

Module	Volume horaire	contenus	Connaissances et savoir –faire exigibles	Exemples d'activités	Moyens didactiques	Evaluations
Le travail : mode de transfert d'énergie	12h	<p>I. Introduction</p> <p>II. L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide</p> <p>1. Activité 1:</p> <p>2. Définition</p> <p>3. Etat de référence</p> <p>4. Relation entre la variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide et le travail de son poids:</p> <p>III. Energie mécanique d'un solide</p> <p>1- Définition ;</p> <p>1-Conservation de l'énergie mécanique</p> <p>a- Le cas de chute libre d'un corps solide.</p> <p>Activité 2 :</p> <p>b- Cas d'un corps solide soumis à plusieurs forces sans frottement :</p> <p>Activité 3 :</p> <p>2- Non conservation de l'énergie mécanique</p> <p>Activité 4 :</p>	<p>➤ connaître l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide : $E_{pp} = m.g.z + Cte$ et son unité</p> <p>➤ utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur</p> <p>➤ connaître et appliquer la relation liant le travail du poids d'un solide à la variation de son énergie potentielle de pesanteur</p> <p>➤ connaître l'expression de l'énergie mécanique et son unité</p> <p>➤ connaître la transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique et inversement</p> <p>➤ interpréter la non conservation de l'énergie mécanique</p> <p>➤ savoir utiliser la relation liant l'énergie mécanique à l'énergie thermique due aux frottements ($Q = -\Delta E_m$)</p>	<p>➤ exploiter des exemples de la vie courante, des documents et ressources numériques pour présenter la notion d'énergie potentielle de pesanteur (activité1)</p> <p>➤ Etablir l'expression d'énergie potentielle de pesanteur à partir du travail du poids d'un solide</p> <p>➤ mise en évidence expérimentale de la conservation d'énergie mécanique dans le cas d'une chute libre d'un solide (activité2) ou du mouvement de translation rectiligne sur un plan (activité3)</p> <p>➤ mettre en évidence la non conservation d'énergie mécanique dans le cas de translation rectiligne d'un solide avec frottement (activité4)</p>	<p>➤ Manuel</p> <p>➤ Table à coussin d'air avec accessoires</p> <p>➤ Ordinateur muni d'un logiciel de pointage et d'un tableur</p> <p>➤ Came flexible.</p> <p>➤ Règle.</p> <p>➤ Balle.</p>	<p>➤ Diagnostique.</p> <p>➤ Formative Exercices de synthèse</p>

I. Introduction :

Le mot "Energie" vient du grec "en ergon" (contenant du travail). C'est la capacité de fournir du travail, même dans le langage courant. En physique, l'énergie prend différentes formes et n'a pas une définition unique ni une méthode de mesure unique.

Lorsqu'un corps se trouve dans un champ de gravitation, sur Terre par exemple, il a la possibilité de tomber. Cette chute potentielle correspond à une forme d'énergie stockée dans l'objet: l'énergie potentielle de gravitation. Celle-ci est libérée lorsque l'objet redescend à une position inférieure et correspond au travail qui est nécessaire pour faire remonter le corps à sa hauteur initiale



➤ Qu'est-ce que l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps solide ?

➤ Quelles est son expression mathématique ? Et comment est-elle exploitée ?

Exemples :

➤ Un rocher, lors de sa chute, peut écraser une maison

➤ L'eau d'un barrage, lors de sa chute, actionne la turbine d'une centrale électrique.

II. L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide

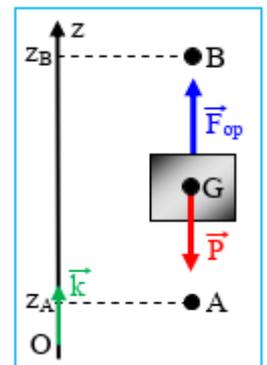
1- Activité :

Pour amener, à vitesse constante, un objet de masse m , de l'altitude z_A , à l'altitude z_B ($z_B > z_A$), un opérateur extérieur exerçant une force extérieure \vec{F}_{op} à chaque instant opposée au poids \vec{P} et égale en intensité, Au cours du déplacement, le système est soumis à deux forces : \vec{P} et \vec{F}_{op} .

En appliquant le théorème d'énergie cinétique Exprimer le travail de la force extérieure \vec{F} au cour du déplacement \overline{AB}

$$\begin{aligned} \text{On a : } \Delta E_C &= E_{CB} - E_{CA} = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{op}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = 0 \\ &\Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{op}) = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{op}) = mgz_B - mgz_A > 0$$



Conclusion :

Lorsque l'opérateur soulève une charge de masse m d'un point B d'altitude z_B à point A d'altitude z_A , la force extérieure \vec{F}_{op} effectue un travail $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_{op}) = mgz_B - mgz_A$

Ce travail apparaît comme la différence de deux termes de la forme $m \times g \times z$

Cette quantité s'exprimant en joule est homogène à une énergie.

La force \vec{F}_{op} fournit donc un travail transféré à la masse sous forme d'énergie Cette énergie s'appelle **énergie potentielle de pesanteur**.

2- Définition :

L'**énergie potentielle de pesanteur** (E_{pp}) est l'**énergie** que possède un corps du fait de sa position dans un champ de **pesanteur**.

Comme pour toute énergie, son unité dans le Système international est le **joule** (J).

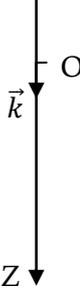
L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur :

Dans le repère $\mathcal{R}(O, \vec{k})$, l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un solide est défini par :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z + Cte \text{ avec : } \begin{cases} m: \text{ masse du solide en (kg)} \\ g: \text{ intensité de pesanteur en (N / kg)} \\ z: \text{ altitude du centre de gravité du solide en (m)} \end{cases}$$

L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un solide est définie à une constante C additive près. Cette constante peut être choisie arbitrairement.

Remarque :

	
$E_{pp} = m \cdot g \cdot z + C$	$E_{pp} = - m \cdot g \cdot z + C$

3- État de référence

- On oriente l'axe (Oz) vers le haut .
- Le calcul de l'énergie potentielle de pesanteur $E_{pp}(A)$ d'un solide à un point A nécessite la détermination de la constante C , Pour cela :

On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par un point R (Référence) d'ordonnée z_R , pour la position R d'altitude z_R , on écrit :

$$E(z=z_R) = m \cdot g \cdot z_R + C = 0 \Rightarrow C = - m \cdot g \cdot z_R$$

Donc l'énergie potentielle pour la position R d'altitude z_R est : $E_{pp}(z) = m \cdot g \cdot (z - z_R)$

Si on prend $z_R = 0$ alors l'expression de l'énergie potentielle devient : $E_{pp}(z) = m \cdot g \cdot z$

Remarque :

- les deux ordonnées z et z_R sont des **grandeurs algébriques** .
- Si on oriente l'axe (Oz) vers le bas l'expression de l'énergie potentielle deviennent :

$$E_{pp}(z) = - m \cdot g \cdot (z - z_R)$$

- L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique

4- Relation entre la variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide et le travail de son poids:

Quand un corps solide se déplace d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B avec :

$$\text{Au point A : } E_{pp}(z_A) = m \cdot g \cdot z_A + C$$

$$\text{Au point B : } E_{pp}(z_B) = m \cdot g \cdot z_B + C$$

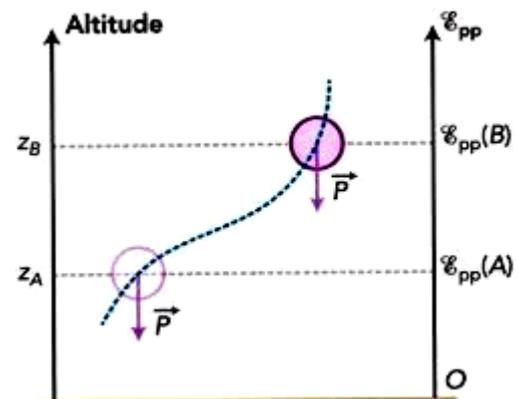
la variation de l'énergie de pesanteur du corps est :

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp} &= E_{ppB} - E_{ppA} \\ &\Rightarrow \Delta E_{pp} = (m \cdot g \cdot z_B + C) - (m \cdot g \cdot z_A + C) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \Delta E_{pp} = m \cdot g \cdot z_B - m \cdot g \cdot z_A = m \cdot g(z_B - z_A)$$

D'autre part on a : $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot (z_A - z_B) = - m \cdot g(z_B - z_A)$

$$\text{Donc : } \Delta E_{pp} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$$



Généralisation

Généralement l'expression de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur entre état initial (A) et l'état final (B) est : $\Delta E_{pp} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m.(z_B - z_A)$

Exercice d'application :

l'énergie potentielle de l'ascenseur Monsieur Ahmed habite le cinquième étage d'un immeuble qui en comporte huit. Chaque étage a une hauteur de 3,0m. L'ascenseur, vide, a une masse de 200kg. L'origine de l'énergie potentielle de l'ascenseur est choisie au niveau du rez-de-chaussée.

1-a) Calculer l'énergie potentielle de l'ascenseur lorsque celui-ci se trouve à l'étage de Mr Ahmed.

1-b) Calculer l'énergie potentielle de l'ascenseur lorsque celui-ci se trouve au dernier étage.

1-c) Montrer que la variation d'énergie potentielle de l'ascenseur entre l'étage de Mr Ahmed et le dernier étage est égale au travail du poids de l'ascenseur entre ces deux étages.

L'origine de l'énergie potentielle est maintenant choisie au niveau de l'étage de Mr Ahmed.

2-a) Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de l'ascenseur lorsqu'il se trouve à l'étage de Mr Ahmed.

2-b) Calculer l'énergie potentielle de l'ascenseur lorsque celui-ci se trouve au dernier étage.

On donne : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

III. Energie mécanique d'un solide

1- Définition :

Dans un repère donné, à chaque instant t , l'énergie mécanique d'un corps solide est égale à la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle de pesanteur : $E_m = E_c + E_{pp}$

➤ L'unité de E_m dans S.I est le joule (J)

Dans le cas où le corps solide est en mouvement de translation avec une vitesse linéaire v son énergie mécanique à comme expression :	Dans le cas où le corps solide est en rotation autour d'un axe fixe avec une vitesse angulaire ω et de moment d'inertie J_Δ son énergie mécanique à comme expression :
$E_m = \frac{1}{2} mV^2 + mgz + Cte$	$E_m = \frac{1}{2} J_\Delta \omega^2 + mgz + Cte$

Remarque : L'énergie mécanique E_m d'un solide est définie à une constante Cte additive près. Cette constante peut être choisie arbitrairement.

2- Conservation de l'énergie mécanique

a- Le cas de chute libre d'un corps solide.

Activité expérimentale:

On étudie la chute libre d'une bille d'acier dans l'air à l'aide du dispositif schématisé ci-dessous. La bille est initialement maintenue par un électro-aimant.

L'appareil mesure la durée Δt mise par la bille de masse $m=100\text{g}$ pour passer devant chaque cellule. Ces capteurs sont reliés à un ordinateur qui calcule la vitesse v pour une hauteur de chute h .

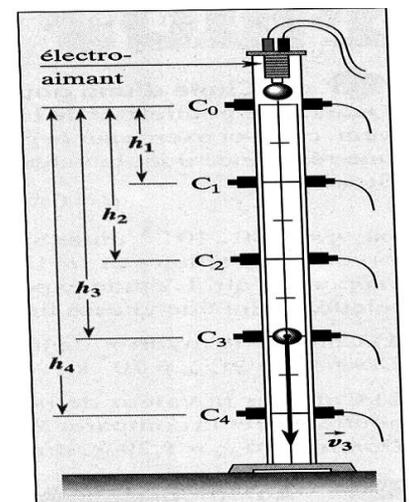
On a relevé le tableau de mesures suivant :

$h_i(\text{cm})$	20	40	60	80
$V(\text{m/s})$	1,980	2,803	3,433	3,964

Exploitation :

1- En choisissant le position C_4 comme état de référence de l'énergie potentielle de pesanteur et l'origine O du repère (O,z) au point C_4 calculer :

1.1- La valeur de l'énergie mécanique au point C_1



- 1.2- La valeur de l'énergie mécanique au point C_3
 2- Donner une conclusion.

Réponse :

- 1) 1.1- au point C_1 : la constante est nulle $C=0$

$$E_m(C_1) = E_{C_1} + E_{PP_1} = \frac{1}{2}mV_1^2 + mgz_1 + C \simeq 0,5 \times 0,1 \times 1,98^2 + 0,1 \times 9,81 \times (0,8 - 0,2) \simeq 784mJ$$

- 1.2- au point C_3

$$E_m(C_3) = E_{C_3} + E_{PP_3} = \frac{1}{2}mV_3^2 + mgz_3 + C \simeq 0,5 \times 0,1 \times 3,433^2 + 0,1 \times 9,81 \times (0,8 - 0,6) \simeq 785mJ$$

- 2) On remarque que : $E_m(C_1) = E_m(C_3)$

Dans la chute d'un solide, en absence de frottement (chute libre), on a montrer que

$$E_c + E_{pp} = E_m = Cte$$

Conclusion : (Animation flash)

https://www.pccl.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/energie/conservation_energie_mecanique.htm

L'énergie mécanique du solide en chute libre reste constante, on dit qu'elle se conserve.

Le poids est une forces conservative, son travail ne varie pas la valeur de l'énergie mécanique.

$$E_m = E_C + E_{PP} = \text{constante}$$

- Si $E_C = 0$ alors $E_m = E_{PPmax}$
 - Si $E_{PP} = 0$ alors $E_m = E_{Cmax}$
 - Transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique et inversement.
- b- **Cas d'un corps solide soumis à plusieurs forces sans frottement :**

Activité expérimentale :

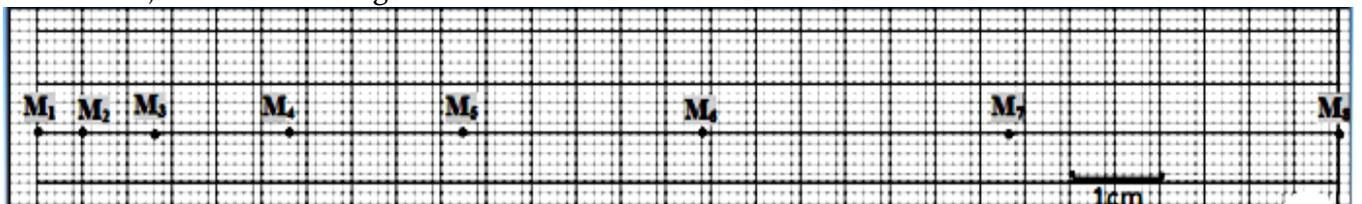
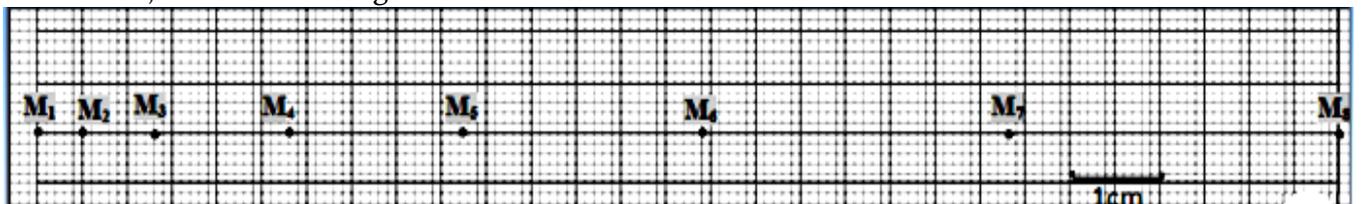
Dispositif expérimental :

Manipulation :

Etude du mouvement d'un autoporteur sur une table à coussin d'air inclinée On dispose d'un autoporteur de masse $m = 732g$, posé sur une table à coussin d'air inclinée d'un angle $\alpha = 10^\circ$ par rapport à l'horizontale.

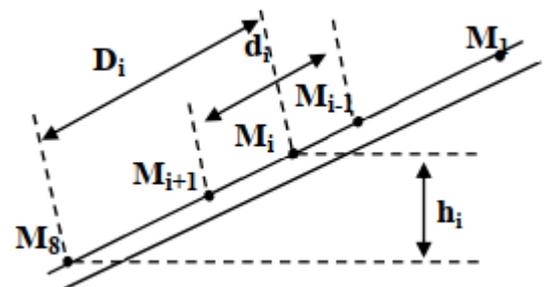
L'autoporteur est abandonné sans vitesse initiale. On

enregistre les positions du centre d'inertie de l'autoporteur pendant des durées consécutifs et égaux $= 60ms$, On obtient l'enregistrement suivant :



Exploitation :

- 1) compléter le tableau au dessous.
- 2) faire le bilan des forces qui s'exercent sur l'autoporteur ? Les représenter qualitativement sur un schéma.
- 3) D'écrire l'évolution des énergies E_C , E_{PP} et E_m du point M
- 4) Tracer un graphe représentant les énergies E_C , E_{PP} et E_m en fonction du temps.

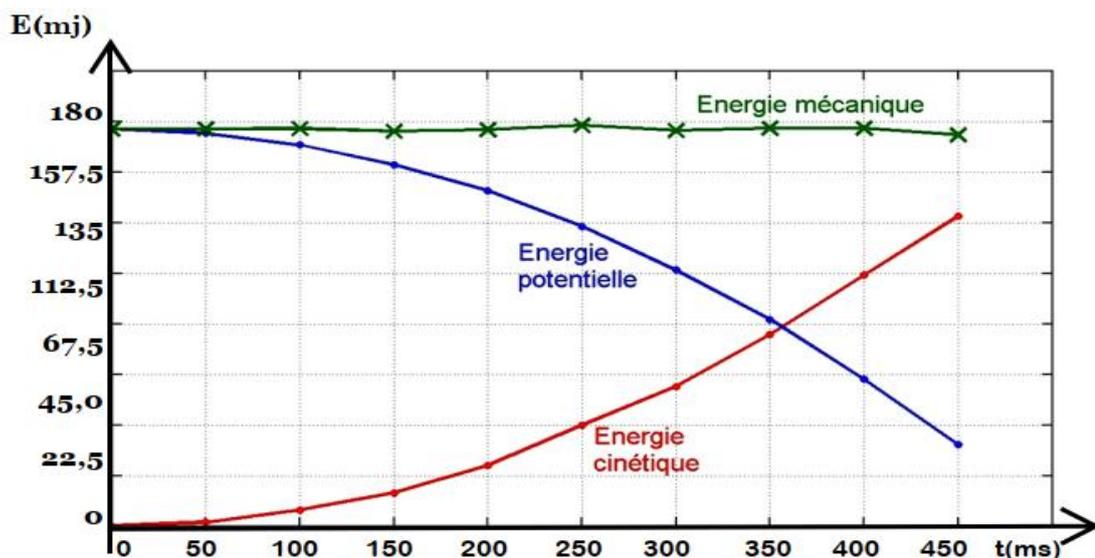


1)

M_i	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
t(ms)	60	120	180	240	300	360	420	480
d(cm)	☒	1,3	2,3	3,4	4,6	6,0	7,1	☒
D(cm)	14,5	14,0	13,2	11,7	9,8	7,10	3,70	0
V(m/s)	☒	0,108	0,192	0,283	0,383	0,50	0,592	☒
E_C (mj)	☒	4,27	13,5	29,3	53,78	91,50	128,27	☒
E_{PP} (mj)	☒	174,6	164,6	145,9	122,2	88,53	46,14	0
E_m (mj)	☒	178,87	178,1	175,2	176,0	180,0	174,41	☒

2) Bilan des forces appliquées sur l'autoporteur.

- Poids d'autoporteur \vec{P}
 - Réaction du plan incliné : \vec{R}
- 3) Quand l'autoporteur perd de l'altitude, son énergie potentielle décroît, au détriment de son énergie cinétique qui augmente et réciproquement quand l'autoporteur gagne de l'altitude.
- 4) représentation des graphes des énergies E_C , E_{PP} et E_m en fonction du temps :



L'énergie mécanique du système, reste constante ; les quelques fluctuations observées sont explicables par les incertitudes de mesure des positions.

On dit que l'énergie mécanique est conservée .et il y a conversion d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique.

Conclusion :

L'énergie mécanique E_m d'un solide en mouvement est **constante**, On dit qu'elle se conserve. Au cours du mouvement, il y a **transformation réciproque** d'énergie cinétique en énergie potentielle de telle sorte que :

$$E_m = E_C + E_{PP} = \text{constante} \quad \text{et} \quad \Delta E_C = -\Delta E_{PP}$$

3- Non conservation de l'énergie mécanique :

3.1 - Activité 2 :

On considère un corps solide (S) de masse $m = 40\text{kg}$ glisse avec frottement sur un plan incliné d'un angle

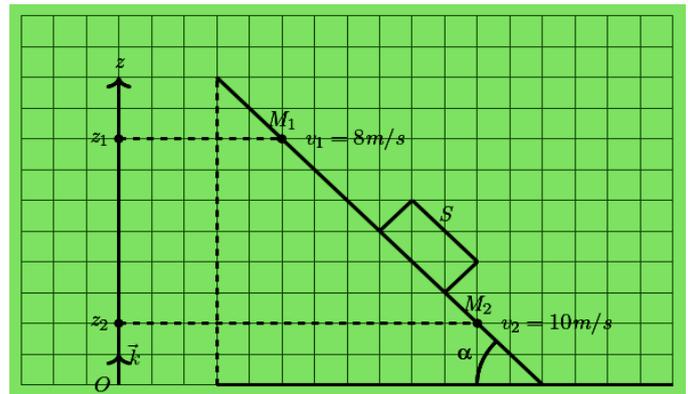
$\alpha = 45^\circ$ par rapport à l'horizontale. On lâche le solide à l'instant t_1 du point M_1 de cote z_1 avec une vitesse

$v_1 = 8\text{m/s}$ et à l'instant t_2 , il passe par le point M_2 de cote z_2 avec une vitesse $v_2 = 10\text{m/s}$. La distance parcourue par le solide entre ces deux instants est

$M_1M_2 = 4,25\text{ m}$.

On prend $g = 10\text{N/kg}$

- calculer la variation de l'énergie mécanique entre M_1 et M_2 .
- En appliquant le théorème d'énergie cinétique, montrer que $\Delta E_m = W_{M_1 \rightarrow M_2}(\vec{f})$
Justifier le signe de ΔE_m .



3.2 - Etude du mouvement d'un corps solide avec frottement sur un plan incliné :

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique

Entre les deux points A et B on écrit :

$$\Delta E_C = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$$

$$\text{Or } W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_T) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N)$$

$$\Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = \vec{R}_T \cdot \vec{AB} + \vec{R}_N \cdot \vec{AB}$$

$$\Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = -R_T \cdot AB = -f \cdot AB$$

D'autre part on a : $E_m = E_C + E_{PP}$

$$\Rightarrow \Delta E_m = \Delta E_C + \Delta E_{PP}$$

Et $\Delta E_{PP} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$ donc $\Delta E_C = -\Delta E_{PP} + W_{A \rightarrow B}(\vec{R})$

$$\Rightarrow \Delta E_C + \Delta E_{PP} = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}) = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_T) = -f \cdot AB$$

Donc

$$\Delta E_m = W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_T) = -f \cdot AB < 0$$

Conclusion :

La variation de l'énergie mécanique est égale au travail des forces de frottement.

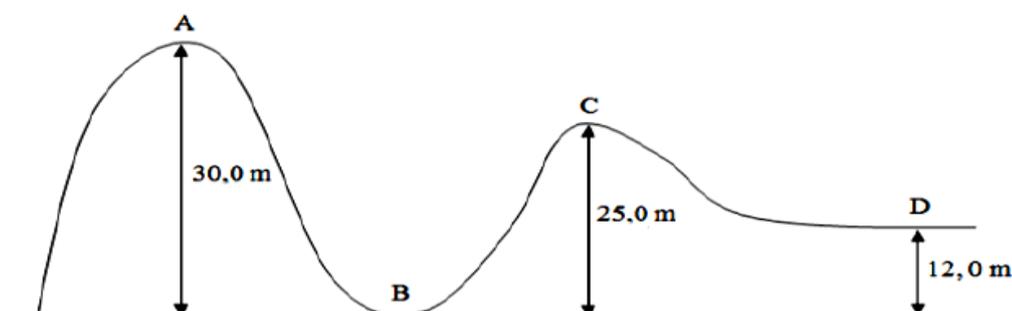
Une partie de l'énergie mécanique du système est convertie en chaleur Q :

$$Q = -\Delta E_m = -W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_T) = f \cdot AB$$

3.3 - Exercices de synthèse :

Un chariot de montagne voyage du point A jusqu'au point D.

Le chariot a une masse de $1000,0\text{kg}$ et une vitesse de $1,80\text{m/s}$ au point A.



- 1) Exprimer puis calculer la valeur est l'énergie mécanique du chariot au point A ?
- 2) Déterminer la valeur de la vitesse du chariot au point B ?
- 3) Quelle est l'énergie potentielle et l'énergie cinétique du chariot au point C ?
- 4) Quelle est la vitesse du chariot au point D ?

Exercice 2 :

Un corps S d masse 2 kg est abandonné, sans vitesse initiale, du sommet A d'un planche inclinée AB = 4 m. On prend le plan horizontal passant par B comme niveau de référence de l'E.P.P.
On prend : $g = 10 \text{ N/Kg}$ et $AH = 1.2 \text{ m}$.

1) Le corps S est dans sa position initiale en A. calculer :

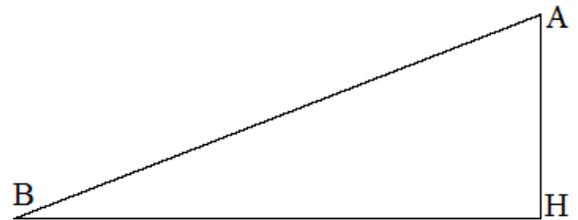
- a. Son énergie cinétique.
- b. Son énergie E.P.P.
- c. Son énergie E. mécanique

2) Les forces de frottement sont négligeables :

- a. L'E.M. du corps S est conservée. Pourquoi ?
- b. Calculer l'E.P.P. du S en B.
- c. Calculer l'E.C. du corps S et déduire sa vitesse en B.

3) En réalité les forces de frottement ne sont pas négligeable et valent 2 N et la vitesse en B est 4 m/s.

- a. Quelle sera l'E.M. du corps S en B.
- b. Calculer le travail des forces de frottement le long d'AB.
- c. Montrer que la variation de l'E.M. est égale au travail des forces de frottement le long d'AB.



Exercice 3 :

Une gouttière ABC sert de parcours à un mobile supposé ponctuel, de masse $m = 0,1 \text{ kg}$. Le mouvement a lieu dans un plan vertical. On donne $g = 10 \text{ N/Kg}$.

- 1) Sa partie curviligne AB est un arc de cercle parfaitement lisse où les frottements sont négligés.
Le mobile est lancé en A avec une vitesse $V_A = 5 \text{ m.s}^{-1}$ verticale dirigée vers le bas et glisse sur la portion curviligne AB.

Donnés : $r = OA = OB = 1 \text{ m}$; $BC = L = 1,5 \text{ m}$.

- a) Faire un bilan des forces s'appliquant sur le mobile au point M.
- b) Exprimer pour chacune des forces son travail au point M en fonction de m , g , r et θ .
- c) Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au point M et établir l'expression littérale de la vitesse V_M du mobile en fonction de V_A , g , r et θ .
- d) Calculer numériquement V_M en B (pour $\theta = 0$).
- 2) La portion BC rectiligne et horizontale est rugueuse. Les frottements peuvent être assimilés à une force \vec{f} unique, constante, opposée au mouvement, d'intensité f .
Sachant que le mobile arrive en C avec la vitesse $V_C = 5 \text{ m.s}^{-1}$, déterminer littéralement puis numériquement f .

