Chapitre 14 : Energie mécanique

Préliminaire : la lettre delta majuscule Δ désigne une variation au sens de différence entre un état initial (i) et un état final (f). Exemple : $\Delta T = T_f - T_i$

I) Forces conservatives ou non conservatives

Rappel : voir chapitre 13

- Une force est dite **conservative** si son travail W **ne dépend pas** du chemin suivi. (Exemple : le poids, la force électrostatique etc…). Cela implique que **l'énergie mécanique est constante** au cours du temps (elle se conserve).
- Une force est dite **non conservative** si son travail W **dépend** du chemin suivi. (Exemple : les frottements). Cela implique que **l'énergie mécanique n'est pas constante** au cours du temps (elle ne se conserve pas).

II) Energie cinétique

On appelle mouvement de TRANSLATION un mouvement dans lequel tous les points du mobile ont le même vecteur vitesse (à une date donnée) dans un repère R.

Pour un solide, en translation rectiligne ; soumis à une force constante $\vec{F}$:
L'énergie cinétique, par rapport à un référentiel R, du solide de masse m, en mouvement de translation de vecteur vitesse $\vec{V}$ par rapport à R est donnée par la relation :

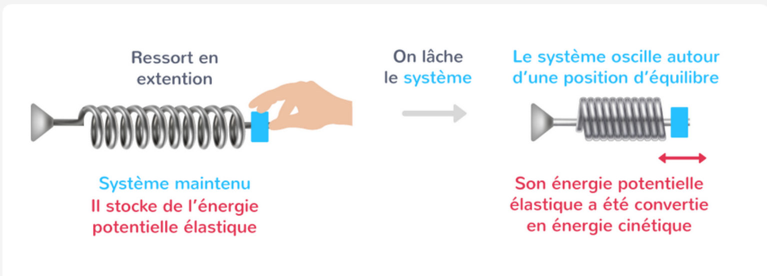
$$\boxed{Ec = \frac{1}{2} m V^2}$$

Ec énergie cinétique en joule (J)
M masse du solide en kg
V vitesse du solide en m/s

Rappel :

EXEMPLE

On peut dire qu'un système relié à un ressort en extension et que l'on maintient possède une énergie potentielle (élastique, ici) car si on le lâche, le ressort va le mettre en mouvement. Il y aura donc conversion de l'énergie potentielle élastique en énergie cinétique.



Manifestation de l'énergie potentielle élastique

III) Energie potentielle

Une énergie potentielle est une énergie stockée par le système, **potentiellement disponible** et pouvant être convertie en une autre forme d'énergie.

• A toute force **CONSERVATIVE** $\vec{F}$ est associée une énergie potentielle E_p telle que $W_{AB}(\vec{F}) = E_p(A) - E_p(B)$

La variation d'énergie potentielle d'un système qui va d'un point A (état initial) à un point B (état final) est égale à l'opposé du travail de la force conservative associée le long du chemin AB :

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

• **Si la force n'est pas conservative, il n'y a aucune énergie potentielle associée à cette force !**

- Energie potentielle de pesanteur

Comme le poids est une force conservative, il dérive d'une énergie potentielle, appelée énergie potentielle de pesanteur notée E_{pp}. C'est énergie qu'il possède du fait de son altitude z par rapport à la référence des énergies potentielles de pesanteur (*en général on choisit le sol comme origine*).

Soit un objet qui tombe de A vers B :

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

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

$$E_{pp}(A) - E_{pp}(B) = mgz_A - mgz_B$$

Donc la variation d'énergie potentielle de pesanteur d'un objet de masse m passant d'un point A a un point B est donc $\boxed{\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg(z_B - z_A) = -W_{AB}(\vec{P})}$

On en déduit l'expression de l'énergie potentielle :

$\boxed{E_{pp(\mathrm{J})} = m_{(\mathrm{kg})} \times g_{(N \cdot kg^{-1})} \times z_{(\mathrm{m})}}$ où g est l'intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \mathrm{N.kg}^{-1}$

IV) Energie mécanique

On appelle énergie mécanique la somme de l'énergie cinétique et de toutes les énergies potentielles

$$E_m = E_c + \sum E_p$$

Si le poids est la seule force conservative alors : $\boxed{E_m = E_c + E_{pp}}$

a) Théorème de l'énergie mécanique

Soit un système soumis uniquement à son poids et à des forces non conservatives. La variation de l'énergie mécanique d'un système qui passe d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux des **forces non conservatives** qu'il subit :

$\boxed{\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})}$ ou encore

$$\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$$

$$E_m(B) - E_m(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$$

$$E_c(B) + E_{pp}(B) - E_c(A) - E_{pp}(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$$

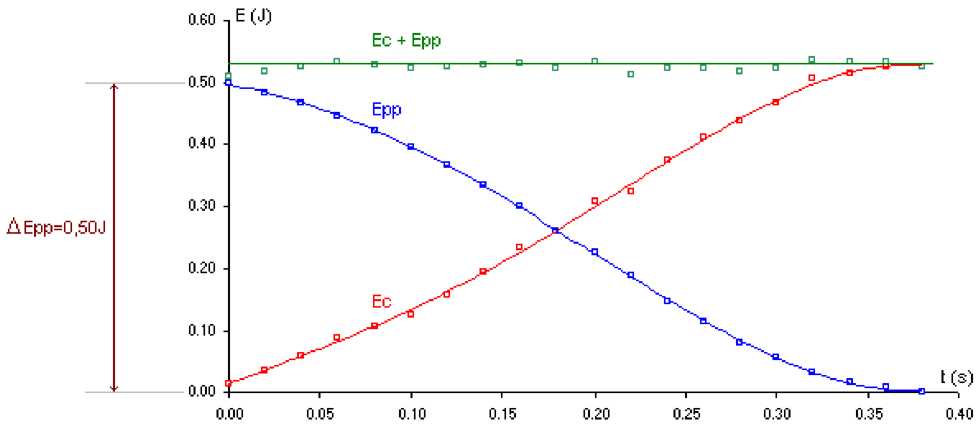
b) Conservation de l'énergie mécanique

Si le système est soumis uniquement à des forces conservatives ou à des forces dont le travail est nul alors l'énergie mécanique est constante : on dit qu'elle se conserve.

$$\boxed{\begin{array}{l}\Delta E_m = 0 \\ E_m(B) = E_m(A) = cste\end{array}}$$

<u>Exemple : cas d'une chute libre sans frottements :</u>

Chute libre d'une balle lâchée

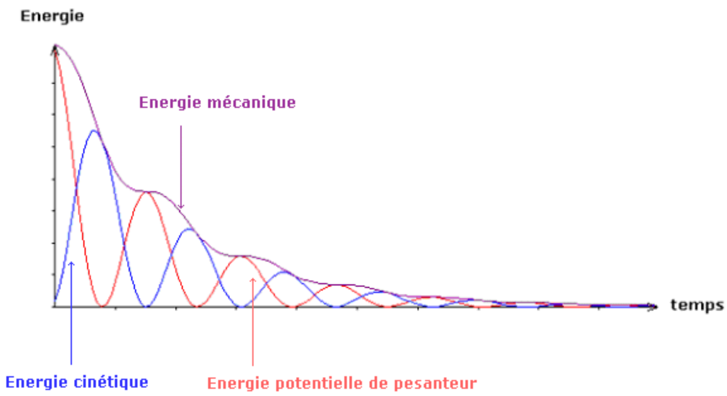


c) Non conservation de l'énergie mécanique

En présence de forces non conservatrices qui travaillent, l'énergie mécanique ne se conservent pas. On a alors :

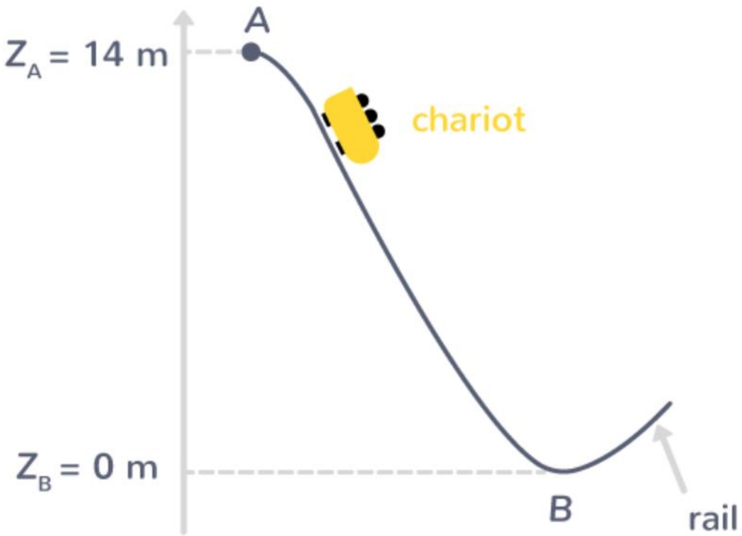
- Un gain d'énergie mécanique depuis une autre forme d'énergie, si les forces non conservatrices sont globalement motrices ;
- Une dissipation d'énergie mécanique en une autre forme d'énergie si les forces non conservatives sont globalement résistantes.
- $\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$

<u>Exemple : oscillation d'un pendule avec frottements de l'air</u>



V) Exercice détaillé

On étudie le mouvement d'un chariot d'une montagne russe de masse 90 kg qui entame son parcours à partir d'un point A d'altitude $z_A = 14 \text{ m}$ où sa vitesse est nulle. Sachant qu'au point B, d'altitude $z_B = 0 \text{ m}$, sa vitesse est de 11,5 m·s^{-1}, et que la distance parcourue est $AB = 30 \text{ m}$, on cherche à déterminer la valeur de la force de frottements $\overrightarrow{f}$ qui existe entre les rails et le chariot.

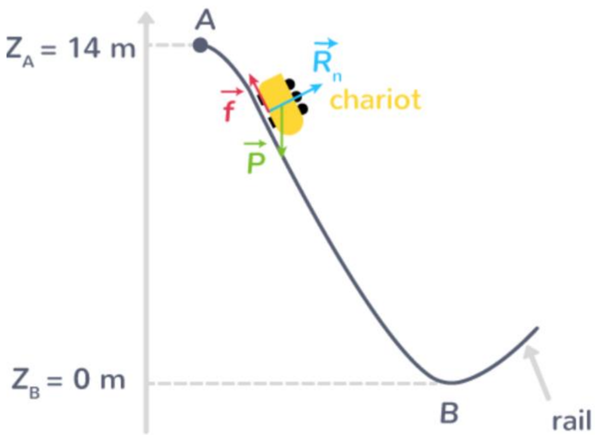


Le système étudié est le chariot. Pendant ce mouvement, il est soumis à son poids $\overrightarrow{P}$, à la réaction normale $\overrightarrow{R_N}$ et aux forces de frottements $\overrightarrow{f}$ exercés par les rails.

On sait que :

- le poids $\overrightarrow{P}$ est une force verticale ;
- la réaction normale $\overrightarrow{R_N}$ est une force perpendiculaire au support (les rails ici) ;
- la force de frottements $\overrightarrow{f}$ est opposée au déplacement du chariot.

D'où le schéma suivant :



Dans le référentiel terrestre qui est galiléen, la variation de l'énergie mécanique du chariot entre les points A et B est égale au travail de la force non conservative, la force de frottements $\overrightarrow{f}$ ici qui s'exerce sur lui.

Soit :

$$\Delta_{AB}E_M = W_{AB}\left(\overrightarrow{f}\right)$$

D'où, ici :

$$\Delta_{AB}E_c + \Delta_{AB}E_{pp} = W_{AB}\left(\overrightarrow{f}\right)$$

Soit :

$$E_{cB} + E_{ppB} - (E_{cA} + E_{ppA}) = W_{AB}\left(\overrightarrow{f}\right)$$

Or :

- l'énergie cinétique au point A est nulle, puisque la vitesse du chariot y est nulle : $E_{cA} = 0 \text{ J}$;
- l'énergie potentielle de pesanteur au point B est nulle, puisque l'altitude du chariot y est nulle : $E_{ppB} = 0 \text{ J}$.

On obtient donc la relation :

$$E_{cB} - E_{ppA} = W_{AB}\left(\overrightarrow{f}\right)$$

Soit :

« $E_{cB} - E_{ppA} = \overrightarrow{f} \times \overrightarrow{AB} = f \times AB \times \cos 180$ »

« $\dfrac{1}{2} \times m \times v_B^2 - m \times g \times z_A = -f \times AB$ »

On isole alors la valeur de la force de frottements que l'on souhaite déterminer :

$$f = -\frac{\frac{1}{2} \times m \times v_B^2 - m \times g \times z_A}{AB}$$
$$f = -\frac{\frac{1}{2} \times 90 \times (11{,}5)^2 - 90 \times 9{,}81 \times 14}{30}$$
$$f = 2{,}1 \times 10^2 \text{ N}$$

La valeur de la force de frottements qu'exercent les rails sur le chariot est donc $2{,}1 \times 10^2 \text{ N}$.