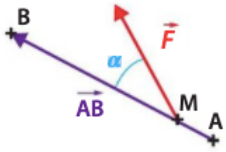
Chapitre 11 : Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques

I- Le théorème de l'énergie cinétique

1- L'énergie cinétique d'un système

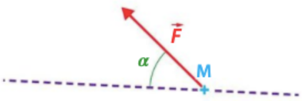
L'énergie cinétique E_c d'un système de masse m se déplaçant à la vitesse de valeur v dans le référentiel d'étude est donné par la relation :



Une force est constante si sa direction, son sens et sa valeur ne changent pas.

$$Ec = \frac{1}{2}\, m \; x \; v^2$$

Ec s'exprime en J
m en Kg
v en m.s^{-1}



> La force $\vec{F}$ exercée par le téléski sur le skieur effectue un travail moteur lors du déplacement du skieur.

2- Le travail d'une force constante

Le travail d'une force s'exerçant sur un système permet d'évaluer l'énergie transférée entre le milieu extérieur et le système, lors de son mouvement.

Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante dont le point d'application se déplace d'une position A à une position B est égal au produit scalaire du vecteur $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$.

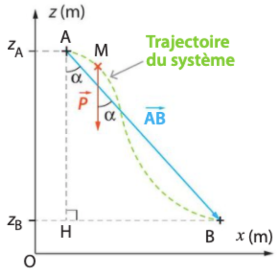
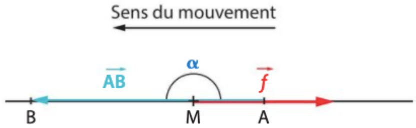
$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F \; x \; AB \; x \cos\alpha$$

$W_{AB}(\vec{F})$ s'exprime en J
F en N
AB en m
cos α est sans unité
α est l'angle entre le vecteur force $\vec{F}$ et le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$.

Si 0° ≤ α < 90 ° alors $W_{AB}(\vec{F}) > 0$	Si α = 90 ° alors $W_{AB}(\vec{F}) = 0$	Si 90° < α ≤ 180° alors $W_{AB}(\vec{F}) < 0$
Le travail est moteur	Le travail est nul	Le travail est résistant

3- Quelques exemples

Le travail du poids	Le travail d'une force de frottement constante
Le système se déplace d'une position A à une position B.	Le système se déplace d'une position A à une position B.

	
$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB} = P \ x \ AB \ x \cos\alpha$	$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f}.\overrightarrow{AB} = f \ x \ AB \ x \cos\alpha$
Dans le triangle AHB, $\cos\alpha = \frac{AH}{AB} = \frac{(z_A - z_B)}{AB}$ et P = m x g. On en déduit : $W_{AB}(\vec{P}) = m \ x \ g \ x \ AB \ x \ \frac{(z_A - z_B)}{AB} = m \ x \ g \ x \ (z_A - z_B)$	On a $\alpha = 180°$ et donc $\cos\alpha = -1$ On en déduit : $W_{AB}(\vec{f}) = -f \ x \ AB$
$W_{AB}(\vec{P}) = m \ x \ g \ x \ (z_A - z_B)$	$W_{AB}(\vec{f}) = -f \ x \ AB$

4- Le théorème de l'énergie cinétique

La variation de l'énergie cinétique d'un système en mouvement, d'une position A à une position B, est égale à la somme des travaux de toutes les forces appliquées au système entre A et B :

$\sum_i W_{AB}(\vec{F_i})$ signifie la somme des travaux de toutes les forces $\vec{F}_i$ appliquées sur le système en mouvement, de la position A à la position B.

$\Delta \ Ec_{A\rightarrow B} = Ec_B - Ec_A = \sum_i W_{AB}(\vec{F_i})$ $\Delta \ Ec_{A\rightarrow B}$ et $W_{AB}(\vec{F})$ S'expriment en J

Si la somme des travaux des forces appliquées au système est positive, son énergie cinétique augmente, donc la valeur de sa vitesse augmente.

II- L'énergie mécanique

1- Les forces conservatives et non conservatives

Une force appliquée à un système est conservative si son travail ne dépend que de la position de départ et de la position d'arrivée du système, et pas de sa trajectoire entre ces positions.
Une force appliquée au système est non conservative dans le cas contraire.

Exemples :

- Le poids

Nous avons vu précédemment que l'expression du travail du poids était la suivante :

$W_{AB}(\vec{P}) = m \ x \ g \ x \ (z_A - z_B)$.

On constate que le travail du poids dépend des positions z_A et z_B mais il ne dépend pas de la trajectoire entre A et B. Le poids est une force conservative.

- Les frottements

Les forces de frottements ne sont pas conservatives car leur travail ($W_{AB}(\vec{f}) = -f \ x \ AB$) dépend de la longueur du trajet entre A et B.

2- Énergie potentielle de pesanteur d'un système

A chaque force conservative $\overrightarrow{F_C}$, est associée une énergie appelée énergie potentielle Ep.

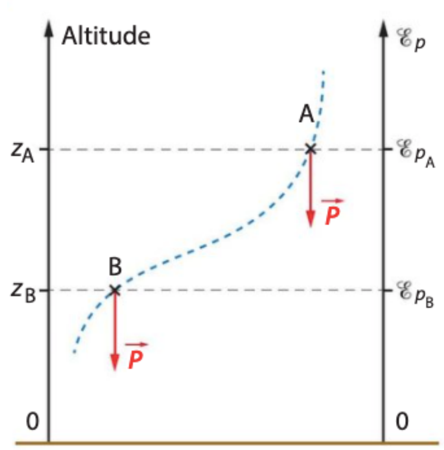
La variation de cette énergie potentielle lorsque le système se déplace entre une position A et une position B, est égale à l'opposé du travail de cette force conservative, qui s'applique entre les points A et B :

$\Delta \, Ep_{A \to B} = Ep_B - Ep_A = -\sum_i W_{AB}(\vec{F_C})$ $\Delta \, Ep_{A \to B}$ *et* $W_{AB}(\vec{F_C})$ S'expriment en J

Exemple :

- Le poids

Le poids est une force conservative, calculons son énergie potentielle dite de pesanteur :



$\Delta \, Ep_{A \to B} = -\sum_i W_{AB}(\vec{P})$

$= - m \, x \, g \, x \, (z_A - z_B)$

$= m \, x \, g \, x \, (z_B - z_A)$

$= m \, x \, g \, x \, z_B - m \, x \, g \, x \, z_A$

On en déduit :

$Ep_B - Ep_A = m \, x \, g \, x \, z_B - m \, x \, g \, x \, z_A$

Donc on a $Ep_B = m \, x \, g \, x \, z_B$ et $Ep_A = m \, x \, g \, x \, z_A$

De manière générale, l'énergie potentielle de pesanteur Ep d'un système de masse m situé à une altitude m est donnée par la relation :

Ep= $m \, x \, g \, x \, z$	Ep s'exprime en J m en Kg g en $N.Kg^{-1}$ z en m

A l'altitude z = 0 choisie comme référence, Ep = 0 J. L'axe Oz est orienté vers le haut.

3- Énergie mécanique d'un système

L'énergie mécanique d'un système Em de masse m est la somme de son énergie cinétique Ec et de son énergie potentielle Ep.

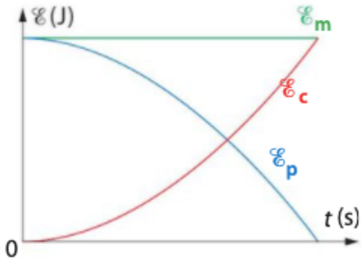
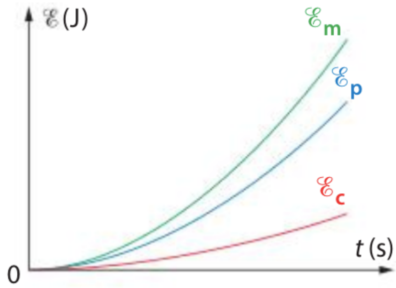
Em= $Ep + Ec$

Ainsi, l'énergie mécanique d'un système dépendra de sa position et de sa vitesse dans le référentiel d'étude.

III- La variation de l'énergie mécanique

La variation de l'énergie mécanique d'un système en mouvement d'une position A à une position B est égale à la somme des travaux des forces $\vec{F}_{NC}$non conservatives appliquées au système :

1- Conservation de l'énergie mécanique	2- Non conservation de l'énergie mécanique
S'il n'y a pas de forces non conservatives ou si la somme des travaux de ces forces est nulle alors : $\Delta \, Em_{A \to B} = Em_B - Em_A = \sum_i W_{AB}(\overrightarrow{F_{NC,i}}) = 0$ Cette relation, traduit de la conservation de l'énergie mécanique, permet de déterminer la valeur de la vitesse ou de l'altitude d'un système étudié en une position de sa trajectoire.	S'il y a des forces non conservatives et si la somme des travaux de ces forces est non nulle alors : $\Delta \, Em_{A \to B} = Em_B - Em_A = \sum_i W_{AB}(\overrightarrow{F_{NC,i}})$ Cette relation permet de déterminer le travail ou la valeur des forces non conservatives qui s'appliquent sur le système étudié lors de son déplacement.

<table>
<tr>
<td>Exemple :
Lorsqu'elle retombe de son saut, la perchiste est considérée en chute libre. Elle n'est alors soumise qu'à son poids qui est une force conservative.</td>
<td>Exemple :
Lors de son décollage, la fusée est soumise à son poids et à une force de poussée $\vec{F}$ qui est une force non conservative.</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Au cours de la chute, l'énergie potentielle de pesanteur Ep perdue par le système est entièrement convertie en énergie cinétique Ec.
<u>L'énergie mécanique Em se conserve.</u></td>
<td>Au cours du décollage, l'énergie potentielle de pesanteur Ep et l'énergie cinétique Ec du système augmentent.
<u>L'énergie mécanique Em ne se conserve pas.</u></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">La variation de l'énergie mécanique d'un système entre deux positions permet de déterminer, selon les données disponibles :
- La valeur initiale ou finale de la vitesse du système
- L'altitude initiale ou finale du système
- Le travail de forces non conservatives
- La valeur de ces forces.</td>
</tr>
</table>