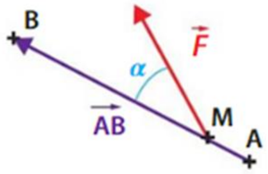
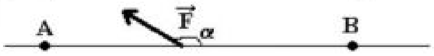
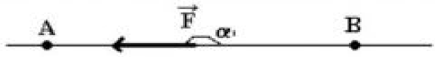
**LIVRE p 237-260 – TP associé : TP10**

## RAPPELS :

**Travail d'une force constante** :




Le travail d'une **force constante** lors du déplacement d'un système entre les points A et B est égal au produit scalaire du vecteur force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\overrightarrow{AB}$ soit :
$W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos(\alpha)$ avec $W_{AB}$ en J, F en N, AB en m

| | | |
|---|---|---|
| $\alpha = 0$ |  | $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB > 0$ |
| $0 < \alpha < 90°$ |  | $W_{AB}(\vec{F}) = F.AB.\cos\alpha > 0$ |
| $\alpha = 90°$ |  | $W_{AB}(\vec{F}) = 0$ |
| $90° < \alpha < 180°$ |  | $W_{AB}(\vec{F}) = F.AB.\cos\alpha < 0$ |
| $\alpha = 180°$ |  | $W_{AB}(\vec{F}) = -F.AB < 0$ |

**Energies :**

Un objet qui se déplace possède une **énergie cinétique** : $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$ (Ec en J, m en kg et v en m.s$^{-1}$)

Un objet, de par son altitude z, possède une **énergie potentielle de pesanteur** : $E_{pp} = m \times g \times z$ (Epp en J, m en kg, z en m)

**L'énergie mécanique** $E_m$ est alors définie par : $E_m = E_c + E_{pp}$ ($E_m$ en J)

**Théorème de l'énergie cinétique** :

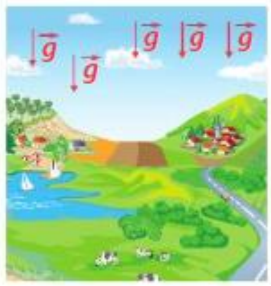
La variation d'énergie cinétique d'un objet qui se déplace d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux des forces appliquées pendant ce déplacement : $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F})$

**Conservation de l'énergie mécanique** :

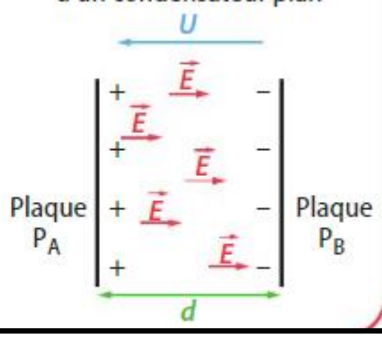
En l'absence de forces non conservatives (comme les forces de frottements), l'énergie mécanique d'un objet qui se déplace d'un point A à un point B se conserve : **Em(A) = Em(B)**.

**Champs et forces :**

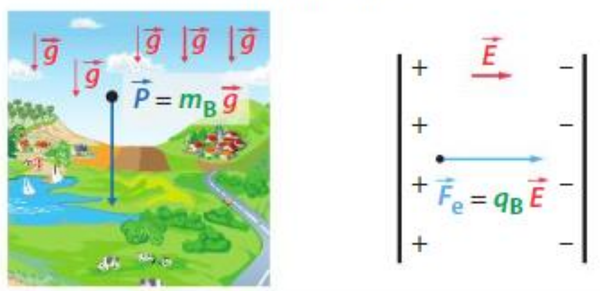
Champ de pesanteur terrestre




Champ électrique entre les armatures d'un condensateur plan




Dans une région de l'espace où règne un champ, tout objet B aux propriétés physiques appropriées y subit une force :



# I Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme, sans vitesse initiale

*Le champ de pesanteur terrestre est un champ vectoriel dirigé suivant la verticale du lieu, orienté vers le bas et de valeur $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$.*

*On considère un sac en chute libre, lâché d'une hauteur **h = 6,2 m** à la verticale de O, **sans vitesse initiale**. On étudie le mouvement du centre de masse G du sac, dans un référentiel terrestre associé à un plan (xOy) orienté par le repère $(O, \vec{i}\ \vec{j})$ avec O point d'impact du sac avec le sol et $\vec{j}$ vecteur unitaire vertical, vers le haut.*

► **Système :** sac (modélisé par son centre de masse G)

► **Référentiel :** terrestre considéré comme galiléen

► **Conditions initiales :** - **position** du système à $\boldsymbol{t = 0}$ : $\overrightarrow{OG}(0)\ \begin{cases} x(0) = 0 \\ y(0) = h \end{cases}$

- **vitesse** du système à $\boldsymbol{t = 0}$ : $\vec{v}(0) = \vec{0}$ soit $\vec{v}(0)\ \begin{cases} v_x(0) = 0 \\ v_y(0) = 0 \end{cases}$

► **Forces extérieures** : uniquement le **poids** (frottements négligés car chute libre)

► **Deuxième loi de Newton :** $\sum \vec{F}_{ext} = m \times \vec{a} = \vec{P}$ soit $m \times \vec{a} = m \times \vec{g}$ d'où : $\vec{a} = \vec{g}$

**Coordonnées du vecteur accélération :**

Le vecteur accélération est donc vertical vers le bas, et a pour coordonnées **:** $\vec{a}(t)\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$

**Coordonnées du vecteur vitesse :**

La primitive du vecteur accélération, en tenant compte des conditions initiales sur la vitesse, donne :

$$\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_x(0) = 0 \\ v_y(t) = -gt + v_y(0) = -gt \end{cases}$$

**Coordonnées du vecteur position :**

La primitive du vecteur vitesse, en tenant compte des conditions initiales sur la position, donne :

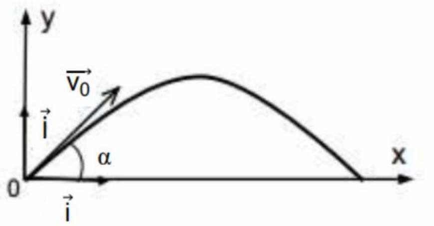
$$\overrightarrow{OG}(t)\begin{cases} x(t) = x(0) = 0 \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + y(0) = -\frac{1}{2}gt^2 + h \end{cases}$$

1) Au bout de combien de temps le sac touche-t-il le sol ? *(Utiliser y(t) pour une certaine valeur de y et calculer t)*

2) Existe-t-il un risque pour une personne se déplaçant vers le sac depuis une distance **d = 2,5 m** à la vitesse de **1,1 m.s⁻¹** ? *(Calculer le temps nécessaire pour que cette personne atteigne le point d'impact du sac au sol et comparer avec la valeur obtenue dans la question précédente)*

## II Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme, avec une vitesse initiale non nulle

*On étudie le mouvement du centre de gravité G d'une boule de pétanque de masse m, dans un référentiel terrestre, lancée depuis le point O (origine du repère choisi) dans le plan (xoy).*
*La boule est considérée* ***en chute libre****. Elle est lancée avec un vecteur vitesse initiale* $\overrightarrow{V_0}$ *faisant un angle* $\alpha$ *avec l'horizontale. Cet angle est l'angle de tir.*




### A) Etablir les coordonnées du vecteur position

► **Système :** boule de pétanque de masse m (modélisée par son centre de masse G)

► **Référentiel :** terrestre donc galiléen

► **Conditions initiales :** - position du système à $\boldsymbol{t=0}$ **:** $\overrightarrow{OG}(0)\begin{cases}\boldsymbol{x(0)=0}\\ \boldsymbol{y(0)=0}\end{cases}$

- vitesse du système à $\boldsymbol{t=0}$ **:** $\vec{v}(0)=\vec{v}_0\begin{cases}\boldsymbol{v_x(0)=v_{ox}=v_o\cos\alpha}\\ \boldsymbol{v_y(0)=v_{oy}=v_o\sin\alpha}\end{cases}$

► **Forces extérieures** : uniquement le **poids** (frottements négligés car chute libre)

► **Deuxième loi de Newton :** $\sum\vec{F}_{ext}=m\times\vec{a}=\vec{P}$ soit $m\times\vec{a}=m\times\vec{g}$ d'où : $\boldsymbol{\vec{a}=\vec{g}}$

**Coordonnées du vecteur accélération :**

Le vecteur accélération est donc vertical vers le bas, et a pour coordonnées : $\boldsymbol{\vec{a}(t)}\begin{cases}\boldsymbol{a_x=0}\\ \boldsymbol{a_y=-g}\end{cases}$

**Coordonnées du vecteur vitesse :**

La primitive du vecteur accélération donne : $\vec{v}(t)\begin{cases}\boldsymbol{v_x(t)=v_x(0)=v_o\cos\alpha}\\ \boldsymbol{v_y(t)=-gt+v_y(0)=-gt+v_o\sin\alpha}\end{cases}$

**Coordonnées du vecteur position :**

La primitive du vecteur vitesse donne : $\boldsymbol{\overrightarrow{OG}(t)}\begin{cases}\boldsymbol{x(t)=(v_o\cos\alpha)\times t+x(0)}\\ \boldsymbol{y(t)=-\frac{1}{2}gt^2+(v_o\sin\alpha)\times t+y(0)}\end{cases}$

### B) Etablir l'équation de la trajectoire

**La trajectoire du centre d'inertie du système est donnée par la courbe d'équation $\mathbf{y=f(x)}$.**

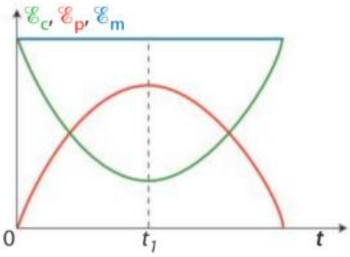
$x(t)=(v_o\cos\alpha)\times t$ donc $t=\frac{x}{v_o\cos\alpha}$.

On remplace $t$ par cette expression dans l'équation $y(t)$ :

$$y(x)=-\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_o\cos\alpha}\right)^2+(v_o)\times\frac{x}{v_o\cos\alpha}\Leftrightarrow y(x)=-\frac{g}{2(v_0\cos\alpha)^2}\times x^2+\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\times x$$

Donc $\boldsymbol{y(x)=-\frac{g}{2(v_0\cos\alpha)^2}\times x^2+x\tan\alpha}$, ce qui est l'équation d'une parabole

### C) Aspect énergétique




Lors du mouvement du système dans le champ de pesanteur, (en l'absence de forces de frottements), l'énergie mécanique $E_m$ du système se conserve. Son énergie cinétique $E_c$ est totalement convertie en énergie potentielle de pesanteur $E_{pp}$, et inversement.

$\boldsymbol{E_m = E_c + E_{pp}}$ avec :

$$\boxed{\underset{J}{E_c} = \frac{1}{2} \times \underset{kg}{m} \times \underset{m.s^{-1}}{v^2}} \qquad \boxed{\underset{J}{E_{pp}} = \underset{kg}{m} \times \underset{N.kg^{-1}}{g} \times \underset{m}{z}}$$

**Rqs :**

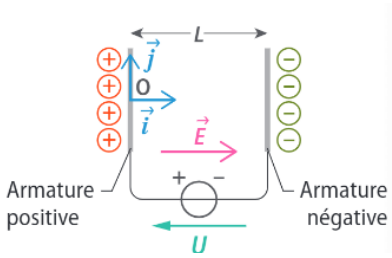
- Soit **m la masse** du système, **v sa vitesse**, **g l'intensité de la pesanteur** et **z l'altitude** du **centre d'inertie G du système**.
- En l'absence de forces de frottements, on dit qu'il y a **conservation de l'énergie mécanique du système** : **$\Delta E_m = 0$**

(La variation d'énergie mécanique du système est donc nulle).

## III Mouvement dans un champ électrique uniforme

*Un condensateur plan est constitué de deux plaques conductrices, appelées armatures, planes, parallèles entre elles et distantes de L. Si on impose une tension U aux bornes du condensateur, les armatures se chargent et un champ électrique $\vec{E}$ uniforme (identique en tout point) est créé entre les armatures.*

*Il est perpendiculaire aux plaques et orienté de l'armature positive vers l'armature négative. Sa valeur est donnée par :*



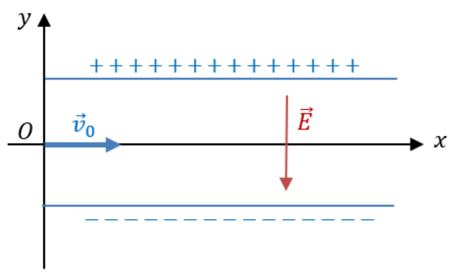

$$\underset{V.m^{-1}}{\boldsymbol{E}} = \frac{\underset{V}{\boldsymbol{U}}}{\underset{m}{\boldsymbol{L}}}$$

*Relation donnée à l'examen*

### A) Etablir les coordonnées du vecteur position

*Une particule modélisée par un point G, de charge électrique q positive et de masse m, est placée dans un champ électrique uniforme $\vec{E}$ . La charge est initialement immobile en O.*

*La particule est émise au point O avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ suivant l'axe $(Ox)$. Dans l'étude du mouvement de la particule dans un référentiel terrestre, son poids sera négligé.*




► **Système :** la particule

► **Référentiel** : terrestre galiléen

► **Conditions initiales : -** position du système à $\boldsymbol{t = 0}$ **:** $\overrightarrow{\boldsymbol{OG}}(0) \begin{cases} \boldsymbol{x(0) = 0} \\ \boldsymbol{y(0) = 0} \end{cases}$

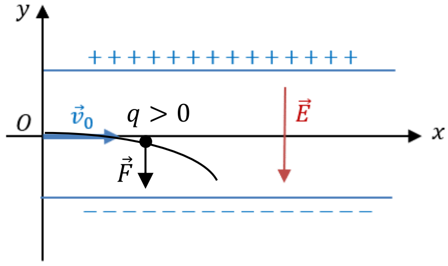
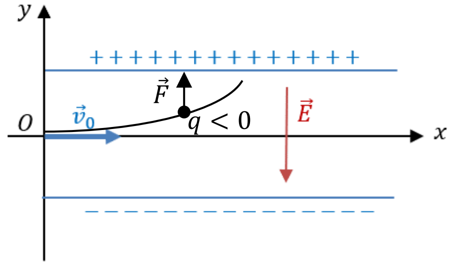
- vitesse du système à $t = \boldsymbol{0}$ **:** $\vec{\boldsymbol{v}}(\boldsymbol{0}) = \vec{\boldsymbol{v}}_{\boldsymbol{0}} \begin{cases} \boldsymbol{v_x(0) = v_{ox} = v_o} \\ \boldsymbol{v_y(0) = v_{oy} = 0} \end{cases}$

► **Forces extérieures :** uniquement la force électrique $\vec{F} = q \times \vec{E}$

► **Deuxième loi de Newton :**

$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a}$ soit $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{F} = q \times \vec{E} = m \times \vec{a}$ $\boxed{\vec{a} = \frac{q}{m} \times \vec{E}}$

**Remarques :**

| Si la particule est positive ($q > 0$), alors elle sera attirée vers les charges négatives. $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont de même direction et de même sens | Si la particule est négative ($q < 0$), alors elle sera attirée vers les charges positives. $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont de même direction et de sens opposés |
|---|---|
|   |   |

**Coordonnées du vecteur accélération :** $\vec{a}(t)\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -\frac{q}{m}E \end{cases}$

**Coordonnées du vecteur vitesse :**

La primitive du vecteur accélération donne : $\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_x(0) = v_o \\ v_y(t) = -\frac{q}{m}E \times t + v_y(0) = -\frac{q}{m}E \times t \end{cases}$

**Coordonnées du vecteur position :**

La primitive du vecteur vitesse donne : $\overrightarrow{OG}(t)\begin{cases} x(t) = v_o \times t + x(0) \\ y(t) = -\frac{qE}{2m}t^2 + y(0) \end{cases}$

Rem : Au cours du temps, $v_z(t) = 0$ et $z(t) = 0$ : **le mouvement du système dans le champ électrique uniforme est plan**.

## <u>B) Etablir l'équation de la trajectoire</u>

**La trajectoire du centre d'inertie du système est donnée par la courbe d'équation $\mathbf{y = f(x)}$.**

$x(t) = v_o \times t$ donc $t = \frac{x}{v_o}$

On remplace $t$ par cette expression dans l'équation $y(t)$ : $y(x) = -\frac{qE}{2m}\left(\frac{x}{v_o}\right)^2 \Leftrightarrow y(x) = -\frac{qE}{2mv_0^2} \times x^2$

Ceci est l'équation d'une parabole.

## <u>C) Aspect énergétique</u>

**Rappel de 1ère :**

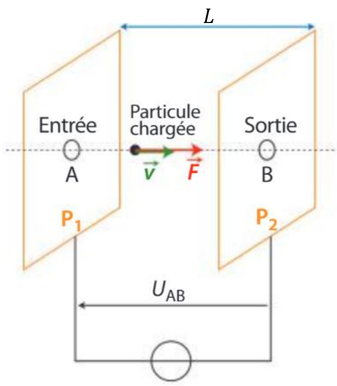
**Théorème de l'énergie cinétique** : La variation $\Delta E_c$ de l'énergie cinétique d'un système en mouvement d'un point A à un point B, est égale à la somme des travaux de <u>toutes les forces</u> qui lui sont appliquées :

$$\Delta E_c(A \to B) = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

<u>**Accélérateur linéaire de particules chargées**</u> :

*Une particule de charge $q$ et de masse $m$, initialement au repos, est placée au niveau d'une des armatures d'un condensateur plan. Pour mettre cette particule en mouvement, on applique une tension $U_{AB}$ entre les bornes de ce condensateur ; un champ électrique $\vec{E}$ se crée, et la particule subit une force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$.*

***On a réalisé un accélérateur linéaire de particules chargées.***




Le travail de la force électrique entre les points $A$ (entrée sur l'armature $P_1$) et $B$ (sortie sur l'armature $P_2$) a pour expression : $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos\alpha$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = qE \times L \quad \text{car :} \begin{cases} F = qE \\ AB = L \\ \alpha = \left(\widehat{\vec{F};\overrightarrow{AB}}\right) = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = q\frac{U_{AB}}{L} \times L$$

$$\Leftrightarrow W_{AB}(\vec{F}) = qU_{AB}$$

Le signe de la tension électrique $U_{AB}$ est choisi de sorte que le travail de la force électrique soit moteur, donc positif, pour que la particule soit accélérée.

**Le théorème de l'énergie cinétique permet de calculer la vitesse de la particule à la sortie de l'accélérateur (point B) :**

$$\Delta E_c(A \to B) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

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

$$\Leftrightarrow E_c(B) = W_{AB}(\vec{F}) \quad \text{car } E_c(A) = 0 \text{ puisque } v_A = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = qU_{AB}$$

$$\Leftrightarrow \boldsymbol{v_B} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{2qU_{AB}}}{\boldsymbol{m}}}$$

**<u>A SAVOIR / SAVOIR FAIRE</u>**

- **Montrer** que le mouvement dans un champ uniforme est plan.

- **Établir et exploiter** les équations horaires du mouvement. **Établir** l'équation de la trajectoire.

- **Discuter** de l'influence des grandeurs physiques sur les caractéristiques du champ électrique créé par un condensateur plan, son expression étant donnée.

- **Décrire** le principe d'un accélérateur linéaire de particules chargées.

- **Exploiter** la conservation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique dans le cas du mouvement dans un champ uniforme.

**ECE :**
- ***Utiliser*** *des capteurs ou une vidéo pour déterminer les équations horaires du mouvement du centre de masse d'un système dans un champ uniforme et étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique*

**<u>VERIFIER SES CONNAISSANCES ET COMPETENCES</u> : QCM page 247 + exercice résolu page 248-249**

**<u>PREPARER LE CONTROLE :</u> Refaire les exercices corrigés (Cours – NIVEAU 1 ; NIVEAU 1 :13 p 252 ; NIVEAU 2 : 20, 25, 28 et 33 p 253 à 256 et exercices BAC – NIVEAU 2-3)**

**Pour réviser autrement :**