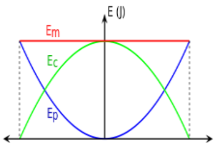
	Première Spécialité	Thème : L'énergie : conversions et transferts	Cours	
	Chapitre 17 : **Le théorème de l'énergie mécanique**			

I Forces conservatives et non conservatives

1) Forces conservatives

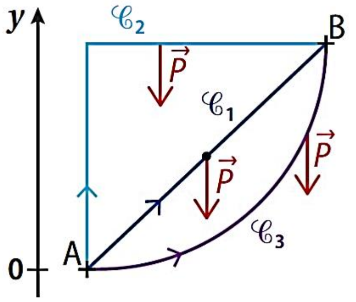
Une <u>force conservative</u> est une force dont le travail entre deux points est indépendant du chemin suivi entre ces deux points. Le travail ne dépend que de leurs positions initiale et finale.

Nous avons démontré dans le chapitre précédent que le travail du poids exercé sur un système s'exprime en fonction de l'altitude y_A du point de départ A et de l'altitude y_B du point d'arrivée B selon la relation :

$$W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times (y_A - y_B)$$

$W_{AB}(\vec{P})$: Travail du poids en joule (J)
m : masse en kilogramme (kg)
g : intensité du champ de pesanteur g = 9,81 N.kg^{-1}
y_A et y_B : altitude en mètre (m)

<u>Exemple</u> : Sur le schéma suivant, le travail du poids aura la même valeur que le système suive les chemins $\mathscr{C}_1$, $\mathscr{C}_2$ ou $\mathscr{C}_3$ car les altitudes des points A et B sont les mêmes.
Le travail du poids est donc indépendant du chemin suivi entre A et B.

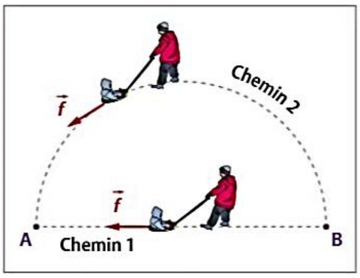


Le <u>poids</u> est une force conservative.

2) Forces non conservatives

Une <u>force non conservative</u> est une force dont le travail entre deux points dépend du chemin suivi entre ces deux points.

<u>Exemple</u> : les forces de frottement avec une surface ou un fluide.



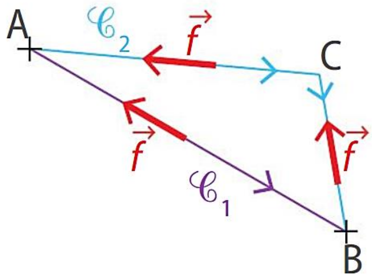
Doc. 3. Le travail de la force de frottement dépend du chemin suivi : $|W_{AB}(\vec{f})\text{(chemin 1)}| < |W_{AB}(\vec{f})\text{(chemin 2)}|$.

Nous avons vu au chapitre précédent que l'expression du travail d'une force de frottement **d'intensité** constante *f*, sur un déplacement rectiligne d'un point A à un point B est :

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

$W_{AB}(\vec{f})$: Travail de la force de frottement en joule (J)
f : intensité de la force de frottement en newton (N)
AB : longueur du déplacement en mètre (m)

La force de frottement reste en permanence parallèle au déplacement, son travail dépend alors de la longueur de ce déplacement.



<u>Exemple</u> : Sur le schéma suivant, le travail de la force de frottement $\vec{f}$ vaut :

- Sur le chemin $\mathscr{C}_1$, $W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$
- Sur le chemin $\mathscr{C}_2$, $W_{AB}(\vec{f}) = -f \times (AC + CB)$ car le système passe par C, le trajet est donc plus long.

Ces deux valeurs sont différentes car A, B et C ne sont pas alignés, donc $\vec{f}$ est une force non conservative.

Une <u>force de frottement d'intensité constante</u> est une force non conservative.

II L'énergie potentielle

1) Définition de l'énergie potentielle

On considère une force conservative notée $\vec{F}$. Le travail de cette force ne dépend que des positions initiale et finale A et B du trajet.
Ce travail peut alors s'exprimer comme la différence entre la valeur d'une grandeur, nommée **énergie potentielle E_p**, prise en A, et la valeur de cette même grandeur prise en B.

A chaque force conservative $\vec{F}$ est associée une énergie potentielle E_p telle que :

$$W_{AB}(\vec{F}) = E_p(A) - E_p(B)$$

Remarque : on ne peut pas associer à une force non conservative une énergie potentielle car son travail dépend du chemin suivi.

2) Energie potentielle de pesanteur E_{pp}

L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} est associée au poids $\vec{P}$ qui est une force conservative.

Soit une grandeur X dont la valeur varie d'une valeur initiale X_i à une valeur finale X_f. La **variation de la grandeur X** est notée ΔX et s'écrit $\Delta X = X_f - X_i$. Δ est la lettre grecque delta majuscule.

Exemples :
- Variation de température entre T_i et T_f : $\Delta T = T_f - T_i$
- Variation de l'énergie cinétique entre les points A et B : $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A)$

On en déduit la variation d'énergie potentielle de pesanteur d'un système qui va d'un point A à un point B : $\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A)$. Or, d'après la définition de l'énergie potentielle de pesanteur, on en déduit que :

$$\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = -W_{AB}(\vec{P})$$

La variation d'énergie potentielle de pesanteur d'un système qui va d'un point A à un point B est égale à l'opposé du travail du poids sur ce trajet.

Par ailleurs, le travail du poids s'écrit : $W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times (y_A - y_B) = m\,g\,y_A - m\,g\,y_B$

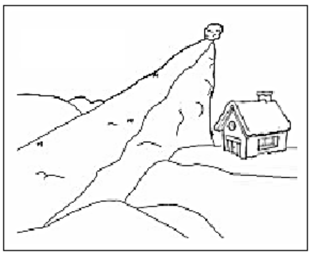
On en déduit que : $\Delta E_{pp} = \boxed{E_{pp}(B)} - \boxed{E_{pp}(A)} = -(m\,g\,y_A - m\,g\,y_B) = \boxed{m\,g\,y_B} - \boxed{m\,g\,y_A}$

On en déduit qu'un système de masse m, situé à une altitude y, possède, à cause de son altitude, une énergie potentielle de pesanteur E_{pp} définie par :

$$E_{pp} = m\,g\,y$$

E_{pp} : énergie potentielle de pesanteur en joule (J)
m : masse en kilogramme (kg)
g : intensité du champ de pesanteur g = 9,81 N.kg^{-1}
y : altitude en mètre (m)

L'**énergie potentielle de pesanteur** E_{pp} est l'énergie emmagasinée par l'objet et due à la hauteur à laquelle il se trouve. Plus l'objet est haut, plus son énergie potentielle de pesanteur est élevée.
Du fait de son altitude par rapport au sol, un objet possède de l'énergie en réserve, qu'il peut « potentiellement » restituer.



Remarque : En réalité, l'énergie potentielle de pesanteur est définie par : $E_{pp} = m\,g\,y +$ **constante**. Cependant, on peut choisir comme on veut le niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur.
On choisit donc en général le niveau de référence pour avoir l'expression simplifiée : $E_{pp} = m\,g\,y$. **On prend pour cela $E_{pp} = 0$ J au niveau du sol** car : « ça ne peut pas tomber plus bas ». Bref, il ne faut pas trop se préoccuper de cette constante mais garder à l'esprit que E_{pp} est défini « à une constante près ».

Exemple : Calculer l'énergie potentielle de pesanteur d'un pot de fleur de masse m = 3,0 kg, posé sur le rebord d'une fenêtre située à 5,0 m du sol. On fixe la référence d'E_{pp} au niveau du sol.

$$E_{pp} = m\,g\,y = 3{,}0 \times 9{,}81 \times 5{,}0 = \underline{147 \text{ J}}$$

III L'énergie mécanique

1) Définition de l'énergie mécanique

Si le poids est la seule force conservative que subit un système, l'énergie mécanique du système, notée E_m, est égale à la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle de pesanteur E_{pp} :

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

On démontre que :

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

La variation d'énergie mécanique d'un système est égale à la somme de la variation de son énergie cinétique et de la variation de son énergie potentielle de pesanteur.

Exercice : Calculer l'énergie mécanique d'un dromadaire de masse m = 350 kg se déplaçant à la vitesse de 1,8 km.h^{-1} sur une dune haute de 100 m par rapport l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur.

$$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2} m\,v^2 + m\,g\,y = \frac{1}{2} \times 350 \times \left(\frac{1{,}8}{3{,}6}\right)^2 + 350 \times 9{,}81 \times 100 = \underline{3{,}4 \times 10^5 \text{ J}}$$

2) Théorème de l'énergie mécanique

On va exprimer les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle de pesanteur ΔE_c et ΔE_{pp} avec ce qui a déjà été vu, puis on va les « réinjecter » dans l'expression : $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp}$

- D'après le théorème de l'énergie cinétique, la variation d'énergie cinétique ΔE_c du système entre les points A et B est égale à la somme des travaux des forces qu'il subit : $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \Sigma\, W_{AB}(\vec{F})$
  Or les forces que le système subit sont le poids $\vec{P}$ et des forces non conservatives $\overrightarrow{F_{nc}}$.
  Donc : $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\overrightarrow{F_{nc}})$

- On a vu que la variation d'énergie potentielle du système qui va d'un point A à un point B est égal à l'opposé du travail de la force conservative sur le trajet AB : $\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = -W_{AB}(\vec{P})$

- Dans l'expression $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp}$, on remplace ΔE_c et ΔE_{pp} par celles avec les travaux des forces :
  $\Delta E_m = \cancel{W_{AB}(\vec{P})} + W_{AB}(\overrightarrow{F_{nc}}) + [\cancel{-W_{AB}(\vec{P})}]$. Cela se simplifie en : $\Delta E_m = W_{AB}(\overrightarrow{F_{nc}})$

Soit un système soumis uniquement à son poids $\vec{P}$ et à des forces non conservatives $\overrightarrow{F_{nc}}$.
La variation d'énergie mécanique, notée ΔE_m, du système entre les points A et B est égale à la somme des travaux des forces <u>non conservatives</u> qu'il subit au cours de son déplacement.

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma\, W_{AB}(\overrightarrow{F_{nc}})$$

3) Conservation de l'énergie mécanique

Si le système ne subit pas de forces non conservatives (en général : pas de frottements), ou quand leur travail est nul (forces perpendiculaires au déplacement), alors $\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0$.
On en déduit que $E_m(B) = E_m(A)$. Il n'y a pas de variation d'énergie mécanique entre les points A et B. Cette énergie se conserve.

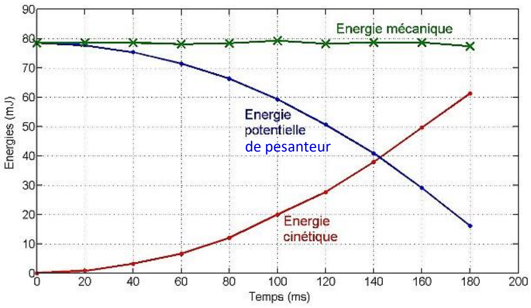
En l'absence de forces non conservatives (en général de frottements), ou lorsque ces forces ne travaillent pas, l'énergie mécanique se conserve : $\boldsymbol{E_m(B) = E_m(A)}$

Remarque : cela explique le nom des forces « conservatives » : elles entrainent la conservation de l'énergie mécanique.

Exemple : Graphique représentant l'évolution des énergies d'un solide **en chute libre sans frottements**.

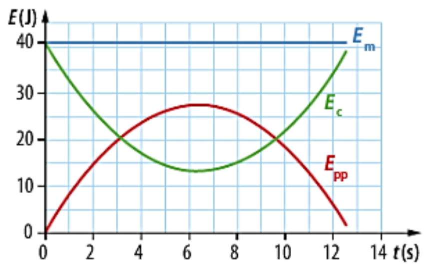
- Son altitude diminue : son énergie potentielle de pesanteur diminue.
- Au cours de la chute, sa vitesse augmente : son énergie cinétique augmente.
- Son énergie mécanique est constante.

L'énergie potentielle de pesanteur du solide est transformée en énergie cinétique. On dit qu'il s'effectue un **transfert d'énergie**.



Exemple : Graphique représentant l'évolution des énergies d'un solide lancé en l'air et **en chute libre sans frottements**.

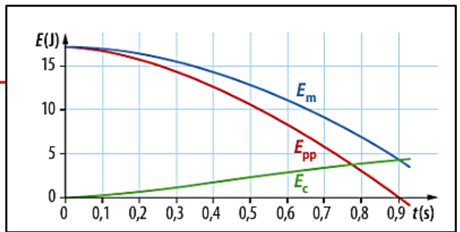
- Son altitude augmente puis diminue, ainsi que son énergie potentielle de pesanteur ;
- Sa vitesse et donc son énergie cinétique diminuent jusqu'à son altitude maximale, puis augmentent à nouveau ;
- Son énergie mécanique est constante.



4) Non-Conservation de l'énergie mécanique

Quand un solide chute dans l'air (comme une météorite entrant dans l'atmosphère), il apparaît des frottements entre le solide et l'air que l'on ne peut pas toujours négligés.
On observe que l'énergie cinétique augmente moins vite que l'énergie potentielle de pesanteur ne diminue.

L'énergie mécanique va donc diminuer au fur et à mesure de la trajectoire car les forces de frottements sont résistantes.



En présence de forces non conservatives qui travaillent, l'énergie mécanique ne se conserve pas. On observe :

- **un gain d'énergie mécanique si les forces non conservatives sont motrices : $W_{AB}(\overrightarrow{F_{nc}})$ positif.**
- **une perte d'énergie mécanique par dissipation d'énergie si les forces non conservatives sont résistantes : $W_{AB}(\overrightarrow{F_{nc}})$ négatif.**