TRAVAIL ET ÉNERGIE POTENTIELLE DE PESANTEUR

Chapitre 4

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

23 novembre 2015

Sommaire

Sommaire

Sommaire

Introduction

L'eau de barrage emmagasine une grande quantité d'énergie pouvant être exploitée pour produire de l'électricité . Cette énergie est appelée **énergie potentielle de pesanteur** .

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

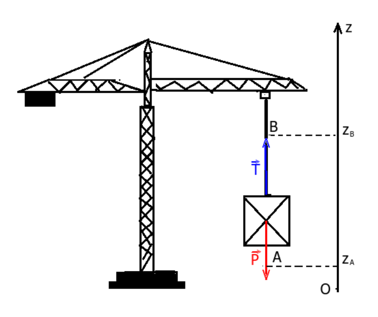
Quelles est son expression mathématique ? Et comment est-elle exploitée ?

I. Énergie potentielle de pesanteur

1. Mise en évidence de l'énergie potentielle de pesanteur

Activité 1 :

En appliquant le théorème d'énergie cinétique calculer le travail de la tension de câble pour soulever la charge de masse m du point A d'altitude z_A au point B d'altitude z_B.



En supposant que la monté se fait lentement, d'après le T.E.C :

$$\Delta E_C = 0 \Longrightarrow W_{AB}(\overrightarrow{P}) + W_{AB}(\overrightarrow{T}) = 0$$

$$W_{AB}(\overrightarrow{T}) = -W_{AB}(\overrightarrow{P})$$

$$\boxed{W_{AB}(\overrightarrow{T}) = mgz_B - mgz_A}$$

conclusion :

Lorsque une grue soulève une charge par un câble de $A(z_A)$ à $B(z_B)$, la tension du câble $\overrightarrow{T}$ effectue un travail $W_{AB}(\overrightarrow{T}) = mgz_B - mgz_A$ qui transmet au charge de l'énergie qui dépend de sa masse et de son altitude $h = z_B - z_A$. Cette énergie s'appelle énergie potentielle de pesanteur .

I. Énergie potentielle de pesanteur

Definition

L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide est l'énergie que possède un solide du fait de sa position par rapport à la Terre . Elle résulte de l'interaction gravitationnelle entre le solide et la terre . Elle est notée E_{pp} .

Cette énergie s'exprime en joules (J) .

I. Énergie potentielle de pesanteur

2. L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide est donnée en générale par l'expression suivante :

$$\boxed{E_{pp} = mgz + Cte \qquad (1)}$$

m est la masse du solide en kg
g l'intensité de pesanteur (N/kg)
z altitude du centre de gravité du solide en (m)
Cte est une constante (J)

I. Énergie potentielle de pesanteur

☞ L'énergie potentielle de pesanteur n'est connue qu'à une constante additive près noté Cte .
qui dépend d'un état de référence pour lequel l'énergie potentielle de pesanteur est nulle. Cet état de référence est choisi arbitrairement .

I. Énergie potentielle de pesanteur

3. État de référence

- Avant tout calcul de l'énergie potentielle de pesanteur, il faut déterminer la constante Cte . Pour cela :
- On oriente l'axe $\overrightarrow{Oz}$ vers le haut .
- ☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par l'origine O où $z = 0$. Dans ce cas la constante $Cte = 0$. Donc l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mgz$$

- si $z > 0$ on a $E_{pp} > 0$
- si $z < 0$ on a $E_{pp} < 0$
  ☞ L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique . (à cause de l'altitude z)

3. État de référence

- Avant tout calcul de l'énergie potentielle de pesanteur, il faut déterminer la constante Cte . Pour cela :
- On oriente l'axe $\overrightarrow{Oz}$ vers le haut .
- ☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par l'origine O où $z = 0$. Dans ce cas la constante $Cte = 0$. Donc l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mgz$$

- si $z > 0$ on a $E_{pp} > 0$
- si $z < 0$ on a $E_{pp} < 0$
  ☞ L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique . (à cause de l'altitude z)

I. Énergie potentielle de pesanteur

3. État de référence

- Avant tout calcul de l'énergie potentielle de pesanteur, il faut déterminer la constante Cte . Pour cela :
- On oriente l'axe $\overrightarrow{Oz}$ vers le haut .
- ☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par l'origine O où $z = 0$. Dans ce cas la constante $Cte = 0$. Donc l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mgz$$

- si $z > 0$ on a $E_{pp} > 0$
- si $z < 0$ on a $E_{pp} < 0$

☞ L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique . (à cause de l'altitude z)

3. État de référence

- Avant tout calcul de l'énergie potentielle de pesanteur, il faut déterminer la constante Cte . Pour cela :
- On oriente l'axe $\overrightarrow{Oz}$ vers le haut .
- ☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par l'origine O où $z = 0$. Dans ce cas la constante $Cte = 0$. Donc l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mgz$$

- si $z > 0$ on a $E_{pp} > 0$
- si $z < 0$ on a $E_{pp} < 0$

  ☞ L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique . (à cause de l'altitude z)

I. Énergie potentielle de pesanteur

3. État de référence

- Avant tout calcul de l'énergie potentielle de pesanteur, il faut déterminer la constante Cte . Pour cela :
- On oriente l'axe $\overrightarrow{Oz}$ vers le haut .
- ☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par l'origine O où $z = 0$. Dans ce cas la constante $Cte = 0$. Donc l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mgz$$

- si $z > 0$ on a $E_{pp} > 0$
- si $z < 0$ on a $E_{pp} < 0$
  ☞ L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique . (à cause de l'altitude z)

3. État de référence

- Avant tout calcul de l'énergie potentielle de pesanteur, il faut déterminer la constante Cte . Pour cela :
- On oriente l'axe $\overrightarrow{Oz}$ vers le haut .
- ☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par l'origine O où $z = 0$. Dans ce cas la constante $Cte = 0$. Donc l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mgz$$

- si $z > 0$ on a $E_{pp} > 0$
- si $z < 0$ on a $E_{pp} < 0$

  ☞ L'énergie potentielle de pesanteur est une valeur algébrique . (à cause de l'altitude z)

I. Énergie potentielle de pesanteur

☞ On choisit comme état de référence $E_{pp} = 0$, le plan horizontal passant par le point A où l'altitude $z = z_0$.
Dans ce cas la constante $Cte = -mgz_0$ i.e que l'énergie potentiel pour une position d'altitude z est :

$$E_{pp} = mg(z - z_0)$$

☞ D'une façon générale, si l'axe $\overrightarrow{Oz}$ est orienté vers le haut l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur est la suivante :

$$\boxed{E_{pp} = mg(z - z_{ref}) \qquad (2)}$$

où z_{ref} l'altitude du point où on a choisi l'état de référence .

I. Énergie potentielle de pesanteur

⚠ **Remarque important**

Si on oriente l'axe $\overrightarrow{0z}$ vers le bas l'expression de l'énergie potentielle deviennent :

$$\boxed{E_{pp} = -mg(z - z_{ref}) \qquad (3)}$$

Application 1

Un parachutiste de masse $70kg$ est largué à $1500m$ d'altitude et attirée sur le sol , au niveau de la mer . Donnée : L'axe $\overrightarrow{Oz}$ est orienté vers le haut
L'intensité de pesanteur : $g = 9,80N/kg$_ 1. Donner l'expression de l'énergie potentielle en choisissant les états de référence suivantes :
a. Le niveau du sol
b. le niveau de l'avion
2. Calculer la variation de l'énergie de potentielle ΔE_{pp} dans chacun des états de référence choisi dans la $2^{\text{ère}}$ question .
3. Qu'en concluez vous ?

4. Propriétés de l'énergie potentielle de pesanteur

- **a. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur**
  D'après l'application précédente on conclue que la variation de l'énergie potentiel ΔE_{pp} n e dépend pas de l'état de référence et ne dépend que de l'état initial et de l'état final .

Généralisation

Généralement l'expression de la variation de l'énergie potentille de pesanteur entre état initial (A) et l'état final (B) est :

$$\boxed{\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A) \qquad (4)}$$

-

4. Propriétés de l'énergie potentielle de pesanteur

- **a. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur**
  D'après l'application précédente on conclue que la variation de l'énergie potentiel ΔE_{pp} n e dépend pas de l'état de référence et ne dépend que de l'état initial et de l'état final .

Généralisation

Généralement l'expression de la variation de l'énergie potentille de pesanteur entre état initial (A) et l'état final (B) est :

$$\boxed{\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A) \qquad (4)}$$

4. Propriétés de l'énergie potentielle de pesanteur

- **a. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur**
  D'après l'application précédente on conclue que la variation de l'énergie potentiel ΔE_{pp} n e dépend pas de l'état de référence et ne dépend que de l'état initial et de l'état final .

Généralisation

Généralement l'expression de la variation de l'énergie potentille de pesanteur entre état initial (A) et l'état final (B) est :

$$\boxed{\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A) \qquad (4)}$$

-

b. Relation entre la variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide et le travail de son poids .

Dans le cas où l'axe $\overrightarrow{Oz}$ est orienté vers le haut la variation de l'énergie potentielle de pesanteur est :

$$\Delta E_{pp} = mg(z_B - z_A)$$

et le travail de poids entre A et B est : $W_{AB} = mgh$ avec $h = z_A - z_B$ donc

$$W_{AB} = mg(z_A - z_B)$$

Donc

$$\boxed{\Delta E_{pp} = -W_{AB} \qquad (5)}$$

Application 2

Un maçon soulève verticalement un objet métallique ponctuel de masse $m = 12kg$d'un point A situé sur le sol vers un point B situé à une hauteur de $h = AB = 80cm$, puis le lâche sans vitesse initiale .
Donnée : L'axe $\overrightarrow{Oz}$ est orienté vers le haut
L'intensité de pesanteur : $g = 9,80N/kg$
1. Quel est l'effet du travail de la force $\overrightarrow{F}$ exercée par le maçon sur l'objet métallique ? 2. Écrire l'expression qui relie le travail de la force $\overrightarrow{F}$ et la variation de l'énergie potentielle de pesanteur entre A et B . 3. En déduire la valeur de $W_{AB}(\overrightarrow{F}$.

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Introduction

Le plongeur possède une énergie potentielle de pesanteur lorsqu'il est sur un plongeoir et essentiellement de l'énergie cinétique lorsqu'il entre dans l'eau .

Comment s'assurer que la transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique est totale ou non ? et quelle est la relation entre cette transformation et l'énergie mécanique ?

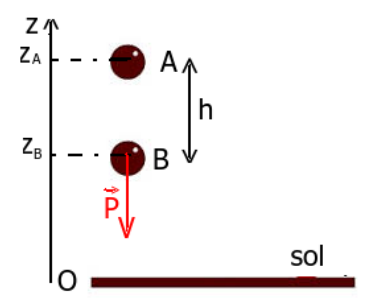
II. Énergie mécanique d'un corps solide

1. Notion de l'énergie mécanique

Reprenons l'exemple de chute d'un ballon dans le champs de pesanteur considéré comme uniforme .

Bilan des forces appliquée sur le ballon : $\overrightarrow{P}$ (chute libre)

L'axe $\overrightarrow{Oz}$ est orienté vers le haut et $Epp = 0$ à $z = 0$ i.e que $Epp = mgz$



II. Énergie mécanique d'un corps solide

1. Notion de l'énergie mécanique

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique au cours de déplacement du centre d'inertie du ballon de la position A de cote z_A à la position B de cote z_B .
- $$\Delta Ec = W_{AB}(\overrightarrow{P})$$
  $$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = E_c(B) - E_c(A)$$
- D'un autre coté , nous avons :
  $$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = Epp(A) - Epp(B)$$
  donc on déduit que :
  $$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$
  $$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

1. Notion de l'énergie mécanique

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique au cours de déplacement du centre d'inertie du ballon de la position A de cote z_A à la position B de cote z_B .
-
$$\Delta Ec = W_{AB}(\overrightarrow{P})$$
$$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = E_c(B) - E_c(A)$$
- D'un autre coté , nous avons :
$$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = Epp(A) - Epp(B)$$
donc on déduit que :
$$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$
$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

1. Notion de l'énergie mécanique

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique au cours de déplacement du centre d'inertie du ballon de la position A de cote z_A à la position B de cote z_B .
- $$\Delta Ec = W_{AB}(\overrightarrow{P})$$
  $$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = E_c(B) - E_c(A)$$
- D'un autre coté , nous avons :
  $$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = Epp(A) - Epp(B)$$
  donc on déduit que :
  $$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$
  $$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

II. Énergie mécanique d'un corps solide

1. Notion de l'énergie mécanique

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique au cours de déplacement du centre d'inertie du ballon de la position A de cote z_A à la position B de cote z_B .
-
$$\Delta Ec = W_{AB}(\overrightarrow{P})$$
$$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = E_c(B) - E_c(A)$$
- D'un autre coté , nous avons :
$$W_{AB}(\overrightarrow{P}) = Epp(A) - Epp(B)$$
donc on déduit que :
$$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$
$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

II. Énergie mécanique d'un corps solide

- donc on déduit que :

$$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

- Donc la somme (Ec+Epp) est constante dans le cas du chute libre ou dans le cas d'un glissement sans frottement sur un plan incliné .
- Au cours du mouvement lorsque Ec augment , Epp diminue et vis versa . et la somme (Ec+Epp) reste constante . Cette somme joue un rôle important en mécanique , on la nomme **énergie mécanique** noté E_m

II. Énergie mécanique d'un corps solide

- donc on déduit que :

$$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

- Donc la somme (Ec+Epp) est constante dans le cas du chute libre ou dans le cas d'un glissement sans frottement sur un plan incliné .
- Au cours du mouvement lorsque Ec augment , Epp diminue et vis versa . et la somme (Ec+Epp) reste constante . Cette somme joue un rôle important en mécanique , on la nomme **énergie mécanique** noté E_m

II. Énergie mécanique d'un corps solide

- donc on déduit que :

$$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

- Donc la somme (Ec+Epp) est constante dans le cas du chute libre ou dans le cas d'un glissement sans frottement sur un plan incliné .
- Au cours du mouvement lorsque Ec augment , Epp diminue et vis versa . et la somme (Ec+Epp) reste constante . Cette somme joue un rôle important en mécanique , on la nomme **énergie mécanique** noté E_m

II. Énergie mécanique d'un corps solide

- donc on déduit que :

$$Ec(B) - Ec(A) = Epp(A) - Epp(B)$$

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A)$$

- Donc la somme (Ec+Epp) est constante dans le cas du chute libre ou dans le cas d'un glissement sans frottement sur un plan incliné .
- Au cours du mouvement lorsque Ec augment , Epp diminue et vis versa . et la somme (Ec+Epp) reste constante . Cette somme joue un rôle important en mécanique , on la nomme **énergie mécanique** noté E_m

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Definition

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

$$\boxed{E_m = E_c + E_{pp}} \qquad (6)$$

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

II. Énergie mécanique d'un corps solide

☞ pour un corps S de masse m et de vitesse v à un instant t et dont son centre d'inertie se trouve à la position de cote z sur un axe $\overrightarrow{Oz}$ orienté vers le haut. l'expression de son énergie mécanique s'écrit :

$$\boxed{E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mg(z - z_{ref}) \qquad (7)}$$

On remarque que l'énergie mécanique aussi dépend de l'état de référence choisi .

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Remarque

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 est :

$$E_m = \frac{1}{2}J_\Delta\omega^2 + mg(z - z_{ref})$$

(voir exercices)

2. Conservation de l'énergie mécanique

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

- Dans la chute d'un ballon, en absence de frottement (chute libre), on à montrer que

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A) \Rightarrow E_m(B) = E_m(A)$$

- Cette relation est valable pour toute position du centre d'inertie G du ballon au cours du mouvement i.e que l'énergie mécanique du ballon reste constante si seul le poids, force conservative, travaille : $E_c + E_p = E_m = Cte$
- On dit que l'énergie mécanique se conserve et le système est conservatif .

II. Énergie mécanique d'un corps solide

2. Conservation de l'énergie mécanique

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

- Dans la chute d'un ballon, en absence de frottement (chute libre), on à montrer que

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A) \Rightarrow E_m(B) = E_m(A)$$

- Cette relation est valable pour toute position du centre d'inertie G du ballon au cours du mouvement i.e que l'énergie mécanique du ballon reste constante si seul le poids, force conservative, travaille : $E_c + E_p = E_m = Cte$
- On dit que l'énergie mécanique se conserve et le système est conservatif .

2. Conservation de l'énergie mécanique

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

- Dans la chute d'un ballon, en absence de frottement (chute libre), on à montrer que

$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A) \Rightarrow E_m(B) = E_m(A)$$

- Cette relation est valable pour toute position du centre d'inertie G du ballon au cours du mouvement i.e que l'énergie mécanique du ballon reste constante si seul le poids, force conservative, travaille : $E_c + E_p = E_m = Cte$
- On dit que l'énergie mécanique se conserve et le système est conservatif .

II. Énergie mécanique d'un corps solide

2. Conservation de l'énergie mécanique

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

- Dans la chute d'un ballon, en absence de frottement (chute libre), on à montrer que

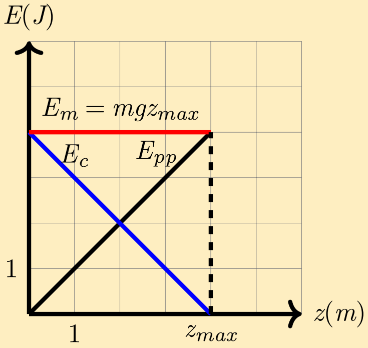
$$Epp(B) + Ec(B) = Ec(A) + Epp(A) \Rightarrow E_m(B) = E_m(A)$$

- Cette relation est valable pour toute position du centre d'inertie G du ballon au cours du mouvement i.e que l'énergie mécanique du ballon reste constante si seul le poids, force conservative, travaille : $E_c + E_p = E_m = Cte$
- On dit que l'énergie mécanique se conserve et le système est conservatif .

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Interprétation graphique pour un système conservatif .

On peut interpréter la conservation d'énergie mécanique au cours du mouvement , dans la même graphe (OE, Oz), en traçant la variation de l'énergie potentielle en fonction de z et l'énergie mécanique E_m .



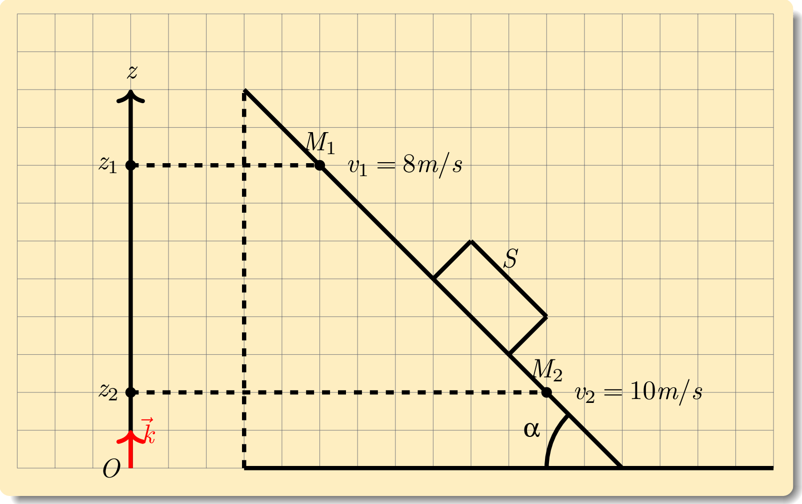
Pour la chute libre du ballon en prenant l'état de référence le sol où $z = 0$, on a : $E_{pp} == mgz$ est une droite affine pour $0 \leqslant z \leqslant z_m$.
$E_m = Cte = mgz_m$ où z_m l'altitude maximale
$E_c = E_m - mgz$

II. Énergie mécanique d'un corps solide

3. Non conservation de l'énergie mécanique.

On considère un corps solide (S) de masse $m = 40kg$ glisse avec frottement sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 45°$ 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 $v_1 = 8m/s$ et à l'instant t_2 , il passe par le point M_2 de cote z_2 avec une vitesse $v_2 = 10m/s$. La distance parcourue par le solide entre ces deux instants est $M_1M_2 = 3\sqrt{2}m$.
On prend $g = 10n/kg$

II. Énergie mécanique d'un corps solide



II. Énergie mécanique d'un corps solide

1. calculer la variation de l'énergie mécanique ΔE_m
2. En appliquant le théorème d'énergie cinétique , montrer que

$$\Delta E_m = W_{M_1 M_2(\vec{f})}$$

Justifier le signe de ΔE_m .

1. calcul de ΔE_m

On sait que $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp}$

Avec $\Delta E_c = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = 20 \times (100 - 64) = 720J$ Et

$\Delta E_{pp} = -W(\overrightarrow{P}) = -mgh$ avec $h = d.sin\alpha$, donc

$$\Delta E_{pp} = -m.g.d.sin\alpha = -40 \times 10 \times 3\sqrt{2} \times sin(45^\circ) = -1200J$$

$$\Delta E_m = 720 - 1200 = -480J$$

II. Énergie mécanique d'un corps solide

2. On applique le T.E.C entre les deux instants t_1 et t_2

$$\Delta Ec = \Sigma W$$

$$\Delta Ec = W_{M_1 \to M_2}(\vec{P}) + W_{M_1 \to M_2}(\vec{R})$$

On sait que $W_{M_1 \to M_2}(\vec{P} = Mg(z_1 - z_2) = -\Delta Epp$. Donc

$$\Delta Ec = -\Delta Epp + W_{M_1 \to M_2}(\vec{f})$$

avec $W_{M_1 \to M_2}(\overrightarrow{R_T}) = 0$

$$\Delta Ec + \Delta Epp = W_{M_1 \to M_2}(\vec{f})$$

$$\boxed{\Delta Em = W_{M_1 \to M_2}(\vec{f}) = -480J} < 0$$

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Dans ce cas l'énergie mécanique ne se conserve pas , le singe négatif montre sa diminution au cours du mouvement du solide et cette diminution correspondant au travail des forces de frottement .

On dit alors que

les forces de frottement ne sont pas conservatives .

II. Énergie mécanique d'un corps solide

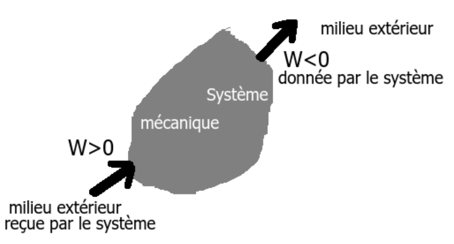
Conclusion

Au cours de glissement d'un corps solide avec frottement sur un plan incliné , la variation de l'énergie mécanique est égale au travail des force de frottement .

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Interprétation de ces résultats

Par convention : tout système mécanique reçoit de l'énergie (W) du milieu extérieur alors $W > 0$
Lorsqu'il libère de l'énergie vers l'extérieur alors $W < 0$



Interprétation :

Au cours de glissement avec frottement d'un corps solide sur un plan incliné , l'énergie mécanique diminue , en effet , à cause des frottement une partie de l'énergie mécanique se transforme en une énergie calorifique Q qui provoque un échauffement du système (le corps solide) et l'air environnant . En utilisant la convention , le système libère une énergie calorifique à l'extérieur

$$\boxed{\Delta E_m = W(\overrightarrow{f}) = -Q \quad (9)}$$

II. Énergie mécanique d'un corps solide

Conclusion

La diminution de l'énergie mécanique d'un système en mouvement sur un plan se traduit par le réchauffement du système et l'air environnant .