COURS

Chapitre 11« Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques »

Les compétences à acquérir…
- Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
- Utiliser l'expression du travail $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$ dans le cas de forces constantes.
- Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
- Forces conservatives.
- Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre.
- Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
- Identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique.
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc.
- Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives.
- Utiliser un dispositif (smartphone, logiciel de traitement d'images, etc.) pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système dans différentes situations : chute d'un corps, rebond sur un support, oscillations d'un pendule, etc.

I- Qu'est-ce que l'énergie ? et qu'est ce que l'énergie en mécanique ?

1- Définition :

En sciences physique, l'énergie permet de mesurer la capacité d'un système à mettre en mouvement un objet, à déformer l'objet, émettre un rayonnement ou de la chaleur

Le mot vient d'ailleurs du grec et signifie « force d'action ».

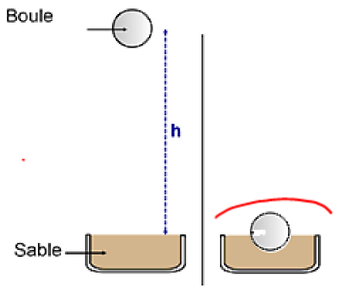
L'énergie notée E s'exprime en Joule (J)

2- Quelles sont les énergies utilisées en mécanique ?

Dans ce chapitre, c'est-à-dire en mécanique, nous allons étudier l'énergie cinétique Ec et l'énergie potentielle de pesanteur Epp

Ces 2 formes d'énergie permettront de définir l'énergie mécanique E_m

a- Qu'est ce que l'énergie cinétique Ec ?



Considérons une boule de pétanque de masse m que l'on lâche à une hauteur h au dessus d'un bac à sable. Cette boule arrive sur le sable avec une certaine vitesse V et l'énergie de la boule, au moment de l'impact, est libérée et crée « un trou dans le sable ». De quels paramètres dépend la taille du trou, c'est-à-dire de quels paramètres dépend l'énergie de la boule ?

Propositions :
- la masse m : plus la masse m est élevée plus l'énergie est importante
- la vitesse V : plus la vitesse V est élevée plus l'énergie est importante
(le trou le ~~…~~ est + grand)

Définition de l'énergie cinétique Ec :

Un objet qui se déplace possède une énergie de mouvement, qui dépend de la masse m et de la vitesse appelée énergie cinétique

La relation donnant l'énergie cinétique Ec d'un système modélisé par un point matériel animé d'un mouvement de translation s'écrit :

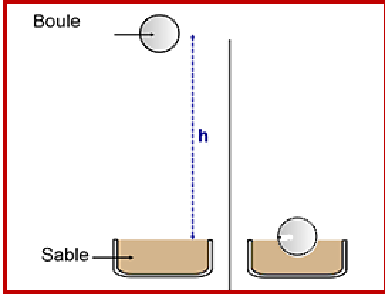
$$Ec = \frac{1}{2} m \times V^2$$

- masse m kg
- Vitesse V m/s
- Energie cinétique en Joule J

Exercice : Calculez l'énergie cinétique Ec de la boule de pétanque de masse m_b=250 g arrivant avec une vitesse V_b = 3,13 m/s

$$E_c = \frac{1}{2} m_b \times V_b^2 = \frac{1}{2} \times 0,200 \times (3,13)^2 = 0,97 \text{ J}$$

b- Qu'est ce que l'énergie potentielle de pesanteur Epp ?



Revenons sur notre boule de pétanque placée au dessus du bac à sable.
Si l'on lâche la boule, à un instant t, celle-ci se met en mouvement !
La boule de pétanque de masse m placée à une hauteur h possède donc, **potentiellement** une ..énergie.....
De quoi dépend cette ..énergie... ?
..– de la masse de la boule si m est élevé alors l'énergie est + élevée..
..– de la hauteur h : Si h est élevé alors l'énergie est élevée

Définition de l'énergie potentielle de pesanteur Epp :

Du fait de sa hauteur h ou de son altitude z par rapport à la Terre un objet possède de l'énergie qu'il peut « potentiellement » restituer. Un objet lâché d'une certaine hauteur se met en mouvement

Epp = ..m×g×h	- ..m...masse.....kg......... - ..h...hauteur.....m......... - ..Epp.....en....joule.......

Exercice : Calculez l'énergie potentielle de pesanteur Epp de la boule de pétanque de masse m_b=250 g lachée à une hauteur h = 50 cm

$$E_{pp} = m_b \times g \times h = 0,200 \times 9,81 \times 50.10^{-2} = 0,98 \text{ J}$$

Remarque :

à t=0s
$E_c = 0$ J
$\boxed{E_{pp} = 0,98 \text{ J}}$

t_1 : $E_{pp} = 0$ J car h = 0
$\boxed{E_c = 0,97 \text{ J}}$

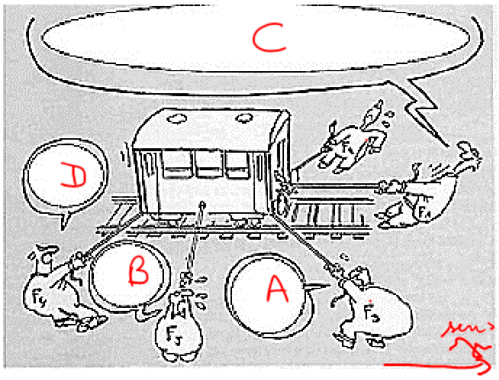
à t=0s Epp = Ec à t_1
Toute l'Epp s'est transformée en énergie cinétique Ec

c- Qu'est ce que l'énergie mécanique dans un champ de pesanteur?

L'énergie mécanique d'un système Em , correspondant à son énergie totale, est la somme de son énergie cinétique Ec et de son énergie potentielle Epp.

Em = ..Ec....+...Epp	- ..Ec..énergie cinétique...J - ..Epp...........potentielle de pesanteur J - ..Em.....énergie..mécanique......J .

II- Qu'est-ce que le travail W ? Il serait temps de répondre à cette question !



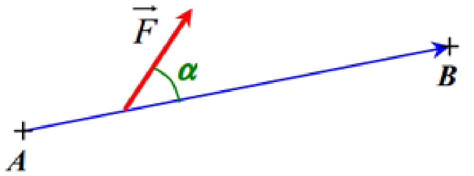
5 personnes tirent un wagon vers la droite, complétez le schéma en plaçant dans les bulles les lettres A,B,C et D:

A- Je fais ce que je peux !
–B- Je ne sers à rien !
–C- C'est moi le meilleur !
D- Je résisterai !

Le travail d'une force traduit
..l'effet de la force sur la mise en mouvement de l'objet..........
..le personnage....exerce....une force...⊥....au...
..déplacement : Son travail est nul..........

1- Expression du travail d'une force constante:

Une force appliquée à un point matériel en mouvement peut lui communiquer (ou lui retirer) de l'énergie .



Une force $\vec{F}$ appliquée à un point matériel se déplaçant sur un trajet rectiligne $\overrightarrow{AB}$ fournit un travail noté $W_{AB}(\vec{F})$ (communique ou retire de l'énergie)

= produit scalaire des 2 vecteurs :

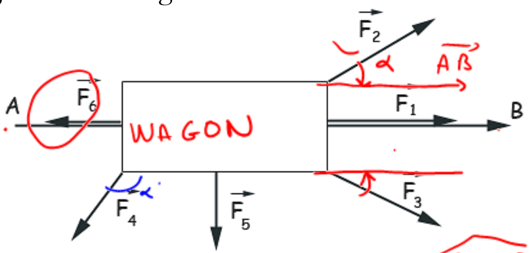
$W_{AB}(\vec{F})$: le travail de $\vec{F}$ sur le trajet AB

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$
$$= F \times AB \times \cos(\vec{F}, \overrightarrow{AB})$$
$$\|\vec{F}\| = F \qquad = F \times AB \times \cos\alpha$$

avec
- $W_{AB}(\vec{F})$ en ..joule.....J.........
- F en .Newton......N.....
- AB en ..mètre....m......

2- Travail moteur ou résistant : Dans le cas du wagon, classez dans le tableau, les travaux des **6** forces en justifiant le signes de chacun.

$F = F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = F_6$



- $W_{AB}(\vec{F_2}) = \vec{F_2} \cdot \overrightarrow{AB} = F_2 \times AB \times \cos(\alpha)$

  ($\cos\alpha > 0$ car $\alpha < 90°$; $\cos\alpha < 1$)

  $\Rightarrow W_{AB}(\vec{F_2}) = F \times AB \times \cos\alpha < F \times AB$

- $W_{AB}(\vec{F_3}) = F_3 \times AB \times \cos(-\alpha) = F \times AB \times \cos$

  $\cos(-\alpha) = \cos(\alpha)$

  $\Rightarrow W_{AB}(\vec{F_2}) = W_{AB}(\vec{F_3})$

- $W_{AB}(\vec{F_1}) = F_1 \times AB \times \cos(\vec{F_1}; \overrightarrow{AB})$

  $(\vec{F_1}, \overrightarrow{AB}) = 0 \Rightarrow \cos 0 = 1$

  $\Rightarrow W_{AB}(\vec{F_1}) = F_1 \times AB = F \times AB \Rightarrow W_{AB}(\vec{F_1}) > W_{AB}(\vec{F_2})$

- $W_{AB}(\vec{F_6}) = F_6 \times AB \times \cos(\vec{F_6}; \overrightarrow{AB})$

  $= F \times AB \times \cos(\pi)$ avec $\cos\pi = -1$

  $= -F \times AB \Rightarrow W_{AB}(\vec{F_6}) = -W_{AB}(\vec{F_1})$

  $\vec{F_6}$ $\alpha = \pi$ $\overrightarrow{AB}$

- $W_{AB}(\vec{F_4}) = F_4 \times AB$

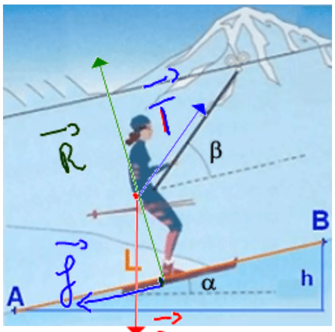
  $\overrightarrow{AB}$ $\alpha > \pi/2$ $\vec{F_4}$ $\Rightarrow W_{AB}(\vec{F_4})$

Travail résistant	Travail nul	Travail moteur
$W_{AB}(\vec{F_6})$; $W_{AB}(\vec{F_4})$	$W_{AB}(\vec{F_5})$	$W_{AB}(\vec{F_1})$; $W_{AB}(\vec{F_2})$=

$W_{AB}(\vec{F_5}) = F_5 \times AB \times \cos(\vec{F_5}, \overrightarrow{AB})$ avec $(\vec{F_5}, \overrightarrow{AB}) = 90° \Rightarrow \cos 90 = 0$

$\Rightarrow W_{AB}(\vec{F_5}) = 0$ J

Autre exemple : Une skieuse sur un remonte pente …



Identifier et représentez sur le schéma les 4 forces qui s'exercent sur la skieuse.
Pour chaque force, donnez l'expression du travail sur le trajet AB et précisez si son travail est résistif, nul ou moteur.

- $W_{AB}(\vec{T}) = \vec{T} \cdot \overrightarrow{AB} = T \times AB \times \cos(\vec{T}; \overrightarrow{AB})$

  $= T \times AB \cos\beta > 0$ car $\beta <$

- $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB} = f \times AB \cos\pi$

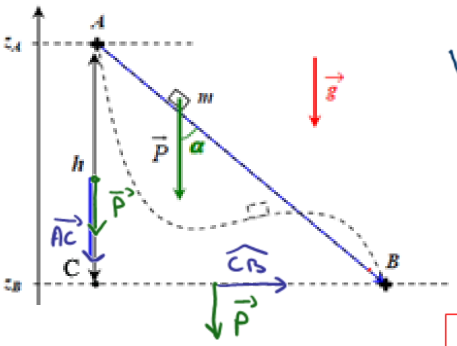
  $= -f \times AB < 0$

- $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = P \times AB \cos \vec{P}, \overrightarrow{AB} = P \times AB \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) < 0$

travail du poids sur le trajet AB

3-Le travail du poids : A partir de l'expression du travail du poids et de la relation de Chasles ci-contre démontrer que $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$

Relation de Chasles
$\vec{AB} = \vec{AC} + \vec{CB}$



$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}\cdot\vec{AB}$
$= \vec{P}\cdot(\vec{AC}+\vec{CB}) = \vec{P}\cdot\vec{AC} + \vec{P}\cdot\vec{CB}$
$= P \times AC \times \cos(\vec{P},\vec{AC}) + P \times CB \times \cos(\vec{P},\vec{CB})$
$= mg \times AC \times \underbrace{\cos 0}_{=1} + mg \times CB \times \underbrace{\cos 90°}_{=0}$

$\boxed{W_{AB}(\vec{P}) = mgh = mg \times (z_A - z_B)}$ ♡

Le travail du poids dépend-il du trajet emprunté pour passer du point A au point B ?
Le travail du poids est indépendant du trajet suivi entre les points A et B

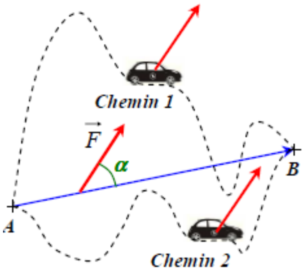
4- Force conservative

Définition :

Une force est dite **conservative** si son travail entre deux points A et B quelconques est indépendant de la trajectoire suivie entre ces deux points.
Une force est conservative si son travail ne dépend que des configurations initiales et finales.

$$W_{AB\text{-chemin}1}(\vec{F}) = W_{AB\text{-chemin}2}(\vec{F}) = W_{AB\text{-chemin}3}(\vec{F}) \ldots$$

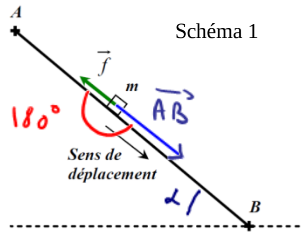
Pour une force conservative, on a aussi $W_{AB}(\vec{F}) = -W_{BA}(\vec{F})$
« Toute l'énergie donnée dans un sens est reprise dans l'autre »



Toutes les forces constantes sont conservatives : le poids (dans un champ de pesanteur uniforme), la force électrique (dans un champ électrostatique uniforme), mais aussi d'autres forces non constantes (force de rappel élastique d'un ressort, par exemple).

5- Travail de la force de frottement (force non conservative)

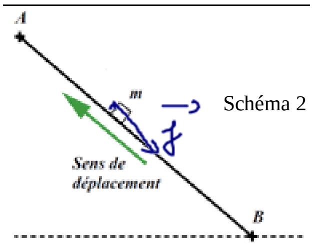
Schéma 1 : On considère une masse *m* qui glisse le long d'une pente avec une force de frottement $\vec{f}$ opposée au mouvement de *m*.



Exprimez le travail de la force $W_{AB}(\vec{f})$

$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f}\cdot\vec{AB} = f \times AB \times \cos 180$
$= -f \times AB$

Schéma 2 : Exprimez le travail de la force $W_{BA}(\vec{f})$



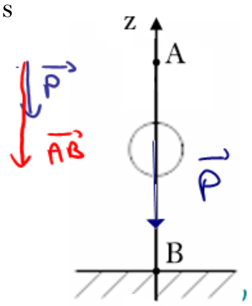
$W_{BA}(\vec{f}) = \vec{f}\cdot\vec{BA} = f \times BA \times \cos(180)$
$= -f \times BA$

Quelle est la relation entre les 2 travaux ?
$\Rightarrow W_{AB}(\vec{f}) = +W_{BA}(\vec{f})$ donc non conservative.

Conclure : La force de frottement est-elle une force conservatrice ?
des forces de frottements sont toujours des forces non conservatives

Exercice : Supposons une balle de masse m = 200 g lâchée sans vitesse initiale V_A = 0,00 m/s d'une hauteur AB = h = 10,0 m du sol. On considère que les forces de frottement sont négligeables.

Q1- Calculer le travail du poids



$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}\cdot\vec{AB} = mg \times AB \times \cos(\vec{P};\vec{AB}) = mg(z_A - z_B)\cos 0$$
$$= mg \times h \times \cos 0 = 0{,}200 \times 9{,}81 \times 10{,}0 = 19{,}6 \text{ J}$$

III- Énergies d'un système en mouvement :

Exercice suite:

Q2- Comment expliquer que la balle, une fois lâchée, se met en mouvement c'est-à-dire que sa vitesse varie et donc que son énergie cinétique Ec varie ?

Sous l'action du poids c'est-à-dire le travail du poids, la balle se met en mouvement. Le travail d'une force s'exerçant sur un système permet d'évaluer au niveau énergétique l'effet de cette force au cours de son déplacement.

1- Enoncé du Théorème de l'énergie cinétique :

La variation d'énergie cinétique ΔE_c d'un système qui se déplace d'un point A à un point B **est égale à la somme des travaux des forces $\sum W_{AB}(\vec{F})$** qui s'appliquent sur le système lors de son déplacement.

$$\Delta E_C = E_C(\underset{B}{\text{finale}}) - E_C(\underset{A}{\text{initiale}}) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

avec $\sum W_{AB}(\vec{F}) = W_{AB}(\vec{P}) + \ldots$

Exercice suite:

Q3- Calculez la vitesse de la balle juste avant de toucher le sol c'est-à-dire au point B

Dans ce cas, il n'y a que le poids donc

$$\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = W_{AB}(\vec{P})$$
$$= \frac{1}{2}mV_B^2 - \frac{1}{2}m\underbrace{V_A^2}_{0} = mg(z_A - z_B)$$

La balle est lâchée avec $V_A = 0$ m/s

$$\Rightarrow \frac{1}{2}\cancel{m}V_B^2 = \cancel{m}g$$
$$\Rightarrow V_B^2 = 2g(z_A - z_B) \Rightarrow V_B = \sqrt{2g(z_A - z_B)}$$
$$\Rightarrow V_B = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 10{,}0} = 14{,}0 \text{ m/s}$$

Q4- Après avoir redonné l'expression du travail du poids $W_{AB}(\vec{F})$ lors de la chute sur le trajet AB, exprimez la variation de l'énergie potentielle de pesanteur ΔE_{pp} en fonction de ce travail

$$\cdot W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

$$E_{PP}(B) = mg \times z_B$$
$$E_{PP}(A) = mg \times z_A$$

$$\Delta E_{PP} = E_{PP}(B) - E_{PP}(A)$$
$$= mg\,z_B - mg\,z_A = mg(z_B - z_A)$$
$$\Rightarrow \Delta E_{PP} = -mg(z_A - z_B)$$
$$\Delta E_{PP} = -W_{AB}(\vec{P})$$

Q5- Que peut-on en conclure sur la variation d'énergie mécanique ΔE_m lors la chute ?

D'après le théorème de l'énergie cinétique

$\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F})$ or ici il n'y a que le poids

$\Rightarrow \Delta E_c = W_{AB}(\vec{P})$ d'après la question précédente

$\Rightarrow \Delta E_c = -\Delta E_{PP}$

$\Rightarrow \Delta E_c + \Delta E_{PP} = 0$

Mais $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{PP} = 0$

donc $\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0$

$\Rightarrow E_m(B) = E_m(A)$

l'énergie mécanique est constante on dit qu'elle se conserve.

2- Conservation ou non conservation de l'énergie mécanique :

a- Conservation de l'énergie mécanique :

En l'absence de forces non-conservatives comme les forces de frottements……, il y a conservation de l'énergie mécanique au cours du temps. On peut écrire

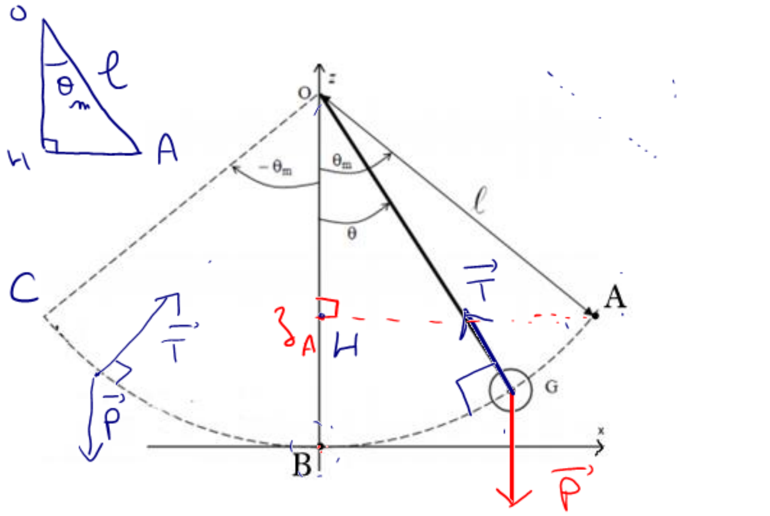
$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = 0$$

$$\Rightarrow \Delta E_m = E_m(\text{finale}) - E_m(\text{initiale}) = 0$$

$$\Rightarrow E_m(\text{final}) = E_m(\text{initiale}) = \text{constante}.$$

Exercice:

Un pendule simple est constitué d'une boule de masse m = 100 g accroché à un fil de longueur ℓ = 40 cm.
Il est lâché sans vitesse initiale d'un angle θ_m = 10° de sa position d'équilibre.
Tout frottement est négligé.



Q1- Représentez les forces qui s'exercicent sur la boule.

le poids, la tension du fil $\vec{T}$

$\vec{T}$ est toujours $\perp$ à la trajectoire (trajet)

Q2- Exprimez puis calculez l'ordonnée z_A du point A.

OH : $\cos\theta_m = \frac{OH}{OA} = \boxed{\frac{OH}{\ell} = \cos\theta_m}$

$\Rightarrow OH = \ell \times \cos\theta_m$

BH ? $BH = \ell - OH$

$z_A = BH = \ell - \ell\cos\theta_m = \ell(1 - \cos\theta_m)$

Q3- Calculer la vitesse v_{max} de G au passage par sa position d'équilibre.

Théorème de Ec : $\boxed{\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F})}$

$\Rightarrow E_c(\text{finale}) - E_c(\text{initiale}) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{T})$

$\Rightarrow E_c(B) - E_c(A) = mg \times (z_A - z_B) + 0$

$W_{AB}(\vec{T}) = 0$ car $\vec{T} \perp$ au trajet

$\Rightarrow \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = mg(z_A - z_B)$

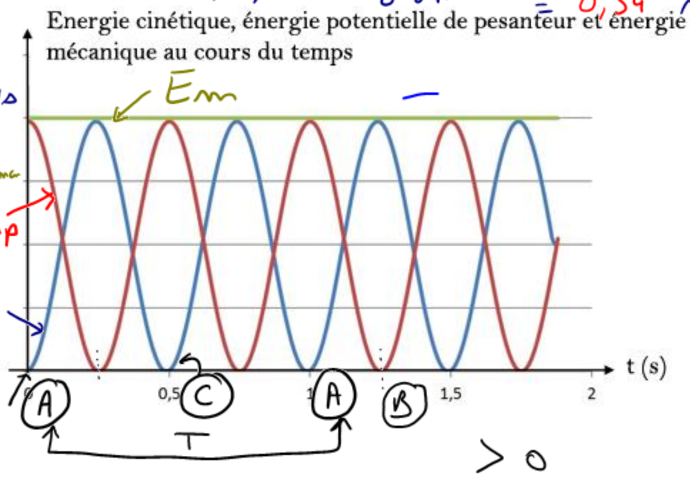
⚠ $v_B = v_{max}$; $v_A = 0$ m/s et $z_B = 0$ m/s

$\Rightarrow \frac{1}{\cancel{2}} \cancel{m} v_{max}^2 = \cancel{m} g z_A \Rightarrow v_{max}^2 = 2 g z_A$

$\Rightarrow v_{max} = \sqrt{2 g z_A} = \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 6{,}0.10^{-3}}$

$= 0{,}34$ m/s

Q4- Sur le graphique, repérez l'énergie mécanique E_m, l'énergie cinétique E_c et l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} en justifiant :



- E_c courbe car à t = 0 v = 0 m/s
  $\Rightarrow E_c = \frac{1}{2} m v^2 = 0$
- E_m se conserve car pas de frottement
  E_m = cste.
- E_{pp}, à t = 0, est maximale

Q5- Dans ce cas, le mouvement est périodique.
Déterminez la période T de ce mouvement.

T = 1 s.

Q6- Calculez les travaux de ces forces

$W_{AB}(\vec{T}) = 0$ J car $\vec{T}$ est toujours perpendiculaire à la trajectoire

$W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = mg z_A$
$= mg\ell(1 - \cos\theta_m)$

Q7- En appliquant le théorème de l'énergie, retrouvez la vitesse v_{max} de G au passage par sa position d'équilibre.

$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = 0$

$\Rightarrow \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 + mg z_B - mg z_A = 0$ (avec $v_A = 0$, $z_B = 0$)

$\Rightarrow \frac{1}{2} m v_{max}^2 - mg z_A = 0$

$\Rightarrow \frac{1}{2} \cancel{m} v_{max}^2 = \cancel{m} g z_A \Rightarrow v_{max} = \sqrt{2 g z_A}$

b- Non conservation de l'énergie mécanique :

En présence de forces non-conservatives, l'énergie mécanique du système ne se conserve plus dans le temps. Quand l'énergie mécanique diminue, il y a dissipation d'énergie.

Lorsqu'un système est soumis à des forces non conservatives (telles que les forces de frottement) qui travaillent, alors son énergie mécanique ne se conserve pas. On peut écrire :

$E_m \neq$ constante $\quad \Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} \neq 0$

$E_m(\text{finale}) - E_m(\text{initiale}) \neq 0$

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{non\ conservatives})$$

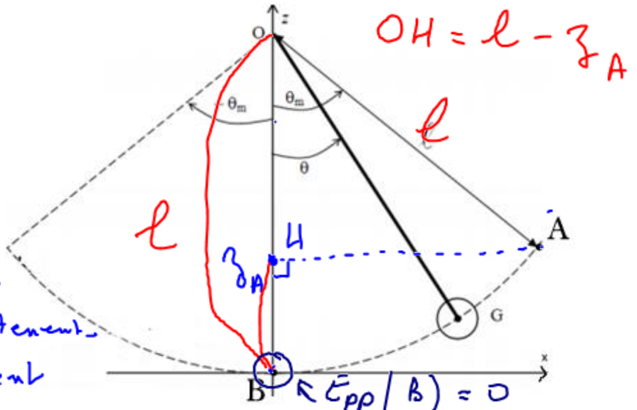
avec $\sum W_{AB}\ (\vec{F}_{non-conservatives})$: la somme des travaux des forces non conservatives s'appliquant sur le système (forces de frottement par exemple). A notre niveau que les forces de frottement

Exercice:

Un nouveau pendule est constitué ~~est~~ d'une boule de masse m = 100 g accroché à un fil de longueur $\ell = 40$ cm.

Il est lâché sans vitesse initiale d'un angle θ_m de sa position d'équilibre.

Q1- Déterminez graphiquement, la valeur du travail des forces de frottement $W_{AB}(\vec{f})$ au bout d'une seconde

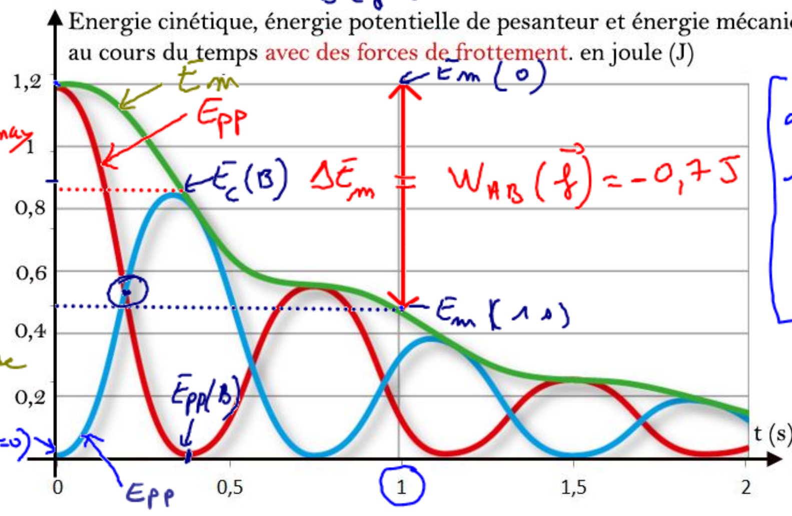


Il n'y a que les forces de frottement comme force non conservative.

• $W_{AB}(\vec{f}) < 0$ car les forces de frottement s'opposent toujours au mouvement donc le travail est ~~résistant~~ résistant.

$\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) \Rightarrow E_m(\text{finale}_{t=1s}) - E_m(\text{initiale}_{t=0}) = W_{AB}(\vec{f})$

$\Rightarrow W_{AB}(\vec{f}) = 0,5 - 1,2 = 0,7\ J$



E_{pp}(à t=0) est maximale $= E_{pp}^{max}$

et E_c(à t=0) = 0 car $v(t=0) = 0$ pas de vitesse initiale

$E_m \neq$ constante

La diminution de l'E_m est due au travail des forces de frottements

Q2- Déterminez l'angle θ_m avec lequel le pendule a été lâché ainsi que sa vitesse au premier passage de sa position d'équimibre.