6. L'énergie potentielle de pesanteur est nulle :
   a. Au niveau de la mer ;
   b. A une hauteur de référence arbitrairement choisie ;
   c. Obligatoirement au plus bas d'une trajectoire.
7. Lorsque l'énergie mécanique d'un système se conserve alors :
   a. $W(\vec{f}_{nc}) = 0\ J$;
   b. $\Delta E_m = 0\ J$;
   c. Le système est soumis à des forces de frottement.
8. La variation d'énergie mécanique d'une balle chutant du dernier étage d'un immeuble haut de $80{,}0\ m$ vaut $\Delta E_m = -904\ J$.
   a. L'énergie mécanique de la balle se conserve.
   b. $\sum W(\vec{f}_{nc}) = -450\ J$;
   c. L'intensité des forces de frottement est égale à $f = 11{,}3\ N$.

Exercice n°2

Données
- **Origine des énergies potentielles :** niveau de la mer ;
- **Intensité du champ de pesanteur :** $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

- Calculer l'énergie cinétique du footballeur Kylian Mbappé, dont la masse est de $m = 78$ kg, lorsqu'il atteint sa vitesse maximale de $32{,}4\ km \cdot h^{-1}$.
- Calculer la vitesse d'un train de masse $m = 19$ tonnes ayant une énergie cinétique de 1 450 MJ.
- Calculer l'énergie potentielle de pesanteur d'un moineau de masse $m = 20$ g placé sur une ligne haute tension située à 30 m du sol.

Exercice n°3

- Calculer l'énergie mécanique d'un dromadaire de masse $m = 350$ kg se déplaçant à la vitesse de $2{,}0\ km \cdot h^{-1}$ sur une dune de sable haute de 100 m.

Exercice n°4

- Calculer le travail du poids d'un alpiniste de 80 kg lorsqu'il gravit l'Everest haut de 8 848 m depuis le camp de base à 5 150 m.
- Calculer le travail fourni par un système soumis à une force motrice constante de 120 N et se déplaçant en ligne droite sur une distance de 2,0 km.

Exercice n°5

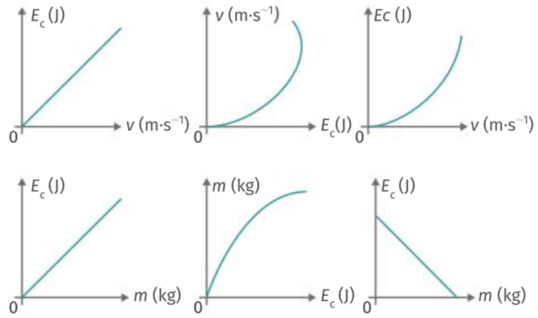
Une balle de baseball d'une masse de 120 g est lancée avec une vitesse de 30 m·s^{-1}. Au cours de son mouvement, sa vitesse diminue progressivement jusqu'à 20 m·s^{-1} et son altitude ne varie pas.

1. Calculer la variation d'énergie cinétique de la balle.
2. En déduire le travail des forces de frottement.

Exercice n°6

Pour un corps de masse *m* en mouvement à la vitesse *v* :

1. Choisir, parmi les graphiques proposés, celui qui correspond à l'évolution de l'énergie cinétique en fonction de la vitesse. Justifier.

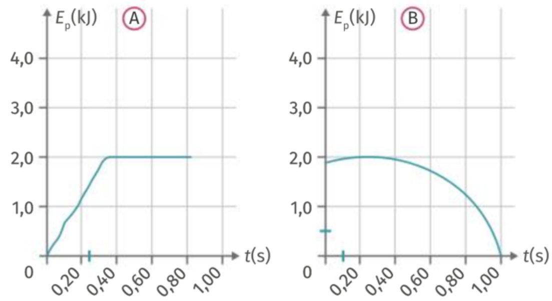


2. Lequel correspond à l'évolution de l'énergie cinétique en fonction de la masse *m* ? Justifier.

Exercice n°7

Une plongeuse de 50 kg, assimilée à un point matériel, saute depuis un tremplin dans une piscine. Des mesures ont été effectuées afin de représenter l'évolution au cours du temps de l'énergie potentielle de pesanteur de la plongeuse par rapport à la surface de l'eau, l'altitude de cette surface sera donc prise comme référence.

1. Parmi les deux graphiques proposés, lequel correspond à l'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur de la plongeuse au cours du temps ? Justifier.
2. Déterminer la hauteur du plongeoir.



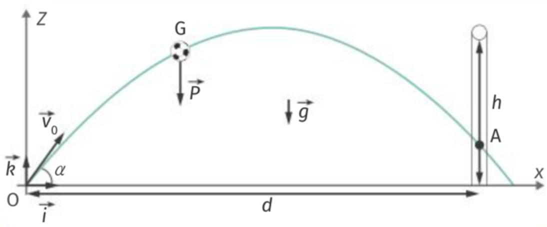
Donnée

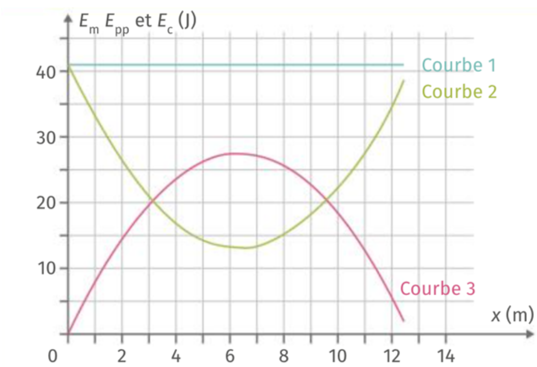
- **Intensité du champ de pesanteur :** $g = 9{,}81$ N·kg^{-1}.

Exercice n°8

Au point de penalty situé à $d = 11\ m$ de la ligne de but, le joueur tape le ballon en directon du centre du but avec une vitesse initiale de $v_0 = 11{,}5\ m.s^{-1}$. Pour remporter le point, le ballon doit franchir la ligne de but en $A(d; z_A)$. La référence de l'énergie potentielle de pesanteur est prise à l'origine du repère et l'intensité du champ de pesanteur est égale à $g = 9{,}81\ N.kg^{-1}$. Le ballon a une masse $m = 650\ g$.

Antonin Panenka est un footballeur tchécoslovaque qui a donné son nom à une technique de tir de penalty : la panenka. Le ballon est frappé doucement pour prendre une trajectoire en cloche.





Évolution des énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur du ballon lors du tir.

1. Doc. 3 Associer à chaque courbe la forme d'énergie correspondante. Justifier.

2. L'énergie mécanique se conserve-t-elle ? Justifier.

3. a. Déterminer graphiquement la valeur de $E_{pp}(A)$, énergie potentielle de pesanteur du ballon en A.

b. En déduire la valeur de z_A.

4. a. À partir des réponses aux questions **2.** et **3.**, montrer que $v_A = \sqrt{v_0^2 - 2g \cdot z_A}$.

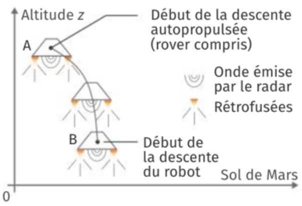
b. En déduire la valeur v_A de la vitesse du ballon lorsqu'il franchit la ligne de but.

1. Le ballon est-il soumis à des forces de frottement ?

2. Exprimer la valeur de v_A en fonction de v_0, de l'énergie $E_{pp}(A)$ et de la masse du ballon. Estimer sa valeur.

• À partir des documents et de vos connaissances, exprimer la vitesse v_A du ballon en fonction de la vitesse initiale v_0 et des énergies cinétique $E_c(0)$ et potentielle de pesanteur $E_{pp}(A)$. Estimer sa valeur.

Exercice n°9



Curiosity, robot mobile de la NASA, a atterri avec succès sur Mars le 6 août 2012. Le véhicule dispose de 75 kg d'équipements scientifiques. À 2,00 km d'altitude et à une vitesse de 100 m·s^{-1}, débute la descente autopropulsée puis à 20 m du sol, avec une vitesse de 75 cm·s^{-1} seulement, l'étage de descente commence à descendre le robot au bout de trois filins de 7,50 mètres pour déposer Curiosity en douceur.

D'après le sujet Bac S, Centres étrangers, 2014.

1. Déterminer le travail du poids entre A et B et commenter.

2. Montrer que l'énergie mécanique du rover ne se conserve pas entre A et B. Justifier cette non-conservation.

3. Déduire des deux questions précédentes l'intensité de la force de frottement de l'air $\vec{f}$ supposée constante. On assimile la trajectoire du rover à une droite.

• **Intensité du champ de pesanteur sur Mars :** $g_{mars} = 3{,}7$ N·kg^{-1} ;

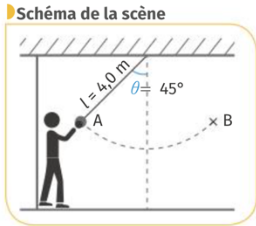
• **Masse de l'étage de descente + rover :** $m = 2{,}0 \times 10^3$ kg ;

• **Intensité du champ de pesanteur sur Tchouri** (considérée comme uniforme) : $g_{Tchouri} = 1{,}0 \times 10^{-4}$ N·kg^{-1}.

Exercice n°10

Dans son cours, dédié à la conservation de l'énergie mécanique, l'astrophysicien Walter Lewin souhaite montrer à son public qu'un pendule relâché à une certaine hauteur ne pourra jamais atteindre un point plus haut que son point de départ. Il se munit alors d'une boule en acier de masse $m = 15$ kg, suspendue au plafond par un long fil, qu'il relâche au niveau de son menton (en A) sans lui donner d'élan.

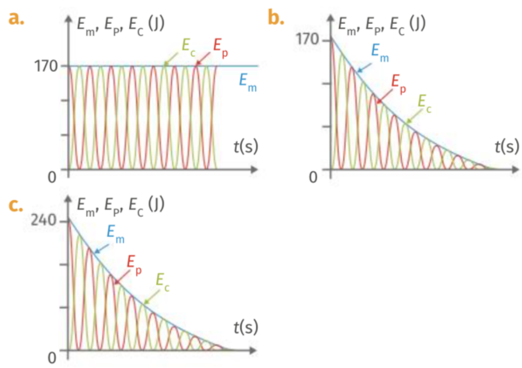
Schéma de la scène



1. À l'aide du schéma et de ses connaissances, montrer que la hauteur h entre le point A et le point le plus bas de la trajectoire vaut $h = l \cdot (1 - \cos(\theta))$.

2. En déduire alors l'énergie potentielle de pesanteur du pendule E_{pp} à l'instant initial.

3. Quel graphique représenterait au mieux la situation proposée par ce professeur à ses étudiants ? Justifier.



Données

• $l = 4{,}0$ m ; • $\theta = 45°$; • $g = 9{,}81$ N·kg^{-1} ;
• $E_{pp} = 0$ J lorsque la boule est au plus bas de sa trajectoire.

Exercice n°11

Le 14 octobre 2012, Felix Baumgartner a réalisé un saut historique en battant trois records : celui de la plus haute altitude atteinte par un homme en ballon soit 39 045 m d'altitude, le record du plus haut saut en chute libre et le record de vitesse en chute libre soit 1341,9 km·h^{-1}. L'étude est réalisée dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

D'après le sujet Bac S, Métropole, 2015.

Felix Baumgartner lors du saut du 14 octobre 2012.

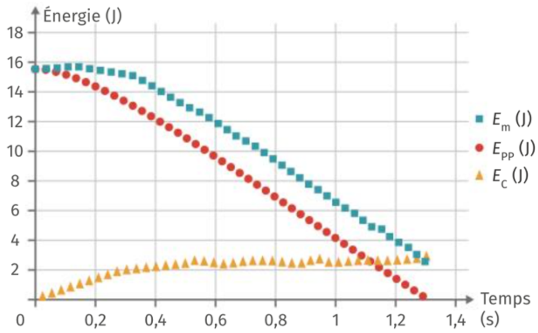
1. Calculer l'énergie mécanique de Felix Baumgartner au moment où il se laisse tomber du ballon sonde initialement à l'arrêt.
2. Baumgartner atteint sa vitesse maximale à 27,5 km du sol terrestre. Calculer son énergie mécanique à cet instant.
3. En déduire la variation d'énergie mécanique de Baumgartner entre les deux moments évoqués précédemment.
4. Expliquer cette perte d'énergie mécanique.

Données

- **Masse de Felix Baumgartner et de son équipement :** $m = 120$ kg ;
- **Intensité du champ de pesanteur entre 28 et 39 km d'altitude :** $g = 9{,}7$ N·kg^{-1}.

Exercice n° 12

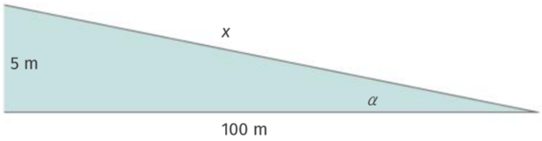
Au laboratoire, pour étudier le mouvement de chute d'une boule de pétanque accrochée à un parachute, des élèves de lycée ont effectué des mesures afin d'obtenir le graphique ci-dessous.



1. À partir du graphique, déterminer la valeur de l'énergie mécanique de la boule de pétanque lorsqu'elle touche le sol.
2. Peut-on appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique à la boule de pétanque ? Justifier.

Exercice n° 13

Un automobiliste se déplace sur une route horizontale à vitesse constante pendant 10 km puis arrive en bas d'une pente de 5 % qu'il gravit sur 2 000 m. Les forces de frottement sont considérées constantes et égales à 2 000 N sur l'ensemble du parcours.



Une pente de 5 % indique que la dénivellation est de 5 m tous les 100 m.

1. Faire un schéma de la situation proposée sur lequel apparaîtront les forces mises en jeu.
2. Calculer le travail du poids de la voiture sur l'ensemble du parcours.
3. Calculer le travail de la force de frottement sur l'ensemble du parcours.

Données

- **Intensité du champ de pesanteur :** $g = 9{,}81$ N·kg^{-1} ;
- **Masse de la voiture :** $m = 1{,}0 \times 10^3$ kg.

Exercice n° 14

L'abaissement de la vitesse de 90 à 80 km/h mis en place en juillet 2018 a permis de diminuer l'énergie cinétique des véhicules légers sur les routes de quelques dizaines de milliers de joules.

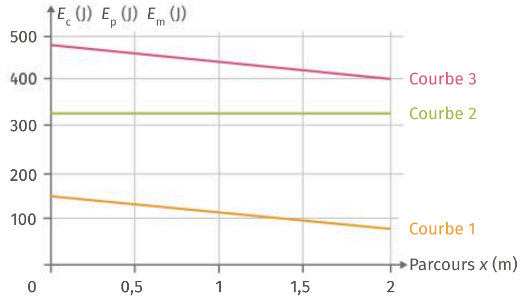
1. Calculer la variation d'énergie cinétique d'une voiture citadine d'une tonne dont la vitesse passe de 90 km/h à 80 km/h lors du freinage.
2. Que vaut le travail du poids de la voiture dans le cas d'un déplacement sur une route horizontale ?
3. En supposant que la distance de freinage soit de 41 m à 90 km·h^{-1}, déterminer le travail puis la valeur des forces de frottement (supposées constantes) lors du freinage. En déduire la distance de freinage à 80 km·h^{-1}.

Exercice n° 15

En skate, afin de réaliser un *grind*, le skateur qui avance d'abord en ligne droite à vitesse constante accède à un rail et glisse alors sur les axes de roues. On étudie le mouvement du système S = {skateur + planche} qui glisse sans rouler sur le rail horizontal, d'un point A à un point B. Les forces de frottement ne sont pas négligeables, elles sont assimilables à une force $\vec{f}$ unique, constante et opposée au sens du mouvement.

D'après le sujet Bac S, Antilles, 2017.

1. À partir du graphique, identifier l'énergie mécanique, l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur.



Évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique du système S entre les points A et B.

2. À partir de ses connaissances, rappeler l'expression littérale du travail de la force $\vec{f}$ le long du parcours AB.

3. En utilisant le théorème de l'énergie mécanique, calculer le travail de la force $\vec{f}$ ainsi que son intensité.

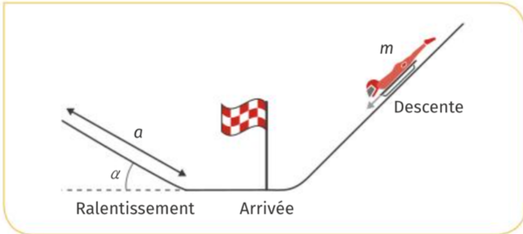
Données

- **Longueur du trajet sur le rail horizontal :** L = AB = 2,0 m ;
- **Masse du système S {skateur + planche} :** m = 80 kg ;
- **Intensité du champ de pesanteur :** g = 9,8 N·kg^{-1}.

Exercice n° 16

Le skeleton est un sport d'hiver qui se pratique sur une planche, dans un couloir de glace en pente. Le sportif s'allonge sur son engin à plat ventre, la tête en avant et glisse sur la glace. Après avoir franchi la ligne d'arrivée à la vitesse v_f, le système {skeleton + coureur} ralentit en montant une pente comme indiqué sur la figure suivante. La hauteur atteinte par le skeleton s'exprime selon la formule : $h = a \cdot \sin(\alpha)$. Dans cet exercice, les frottements sont négligés.

Schéma de la descente étudiée



Données

- α = 3,0° ;
- m = 100 kg ;
- v_f = 108 km·h^{-1}.

1. En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique au système, montrer que :

$$a = \frac{v_f^2}{2g \cdot \sin(\alpha)}$$

2. Effectuer l'application numérique de a. Commenter.

3. En réalité, la longueur nécessaire à l'arrêt complet du skeleton est de 70 m. En déduire la valeur de la force de frottement s'exerçant sur le système après avoir franchi la ligne d'arrivée.

Exercice n° 17

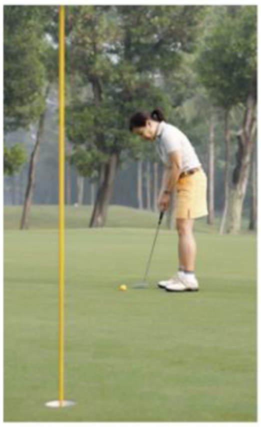
Le flyboard est un sport nautique où le pilote se tient debout sur une planche à propulsion. En moyenne, un flyboarder monte à une altitude maximale de 6,0 m et atteint une vitesse de 25 km·h^{-1} au sommet de sa trajectoire verticale. On prend le niveau de la mer comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur. Choisir, en la justifiant, la bonne réponse :

1. L'énergie potentielle lorsque le pilote est à la surface de l'eau est de :
   a. 4 800 m. b. 0 m. c. 0 J.
   d. 4 800 J.
2. Lorsque le flyboarder est au sommet de son ascension, l'énergie cinétique du système est égale à :
   a. 0 m/s. b. 0 J. c. $1{,}9 \times 10^3$ J.
   d. $3{,}9 \times 10^3$ J. e. $3{,}85 \times 10^3$ J.
3. La variation de l'énergie cinétique du flyboader lors de son ascension vaut :
   a. 0 J. b. $1{,}5 \times 10^3$ J. c. $3{,}0 \times 10^3$ J.
   d. $-1{,}5 \times 10^3$ J.
4. La valeur de la force de frottement exercé par l'air sur le système est :
   a. 220 J. b. 16 000 N. c. 220 N.
   d. $2{,}0 \times 10^3$ J. e. $1{,}6 \times 10^4$ J.

Données
- La vitesse initiale du flyboarder est de 12,0 km·h^{-1} ;
- **Intensité du champ de pesanteur :** $g = 9{,}81$ N·kg^{-1} ;
- La masse du système {flyboard + équipement + flyboarder} est d'environ 160 kg ;
- La force motrice F exercée par les moteurs assurant ainsi l'ascension vaut environ 1600 N.

Exercice n° 18

Après un lancer, lorsque la balle atterrit à proximité du trou, la joueuse doit réaliser un *putt* consistant à taper la balle avec le club de golf, la faisant rouler sur le *green* jusqu'au trou. Lors de son mouvement rectiligne jusqu'au trou, la balle, assimilée à un point matériel de masse $m = 46$ g, est soumise à une force de frottement constante de valeur 50 mN et parcourt 2,5 m.



1. Faire un bilan des forces s'appliquant sur la balle lors de son mouvement et les représenter sur un schéma.
2. L'énergie mécanique de la balle se conserve-t-elle au cours de son mouvement ? Justifier.
3. En déduire la valeur du travail de chaque force s'appliquant sur la balle lors du mouvement.
4. En supposant que la balle soit initialement frappée avec une vitesse de 4,0 m·s^{-1}, calculer la valeur de sa vitesse lorsqu'elle atteint le trou.

Donnée
- **Intensité du champ de pesanteur :** $g = 9{,}8$ N·kg^{-1}.

Exercice n° 19

Dans l'épisode VII de la saga *Star Wars*, lors de leur entrée en catastrophe dans l'atmosphère de Jakku, le vaisseau de Finn et Poe Dameron prend feu, montrant qu'il a été soumis à des échanges thermiques importants.

1. Calculer l'énergie mécanique du vaisseau à l'entrée dans l'atmosphère et au niveau du sol.
2. En déduire la valeur de l'énergie thermique Q dispersée lors de la rentrée dans l'atmosphère.

Données
- On suppose $g_{\text{Jakku}} = 7{,}2$ N·kg^{-1} ;
- **Vitesse d'entrée du vaisseau dans l'atmosphère :** $v_e = 50$ m·s^{-1} ;
- **Masse du vaisseau + équipage :** $m = 10{,}0$ t ;
- **Épaisseur de l'atmosphère :** 30 km ;
- **Vitesse lors du 1er contact au sol :** $v_{sol} = 60$ m·s^{-1}.

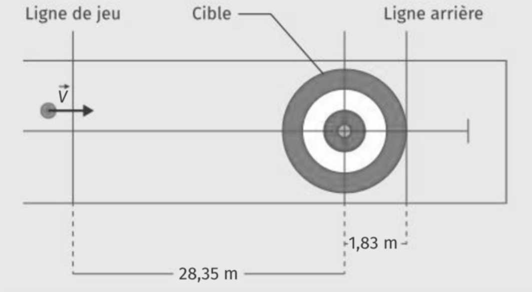
Exercice n° 20

L'équipe de Tom et celle de Jasmine s'affrontent lors d'un match de curling. Le match arrive à son terme et les équipes sont *ex æquo*. C'est la dernière pierre de l'équipe de Jasmine. Pour gagner, il faut sortir la pierre de l'équipe de Tom de la cible. Deux balayeurs sont mobilisés devant la pierre et espèrent lui faire atteindre la cible. Lors de leur dernier lancer, l'équipe de Jasmine parvient à placer la pierre au cœur de la cible en lui impulsant une vitesse de 2,56 m·s^{-1} sur la ligne de jeu.

1. Définir le système et le référentiel d'étude. Établir le bilan des forces s'appliquant sur le système et les représenter sur un schéma.
2. Sans faire de calcul, montrer que seul le travail d'une force est non nul. Identifier cette force.
3. **Doc. 1** Calculer le travail de cette force s'appliquant sur le système pour le lancer de l'équipe de Jasmine.
4. **Doc. 1** En déduire l'intensité de cette force.
5. **Doc. 2** Quelle est l'utilité du balayage devant la pierre ?

Doc. 1 **Règles du jeu**

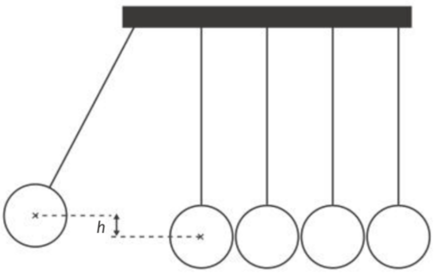
Le curling est un sport qui se pratique sur une patinoire horizontale, sur laquelle sont dessinées des cibles circulaires appelées cibles.
Le but est de lancer les objets circulaires de 20 kg appelés pierres pour les placer le plus proche de la cible.



Doc. 2 **Le curling**

Exercice n°21

Le pendule de Newton est composé de cinq billes suspendues par des fils. Lorsqu'on écarte la première bille de la position d'équilibre et qu'on la lâche, elle perd de l'altitude et vient frapper la deuxième bille. Son énergie cinétique est transférée jusqu'à la dernière bille et la met en mouvement. Le système entre alors en oscillation. Chaque bille a une masse de 100 g.



1. La première bille est déplacée de sa position d'équilibre d'une hauteur h = 5,0 cm (voir schéma ci-dessus). En déduire l'énergie potentielle de pesanteur acquise par la bille. Une fois la bille lachée, quelle conversion d'énergie est mise en jeu ?

2. Déterminer la vitesse v_1 de la première bille lorsqu'elle touche la deuxième.

3. En supposant que l'énergie cinétique se conserve intégralement, à quelle vitesse la cinquième bille quitte-t-elle la quatrième ? Justifier.

4. On peut constater que les hauteurs atteintes successivement par les billes des extrémités ont tendance à diminuer légèrement à chaque oscillation. Citer les deux causes principales pouvant expliquer ce phénomène.

5. Quelles conditions expérimentales permettraient d'augmenter le nombre total des oscillations ?

6. Le mouvement perpétuel du pendule serait-il alors envisageable ? Justifier.

Donnée

- **Intensité du champ de pesanteur :** $g = 9{,}81\ \text{N·kg}^{-1}$.