UE CMP
Concepts et Méthodes de la Physique

Cours 11

1 – **Energie cinétique, potentielle, mécanique** :
une introduction par l'exemple : la pesanteur

2 – **Le travail d'une force et l'énergie potentielle** (§ 4.3.1)

3 – **Forces conservatives** (§ 4.3.2)

4 – **Théorème de l'énergie cinétique** (§ 4.3.1)

5 – **Conservation de l'énergie mécanique** (§ 4.3.3)

Rappel : collisions

collision « totalement inélastique » (avec colle)

collision « inélastique »

collision « élastique »

P toujours conservé..

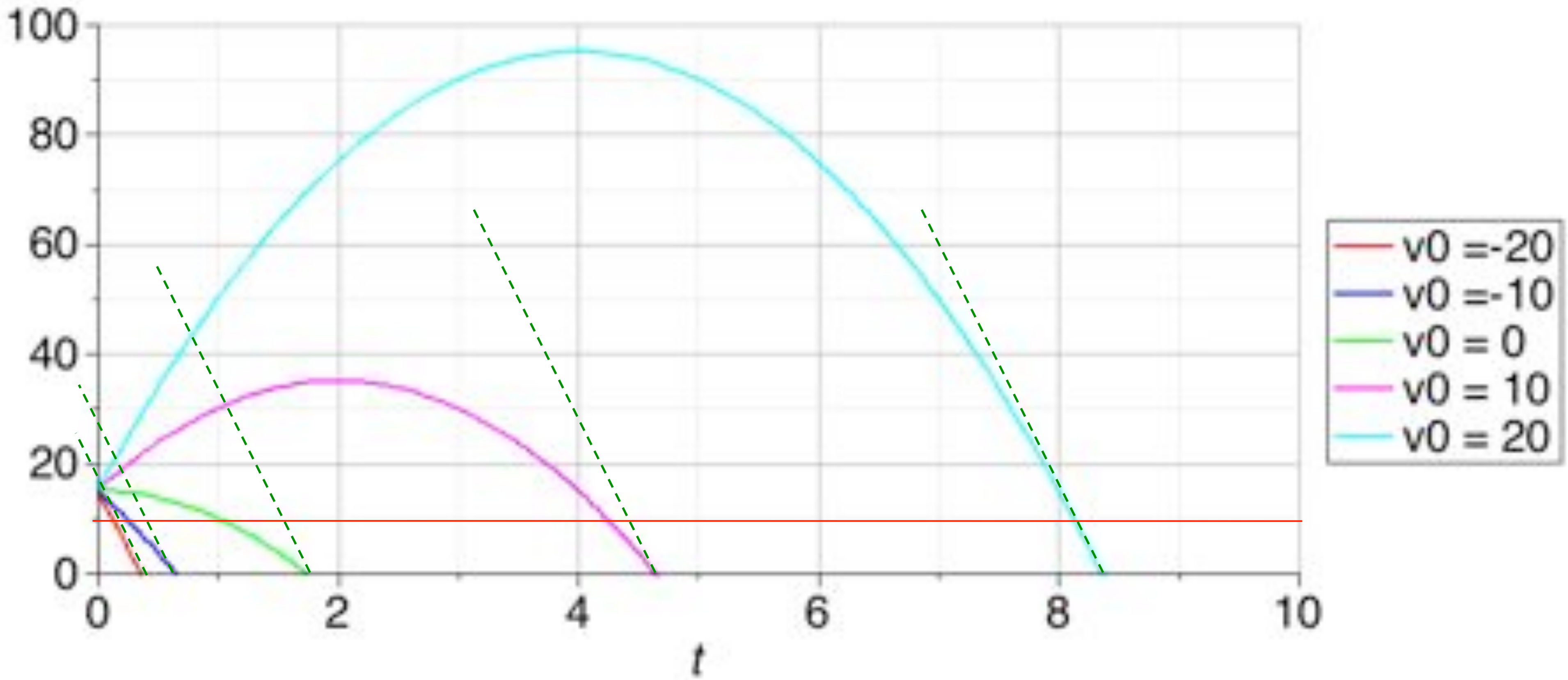
il nous manque quelque chose ?!

conservation $\mathbf{P}_{tot}$ $\Rightarrow$ $\boxed{m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v'}_1 + m_2\mathbf{v'}_2}$

Energie : cinétique, potentielle, mécanique

Introduction par l'exemple : pesanteur

$$z(t) = -1/2\ g\ t^2 + v_0 t + h$$



$$v^2_{z=0} = v_0^2 + 2\ g\ h$$

$$v^2_{z=z} = v_0^2 + 2\ g\ (h - z)$$

Conservation de l'énergie mécanique

Introduction par l'exemple : pesanteur

Énergie cinétique (v = vitesse) :

$$E_c = \frac{1}{2}\, m\, v^2 \qquad [E_c] = ML^2T^{-2}$$

Énergie potentielle de pesanteur (h = hauteur) :

$$E_P = m\, g\, h \qquad [E_P] = ML^2T^{-2}$$

Énergie mécanique : $E_m = E_c + E_p$

Conservation de l'énergie mécanique sous l'action de la pesanteur :

Dans un référentiel galiléen, l'énergie mécanique d'un système *soumis à la seule force de la pesanteur* est constante

Conservation de l'énergie mécanique

Peut-on généraliser ?

Énergie cinétique (v = vitesse) : $E_c = ½\, m\, v^2$

Énergie potentielle (*pour quelles forces ?*) : $E_p = ?$

Énergie mécanique : $E_m = E_c + E_p = cte\ ?$

$\Downarrow$

Nous appellerons **système conservatif** un système pour lequel

1) on peut définir une énergie potentielle et
2) l'énergie mécanique est conservée (= constante).

Une masse soumise uniquement à la pesanteur est un système conservatif.

Le travail

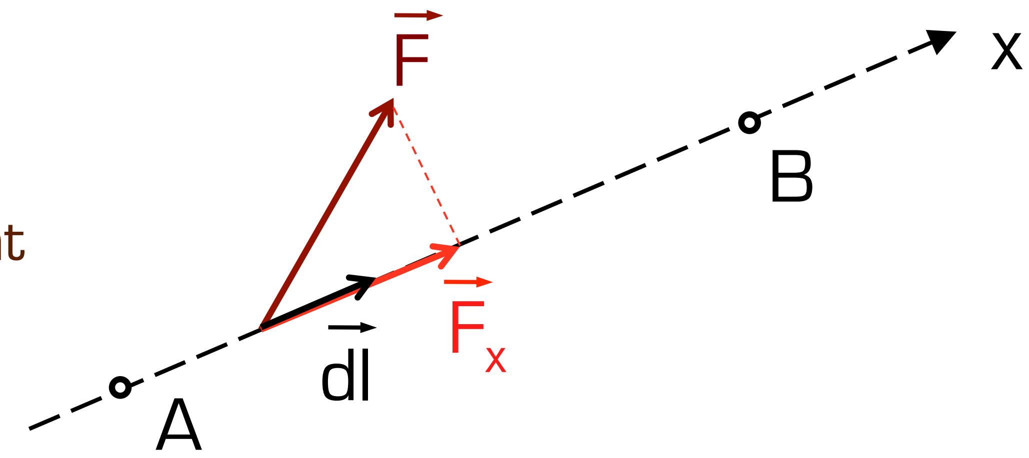
définition

Travail de la force F le long de la trajectoire allant de A à B :

$$W_{AB}(F) = \int_A^B \vec{F} \bullet \vec{dl} = \int_A^B F_x \, dx$$

$W_{AB}(F) > 0$ travail moteur

$W_{AB}(F) < 0$ travail résistant



où F_x = composante de la force dans la direction du déplacement

Dimensions : $[W] = [F\ x] = ML^2T^{-2}$ (une énergie)

unités $Nm = kg\ m^2s^{-2} = J$ = Joules

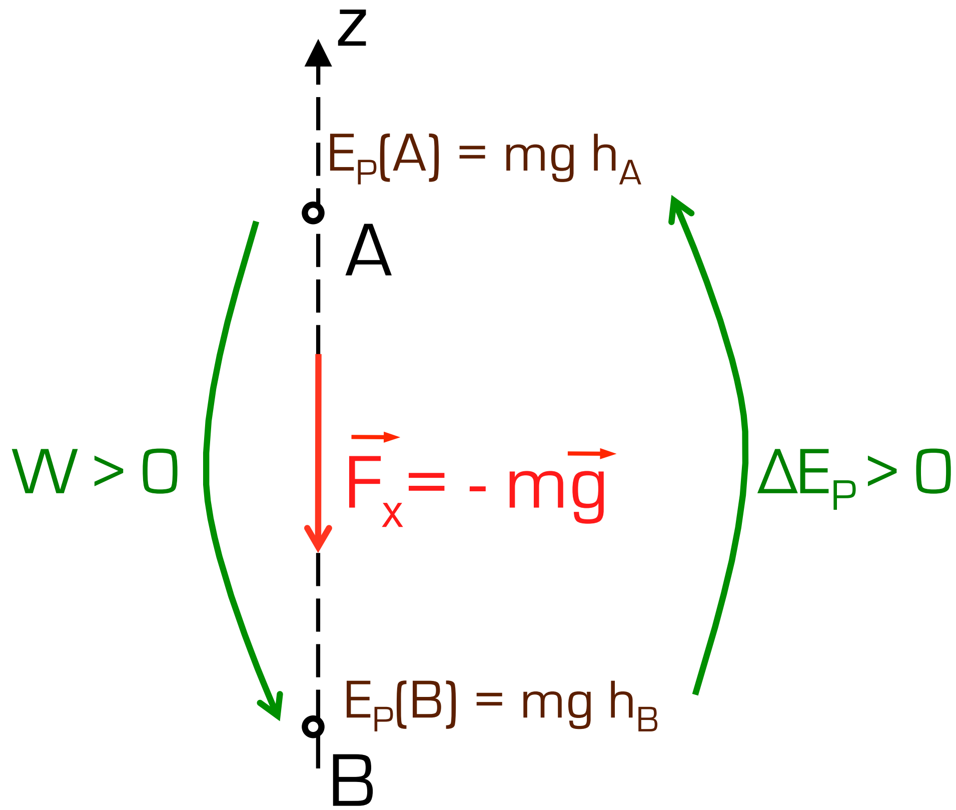
Travail et énergie potentielle

cas de la force de pesanteur

Travail de la force $F = -mg$ de h_A à h_B :

$$W_{A\rightarrow B} = \int_A^B -mg\,dz = -\,mg\,h_B + mg\,h_A = -\,[\,E_P(B) - E_P(A)\,] :$$

$$\boxed{W_{A\rightarrow B} = -\,\Delta E_P}$$



Dans le schéma :

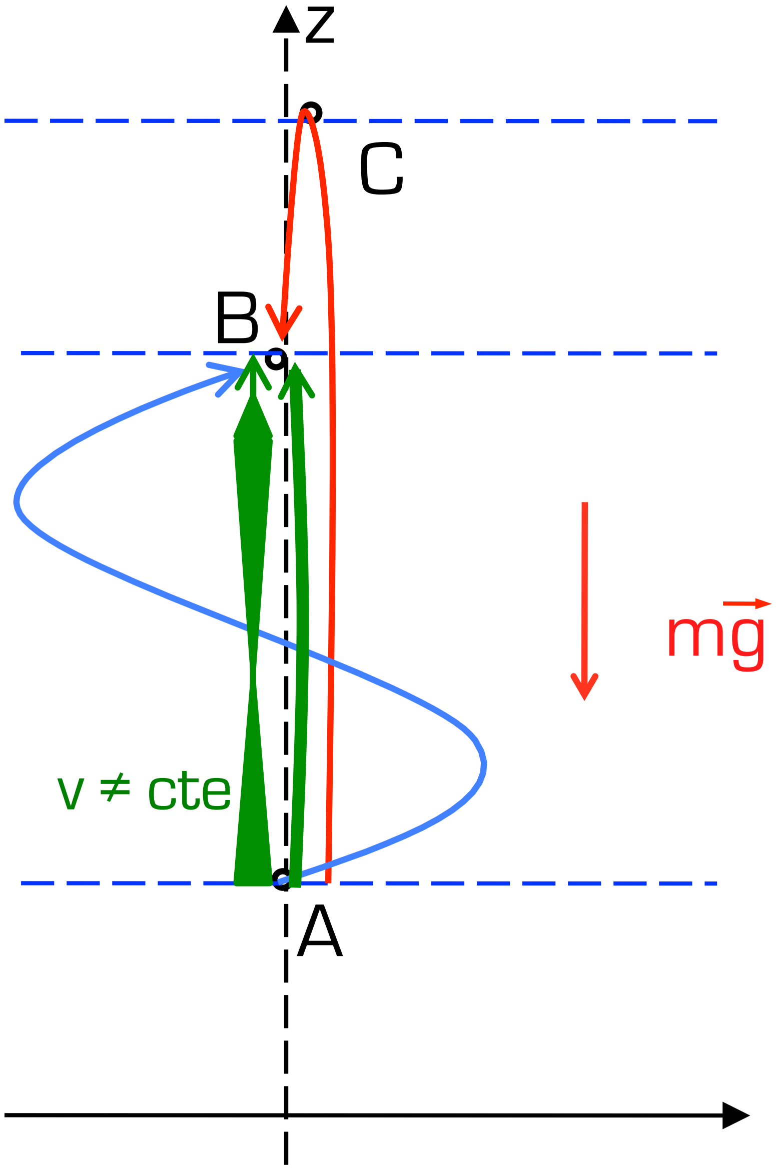
$E_P(A) > E_P(B)$

$W_{A\rightarrow B} > 0$

$$W_{moi,\,B\rightarrow A} = E_P(A) - E_P(B) = W_{pesanteur,\,A\rightarrow B}$$

Travail et énergie potentielle

cas de la force de pesanteur



v ≠ cte : F > mg puis F < mg,
en moyenne W est le même

A-B-C : W > 0 en plus, mais
après on retranche W < 0

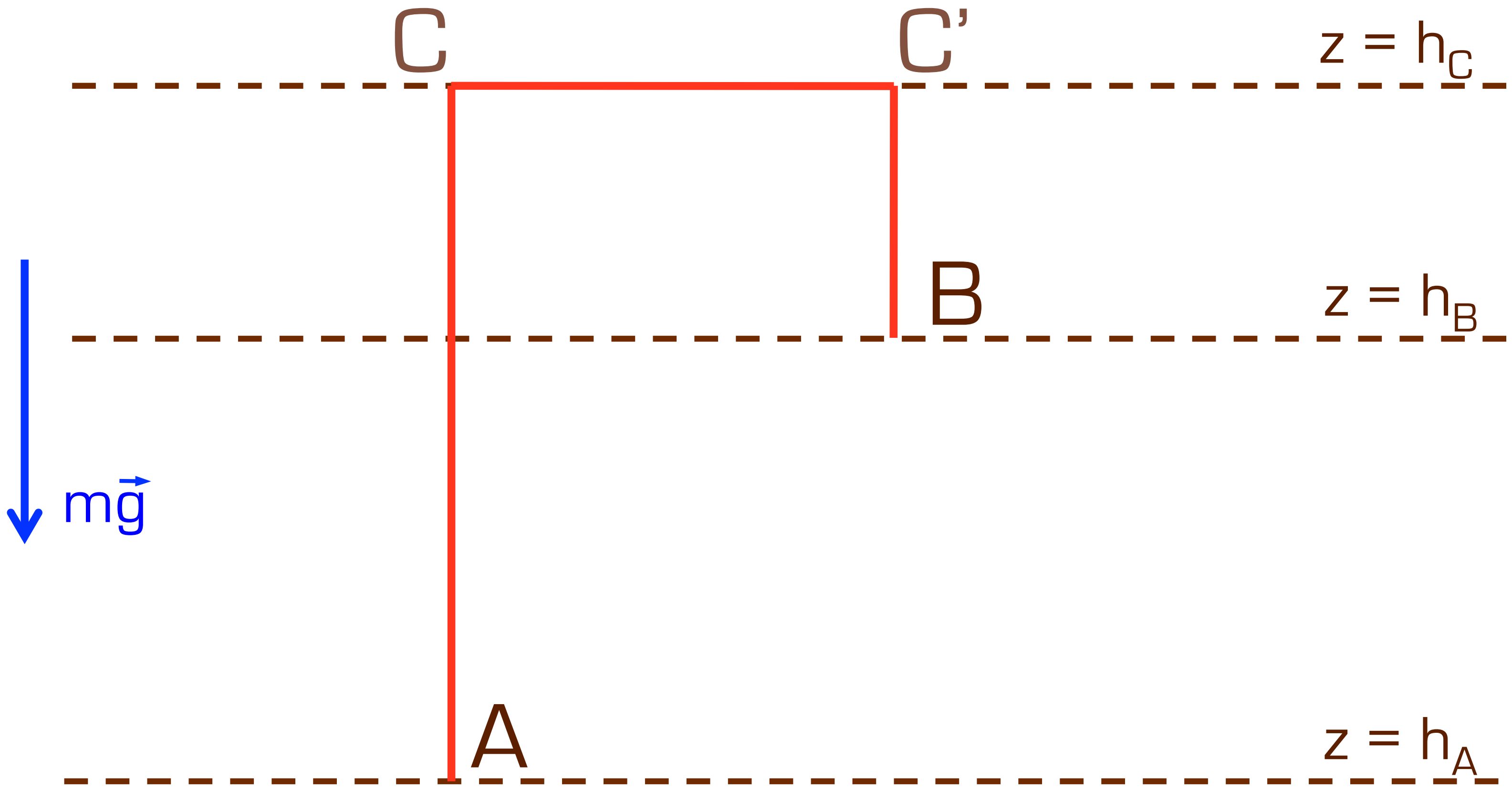
zig-zag : la force est verticale,
le déplacement horizontal ne
contribue pas à W

$$W_{A\rightarrow B} = -\Delta E_P = E_P(A) - E_P(B)$$

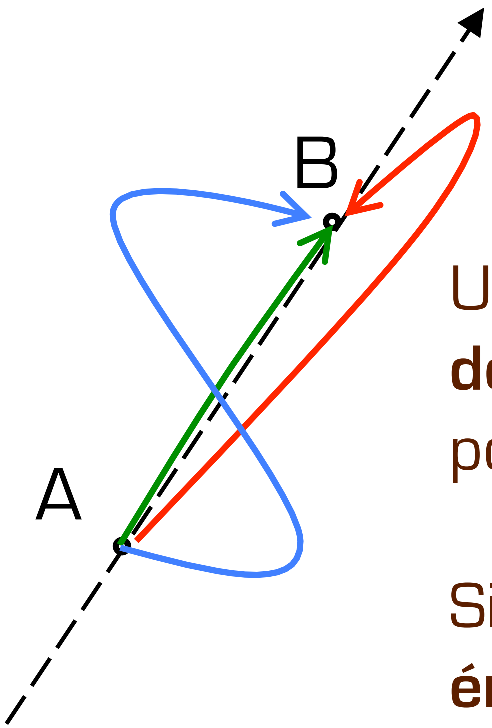
ne dépend pas du chemin suivi

Le travail

Exercice : calculer $W_{A \to B}$ (force de l'operateur)



Forces conservatives et forces dissipatives



Une force est dite conservative **si son travail ne dépend pas du chemin suivi**, mais uniquement des positions initiale et finale.

Si une force est conservative, **il existe une fonction énergie potentielle E_P** telle que

$$W_{A \to B} = - \Delta E_P = - [E_P(B) - E_P(A)]$$

Les forces **non** conservative sont dites dissipatives.

Forces conservatives

Sont des forces conservatives :

Pesanteur :	$F_z = - mg$,	$E_P^{pesanteur} = mgz \quad + cte$
Gravité :	$F_r = - GmM/r^2$,	$E_P^{gravitationelle} = - GmM/r \quad + cte$
Elasticité :	$F_x = - k\,x$,	$E_P^{elastique} = \frac{1}{2}\,k\,x^2 \quad + cte$
Electrostat. :	$F_r = KqQ/r^2$,	$E_P^{électrost.} = K\,qQ/r \quad + cte$

sont des forces dissipatives : tous les types de frottement.

Relation entre F(x) et E_P(x)

$$E_P(x) - E_P(0) \;=\; -W_{0\rightarrow x} \;=\; -\int_0^x F(x')\,dx'$$

$$\Rightarrow \qquad F(x) = -\frac{dE_P(x)}{dx}$$

L'énergie potentielle est – la primitive de la force,

la force est – la dérivée de l'énergie potentielle

$\Downarrow$

- E_P croissante *avec x*, sa dérivée > 0, F < 0 ;
- E_P décroissante *avec x*, sa dérivée < 0, F > 0 ;
- E_P passe par un extremum (min ou max), F = 0.

Du travail à l'énergie cinétique

théorème de l'énergie cinétique (§ 4.3.1)

Dans un référentiel inertiel, la variation de l'énergie cinétique d'un système le long de sa trajectoire allant du point A au point B est égale au travail de la résultante des forces extérieures :

$$\Delta E_{c\ A\rightarrow B} = E_c(B) - E_c(A) = W_{A\rightarrow B}\ (F)$$

Puissance instantanée de la force F (voir § 4.3.1) :

$dW/dt = \vec{F}(t) \bullet \vec{v}(t) = P(t)$ $(J\ s^{-1} = \text{watts } W)$

Théorème de l'énergie cinétique version instantanée :

$$\vec{F} \bullet \vec{v} = dE_c/dt$$

Conservation de l'énergie mécanique (§ 4.3.3)

généralisation à toute force conservative

Énergie cinétique (v = vitesse) :

$$E_c = ½\ m\ v^2 \qquad\qquad [E_c] = ML^2T^{-2}$$

Énergie potentielle *(forces conservatives)* :

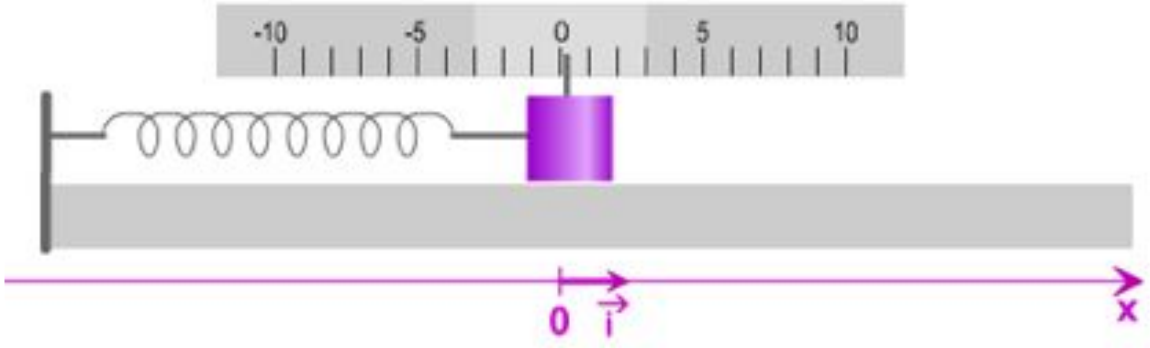
$$E_P(x) = -\ W_{0 \to x} \qquad\qquad [E_P] = ML^2T^{-2}$$

Énergie mécanique : $E_m = E_c + E_p$

Conservation de l'énergie mécanique :
Dans un référentiel galiléen, l'énergie mécanique d'un système *conservatif* est constante

Exemple 1

Ressort horizontal sans frottement



animation 1

animation 2

(depuis le site « Figures animées pour la physique »)

Exemple 2

Orbite planétaire

animation

(depuis le site « Figures animées pour la physique »)