

## Thème 2 : Mouvements et interactions

### Partie 2. Relier les forces appliquées à un système à son mouvement

#### CHAP 13B-POLY Mouvement dans un champ uniforme-Aspects énergétiques

##### 0. RAPPELS DE 1SPC

[Cf cours « 1SPC-chap-05-Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques »](#)

##### 1. TRAVAIL D'UNE FORCE CONSTANTE

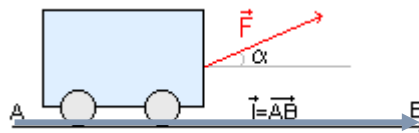
###### 1.1. Définition

Le **travail d'une force** est ..... par cette force lorsque son point d'application se ..... (l'objet subissant la force se déplace ou se déforme).

Le travail est exprimé en ....., et est souvent noté ....., initiale du mot allemand **Werk** qui signifie travail.

###### 1.2 Travail d'une force constante sur un déplacement rectiligne

Soit un chariot se déplaçant sur un trajet rectiligne **AB** sous l'action d'une force  $\vec{F}$ .



Les effets de la force  $\vec{F}$  dépendent de:

- .....
- .....
- .....

On appelle travail d'une force constante  $\vec{F}$ , lors d'un déplacement rectiligne de son point d'application, le ..... de la force  $\vec{F}$  par le déplacement  $\vec{AB}$ . On le note .....

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) =$$

$W_{AB}(\vec{F})$  : Travail de la force  $\vec{F}$  en joules (J).

$\vec{AB}$  : Déplacement du point d'application de la force en mètres (m).

$\alpha$  : Angle existant entre les vecteurs  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$

##### Remarque

Une force ne travaille pas si

- Son point d'application ne se déplace pas (.....).
- Sa direction est perpendiculaire au déplacement (.....).

$\alpha = 0^\circ$ $\cos \alpha = 1$		$W_{AB}(\vec{F}) = \dots$ $W_{AB}(\vec{F}) = \dots$	La force est parallèle à la trajectoire rectiligne et elle est dans le sens du mouvement. Le travail est positif; il est dit $\dots$
$\alpha = 90^\circ$ $\cos \alpha = 0$		$W_{AB}(\vec{F}) = \dots$	La force ne travaille pas quand son point d'application se déplace dans une direction perpendiculaire à celle de la force.
$\alpha = 180^\circ$ $\cos \alpha = -1$		$W_{AB}(\vec{F}) = \dots$ $W_{AB}(\vec{F}) = \dots$	La force est parallèle à la trajectoire rectiligne et elle est opposée au sens du mouvement. Le travail est négatif; il est dit $\dots$

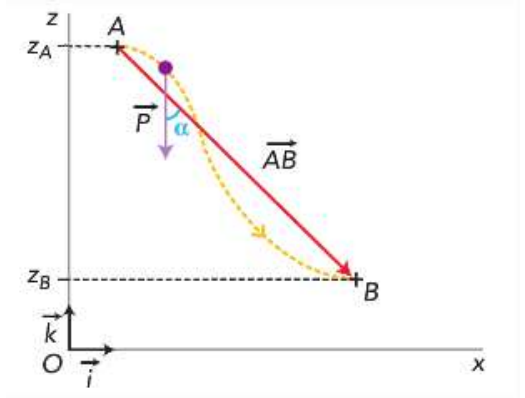
### 1.3. Travail du poids

Soit un solide  $S$  de poids  $\vec{P}$  se déplaçant d'un point  $A$  d'altitude  $z_A$  vers un point  $B$  d'altitude  $z_B$ .

- Etablir que le travail du poids du solide  $S$  s'écrit:

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = m \cdot g(z_A - z_B)$$

$W$  : le travail en Joules  $J$   
 $h = (z_A - z_B)$  : l'altitude en mètres  $m$   
 $m$  : la masse de l'objet en  $kg$   
 $g$  : la constante de pesanteur en  $N \cdot kg^{-1}$



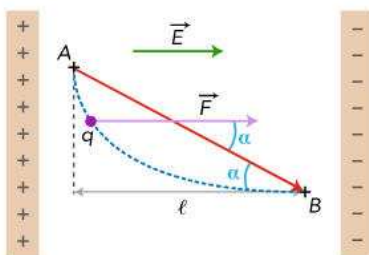
Si  $h$  est  $\dots$  c'est à dire si l'objet perd de l'altitude  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$  est  $\dots$ , le travail est  $\dots$

Si  $h$  est  $\dots$  c'est à dire si l'objet gagne de l'altitude  $W_{A \rightarrow B}(\vec{P})$  est  $\dots$ , le travail est  $\dots$

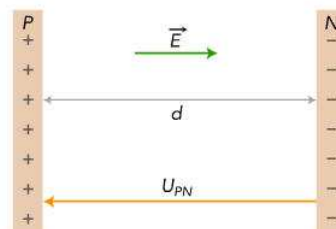
Dans le champ de pesanteur uniforme, le travail du poids ne dépend que des positions de départ et d'arrivée. **Le poids est une force  $\dots$**

### 1.4. Travail d'une force électrostatique

Dans un champ électrostatique uniforme  $\vec{E}$ , la force électrostatique  $\vec{F} = \dots$  qui s'exerce sur une particule de charge  $q$  assimilée à un point matériel est  $\dots$  (doc. 4).



**Doc. 4** Force électrostatique  $\vec{F}$  constante qui s'exerce sur une particule de charge positive  $q$  se déplaçant de  $A$  à  $B$ .



**Doc. 5** Champ électrostatique entre deux armatures planes.  $U_{PN} = E \cdot d$ .

- Etablir que lorsque la particule se déplace d'un point A à un point B, le travail de la force électrostatique est donné par la relation :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \cdot U_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

$U_{AB}$  ; tension entre le point de départ et l'arrivée (en volts)  
 / distance entre le point de départ et l'arrivée (en mètres)  
**Rq :**  $U_{AB} = V_A - V_B$  (avec  $V_A$  le potentiel au point A et  $V_B$  le potentiel au point B en volts)

Dans un champ électrostatique uniforme, le travail de la force électrostatique à laquelle est soumise une particule ne dépend que des positions de son point de départ et de son point d'arrivée.

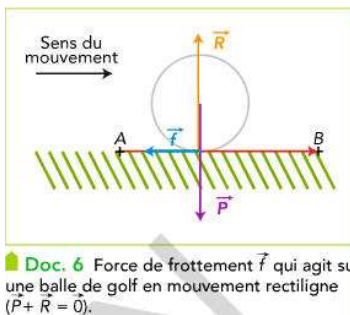
La force électrostatique est une force .....

**1.5. Travail des forces de frottements**

On se limite à l'étude d'un mouvement ..... au cours duquel l'intensité de la force de frottement reste .....

**a) Les forces de frottements**

**Exemple :**



- **Point d'application :** .....
- **Sa direction :** .....
- **Son sens :** .....
- **Sa valeur :** .....

**b) Travail de la force de frottement**

Une balle de golf est soumise à une force de frottement  $\vec{f}$  dont le point d'application se déplace de A à B (doc. 6).

- Etablir que lors d'un mouvement rectiligne de longueur AB, le travail d'une force de frottement  $\vec{f}$  d'intensité constante est donné par la relation :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{f}) = -f \cdot AB$$

Rq :

-On dit que ce travail est ....., car il est toujours négatif .

-le travail des forces de frottements dépend de la longueur du chemin parcouru et pas seulement des positions de départ et d'arrivée. Les forces de frottements sont .....

## 2. ENERGIE

### 2.1 Energie cinétique

C'est l'énergie que possède un système du fait de sa vitesse.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$E_c$  : Energie cinétique en joules (J)  
 $m$  : masse en kg  
 $v$  : vitesse en  $m \cdot s^{-1}$

### 2.2 Energie potentielle

#### a) Energie potentielle de pesanteur

C'est l'énergie que possède un système du fait de son altitude.

Soit un objet qui se trouve à l'altitude  $z$  :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z$$

$E_{pp}$  : l'énergie potentielle de pesanteur en joules J  
 $m$  : masse de l'objet en kg  
 $g$  : la constante de pesanteur en  $N \cdot kg^{-1}$   
 $z$  : altitude en mètres m

#### b) Energie potentielle électrique

L'énergie potentielle électrique d'une particule de charge  $q$  en un point de potentiel  $V$  est égale à :

$$E_{pé} = q \cdot V$$

$E_{pé}$  : l'énergie potentielle électrique en joules J  
 $q$  : charge de la particule (coulombs : C)  
 $V$  : potentiel de la particule en un endroit donné (volt : V)

### 2.3 Energie mécanique

L'énergie mécanique  $E_m$  d'un système est la somme de l'énergie cinétique  $E_c$

et de l'énergie potentielle  $E_p$ :

$$E_m = E_c + E_p$$

$E_p$  : l'énergie potentielle en Joules J  
 $E_c$  : Energie cinétique en joules (J)  
 $E_m$  : L'énergie mécanique en joules (J)

## 3. TRANSFERTS ENERGETIQUES

### 3.1 conservation de l'énergie mécanique

- Lorsqu'un système est soumis à des forces ..... (pas de frottements) son énergie mécanique ..... :  $E_m = cste$
- La variation d'énergie mécanique  $\Delta E_m$  au cours du mouvement est donc .....

L'énergie mécanique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est constante :

$$E_m(B) = E_m(A) \Leftrightarrow E_c(B) + E_p(B) = E_c(A) + E_p(A)$$

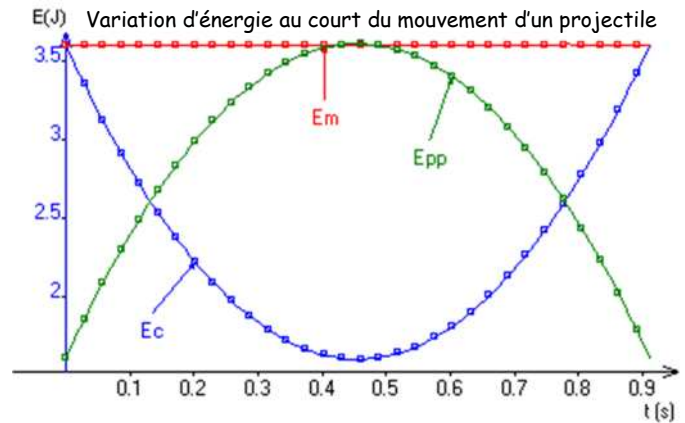
La variation d'énergie mécanique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0$$

$$\Delta E_m = [E_c(B) + E_p(B)] - [E_c(A) + E_p(A)]$$

$$\Delta E_m = [E_c(B) - E_c(A)] + [E_p(B) - E_p(A)]$$

$$\Delta E_m = 0 \Leftrightarrow \Delta E_c + \Delta E_p = 0$$



Lorsqu'il y a conservation de l'énergie mécanique, il y a transfert **total** de l'énergie potentielle en énergie cinétique et inversement.

### 3.2 variation d'énergie potentielle

Exemples:  $\Delta E_{pp} = \dots\dots\dots$   
 $\Delta E_{pe} = \dots\dots\dots$

Généralisation :

La variation d'énergie potentielle d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale ..... de la **somme** des travaux effectués par les forces conservatives de  $\vec{F}$  qui s'exercent sur ce système :

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

### 3.3 variation d'énergie cinétique

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \frac{1}{2}.m.v_B^2 - \frac{1}{2}.m.v_A^2$$

Lorsqu'il y a conservation de l'énergie mécanique :  $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = 0$

Alors  $\Delta E_c = - \Delta E_p = \sum W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$

### **THEOREME de l'ENERGIE CINETIQUE**

### 3.4 Non conservation de l'énergie mécanique

- Lorsqu'un système est soumis à des forces ..... conservatives (.....), son énergie mécanique ..... ; sa variation est égale au .....
- Lorsqu'il y a non-conservation de l'énergie mécanique, il y a transfert ..... de l'énergie potentielle en énergie cinétique ou inversement.

La variation d'énergie mécanique  $\Delta E_m$  au cours du mouvement est donc :  

$$\Delta E_m = W(\vec{f})$$
 où  $\vec{f}$  est la résultante des forces non conservatives (frottements).

#### 4. APPLICATION : PRINCIPE D'UN ACCELERATEUR LINEAIRE DE PARTICULES CHARGES

Les accélérateurs linéaires de particules sont constitués d'un ou plusieurs condensateurs plans associés en série. Ils sont principalement utilisés en recherche, en imagerie ou à des fins thérapeutiques.

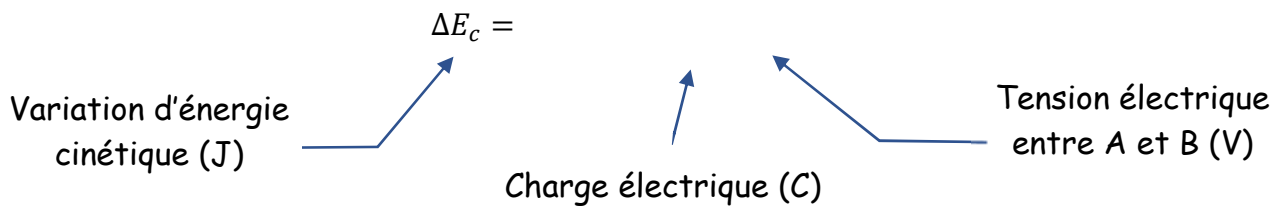
##### 1) Travail de la force électrique

Dans un condensateur plan, le travail de la force électrique  $\vec{F}_e$  :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) =$$

##### 2) Conservation de l'énergie

La force électrique étant une force conservative, on peut appliquer le **théorème de l'énergie cinétique** :



##### 3) Principe de l'accélérateur linéaire de particule

**Le travail de la force électrique  $\vec{F}_e$  fait varier l'énergie cinétique de la particule. Le travail étant moteur, l'énergie cinétique du système augmente. La particule est accélérée.**

**Exemple :** dans un canon à électron (fig. 8), des électrons sont produits sans vitesse initiale en O puis accélérés dans un condensateur plan. La tension aux bornes du condensateur plan  $U_{AB} = -5,0$  kV

Etablir que  $W_{AB}(\vec{F}_e) = q \times U_{AB}$

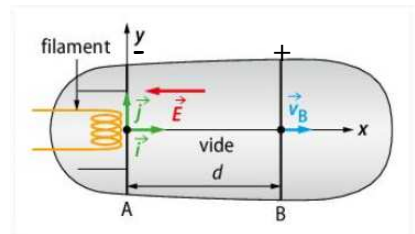
Donner la relation entre  $\Delta E_c$  et  $W_{AB}(\vec{F}_e)$

A partir de l'expression de  $\Delta E_c$ , établir que  $v_B = \sqrt{\frac{2qU_{AB}}{m}}$  puis calculer sa valeur

Données pour un électron :  $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C et  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg

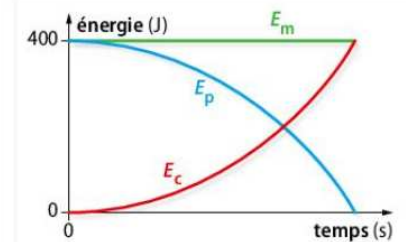
**Remarque :** En exploitant la conservation de l'énergie mécanique sous sa forme :  $E_m = E_c + E_{pe}$  (cf. fig.9)

Retrouver les résultats précédents.



**FIG. 8** Canon à électron constitué d'une source d'électron et d'un condensateur plan accélérant les électrons produits.

Dans ce condensateur plan,  $E = \frac{U_{BA}}{d}$



**FIG. 9** Conservation de l'énergie mécanique dans un champ uniforme.