# Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme

**2BSM ONLY !**

Ajitfham Academy

عوض الفيزياء والكيمياء

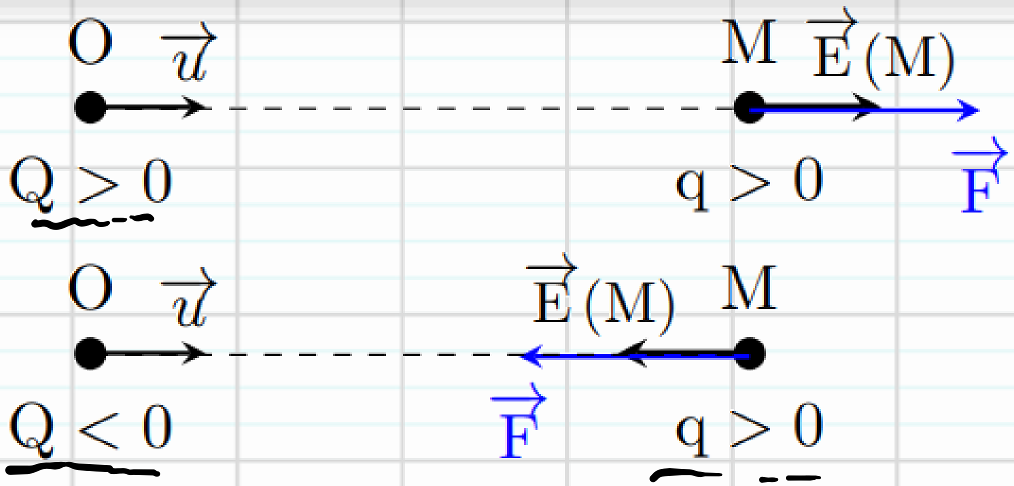
# Champ électrostatique.

Un corps portant une charge électrique **Q** situé en un point O, créé un champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ dans la partie d'espace qui l'entoure.

S'il se trouve, dans cet espace, un autre corps chargé, il va subir une **force électrostatique** $\overrightarrow{F}$ telle que : $\boxed{\overrightarrow{F} = q.\overrightarrow{E}(M)}$

Avec :

$$\boxed{\overrightarrow{E}(M) = \frac{1}{4.\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{r^2}.\overrightarrow{u}}$$



# Champ électrostatique uniforme.

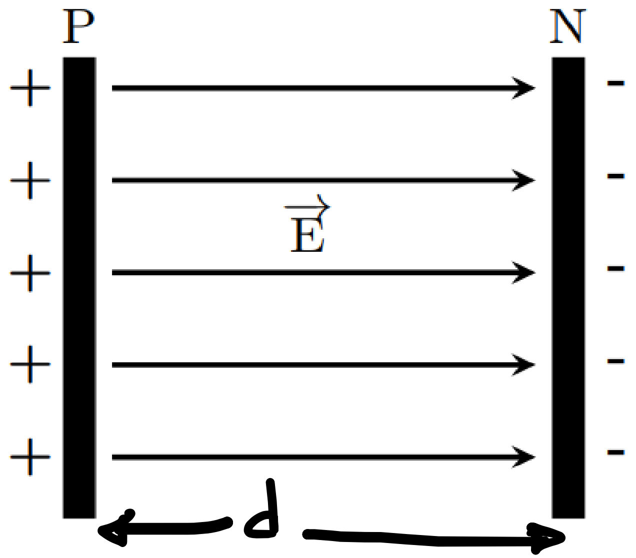
**Définition**

Un champ électrique est **uniforme** dans un domaine de l'espace si, en tout point de ce domaine, le vecteur champ $\vec{E}$ conserve la même direction, le même sens et la même intensité.

⋆ Dans un domaine de l'espace où les lignes de champ électrostatique sont des droites parallèles, le champ $\vec{E}$ est **uniforme**.

Le vecteur champ électrostatique en chaque point de l'espace existant entre les deux plaques, a :

- même direction : orthogonal aux plaques.
- même sens : les lignes de champ s'orientent de la plaque P vers la plaque N.
- même intensité : lignes de champ approchées = intensité importante




$$\boxed{E = \frac{V_P - V_N}{d} = \frac{U}{d}}$$

$U = V_P - V_N$

⋆ U : tension appliquée aux bornes des électrodes P et N.

⋆ d : distance entre les deux électrodes P et N.

# Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.

On considère une particule chargée de masse m et de charge $q < 0$, placée dans un champ électrostatique uniforme, est soumise à une force électrostatique telle que $\overrightarrow{F} = q.\overrightarrow{E}$, ainsi que son poids $\overrightarrow{P}$ dont l'intensité sera négligée devant F.

F >>>> P

En appliquant, dans un référentiel galiléen, la 2ème loi de Newton, on écrit :

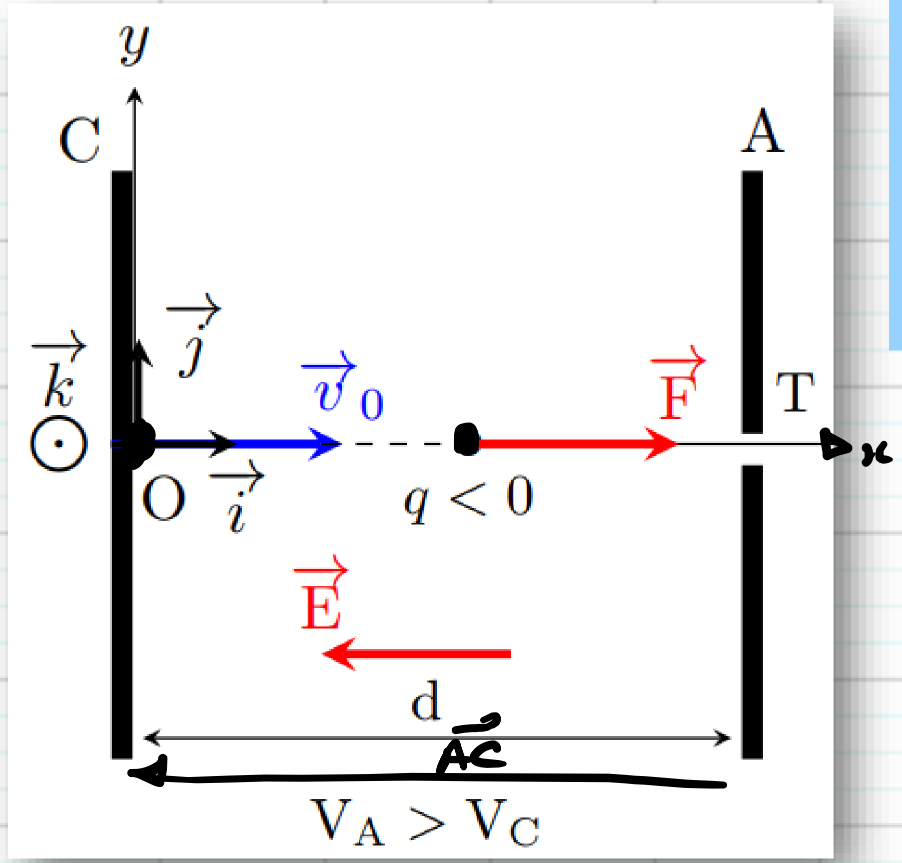
$$m.\overrightarrow{a} = \sum \overrightarrow{F}_{ext} \Rightarrow m.\overrightarrow{a} = \overrightarrow{F}$$

La trajectoire de la particule dépend de la direction de $\overrightarrow{v}_0$ la vitesse initiale de la particule à l'entrée à l'espace où règne le champ électrostatique uniforme.

## ♠ $\overrightarrow{v_0}$ est parallèle à $\overrightarrow{E}$.

La particule chargée pénètre le champ électrostatique par le point O à l'instant $t_0 = 0$ à la vitesse $\overrightarrow{v}_0$.

On a $\overrightarrow{a} = \dfrac{\overrightarrow{F}}{m} = \dfrac{q.\overrightarrow{E}}{m}$, en projetant la relation sur les axes du repère R $(O, \overrightarrow{i}, \overrightarrow{j}, \overrightarrow{k})$, on obtient :




$$\overrightarrow{a} \begin{cases} a_x = -\dfrac{q.E}{m} \\ a_y = 0 \\ a_z = 0 \end{cases}$$

integration

$$\overrightarrow{v} \begin{cases} v_x = -\dfrac{q.E}{m}.t + v_0 \\ v_y = 0 \\ v_z = 0 \end{cases}$$

integration

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x = -\dfrac{1}{2}.\dfrac{q.E}{m}.t^2 + v_0.t \\ y = 0 \\ z = 0 \end{cases}$$

$t_0 = 0$

Le mouvement de la particule est rectiligne uniformément accéléré ($a = cte$) car $\vec{a}.\vec{v} > 0$

Les électrons rentrent dans le champ électrostatique à une vitesse presque nulle et sortent à une grande vitesse. Pour étudier l'influence de E sur la valeur de $v$, on applique le théorème de l'énergie cinétique entre les électrodes :

$$\Delta E_c = \sum W(\vec{F})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 - \cancel{\frac{1}{2}mv_0^2} = W(\vec{F})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = \vec{F}.\vec{AC}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = -F.AC$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = -F.d$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = --e.E\,d$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = e.E.d$$

$$\begin{cases} \vec{F} = q.\vec{E} \\ \text{avec } q < 0 \\ \vec{F} = -e.\vec{E} \end{cases}$$

$F = -eE$

e : la charge élementaire

$e = 1,6.10^{-19}C$

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{2e \cdot E \cdot d}{m}}}$$

$E$ et $v$ sont proportionnelles.

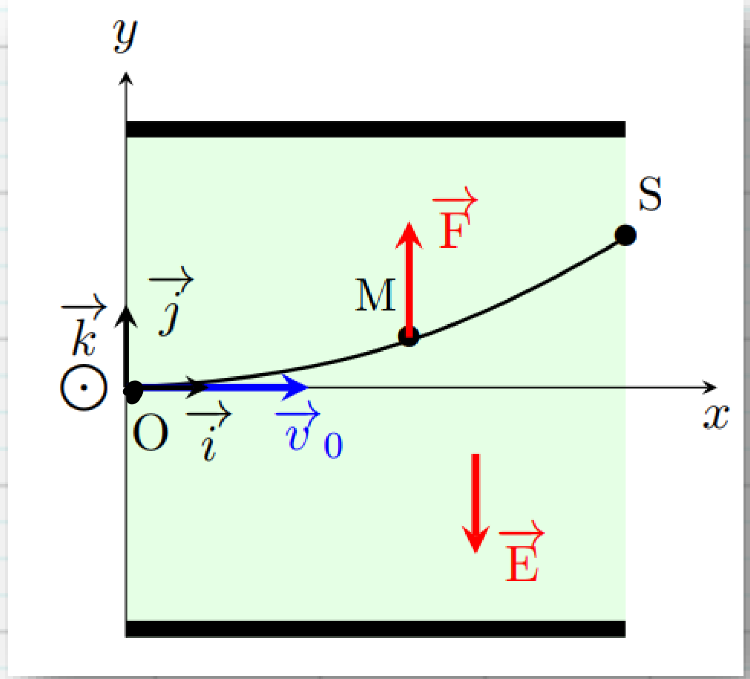
⋆ On constate que la vitesse v augmente lorsque E augmente. Le champ électrostatique se comporte comme accélérateur de particules.

## ♠ $\overrightarrow{v_0}$ est perpendiculaire à $\overrightarrow{E}$.

La particule chargée pénètre le champ électrostatique par le point O à l'instant $t_0 = 0$ à la vitesse $\overrightarrow{v}_0$ telle que $\overrightarrow{v}_0 = v_0.\overrightarrow{i}$ et $\overrightarrow{E} = -E.\overrightarrow{j}$.

On a : $\overrightarrow{a} = \dfrac{q.\overrightarrow{E}}{m}$

en projetant la relation sur les axes du repère R $(O, \overrightarrow{i}, \overrightarrow{j}, \overrightarrow{k})$, on obtient :




$$\overrightarrow{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -\dfrac{q.E}{m} \\ a_z = 0 \end{cases}$$

✓

Intg

$$\overrightarrow{v}\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = -\dfrac{q.E}{m}.t \\ v_z = 0 \end{cases}$$

✓

Intg

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0.t \\ y = -\dfrac{1}{2}.\dfrac{q.E}{m}.t^2 \\ z = 0 \end{cases}$$

✓

- $\star$ Le mouvement est rectiligne uniforme selon l'axe $(O, \overrightarrow{i})$.
- $\star$ Le mouvement est rectiligne uniformément variable selon l'axe $(O, \overrightarrow{j})$.
- $\star$ La coordonnée $z$ reste nulle, le mouvement se fait donc dans le plan $(O, \overrightarrow{i}, \overrightarrow{j})$ : **Mouvement plan.**

## Équation de la trajectoire :

On obtient l'équation de la trajectoire en éliminant le temps entre les deux équations horaires :

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0.t \\ y = -\dfrac{1}{2}.\dfrac{q.\mathrm{E}}{\mathrm{m}}.t^2 \\ z = 0 \end{cases}$$

$$t = \frac{x}{v_0}$$

$$\boxed{y = -\frac{q.\mathrm{E}}{2.\mathrm{m}.v_0^2}.x^2}$$

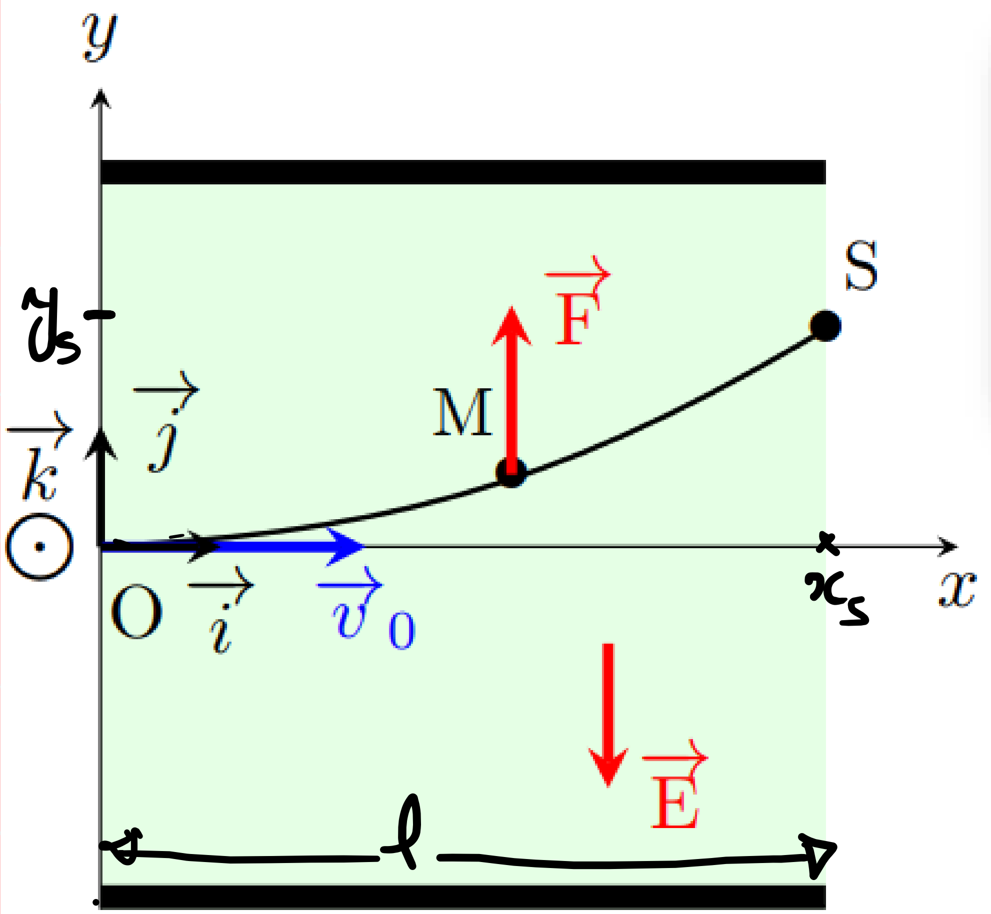
$y = k.x^2$

avec $q < 0$

⋆ La trajectoire de la particule chargée dans le champ électrostatique est **parabolique**.

## ⋆ Vitesse de la particule à la sortie du champ électrostatique :

Les coordonnées de S point de sortie de la particule du champ électrostatique sont :




$$x_S = \ell \quad \text{et} \quad y_S = -\frac{q.E.\ell^2}{2.m.v_0^2}$$

L'instant où la particule quitte le champ électrostatique est :

$$t_s = \frac{x_s}{v_0}$$

$$\boxed{t_S = \frac{\ell}{v_0}}$$

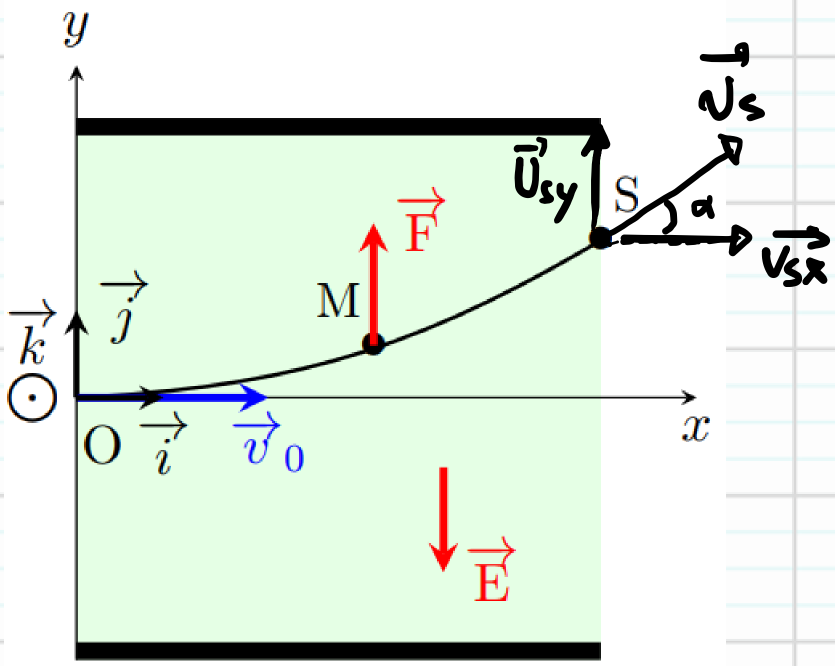
les coordonnées de la vitesse au point S seront donc :

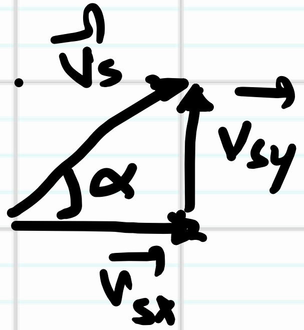
$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 = cte \\ v_y = -\dfrac{q.E}{m}.t \\ v_z = 0 \end{cases}$$

$$\vec{v}_S\begin{cases} v_{Sx} = v_0 \\ v_{Sy} = -\dfrac{q.E}{m}.\dfrac{\ell}{v_0} \\ v_{Sz} = 0 \end{cases}$$

Le vecteur $\vec{v}_S$ et la direction horizontale forment un angle $\alpha$ appelée **déviation angulaire** tel que :

$$\boxed{\tan\alpha = \frac{v_{Sy}}{v_{Sx}} = -\frac{q.E.\ell}{m.v_0^2}}$$



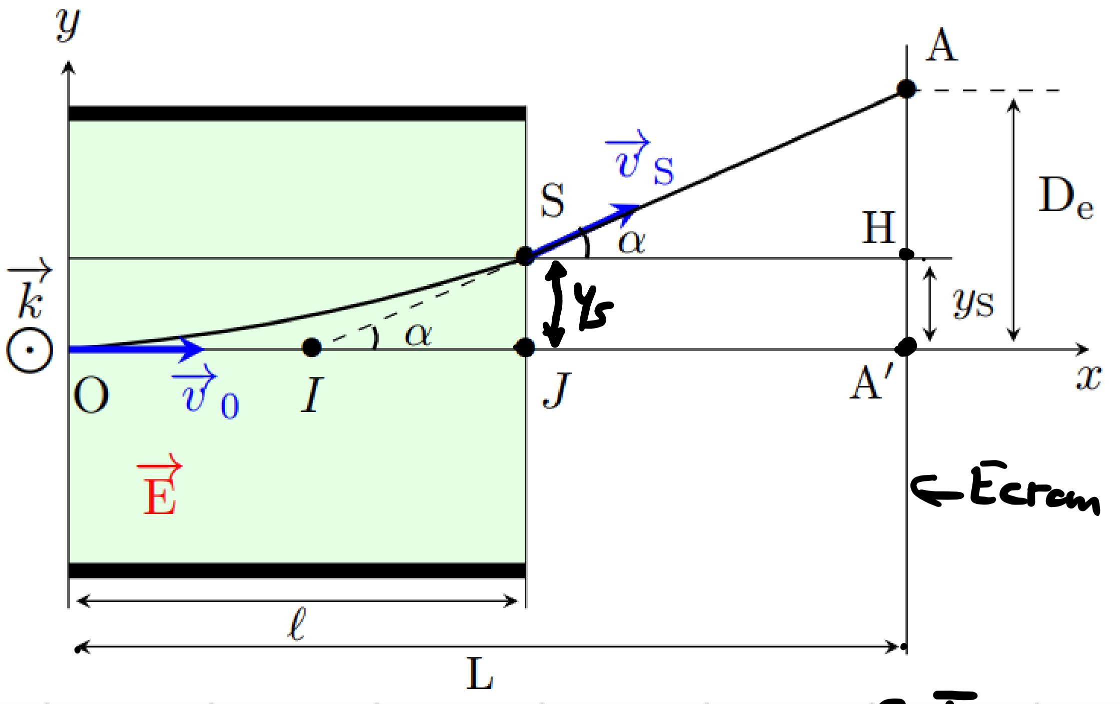
## ⋆ Déviation électrostatique :

Après avoir quittée le champ électrostatique, la particule est soumise uniquement à son poids qu'on néglige. Donc le mouvement de la particule est rectiligne uniforme de vitesse $v_S$ et arrive sur un écran orthogonal à l'axe $(O,x)$, et distant de L du point O.

**Remarque**

La déviation des électrons est exploitée dans les tubes cathodiques. La tâche lumineuse qu'on perçoit, par exemple, sur l'oscilloscope est due à la collision du faisceau d'électrons avec l'écran du tube cathodique.

On appelle **déviation électrique** (déviation électrostatique) la distance entre un point de collision sur un écran en absence de champ électrostatique et le point de collision en présence du champ électrostatique.




$$\tan \alpha = \frac{SJ}{IJ} = \frac{y_S}{\ell/2}$$

$$D_e = AA' = AH + A'H$$

$$D_e = y_s + (L-\ell).\tan\alpha$$

$$D_e = \frac{\ell}{2}\tan\alpha + L.\tan\alpha - \ell.\tan\alpha$$

$$= L.\tan\alpha - \frac{\ell}{2}.\tan\alpha$$

$$D_e = \left(L - \frac{\ell}{2}\right).\tan\alpha$$

$$D_e = -\frac{qE\ell}{2mv_0^2}.\left(L - \frac{\ell}{2}\right)$$

! $A'H = y_s$ ! $\tan\alpha = \frac{AH}{SH}$

$A'H = y_s$ $\Big\}$ $\tan\alpha = \frac{AH}{L-\ell}$

$\Rightarrow AH = (L-\ell)\,tg\alpha$

$$\tan\alpha = \frac{y_s}{\frac{\ell}{2}}$$

$$\Rightarrow y_s = \frac{\ell}{2}.\tan\alpha$$

Puisque $E = \frac{U}{d}$

$$D_e = \frac{-q\,U\,\ell}{m\,V_0^2\,d}\left(L - \frac{\ell}{2}\right)$$

$$D_e = -\frac{q\ell}{m V_0^2 . d} . \left(L - \frac{\ell}{2}\right) . U$$

On pose $K = -\frac{q\ell}{m V_0^2 . d} . \left(L - \frac{\ell}{2}\right)$

Alors $\boxed{D_e = K . U}$

$D_e$ est proportionnelle à la tension $U$ aux bornes de la plaque.