

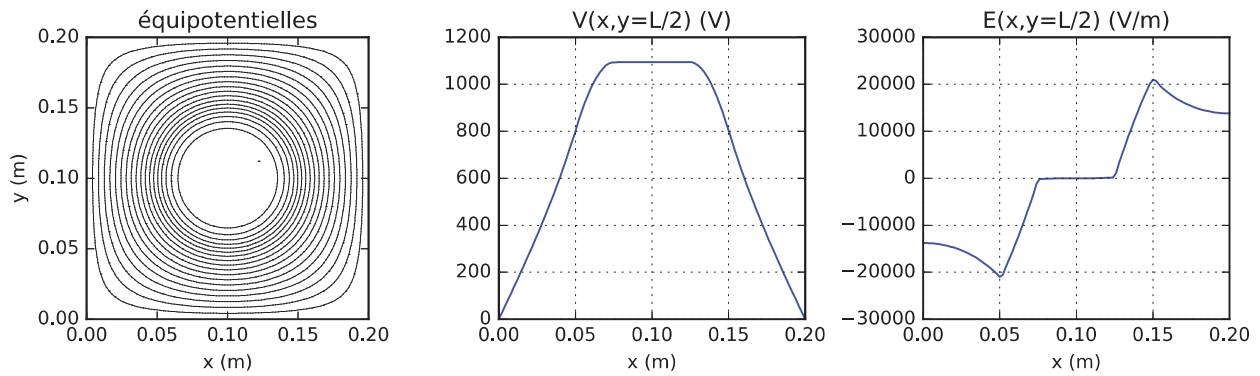


Figure 5 – Équipotentiellles, $V(x, y)$ et $\vec{E}(x, y) \cdot \vec{u}_x$ en fonction de x pour la nouvelle répartition de charge

- Q23.** Dédurre de ces courbes la répartition de charges dans le cylindre dans cette deuxième situation. Calculer le champ électrique en tout point pour cette répartition de charges dans le cas d'un cylindre infini seul dans l'espace. On vérifiera que la valeur maximale du champ électrique calculée à l'aide de cette modélisation est compatible avec celle déduite de la **figure 5**.

II.2 - Mouvement d'un électron dans un tube d'oscilloscope

La **figure 6** montre un tube d'oscilloscope de petite dimension, dans lequel des électrons émis par la cathode sont accélérés et déviés vers un écran luminescent. La déviation est assurée par le passage des électrons entre les plaques de deux condensateurs plans : un pour la déviation horizontale, l'autre pour la déviation verticale. L'étude qui suit ne concernera que le condensateur responsable de la déviation verticale.



Figure 6 – Petit tube d'oscilloscope, de longueur d'environ 20 cm

On modélise la trajectoire d'un électron de la façon suivante (**figure 7** page suivante, où la zone de déviation est grisée) :

- on négligera l'effet de la pesanteur,
- émis à vitesse nulle par effet thermo-électronique au niveau de la cathode portée au potentiel nul, l'électron est accéléré à l'aide d'une tension $V_0 > 0$ afin d'acquérir à l'entrée de la zone de déviation une vitesse $\vec{v}_0$,
- pendant son trajet dans la zone de déviation, il est soumis à un champ électrique $\vec{E}$ lié aux potentiels $\pm V_p$ des plaques du condensateur, de longueur ℓ et séparées par une distance d ,
- poursuivant son mouvement, il arrive sur la surface de l'écran à une distance y_s de l'axe x , l'écran étant situé à la distance D du centre du condensateur.

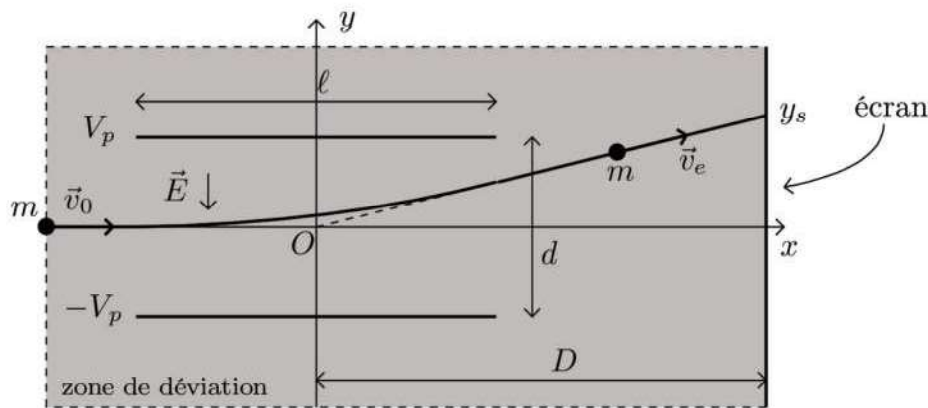


Figure 7 – Schéma de la zone de déviation

Valeurs numériques :

masse d'un électron $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg ; charge élémentaire $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C

$V_0 = 950$ V ; $V_p = 180$ V ; $D = 7,00$ cm ; $d = 2,00$ cm ; $\ell = 4,00$ cm .

Étude physique

Q24. En appliquant la conservation de l'énergie, calculer la vitesse v_0 de l'électron à l'entrée de la zone de déviation. Faire l'application numérique. Commenter.

Q25. On modélise les plaques de déviation comme un condensateur sans effets de bord : le champ électrique est donc considéré comme nul si $|x| > \ell/2$ et uniforme si $|x| \leq \ell/2$, ses lignes de champ étant parallèles à l'axe Oy . Exprimer le champ $\vec{E}$ entre les plaques en fonction de V_p et d .

Q26. On suppose que la vitesse d'entrée de l'électron dans la zone de déviation est $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_x$. En appliquant les lois de la mécanique, établir l'équation de la trajectoire de l'électron entre les plaques (pour $|x| < \ell/2$).

Q27. Montrer que l'équation de la trajectoire pour $x > \ell/2$ est donnée par : $y = \frac{2eV_p\ell}{mdv_0^2}x$.

En déduire que l'ordonnée du spot sur l'écran est : $y_s = \frac{V_p}{V_0} \times \frac{\ell D}{d}$.

Faire l'application numérique pour y_s .

Étude numérique

Pour savoir si la modélisation précédente est pertinente, on va envisager une détermination numérique de la trajectoire de l'électron. Pour cela, on place le condensateur de déviation dans une enceinte carrée au potentiel nul de côté $L = 10,0$ cm, le centre du condensateur étant à 3,0 cm du bord gauche de l'enceinte (**figure 8** page suivante). Les autres caractéristiques électriques et géométriques sont les mêmes que précédemment.

La résolution numérique se déroule alors en deux étapes :

- calcul du potentiel et du champ électrique par la méthode de Gauss-Seidel adaptative dans l'enceinte,
- calcul de la trajectoire de l'électron à l'aide de la méthode d'Euler.

Comparaison théorie/simulation

La **figure 9** montre le résultat de la simulation précédente. On y voit le réseau de courbes équipotentielles, ainsi que deux trajectoires [1] et [2], l'une étant associée au calcul théorique, l'autre à la simulation numérique. Chaque trajectoire est constituée de 200 points de calcul séparés d'une durée δt .

- Q35.** Reproduire sommairement sur la copie la **figure 9**, y ajouter le tracé de quelques lignes de champ orientées dans les différentes parties de la zone de déviation. Identifier, en le justifiant, chaque trajectoire. Expliquer pourquoi la trajectoire [1] est plus courte que la trajectoire [2]. À votre avis, peut-on se contenter de l'étude théorique pour prévoir le point d'impact de l'électron sur l'écran ? (On attend une réponse chiffrée.)

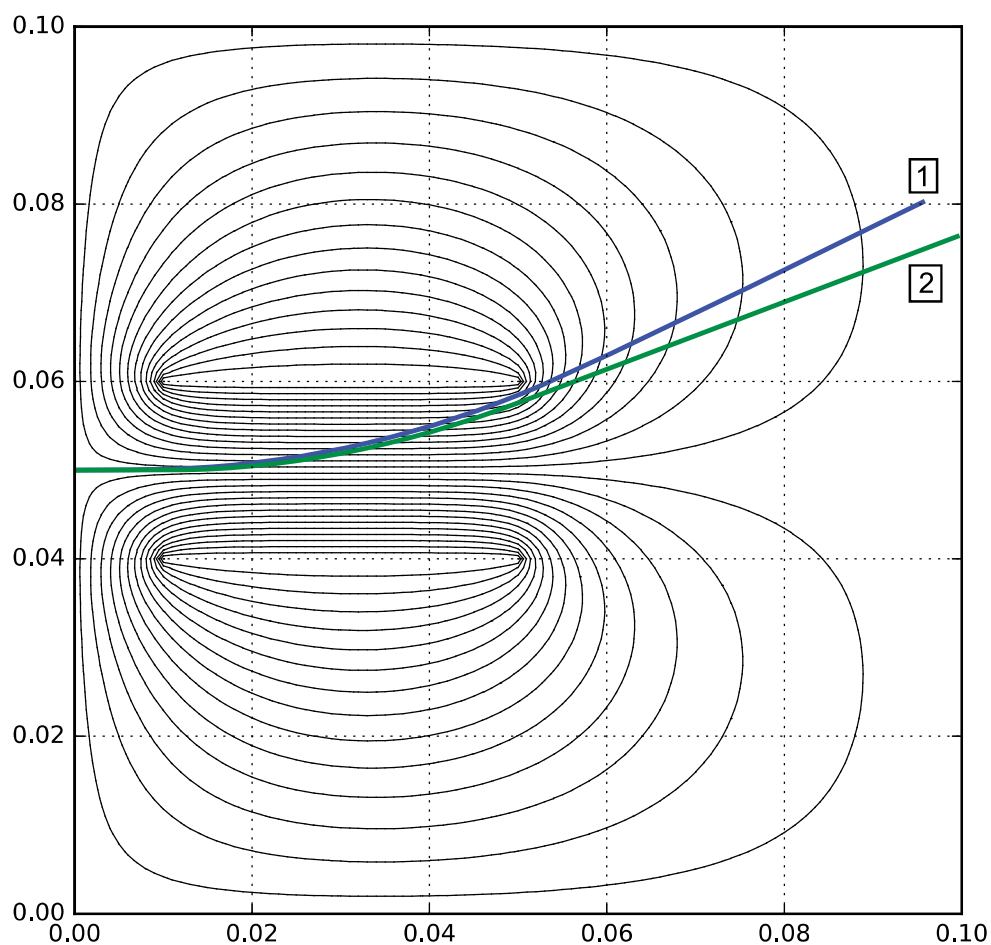


Figure 9 – Tracé dans la zone de déviation de quelques courbes équipotentielles, des trajectoires de l'électron (théorique et simulée numériquement)