# Énergie potentielle, énergie mécanique

Un arc tendu peut lancer des flèches grâce à une énergie en ‘’réserve’’. Le mot potentiel vient du latin potens qui signifie **‘’qui peut’’**. L’ énergie potentielle tient son nom de la possibilité, de la potentialité, qu’ à un système de fournir de l’ énergie lorsqu’ il possède une énergie potentielle.

## I.Énergie potentielle

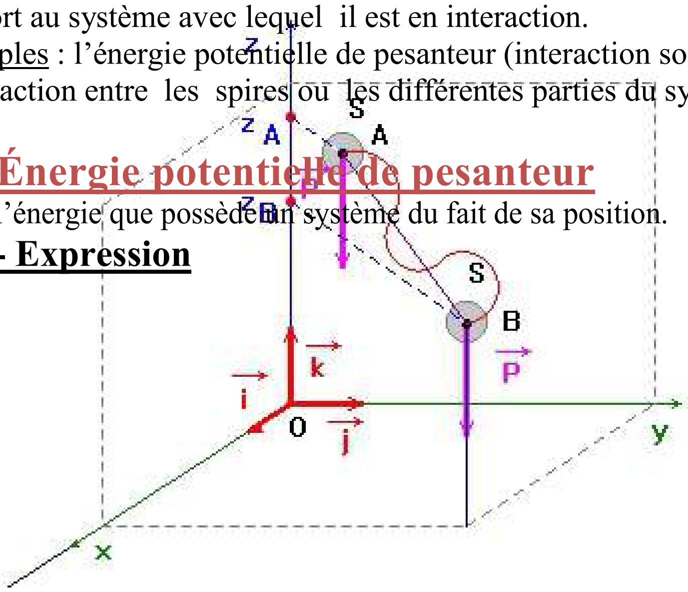
C’est la forme d’énergie que possède un système du fait de sa position ou de sa déformation par rapport au système avec lequel il est en interaction.

Exemples : l’énergie potentielle de pesanteur (interaction solide-Terre) et l’énergie potentielle élastique (interaction entre les spires ou les différentes parties du système).

### I.1- Énergie potentielle de pesanteur

C’est l’énergie que possède un système du fait de sa position.

#### I.1.1- Expression




Le travail du poids ne dépend pas du chemin suivi pour aller de A vers B. Avec un axe oz orienté vers le haut, on écrit :

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

La relation du travail peut s'écrire alors:

$$W_{AB}(\vec{P}) = Ep_A - Ep_B$$

en posant : $Ep_A = mgz_A$ et $Ep_B = mgz_B$

L’énergie potentielle de pesanteur en un point d’ altitude z n’est connue qu’à une constante additive près d’où son expression :

$$\boxed{Ep = mgz + cte}$$

Il faut donc choisir un **état de référence** pour la détermination de la valeur de l’énergie potentielle.

**L’état de référence est l’état du système pour lequel son énergie potentielle est nulle : cet tétat est choisi arbitrairement.**

**A la référence : $z = z_{ref}$ et $Ep(z_{ref}) = 0$**

$0 = mgz_{ref} + cte \Longrightarrow cte = -mgz_{ref}$

$$\boxed{Ep(z) = mg(z - z_{ref})}$$

En prenant comme altitude de référence l'origine des espaces,
l 'énergie potentielle en un point **M** de l'espace est donnée par la relation : $\boxed{Ep = mgz}$

**Remarque :**

Il est incorrect de parler de l'énergie potentielle de la bille. Il est indispensable de parler de l'énergie potentielle de la bille en interaction avec la Terre. Certains auteurs parlent aussi de l'énergie potentielle du système solide-Terre.

**NB :** L'énergie potentielle d'un système peut être négative ou positive (grandeur algébrique) contrairement à l'énergie cinétique qui est toujours positive.

### I.1.2- Application

Un solide de masse m=5kg se trouve à une altitude z=10m du sol.
Calculer son énergie potentielle en prenant comme référence :

1. Le sol
2. L' altitude z=15 m
3. Le fond d' un puits de 8 m de profondeur.

On donne :g=10 N/kg

**Correction de l'application :**

Calcul de l'énergie potentielle du solide : $\boxed{Ep = mg\,(z - z\,ref)}$

1. Etat de référence : le sol
   zref = 0

   AN: Ep = 5 x 10 x 10 = 500J $\boxed{Ep = 500J}$
2. Etat de référence: l'altitude z = 15m
   Zref = 15m
   AN : Ep = 5 x 10 (10 – 15) = - 250J $\boxed{Ep = -250\ J}$
3. Etat de reference: fond du puits
   Zref = - 8m
   AN : Ep = 5 x 10 ((10 –(-8)) = 900J $\boxed{Ep = 900\ J}$

### I.1.3- Variation de l'énergie potentielle de pesanteur

Considérons un corps de masse m en chute libre.
Evaluons la variation de l énergie potentielle.

$$\Delta Ep = (mgz_2 + C) - (mgz_1 + C) = mg(z_2 - z_1) = -mg(z_1 - z_2) = -W_{1 \to 2}(\vec{P})$$

$$\Delta Ep = -W_{1 \to 2}(\vec{P})$$

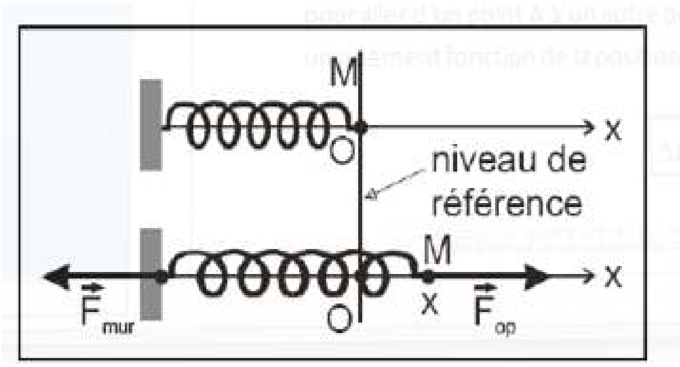
Une force $F$ est qualifiée de conservative si son travail ne dépend pas de la trajectoire empruntée pour aller d' un point A à un autre point B. on peut alors définir une énergie potentielle Ep uniquement fonction de la position et telle que:

$$\boxed{\Delta Ep = Ep(B) - Ep(A) = -W_{A \to B}(\vec{F})}$$

## I.2-Energie potentielle élastique

C'est l'énergie que possède un système élastique du fait de sa déformation

### I.2.1- cas d'un ressort




L'énergie potentielle élastique d'un ressort de raideur k, tendu ou comprimé d'une longueur x (repérée à partir du niveau de référence lequel correspond à son état libre) vaut:

$$\boxed{\mathbf{Ep = \frac{1}{2}Kx^2}}$$

### I.2.2- <u>cas d'un pendule de torsion</u>

L' énergie potentielle élastique d' un couple de torsion de constante de torsion C, tordu d' un angle α (repérée à partir du niveau de référence lequel correspond à son état d' équilibre α=0) vaut:

$$\boxed{\mathbf{Ep = \frac{1}{2}C\alpha^2}}$$

# II.<u>Énergie mécanique</u>

Les deux grandes familles qui composent l'énergie mécanique sont l'énergie cinétique et l'énergie potentielle. L'énergie cinétique d'un corps est liée à la vitesse de son déplacement. L'énergie potentielle dépend de la position d'un corps par rapport à sa position la plus stable. La vitesse d'un objet, ou sa positon, est naturellement repérée par les coordonnées de l'objet, elles mêmes sont définies par rapport à un référentiel précis.

## II.1- <u>Définition</u>

Considérons un solide soumis à la force totale **:** $\vec{F} = \vec{F}c + \vec{F}nc$ où:

- $\vec{F}c$ est la résultante des forces conservatives décrivant l' énergie potentielle totale Ep.

-$\vec{F}nc$ représente les forces non conservatives auxquelles on ne peut associer d' énergie potentielle (frottements…)

D' après le théorème de l' énergie cinétique, on a alors:

$$W_{AB}(\vec{F}) = W_{AB}(\vec{F_c}) + W_{AB}(\vec{F_{nc}}) = Ec(B) - Ec(A) \text{ avec } W_{AB}(\vec{F_c}) = Ep(A) - Ep(B)$$

$$\Rightarrow [Ec(B) + Ep(B)] - [Ec(A) + Ep(A)] = W_{AB}(\vec{F_{nc}})$$

Il apparait ainsi une nouvelle quantité $Ec + Ep$ à laquelle on donne le nom **d'énergie mécanique E**.

L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle (toutes formes d' énergie potentielle).

$\boxed{E = Ec + Ep}$

## II.2-Conservation de l'énergie mécanique

Un système non dissipatif est un système qui fait intervenir des forces conservatives (non dissipatives).
D' après le théorème de l' énergie mécanique on a :

$W_{AB}(\vec{F}nc) = 0$ d' où:

$$\boxed{\Delta E = Em(B) - Em(A) = 0} \Rightarrow E = cte$$

En absence de force dissipatives (force de frottement par exemple), un système vérifie le principe de conservation de l' énergie mécanique

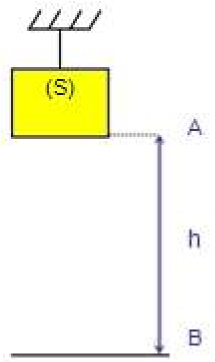
## II.3- Non conservation de l'énergie mécanique

Toutes les forces non conservatives sont appelées forces dissipatives. Le travail de ces forces esttoujours négatif et dépend du chemin suivi.
Ces forces dans un système conduisent à des pertes d' énergie du système irréversibles: l' énergie mécanique ne se conserve pas.

$$\boxed{\Delta E = Em(B) - Em(A) = \sum W\left(\vec{F}_{dissipatives}\right)}$$

## II.4- Applications

**Exemple 1** :
Une charge immobile (S) de masse m est suspendue à une hauteur h du sol.




La charge en A, en équilibre à une hauteur h, possède

- Une énergie potentielle : $Ep_A = mgh$
- Une énergie cinétique nulle (vitesse est nulle) : $Ec_A = 0$ J
- Une énergie totale : $E_A = Ep_A + Ec_A = mgh$

La charge en B, au niveau du sol, possède :

- Une énergie potentielle nulle (hauteur nulle): $Ep_B = 0$ J
- Une énergie cinétique : $Ec_B = ½.mV_B^2$

- Une énergie totale : $\mathbf{E_B = Ep_B + Ec_B = ½.mV_B^2}$

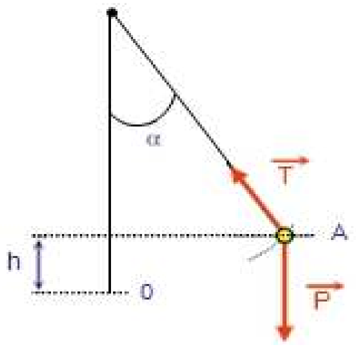
L'énergie mécanique du système reste constante si l'on néglige toutes les forces autres que le poids, nous pouvons donc écrire

$\mathbf{E_A = E_B = mgh = ½.mV_B^2}$

**Exemple 2:**

Un pendule est constitué d'une bille de masse m fixée à l'extrémité d'un fil de masse négligeable et de longueur l. La bille est écartée de sa position d'équilibre, le fil fait un angle α avec la verticale, il est alors lâché sans vitesse initiale.

Les seules forces retenues dans l'étude de ce pendule sont le poids et la tension du fil. A chaque instant, les déplacements de la bille sont perpendiculaires à la droite d'action de la force de tension du fil.




Si l'on considère que l'énergie potentielle est comptée à partir du point 0, c'est-à-dire la position la plus stable de la bille.

La bille en A, en équilibre, possède :

- Une énergie potentielle : $\mathbf{Ep_A = mgh}$
- Une énergie cinétique nulle (vitesse est nulle) : $\mathbf{Ec_A = 0\ J}$
- Une énergie totale : $\mathbf{E_A = Ep_A + Ec_A = mgh}$

La grandeur h peut s'exprimer en fonction de la longueur du fil par la relation : $\mathbf{h = l.(1-\cos\alpha)}$

Donc $\mathbf{E_A = mgl(1 - \cos\alpha)}$

La charge en 0, passage du fil par la verticale, possède

- Une énergie potentielle nulle (hauteur nulle) : $\mathbf{Ep_0 = 0\ J}$
- Une énergie cinétique : $\mathbf{Ec_0 = ½.mV_0^2}$
- Une énergie totale : $\mathbf{E_0 = Ep_0 + Ec_0 = ½.mV_0^2}$

L'énergie mécanique du système reste constante si l'on néglige toutes les forces autres que le poids et la tension du fil.

Le travail de la tension du fil est nul car cette force est perpendiculaire aux déplacements de la bille, nous pouvons donc écrire : $\mathbf{E_A = E_0 = mgl(1 - \cos\alpha) = ½.mV_0^2}$

# EVALUATION

**Exercice 1 : Répondre par vrai ou faux tout en commentant ces affirmations.**

1- Dans un champ de pesanteur uniforme de vecteur $\vec{g}$, l'énergie potentielle de pesanteur ne dépend que de l'altitude Z et de la norme g
2- Si on choisit l'énergie potentielle d'un système Terre-corps nulle à l'infini, l'énergie potentielle de pesanteur est toujours négative.
3- L'énergie cinétique d'un corps ne varie que si l'énergie potentielle varie.
4- L'énergie mécanique d'un système varie lorsqu'il reçoit du travail de l'extérieur.
5- Les forces de frottements sont des forces conservatives

**<u>Solution 1 :</u> Répondre par vrai ou faux tout en commentant ces affirmations.**

1- Faux ; l'énergie potentielle de pesanteur dépend aussi de la masse et de l'état de référence arbitrairement choisi
2- Vrai
3- Faux ; la variation de l'énergie cinétique peut être due au travail des forces de frottement ou à celui d'une force extérieure alors que l'énergie potentielle ne varie pas.
4- Vrai.
5- Faux ; le travail dépend du chemin suivi.

**<u>Exercicice 2 :</u> Lancée verticale**

Une bille de masse m = 200 g est lancée d'une hauteur ho=1,5m verticalement vers le haut, avec une vitesse initiale vo = 5 m.s$^{-1}$.

1- Calculer l'énergie potentielle Epo de la bille au départ du lancer.
2- A quelle altitude sa vitesse est- elle la moitié de sa vitesse initiale ?

**<u>Solution 2 :</u> Lancée verticale**

1- Calcul de l'énergie potentielle de la bille au départ du lancer
   **Epo = mgho**
   AN : Epo = 0,200 x 10 x 1,5 = 3J
2- Système: terre-bille
   BFA: le poids de la bille
   Conservation de l'énergie mécanique :
   $Em_o = Em_1$
   $m\, gh_o + 1/2mv_o^2 = mgh_1 + 1/2mv_1^2$
   $\mathbf{h_1 = h_o + 1/2v_o^2 - 1/2v_1^2}$
   AN : $h_1 = 1,5 + 0,5 \times 25 - 0,5 \times 6,25 = 10,9$m

**<u>Exercice 3:</u>**

Un ressort à spires non jointives de longueur à vide lo peut travailler le long d'un axe horizontal. Au repos l'une de ses extrémités est fixe, l'autre extrémité coïncide avec l'origine O de cet axe. Ce ressort s'allonge de 2cm sous l'effet d'une traction de 100 N.

**1-** Déterminer l'énergie potentielle élastique de ce ressort lorsque sa longueur est lo +x
**2-** A l'extrémité du ressort, on fixe un solide de masse m = 500g. On comprime le ressort jusqu'à ce que l'extrémité coïncide avec x = xo = - 10 cm, puis on l'abandonne sans vitesse. On suppose qu le guidage se fait sans frottement et que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle.
   Calculer l'énergie mécanique totale du système

**<u>Solution 3 :</u>**

**1-** **E**pe = ½ Kx$^2$ (état de référence l'origine O de l'axe)
   Or T = F = Kx ; K = F/x
   **D'où Epe = ½ Fx**
   AN : Epe = ½ x 100 x 0,02 = 1 J
2- Calcul de l'énergie mécanique totale
   Em = Ec + Ep avec Ec = 0 à x = - 10 cm
   **Em = Ep = ½ Kx$^2$**
   AN : Em = ½ x 5000 x 0,01$^2$ = 0,25 J

**<u>Exercice 4 :</u> Dégradation de l'énergie mécanique**

Une piste horizontale AB don la longueur est L = 1,5 m, se termine par une portion circulaire BC, de centre O, de rayon R = 2 m et d'angle au centre $\alpha$= 50°.
On lance un petit objet S, de masse m = 100 g ; sa vitesse, lorsqu'il passe au point A est $v_A$=5m/s.

1- Calculer la longueur totale de la piste (ABC).
2- Déterminer les caractéristiques du vecteur vitesse de l'objet lorsqu'il arrive au point C dans l'hypothèse où l'on néglige tous les frottements.
3- En fait, on mesure la vitesse réelle $v_C$ = 2,8 m/s. Monter qu'il existe des frottements et déterminer la quantité d'énergie mécanique dégradée par les frottements.
Que devient cette énergie dégradée ?


**<u>Solution 4 :</u> Dégradation de l'énergie mécanique**

1- Calcul de la longueur totale de la piste
**AC = AB + BC = L + Rα**
AN : AC = 1,5 + 2 x 0, 87 = 3, 24 m
2- Les caractéristiques du vecteur vitesse au point C
Système : Terre-objet
BFA : le poids de l'objet
Conservation de l'énergie mécanique
$Em_A = Em_C$
Etat de référence pour Ep, : piste horizontale
$Ec_A + Ep_A = Ec_C + Ep_C$
$\frac{1}{2} mV_A^2 + 0 = \frac{1}{2} mV_C^2 + mgR(1 - \cos\alpha)$
**Vc =** $\sqrt{VA2 - 2mgR(1 - cos\alpha)}$ **= 4 ,8 m/s**

- Point d'application: le point C
- Droite d'action: la tangent en C
- Sens vers le haut
- Norme : Vc = 4,8m/s

3- Il existe des forces de frottement car en réalité la vitesse au point C n'atteint pas 4,8m/s (Vc = 2,8 m/s)
Détermination de l'énergie dégradée
$\Delta Em = Em_C - Em_A$
$\mathbf{\Delta Em = = \frac{1}{2} mV_C^2 + mgR(1 - \cos\alpha) - \frac{1}{2} mV_A^2}$
AN: $\Delta Em = 0{,}5 x 0{,}1 x 2{,}8^2 + 0{,}1 x 10 x 2(1-\cos 50) - 0{,}5 x 0{,}1 x 5^2$
**ΔEm = - 6,38J**

Elle devient de la chaleur