

Nom: Prénom: Classe: Date:

Le jeu de la force !

Objectifs

- Énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel. Travail d'une force. Expression du travail dans le cas d'une force constante. Théorème de l'énergie cinétique. Forces conservatives. Énergie potentielle. Cas du champ de pesanteur terrestre. Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre. Forces non-conservatives : exemple des frottements.
- Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.

Classe

1^{ère} Spé

Durée

1 h

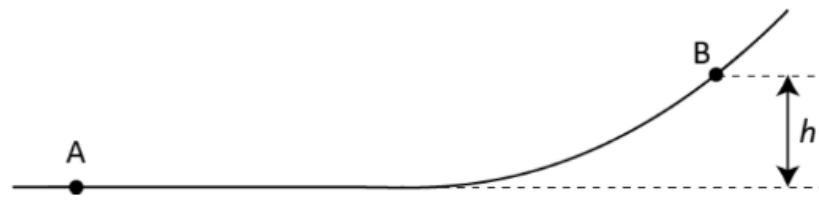
Le « jeu de force » installé dans certaines fêtes de village, consiste à lancer sur un rail courbé et incliné vers le haut d'un chariot lesté afin qu'il atteigne l'altitude la plus élevée possible. Si le chariot touche l'extrémité du rail, une cloche annonce que le lanceur a gagné¹.



Document 1: Jeu de force traditionnel

On envisage un lancer raté, le chariot n'ayant pas déclenché la cloche. On modélise ainsi la situation:

- Le chariot lesté a une masse de valeur $m = 30\text{kg}$, on le représente par un point;
- Il quitte la main du lanceur en A avec une vitesse $v_A = 2,0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- Il atteint le point B, où il rebrousse chemin;
- Il revient en A avec une vitesse v'_A ;
- Le profil du rail est le suivant:

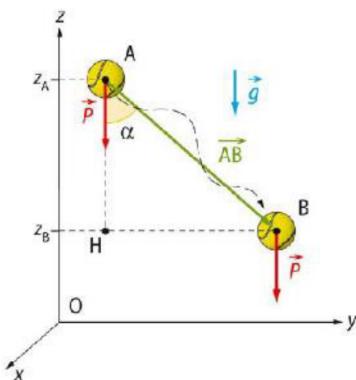


Document 2: Théorème de l'énergie cinétique

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}_i agissant sur le système:

$$\Delta E_c = \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i) \quad (1)$$

Document 3: Schéma explicatif de la chute d'une balle entre deux points A et B, soumise du poids



¹ TP basé en partie sur le travail mis à disposition sur le site <https://phymie2.jimdofree.com>.

1. **Question préliminaire:** En remarquant dans le document 3 que $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HB}$, calculer le travail du poids sur un objet en mouvement d'un point A à un point B en fonction de sa masse m , de l'intensité de la pesanteur g et des coordonnées de A et B.

Solution: Le travail du poids s'écrit :

$$\begin{aligned} W_{AB}(\vec{P}) &= \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} \\ &= \vec{P} \cdot (\overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HB}) \\ &= \vec{P} \cdot \overrightarrow{AH} + \vec{P} \cdot \overrightarrow{HB} \end{aligned}$$

Or $\vec{P} \perp \overrightarrow{HB}$ donc $\vec{P} \cdot \overrightarrow{HB} = 0$.

De plus, \vec{P} et \overrightarrow{AH} sont colinéaires et de même sens si A est au-dessus de B (ou de sens opposés si A est en-dessous de B).

Avec $\overrightarrow{AH} = (z_B - z_A) \vec{k}$ et $\vec{P} = -mg \vec{k}$:

$$\begin{aligned} W_{AB}(\vec{P}) &= -mg(z_B - z_A) \\ W_{AB}(\vec{P}) &= mg(z_A - z_B) \end{aligned}$$

Le travail du poids ne dépend que de l'altitude de départ et d'arrivée, pas du chemin suivi.

1 Hypothèse 1: aucun frottement ne s'exerce sur le chariot

On envisage dans cette partie le cas (théorique) où aucune force de frottement ne s'exerce sur le chariot. La réaction du rail (force exercée par le rail sur le chariot) est alors en permanence perpendiculaire à la trajectoire.

2. Dans cette hypothèse, avec quelle vitesse v'_A le chariot revient-il au point A après avoir effectué un aller-retour ? Répondre intuitivement, sans faire de calcul.

Solution: Intuitivement, sans frottement, le chariot revient au point A avec la même vitesse qu'au départ, soit $v'_A = v_A = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. L'énergie est conservée.

3. Effectuer un bilan de forces.

Solution: Les forces qui s'exercent sur le chariot sont :

- Le poids \vec{P} (vertical, vers le bas)
- La réaction du rail \vec{R} (perpendiculaire au rail)

4. Que vaut le travail de la réaction du rail ? Justifier.

Solution: Le travail de la réaction du rail est nul : $W_{AB}(\vec{R}) = 0$.

Justification : La réaction \vec{R} est perpendiculaire à la trajectoire (donc au déplacement), l'angle entre \vec{R} et \vec{AB} est de 90° , donc $\cos(90^\circ) = 0$.

5. Exprimer le travail du poids du chariot sur la portion $A \rightarrow B$, puis sur la portion $B \rightarrow A$.

Solution: Portion $A \rightarrow B$:

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

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

$$W_{AB}(\vec{P}) = -mgh$$

où $h = z_B - z_A > 0$ (B est plus haut que A).

Le travail est négatif (résistant) car le chariot monte.

Portion $B \rightarrow A$:

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

$$W_{BA}(\vec{P}) = mgh$$

Le travail est positif (moteur) car le chariot descend.

6. En exploitant le théorème de l'énergie cinétique, justifier la réponse donnée à la question 1.

Solution: Pour l'aller-retour complet $A \rightarrow B \rightarrow A$:

$$\Delta E_c = W_{ABA}(\vec{P}) + W_{BAB}(\vec{R})$$

$$E'_{c,A} - E_{c,A} = W_{AB}(\vec{P}) + W_{BA}(\vec{P}) + 0$$

$$\frac{1}{2}m(v'_A)^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = -mgh + mgh$$

$$\frac{1}{2}m(v'_A)^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = 0$$

Donc $(v'_A)^2 = v_A^2$, soit $v'_A = v_A = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le chariot revient bien avec la même vitesse qu'au départ.

7. Restons dans le registre de la fête foraine: représenter le profil du trajet d'un manège le long duquel le travail du poids serait également nul.

Solution: Pour que le travail du poids soit nul, il faut que le départ et l'arrivée soient à la même altitude. Le profil peut être :

- Un circuit horizontal (manège plat)
- Une grande roue (mouvement circulaire vertical qui revient au point de départ)
- Tout trajet fermé qui revient à l'altitude initiale

8. Qu'ont en commun tous les trajets le long desquels le travail du poids est nul ?

Solution: Tous les trajets le long desquels le travail du poids est nul ont en commun que le point de départ et le point d'arrivée sont à la même altitude : $z_A = z_B$.

2 Hypothèse 2: si une force de frottement s'exerce sur le chariot

9. La vitesse du chariot, lorsqu'il revient en A, vaut en réalité $v'_A = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Comment peut-on l'interpréter ? Utiliser la notion de travail pour répondre.

Solution: La diminution de vitesse ($v'_A < v_A$) s'interprète par une perte d'énergie cinétique. Cette perte est due au travail résistant (négatif) de la force de frottement qui s'oppose au mouvement tout au long du trajet. L'énergie mécanique n'est plus conservée, elle est dissipée sous forme de chaleur par les frottements.

10. Intuitivement, existe-t-il un trajet le long duquel le travail de la force de frottement serait nul ?

Solution: Non, il n'existe pas de trajet le long duquel le travail de la force de frottement serait nul (sauf le trajet de longueur nulle où le système ne bouge pas) car dès que l'objet est en mouvement, les forces de frottements sont pas perpendiculaires au trajet.

11. Justifier la réponse précédente en étudiant le signe du travail de la force de frottement sur la portion $A \rightarrow B$, puis sur la portion $B \rightarrow A$.

Solution: La force de frottement \vec{f} s'oppose toujours au mouvement.

Portion $A \rightarrow B$:

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

$$W_{AB}(\vec{f}) = f \times AB \times \cos(180^\circ)$$

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB < 0$$

Portion $B \rightarrow A$:

$$W_{BA}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{BA}$$

$$W_{BA}(\vec{f}) = f \times BA \times \cos(180^\circ)$$

$$W_{BA}(\vec{f}) = -f \times BA < 0$$

Le travail de la force de frottement est toujours négatif (résistant), quelle que soit la direction du mouvement. Le travail total sur l'aller-retour est donc négatif et ne peut jamais être nul.

12. Parmi le travail du poids et celui de la force de frottement, lequel dépend du chemin suivi par le système ?

Solution: Le travail de la force de frottement dépend du chemin suivi (il dépend de la longueur du trajet).

Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi, uniquement de l'altitude initiale et finale.

Une force dont le travail ne dépend pas du chemin suivi est appelée « force conservative ».

13. Dire si le poids et la force de frottement sont des forces conservatives ou non conservatives.

Solution: Le poids est une **force conservative** car son travail ne dépend que de l'altitude initiale et finale, pas du chemin suivi.

La force de frottement est une **force non conservative** car son travail dépend de la longueur du trajet parcouru.