

Thème : L'énergie

Chapitre : L'énergie mécanique Travail des forces et énergies

Objectifs :

- Écrire et exploiter l'expression du travail d'une force constante.
- Écrire et exploiter la relation de définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation.
- Relier une modification de l'énergie cinétique en translation rectiligne à la nature de son mouvement (accélééré ou décélééré).
- Associer une variation d'énergie cinétique d'un solide en translation au travail des forces appliquées.
- Citer et exploiter la relation entre travail et puissance moyenne.
- Estimer la puissance moyenne nécessaire pour modifier la valeur d'une vitesse pendant une durée donnée.
- Exprimer et évaluer l'énergie mécanique d'un solide en translation.
- Analyser des variations de vitesse d'un solide en translation en termes d'échanges entre énergie cinétique et énergie potentielle (de pesanteur ou élastique).
- Analyser le mouvement d'un solide en translation en termes de conservation et non conservation de l'énergie mécanique.
- Estimer la puissance moyenne nécessaire pour maintenir constante la vitesse d'un solide en translation, en présence de frottements.
- Étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un solide en mouvement de translation rectiligne.

Sommaire

1. Cours	2	2. Activité 1 : Énergie cinétique et travail d'une force	5
1.1 Travail d'une force ?	2		
1.2 Énergie cinétique d'un solide en translation	2		
1.3 Énergie cinétique et travail des forces . .	2	3. Activité 2 : L'énergie mécanique	7
1.4 Puissance moyenne	3		
1.5 Énergie potentielle	3		
1.6 Énergie mécanique	4	4. Exercices	9

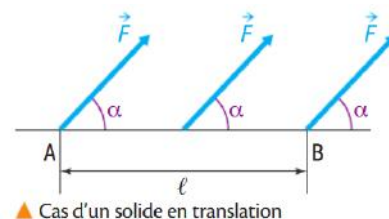
1. Cours

1.1 Travail d'une force ?

Qu'appelle-t-on **travail d'une force** ?

.....

À partir de l'exemple ci-dessous, **exprimer** le travail noté $W_{AB}(\vec{F})$ de la force \vec{F} dont le point d'application se déplace de A vers B :



Remarques : Cas particuliers

- Force de même direction et même sens que le mouvement : $W_{AB}(\vec{F}) = F \times \ell > 0$. Le travail est **moteur**
- Force de même direction et sens opposé au mouvement : $W_{AB}(\vec{F}) = F \times \ell < 0$. Le travail est **résistant**
- Force perpendiculaire au mouvement : $W_{AB}(\vec{F}) = 0$. Le travail est **nul**

1.2 Énergie cinétique d'un solide en translation

Donner la relation qui permet d'exprimer l'**énergie cinétique**, notée E_c , pour un solide de masse m et de vitesse v :

.....

Compléter les propositions suivantes :

- Lorsque l'énergie cinétique d'un solide en translation rectiligne diminue, alors il est mouvement rectiligne
- Lorsque l'énergie cinétique d'un solide en translation rectiligne, alors il est mouvement rectiligne accéléré.

1.3 Énergie cinétique et travail des forces

Pour un solide en translation se déplaçant de A vers B, la variation de l'énergie cinétique du solide est égale à la somme des travaux des forces appliquées :

$$\frac{1}{2} \times m \times v_B^2 - \frac{1}{2} \times m \times v_A^2 = \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i) \tag{1}$$

Exemple : Soit une balle, de masse $m = 1000$ g qui est lancée sur le sol. En A elle est animée d'une vitesse $v_A = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ et en B $v_B = 2 \text{ m.s}^{-1}$. **Calculer** la somme des travaux des forces appliquées à la balle entre les points A et B :

.....

1.4 Puissance moyenne

Donner la relation entre la **puissance moyenne** P développée lors d'un travail W et la durée t nécessaire pour effectuer ce travail :

.....

1.5 Énergie potentielle

Définir la notion d'**énergie potentielle** :

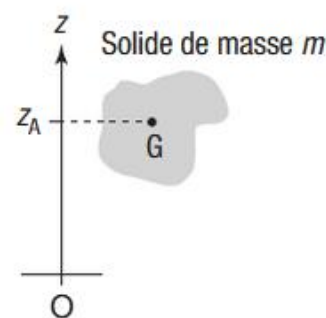
.....

Énergie potentielle de pesanteur

Quelle est l'origine de l'**énergie potentielle de pesanteur** ?

.....

Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur, E_p , d'un solide dont le centre de gravité G est à l'altitude z_A par rapport à l'origine des altitudes :

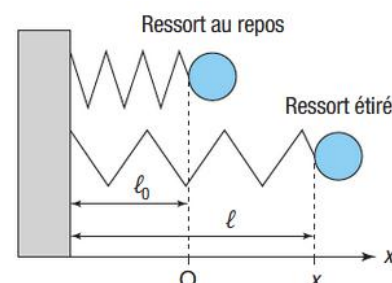


▲ Énergie potentielle de pesanteur d'un corps de masse m .

Énergie potentielle élastique d'un ressort

Donner l'expression de l'**énergie potentielle élastique d'un ressort**, E_p , de raideur k et dont l'allongement est $(\ell - \ell_0) = x$:

.....



▲ Allongement d'un ressort

Remarque : L'énergie potentielle élastique de référence est toujours prise quand le ressort est au repos : $E_p = 0$ J quand $\ell = \ell_0$, c'est à dire $x = 0$.

1.6 Énergie mécanique

Définir le terme d'énergie mécanique :

.....
.....

Quelle est la particularité de l'énergie mécanique si le système étudié n'est soumis qu'à son poids ou/et ne subit par de frottements ?

.....

Remarques : Si l'énergie mécanique ne se conserve pas alors le solide :

- perd de l'énergie si $E_{m2} < E_{m1}$, soit $\Delta E_m = E_{m2} - E_{m1} < 0$;
- gagne de l'énergie si $E_{m2} > E_{m1}$, soit $\Delta E_m = E_{m2} - E_{m1} > 0$.

2. Activité 1 : Énergie cinétique et travail d'une force

Objectif :

- Écrire et exploiter l'expression du travail d'une force constante.
- Écrire et exploiter la relation de définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation.
- Relier une modification de l'énergie cinétique en translation rectiligne à la nature de son mouvement (accélééré ou décélééré).
- Associer une variation d'énergie cinétique d'un solide en translation au travail des forces appliquées.

Soit M la masse d'un mobile autoporteur avec un système d'étincelage et m la masse de la masse accrochée. Le mobile est initialement au repos.

- Lâcher la masse accrochée et repérer la trajectoire du mobile autoporteur par étincelage.
- Réaliser au moins une dizaine de points de mesure.

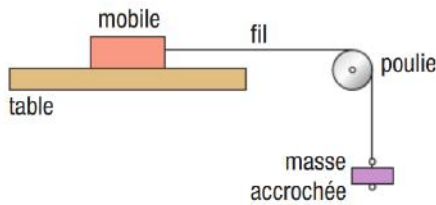
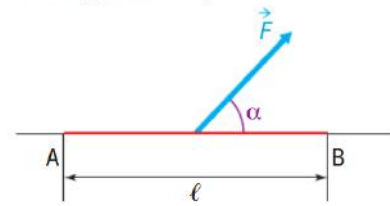


FIGURE 1 – Dispositif expérimental.

On considère un solide animé d'un mouvement de translation d'un point A vers un point B. On note ℓ la longueur du trajet.



Le **travail** $W_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante \vec{F} qui s'exerce sur le solide lors de ce mouvement est donné par la relation :

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

Unités

W_{AB} s'exprime en joule (J)
 F en newton (N)
 ℓ en mètre (m)

FIGURE 2 – Travail des forces

L'**énergie cinétique** E_c d'un solide de masse m et de vitesse v est donnée par la relation :

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

où :

- E_c s'exprime en joule (J) ;
- m s'exprime en kilogramme (kg) ;
- v s'exprime en mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$).

FIGURE 3 – Énergie cinétique

Soit le point de départ M_0 comme origine de l'axe Ox et comme origine des temps.

On note x_n l'abscisse du point M_n à l'instant t_n .

On considère la **vitesse** v_n du point M_n comme la vitesse moyenne entre les points M_{n-1} de coordonnée x_{n-1} et M_{n+1} , de coordonnée x_{n+1} .

Autrement dit :

$$v_n = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}}$$

FIGURE 4 – Vitesse d'un point.

M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
X	X	X	X	X	X
$x = 1,6 \text{ cm}$	$x = 3,6 \text{ cm}$	$x = 5,8 \text{ cm}$	$x = 8,23 \text{ cm}$	$x = 10,9 \text{ cm}$	$x = 13,9 \text{ cm}$
$t = 0,05 \text{ s}$	$t = 0,1 \text{ s}$	$t = 0,15 \text{ s}$	$t = 0,2 \text{ s}$	$t = 0,25 \text{ s}$	$t = 0,3 \text{ s}$

FIGURE 5 – Résultats pour $M = 1000 \text{ g}$ et $m = 100 \text{ g}$.

1. **Faire** le bilan des forces s'exerçant sur le mobile autoporteur et les représenter sur un schéma.
2. **Donner** l'expression du travail de chacune de ces forces pour un trajet de longueur x .
3. Montrer que la somme $\sum_i W(\vec{F}_i)$ des travaux des forces extérieures exercées sur le mobile est égale à $m \times g \times x$, où x est la longueur du trajet. On prendra $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.
4. **Calculer** la vitesse v_n des différents points de mesures (figure 5).
5. **En déduire** l'énergie cinétique E_{cn} du mobile autoporteur aux différents points de mesure. Quelle est la nature de ce mouvement ?
6. **Comparer** la valeur du travail des forces à la variation de l'énergie cinétique : $E_{cn} - E_{c0}$ entre les points d'abscisses M_0 et M_n .
7. **Comparer** la valeur du travail des forces entre les points de mesures 1 et 3 à la variation de l'énergie cinétique $E_{c3} - E_{c1}$.

3. Activité 2 : L'énergie mécanique

Objectif :

- Exprimer et évaluer l'énergie mécanique d'un solide en translation.
- Analyser des variations de vitesse d'un solide en translation en termes d'échanges entre énergie cinétique et énergie potentielle (de pesanteur ou élastique).
- Analyser le mouvement d'un solide en translation en termes de conservation et non conservation de l'énergie mécanique.
- Étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un solide en mouvement de translation rectiligne.

Acquisition des données

Le logiciel LatisPro permet d'acquérir des courbes et de les exploiter (tableur et modélisation) mais il permet également de travailler à partir de vidéos (analyse du mouvement). Pour cette activité, on va utiliser cette seconde fonction du logiciel : l'analyse d'une vidéo suivie d'une exploitation des données acquises.

À l'aide de la fonction pointage vidéo du logiciel, pointez les positions successives de la balle dont le mouvement a été enregistré dans la vidéo « TP1Schuteparabolique.avi » (suivez la fiche méthode « Lecture et exploitation d'une vidéo avec LatisPro »).

FIGURE 1 – Protocole

1. Si on néglige la rotation de la balle, **décrire** la trajectoire de son centre d'inertie G dans le référentiel terrestre.
2. **Faire** un dessin légendé du mouvement de la balle en représentant les axes du repère d'étude.
3. **Faire** le bilan des forces extérieures appliquées au centre de gravité G de la balle lorsqu'elle est en mouvement puis **représenter** cette (ou ces) force(s) sur le dessin précédent.
4. Comment nomme-t-on ce mouvement particulier où un objet n'est soumis qu'à cette (ou ces) force(s) ?

- **L'énergie cinétique** est l'énergie que possède un solide lorsqu'il est en mouvement. Elle se note E_c et s'exprime, dans le système internationale d'unité, en **joule** (symbole : **J**). Pour un solide en mouvement de translation, son expression est donnée par :

$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$	$m =$ masse du solide en mouvement (en kg) $v =$ vitesse du solide en mouvement (en m.s^{-1}) $E_c =$ énergie cinétique du solide (en J)
---	--
- **L'énergie potentielle de pesanteur** est l'énergie que possède un solide du fait de son altitude par rapport à la surface de la Terre. Elle se note E_p et s'exprime, dans le système internationale d'unité, en **joule** (symbole : **J**). Pour un solide en mouvement de translation, son expression est donnée par :

$E_p = m \times g \times z$	$m =$ masse du solide en mouvement (en kg) $g =$ intensité de pesanteur ($9,81 \text{ N.kg}^{-1}$ pour la Terre) $z =$ altitude du solide (en m) $E_p =$ énergie potentielle de pesanteur du solide (en J)
-----------------------------	--
- **L'énergie mécanique** d'un solide est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle de pesanteur. Elle se note E_m et s'exprime, dans le système international d'unité, en **joule** (symbole : **J**) :

$E_m = E_c + E_p$	$E_c =$ énergie cinétique du solide (en J) $E_p =$ énergie potentielle de pesanteur du solide (en J) $E_m =$ énergie mécanique du solide (en J)
-------------------	---

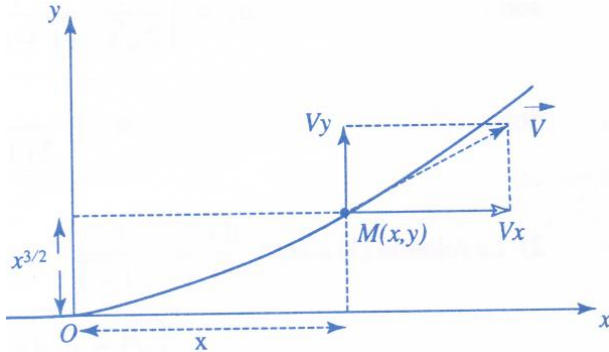
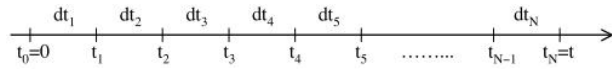
FIGURE 2 – Rappels

Remarque : Calcul d'une vitesse moyenne.

Pour calculer la vitesse moyenne d'un mobile en un point, on peut utiliser, en première approximation, la relation de la vitesse instantanée suivante :

La vitesse instantanée en i est :

$$v_i = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (2)$$



Ainsi, sur le dessin ci-contre, la vitesse moyenne v au point M de coordonnées (x, y) sera donnée par :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (3)$$

C'est la norme du vecteur vitesse \vec{v} .

Avec $v_x = \frac{x_{M+1} - x_{M-1}}{t_{M+1} - t_{M-1}}$ et $v_y = \frac{y_{M+1} - y_{M-1}}{t_{M+1} - t_{M-1}}$.

1. En utilisant la fonction tableur-grapheur du logiciel LatisPro, créez les grandeurs (appelées « variables » dans le logiciel) correspondant aux vitesses v_x , v_y puis aux énergies E_c , E_p et E_m en suivant la fiche méthode « Utilisation du tableur intégré à Latispro » ;
2. Représentez, dans une première fenêtre, les courbes $x(t)$ et $y(t)$;
3. Représentez, dans une seconde fenêtre, les courbes $E_c(t)$, variation de l'énergie cinétique en fonction du temps, $E_p(t)$, variation de l'énergie potentielle en fonction du temps, et enfin $E_m(t)$, variation de l'énergie mécanique en fonction du temps.

FIGURE 3 – Protocole avec masse de la balle : $m = 270 \text{ g}$ et $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

5. Quelle est la nature du mouvement horizontal (selon X) ? **Justifier** votre réponse.
6. Quelle est la nature du mouvement vertical (selon Y) ? **Justifier** votre réponse.
7. Comment varie l'énergie potentielle de pesanteur E_p en fonction de Y ?
8. Comment varie l'énergie cinétique E_c pendant toute la durée du mouvement (montée et descente) en fonction de la valeur de la vitesse ?
9. **Comparer** les variations de E_c et de E_p puis en déduire une interprétation de la courbe $E_m = f(t)$.
10. **Conclure** sur l'activité en incluant les réponses aux questions suivantes :
 - Que peut-on dire de l'énergie d'un solide qui n'est soumis qu'à son poids ?
 - Peut-on généraliser cette conclusion à l'ensemble des solides en mouvement ? **Justifier** votre réponse en citant un exemple.

4. Exercices

Exercice 1

La société suisse Energy Vault propose un moyen original pour stocker les énergies renouvelables issues de l'éolien ou du solaire. Au lieu d'utiliser des systèmes de pompage-turbinage ou des batteries, le dispositif repose sur la simple conversion d'énergie cinétique en énergie potentielle de blocs de bétons manipulés par des grues.



Une grue à 6 bras de 120 m de haut est placée au centre d'un empilement de blocs de béton de 35 tonnes chacun. En cas d'excédent d'énergie solaire ou éolienne, la grue soulève un ou plusieurs blocs pour les placer sur un support en hauteur. L'énergie totale pouvant être stockée dans ce dispositif est de 20 MWh soit suffisamment pour alimenter 2000 foyers pendant une journée. Lors d'une demande en énergie électrique, la grue fait descendre les blocs à la base et son moteur fonctionne alors en alternateur qui envoie de l'énergie électrique sur le réseau. La société Energy Vault table sur un rendement de 85% pour ce stockage d'énergie.

1. Pour quelle raison doit-on stocker les énergies éolienne et solaire ?
2. **Établir** le diagramme énergétique du moteur des grues.
3. **Calculer** l'énergie potentielle E_p nécessaire pour soulever un bloc sur une hauteur de 60 m. **Convertir** cette énergie en Wh.
4. Combien de blocs doit soulever la grue pour stocker les 20 MWh indiqué dans le texte ?
5. La vitesse de montée d'un bloc peut être estimée à 0,5 m/s. **Calculer** l'énergie cinétique E_c d'un bloc au cours d'une montée.
6. **Comparer** E_p (calculée à la question 3) et $E - c$. Le texte a-t-il raison de dire que ce dispositif convertit de l'énergie cinétique en énergie potentielle ? **Justifier**.
7. En quel type d'énergie est transformée l'énergie potentielle stockée par les blocs ? Quel est l'appareil qui permet de faire cette conversion ?

Données : $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$; $E_p = m \times g \times h$; $1Wh = 3600J$; $g = 9,81N.kg^{-1}$

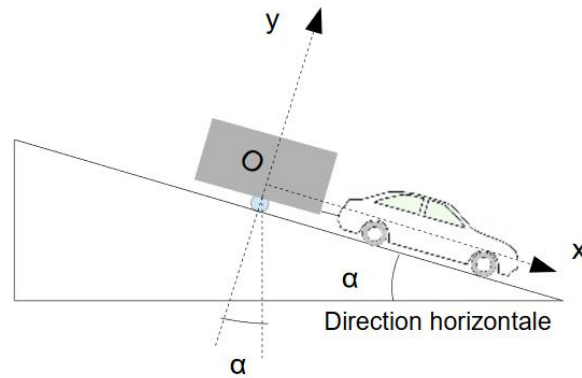
Exercice 2

Une voiture descend un côté rectiligne de pente 6,0 % et de longueur $L = 200$ m à la vitesse constante $v = 70$ km.h⁻¹. Cette voiture tracte une caravane de masse $m = 500$ kg. Le centre d'inertie de la caravane descend de 6,0 m lorsqu'il parcourt 100 m.

Dans cet exercice, la caravane sera considérée comme un solide en translation.

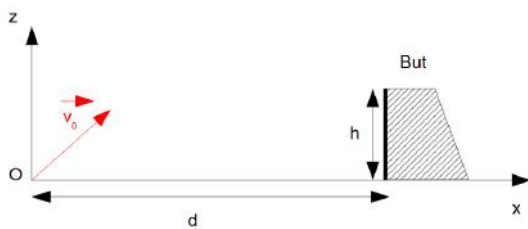
Les forces de frottement s'opposant au mouvement de la caravane, dues essentiellement à la résistance de l'air, sont équivalentes à une force unique et constante \vec{f} , de valeur $f = 1,0 \cdot 10^3$ N.

1. **Faire** le bilan des forces extérieures s'appliquant à la caravane. **Représenter** ces forces sur le schéma ci-dessous sans souci d'échelle et avec origine au point O.
2. Quelle est la résultante de ces forces ?
3. **Calculer** le travail du poids \vec{P} et le travail de la force de frottement \vec{f} pour un déplacement L .
4. **En déduire** le travail de la force de traction \vec{T} exercée par la voiture sur la caravane sachant que la somme des travaux des forces est nulle.
5. **Calculer** la puissance moyenne de la force \vec{T} .

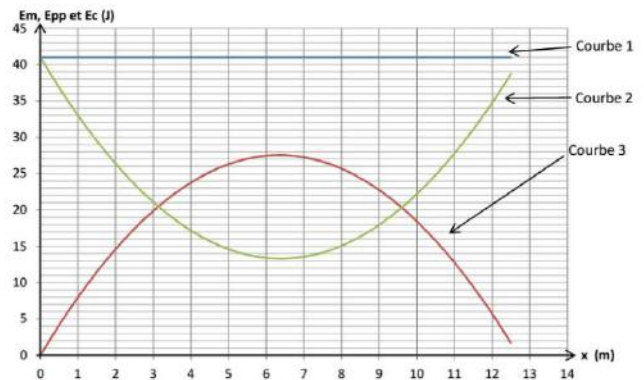


Exercice 3

Au jeu de football, le tir au but consiste à frapper le ballon depuis un point appelé « point de pénalty » pour atteindre le but. Ce point se trouve à l'origine O d'un repère orthonormé (O, x, z) situé à une distance d de la ligne de but. Le ballon doit donc atteindre cette ligne sous la barre verticale du but de hauteur h pour que le tir soit réussi.



Document 1 : Évolution des énergies E_m , E_p et E_c



- On désigne par A le point où se situe le ballon lorsqu'il franchit la ligne de but. Quelles conditions doivent vérifier les coordonnées $(x_A; z_A)$ de ce point pour que le tir soit réussi ?
- Donner l'expression de l'énergie mécanique $E_m(O)$ du ballon au point O au moment du tir lorsqu'il est lancé avec un vecteur vitesse \vec{v}_O .
Faire de même pour $E_m(A)$, énergie mécanique du ballon au point A . La vitesse du ballon en ce point est notée \vec{v}_A . L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise au niveau du sol (axe Ox).
- Le ballon est lancé de O avec une vitesse $v_0 = 11,5$ m/s et passe au point $A(x_A; z_A)$.
 - À quelle condition l'énergie mécanique du ballon se conserve-t-elle ?
 - On suppose que l'énergie mécanique se conserve entre O et A . Exprimer v_A en fonction de g , z_A et v_0 puis calculer sa valeur pour $z_A = 2,44$ m.
- Le document 1 ci-dessous montre les variations de E_c , E_p et E_m en fonction de la distance x parcourue.
 - Associer à chaque courbe l'énergie correspondante en justifiant votre démarche.
 - Déterminer les valeurs de z_A et v_A lorsque le ballon franchit la ligne de but. Ces valeurs sont-elles compatibles avec le calcul précédent ?

Données : $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$; $E_p = m \times g \times h$; $E_m = E_c + E_p$; $d = 11,0$ m; $h = 2,44$ m; $g = 9,81$ N.kg⁻¹; masse du ballon $m = 620$ g.

Exercice 4

La finale de skateboard du FISE WORLD (Festival International des Sports Extrêmes) s'est déroulée le 5 mai 2016 à Montpellier. Parmi les nombreuses figures réalisées par les skateurs, les enchaînements de « ollie » et de « grind » se sont succédés.

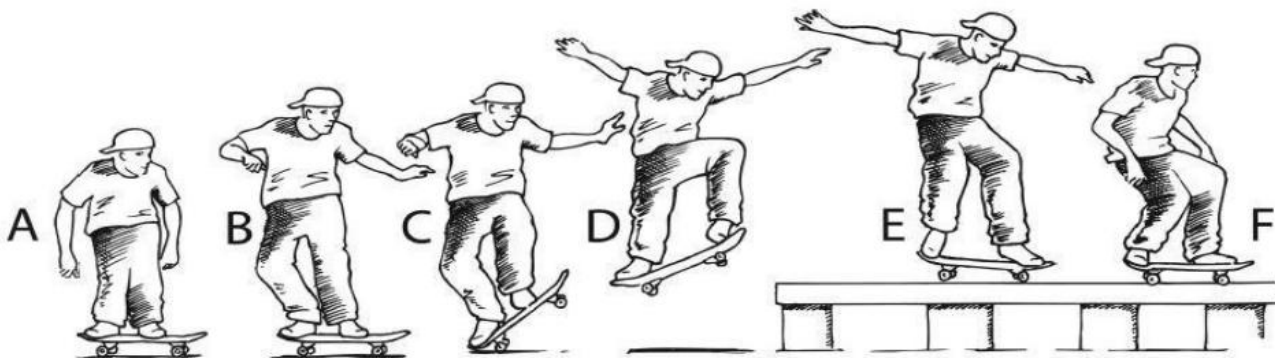
Comment faire un « ollie » ?



Un « ollie » est la figure de base du skateboard. Il s'agit d'un saut effectué avec la planche (...) Pour réaliser cette figure, il faut donner un bon coup avec votre pied arrière (dessin ci-contre). Il est important de bien faire claquer l'arrière de la planche ; c'est ce qui vous permet de décoller.

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 et de réaliser ainsi un « grind ». Cet enchaînement peut se décomposer de la manière suivante :



1. Étude énergétique du « ollie ».

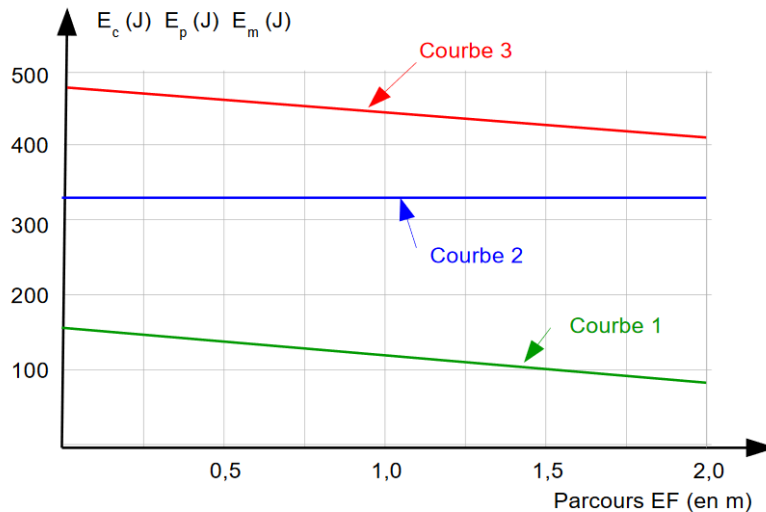
On s'intéresse au mouvement de S sur le parcours CE . Le skateur effectue un « ollie » ; il quitte le sol au point C au moment où sa vitesse est $v_C = 3,6 \text{ m/s}$; il atteint le rail au point E avec la vitesse v_E . On néglige les frottements sur le parcours CE .

- Donner les expressions de l'énergie mécanique $E_m(C)$ et $E_m(E)$ de S aux points C et E .
- Déterminer l'expression de la vitesse v_E au point E en fonction de g , h et v_C .
- En déduire la valeur de la vitesse v_E au point E .

2. Étude énergétique du « grind ».

On s'intéresse au mouvement de S qui glisse sans rouler sur le rail horizontal entre les points E et F . Les forces de frottement ne sont pas négligeables, elles sont assimilables à une force \vec{f} unique, constante et opposée au sens du mouvement. Le document ci-dessous rassemble les représentations graphiques de l'évolution des grandeurs énergie potentielle de pesanteur E_p , énergie cinétique E_c et énergie mécanique E_m du système S sur le parcours EF .

- Attribuer à chaque courbe l'énergie qui lui correspond en justifiant.
- L'énergie mécanique est-elle conservée sur ce parcours ? Justifier.

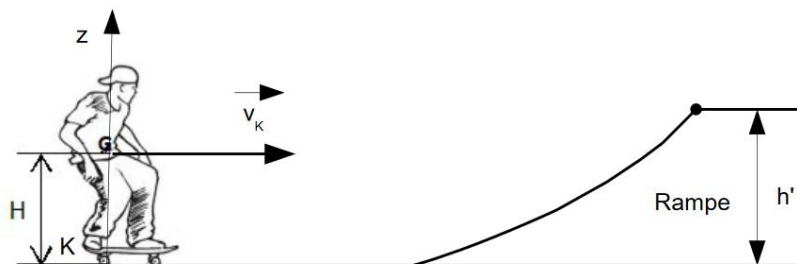


c) Donner l'expression littérale du travail $W(\vec{f})$ de la force \vec{f} le long du parcours EF .

d) En utilisant la non conservation de l'énergie en présence de frottements, en déduire la valeur de l'intensité f de la force \vec{f} .

3. Étude énergétique du mouvement sur la rampe.

Le skateur quitte le rail, les roues du skate sont de nouveau en contact avec le sol et roulent sans frottement. Le skateur prend de l'élan jusqu'au point K pour aborder la rampe : la vitesse horizontale atteinte a pour valeur $v_K = 4,5$ m/s. Le skateur arrive en haut de la rampe avec une vitesse nulle. Déterminer la hauteur h' de la rampe.



Données et formulaire :

- hauteur du rail : $h = 45$ cm ;
- longueur du trajet sur le rail horizontal : $L = EF = 2,0$ m ;
- masse du système S (skateur + planche) : $m = 75$ kg ;
- intensité de la pesanteur : $g = 9,8$ N/kg.
- L'étude du mouvement de système S (skateur + planche) est faite dans le référentiel terrestre. Dans tout l'exercice, le système S , considéré comme indéformable, est assimilé à un point matériel G , situé à une distance $H = 1,0$ m du support où se trouve le skateur, quel que soit ce support (sol, rail...).
- Pour toutes les phases du mouvement, on pose que l'énergie potentielle est nulle au niveau du sol.
- $E_c = \frac{1}{2}mv^2$; $E_p = mgz$; $E_m = E_p + E_c$