CHAP 12

Aspect énergétique des phénomènes mécaniques

1. Le théorème de l'énergie cinétique

1.1. Le travail d'une force

Lorsqu'une force s'exerce sur un système en mouvement, elle peut transférer de l'énergie à ce système.
Ce transfert d'énergie par l'intermédiaire de l'action d'une force se nomme **le travail d'une force.**

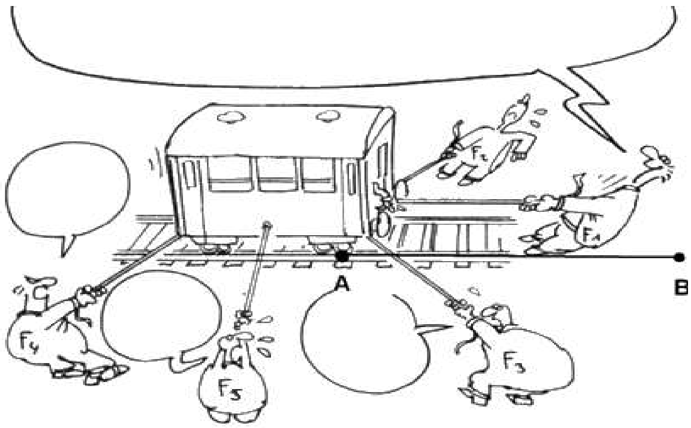
COMMENT CHIFFRER LE TRAVAIL D'UNE FORCE ?

Cinq personnages tentent de déplacer un wagon vers la droite ; le wagon parcourt effectivement la distance AB.

On entend les phrases suivantes :

- « Je résiste ! »
- « Je contribue comme je peux… »
- « C'est moi le meilleur ! »
- « Je ne sers à rien ! »

➢ Attribuer à chacun des personnages la phrase qu'il prononce.



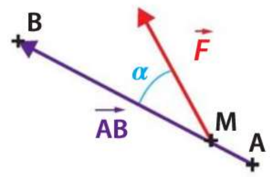
➢ Si l'on note $\vec{F}$ la force exercée par un personnage et α l'angle entre cette force et le déplacement $\overrightarrow{AB}$ du wagon, quelle expression, vous semble valide pour l'expression du travail de la force $\vec{F}$? Justifier.

a) $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB$
b) $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \sin\alpha$
c) $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos\alpha$

Rappel mathématique : Pour des angles α > 0 :

cos α >0 si 0 < α < 90°	sin α >0 si 0 < α < 180°
cos α <0 si 90 < α > 180°	sin α <0 si α > 180°
cos 0 = 1 ; cos 90° = 0	sin 0 = 0 ; sin 90 ° = 1
cos 180° = -1	sin 180° = 0

Définition à retenir :



Le travail d'une force constante $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace d'une position A à une position B est égal ……

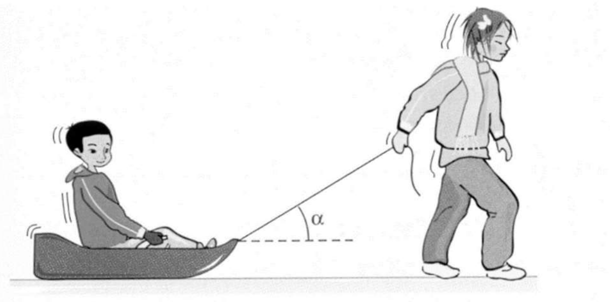
$W_{AB}(\vec{F})$ =

Avec $W_{AB}(\vec{F})$: travail de la force $\vec{F}$ sur le déplacement AB (en Joules J)
F : intensité de la force (en N)   AB : distance entre les deux points A et B (en m)
α : angle entre les vecteurs $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$

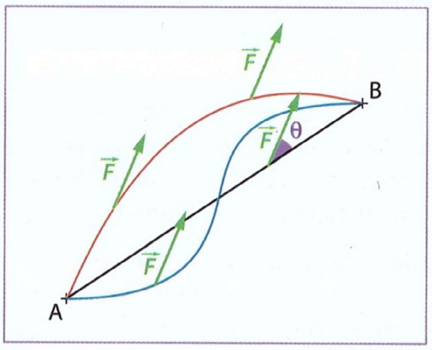
Si 0 ≤ α < 90°	Si α = 90°	Si 90< α ≤ 180°

Application : Représenter sur le schéma toutes les forces s'exerçant sur le système {enfant+luge}. Pour chaque force calculer la valeur de son travail, préciser si ce travail est moteur, résistant ou nul.

Données : Force exercée par la corde sur la luge = 26 N
Force de frottement de la neige sur la luge = 20 N
Masse de l'enfant et de la luge m = 30 kg
Longueur du déplacement rectiligne d = 8,0 m
Angle α = 20°



1.2. Forces conservatives ou non conservatives



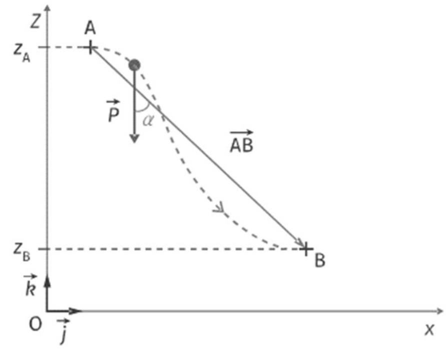
Doc. 3. Sur les trois trajets $W_{AB}(\vec{F})$ est identique $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$.

Force conservative : Une force est dite conservative si son travail ne dépend que des positions initiale et finale A et B et ne dépend pas de la trajectoire suivie entre A et B.

On peut démontrer que le travail d'une force constante (en valeur, sens et direction), quel que soit le trajet entre deux points A et B, ne dépend pas de la trajectoire suivie par le système

Le poids $\vec{P}$ est une force constante dans le référentiel terrestre.
Le poids est une force conservative. Le travail du poids ne dépend pas du trajet entre A et B.

Détermination de $W_{AB}(\vec{P})$ pour un trajet AB en ligne droite :



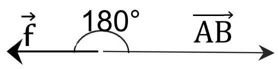
Comme le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi, cette expression est vraie quelle que soit la trajectoire pour aller de A et B.

Expression du travail du poids :

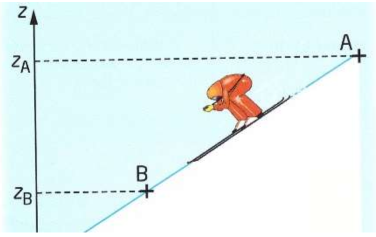
- Si $z_A = z_B$
- Si $z_A > z_B$
- Si $z_A < z_B$

Force non conservative : Une force est non conservative si son travail dépend du trajet suivi.

Les frottements sont une force non conservative. À chaque instant ils s'opposent au déplacement.
Plus le trajet est long pour aller de A à B, plus ils dissipent de l'énergie.

Expression du travail des frottements résistants.
Les frottements résistants sont une force opposée au déplacement. Les vecteurs $\vec{f}$ et $\overrightarrow{AB}$ font un angle de 180° entre eux. 

Application : Un skieur descend en ligne droite le long d'une piste. Calculer le travail du poids et le travail des frottements pour le système {skieur+equipement}



Données : masse du skieur + équipement : m = 90 kg et g = 9,8 $N.kg^{-1}$
Altitudes : z_A = 2345 m z_B = 2315 m ;
Angle entre la piste et l'horizontale : β = 14°
Valeur des frottements (piste + air) supposés constants : f = 150 N

Comment évoluent ces travaux si le skieur slalome sur la piste de A à B au lieu de descendre tout schuss en ligne droite (en supposant c'est le seul paramètre qui change). Expliquer.

1.3. Rappels : Energie cinétique d'un système

Un système en mouvement dans un référentiel possède une énergie due à son déplacement nommée **l'énergie cinétique** qui augmente avec la masse et la vitesse du système.

Expression de l'énergie cinétique

Applications : quelques calculs :

1. Déterminer l'énergie cinétique d'une voiture de 900 kg roulant à 50 $km.h^{-1}$ puis à 100 $km.h^{-1}$

2. Déterminer l'énergie cinétique d'un poids lourd de 18 tonnes roulant à 50 $km.h^{-1}$

3. Déterminer la vitesse d'un système de 30 g possédant une énergie cinétique de 120 mJ.

1.4. Le théorème de l'énergie cinétique

Énoncé à savoir :

Exercice d'application :

1. Dans l'application du skieur (page précédente) qui descend en ligne droite, déterminer la variation d'énergie cinétique du système {skieur+équipement}

   En déduire si le mouvement du système est uniforme, accéléré ou ralenti.

   (Facultatif : retour sur le chap 6 : en déduire la direction et le sens des vecteurs variation de la vitesse et résultante des forces)

   Calculer la valeur de la vitesse en B si $v_A = 10\ m.s^{-1}$

   En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, indiquer comment évoluerait la vitesse en B avec des frottements plus intenses.

Autre application (à rédiger sur une feuille séparée) :

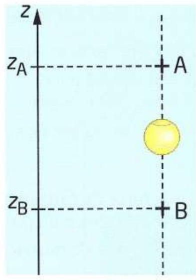
Sur une voie ferrée horizontale, la distance d'arrêt d'un TGV de 390t lancé à 320 $km.h^{-1}$ est 3,5 km.
Déterminer la valeur de la force de freinage supposée constante et opposée au mouvement.

2. L'énergie mécanique

2.1. Energie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle de pesanteur du système est une énergie due à sa position, plus particulièrement à son altitude. Elle augmente avec la masse et l'altitude du système.
Plus un objet s'élève, plus il emmagasine de l'énergie qu'il pourra ensuite potentiellement restituer sous une autre forme, de l'énergie cinétique la plupart du temps, d'où le terme "potentielle"

Expression de l'énergie potentielle de pesanteur



Lorsqu'un objet s'élève, son altitude z ……………., son énergie potentielle de pesanteur Epp …………….
Lorsqu'un objet descend, son altitude z ……………, son énergie potentielle de pesanteur Epp ……………

Lien entre travail du poids et énergie potentielle de pesanteur sur un déplacement de A à B :

Remarque : Le travail de toute force conservative s'exprime comme une différence de deux termes (deux énergies), donc à chaque force conservative, on peut associer une énergie potentielle.

2.2. Energie mécanique du système

L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et des énergies potentielles du système.

Cette année, la seule énergie potentielle rencontrée est l'énergie potentielle de pesanteur Epp

Expression de l'énergie mécanique

Application : un cycliste de masse m = 75 kg descend une pente. On note les valeurs suivantes :
En A : vitesse: $v_A = 7\ m.s^{-1}$ altitude $z_A = 18m$; en B : $v_B = 10\ m.s^{-1}$ altitude $z_B = 13\ m$

Calculer l'énergie potentielle, l'énergie cinétique et l'énergie mécanique en A et en B.

Calculer les variations d'énergie cinétique, potentielle et mécanique entre A et B

2.3. Conservation ou non conservation de l'énergie mécanique

A. Lorsqu'un système est soumis uniquement à des **forces conservatives et à des forces dont le travail est nul** (force perpendiculaire au déplacement), son énergie mécanique est constante : elle se conserve. Cette année, la seule force conservative étudiée est le poids.

Si le bilan des forces est $\vec{P}$ et $\vec{F}_{perpend.\ au\, mvt}$ alors $Em_A = Em_B$ = cste soit $\Delta Em_{A\to B} = 0$

Démonstration :

Cette propriété s'applique, entre autres, dans les cas suivants :

Chute libre	Plan incliné sans frottement	Pendule simple sans frottement

B. Lorsqu'un système est soumis à des forces conservatives, à des forces dont le travail est nul et à des forces non conservatives, son énergie mécanique varie, elle ne se conserve pas.
La variation de l'énergie mécanique est égale au travail des forces non conservatives.

Dans le cas général d'un bilan de forces avec des forces non conservatives ($\overrightarrow{F_{NC}}$) on a $\Delta Em_{A\to B} = Em_B - Em_A = \sum W_{AB}(\overrightarrow{F_{NC}})$

Démonstration

Exemples de non conservation de Em :

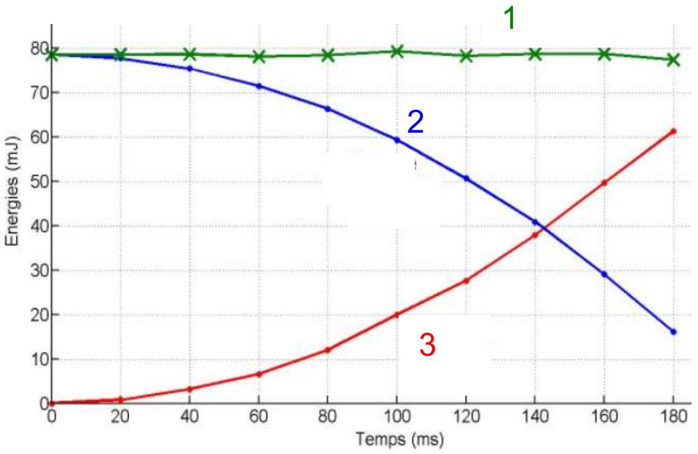
Application : à rédiger sur une feuille séparée

- Un enfant lance verticalement depuis une altitude de 1,0 m, vers le haut, une balle de 30g avec une vitesse initiale $v_0 = 5$ m.s^{-1}. En l'absence de frottements, déterminer l'altitude maximale atteinte par la balle et sa vitesse lorsqu'elle retombe sur le sol.
- Toujours sans frottements, que se passe-t-il si l'enfant fait la même chose avec une balle deux fois plus lourde ?
- En réalité la balle de 30 g atteint seulement l'altitude de 2,0 m. Évaluer la valeur de la force de frottement de l'air sur la balle, supposée constante pendant la montée.
- A quelle vitesse la balle touchera-t-elle le sol en supposant que les frottements gardent toujours cette intensité pendant la descente ?
- La masse joue-t-elle un rôle en présence de frottements ?

2.4. Conversions d'énergie et transferts d'énergie

Qu'il y ait ou non conservation globale de l'énergie mécanique du système, on peut souvent observer des conversions d'énergie.

Exemple 1 : On lâche un objet sans vitesse initiale et, après pointage, on construit le graphe suivant :

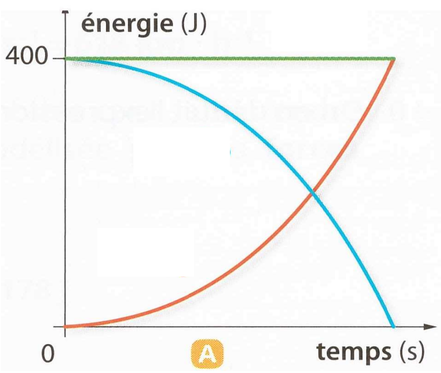


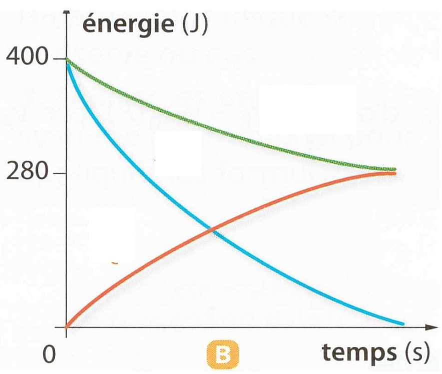
1. Identifier chaque énergie représentée, justifier.

2. Quelle information, sur ce graphe, nous permet de conclure que la chute du système est une chute libre ?

3. Détailler les conversions d'énergie observées au cours de la chute

Exemple 2 : On étudie la descente d'un système et on envisage deux possibilités (A et B) de courbes d'énergie.





1. Identifier chaque courbe ci-contre.
2. Déterminer la hauteur et la vitesse du système au début du mouvement, connaissant la masse m = 30 kg.

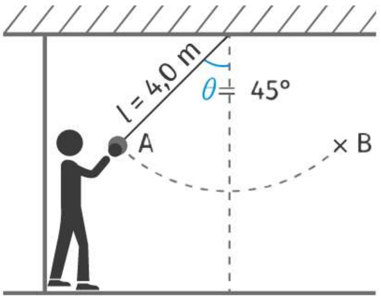
3. Le mouvement étudié est un enfant qui se laisse tomber d'une branche. Les frottements ne sont pas négligeables lors de la chute. Quel graphe correspond à la chute réelle de l'enfant. Justifier.

4. Evaluer la vitesse de l'enfant lors du contact avec le sol.

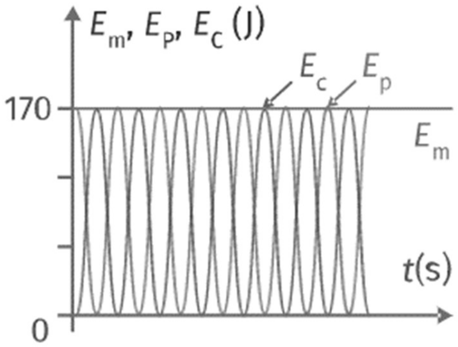
5. Evaluer la perte d'énergie de l'enfant au cours de la chute verticale. En déduire la valeur de la force de frottement (supposée constante au cours de la chute verticale)

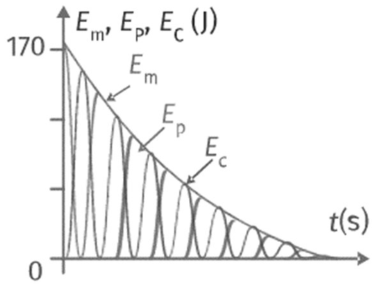
Exemple 3 : https://youtu.be/ca3R6R84HfU vidéo à visionner absolument !

Un pendule simple est une sphère, suspendue à un fil inextensible et qui oscille



Données : masse de la sphère m = 15 kg
Intensité de la pesanteur g = 10 $N.kg^{-1}$





1. Faire un bilan de forces sur la sphère et expliquer dans quelles conditions on peut observer chaque graphe d'énergie.

2. Détailler les conversions et transferts d'énergie observés dans chaque graphe en les associant à différentes positions du pendule.

3. Sur une feuille séparée, vérifier la valeur de 170 J indiquée sur le graphe et calculer la vitesse maximale atteinte par le pendule.

Bilan global du 2.4 :