14.4.1 Corrigé - Étude et application d'une diode au silicium [2017 CS TSI]

1. Lorsque suffisamment d'électrons sont passé de N à P et des trous de P à N, la ZCE a tendance a masquer et éloigner les charges fixes placées de part et d'autre. Les électrons de la zone N ne sont plus suffisamment attirés par la zone P et vice-versa. L'étendue de la ZCE se stabilise.
2. (a) Pour des plans transverses d'égale surface, la ZCE étant neutre, on a

$$\boxed{\rho_2 b + \rho_1 a = 0}$$

(b) *i.* La distribution proposée a les propriétés suivantes :
- Symétries : Tout plan perpendiculaire au plan $x = 0$ est un plan de symétrie des charges, or $\overrightarrow{E} \in \Pi^+$ et donc $\overrightarrow{E}(M) = E(M)\overrightarrow{u_x}$.
- Invariances : Toute translation parallèle à l'axe Oy et Oz laisse la distribution de charge invariante et on en déduit

$$\boxed{\overrightarrow{E}(M) = E(x)\overrightarrow{u_x}}$$

ii. On remarque que le plan $x = 0$ est un plan de symétrie des charges, ce qui nous permet de choisir une surface de GAUSS cylindrique d'axe Ox, s'appuyant sur un disque placé en x coordonnée de M sur lequel $E(P) = E(M)$ et sur un autre disque placé en $x' = -x$ sur lequel $E(P) = E(M') = -E(M)$. Le théorème de GAUSS permet alors d'écrire : $\oiint \overrightarrow{E} \cdot \mathrm{d}\overrightarrow{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$, soit encore $2ES = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0}$.

On distingue alors trois cas :
- $x > \frac{d}{2}$: alors $Q_{\text{int}} = Sd\rho_0$ et $\overrightarrow{E}(x > \frac{d}{2}) = \frac{d\rho_0}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x}$,
- $x < -\frac{d}{2}$: alors $\overrightarrow{E}(x < \frac{d}{2}) = -\frac{d\rho_0}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x}$,
- $-\frac{d}{2} < x < \frac{d}{2}$: alors $Q_{\text{int}} = 2Sx\rho_0$ et $\overrightarrow{E}(-\frac{d}{2} < x < \frac{d}{2}) = \frac{x\rho_0}{\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x}$.

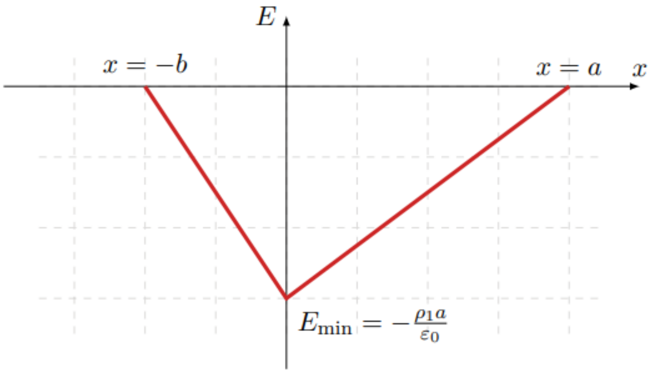
(c) En utilisant les résultats de la question précédentes, on peut en déduire que le champ électrostatique total est la somme des champs :

$$\overrightarrow{E_1} = \begin{cases} \frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} & \text{si } x > a \\ \frac{\rho_1}{\varepsilon_0}\left(x - \frac{a}{2}\right)\overrightarrow{u_x} & \text{si } 0 < x < a \\ -\frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad \text{et } \overrightarrow{E_2} = \begin{cases} \frac{\rho_2 b}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} & \text{si } x > 0 \\ \frac{\rho_2}{\varepsilon_0}\left(x + \frac{b}{2}\right)\overrightarrow{u_x} & \text{si } -b < x < 0 \\ -\frac{\rho_2 b}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} & \text{si } x < -b \end{cases}$$

La somme des deux champs donne

$$\boxed{\overrightarrow{E} = \begin{cases} \frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} + \frac{\rho_2 b}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} = \overrightarrow{0} & \text{si } x > a \\ \frac{\rho_1}{\varepsilon_0}\left(x - \frac{a}{2}\right)\overrightarrow{u_x} + \frac{\rho_2 b}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} = \frac{\rho_1 a}{\varepsilon_0}\left(\frac{x}{a} - 1\right)\overrightarrow{u_x} & \text{si } 0 < x < a \\ -\frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} + \frac{\rho_2}{\varepsilon_0}\left(x + \frac{b}{2}\right)\overrightarrow{u_x} = -\frac{\rho_1 a}{\varepsilon_0}\left(\frac{x}{b} + 1\right)\overrightarrow{u_x} & \text{si } -b < x < 0 \\ -\frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} - \frac{\rho_2 b}{2\varepsilon_0}\overrightarrow{u_x} = \overrightarrow{0} & \text{si } x < -b \end{cases}}$$

(d) La courbe demandée est la suivante :



(e) La présence de ce champ électrique donne naissance à une différence de potentiel entre les zones P et N. Cette différence de potentiel se déduit du champ électrique à travers la relation $\mathrm{d}V = -\vec{E} \cdot \vec{\mathrm{d}l}$. Entre les coordonnées $x = -b$ et $x = a$, il vient :

$$V(x) = \begin{cases} \frac{\rho_1 a}{\varepsilon_0}\left(\frac{x^2}{2a} - x\right) + \mathrm{cste}_1 & \text{si } 0 < x < a \\ -\frac{\rho_1 a}{\varepsilon_0}\left(\frac{x^2}{2b} + x\right) + \mathrm{cste}_2 & \text{si } -b < x < 0 \end{cases}$$

La continuité du potentiel en $x = 0$ impose $\mathrm{cste}_1 = \mathrm{cste}_2$, d'où :

$$\boxed{V(x) = \begin{cases} \frac{\rho_1 a}{\varepsilon_0}\left(\frac{x^2}{2a} - x\right) & \text{si } 0 < x < a \\ -\frac{\rho_1 a}{\varepsilon_0}\left(\frac{x^2}{2b} + x\right) & \text{si } -b < x < 0 \end{cases}}$$

La différence de potentiel entre les zones P et N est donc $U' = V_P - V_N = V(x = a) - V(x = -b) = -\frac{\rho_1}{2\varepsilon_0}a - \left(\frac{\rho_1 ab}{2\varepsilon_0}\right) = -\frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}(a+b)$ C'est cette tension qu'il faut vaincre, et il faut donc appliquer une tension

$$\boxed{U = \frac{\rho_1 a}{2\varepsilon_0}(a+b)}$$

14.1.2 Corrigé - Distributions de charge

1. (a) Les lignes de champ sont les lignes tangentes au champ $\vec{E}$ en tout point de l'espace. Elles sont issues des sources de signe positif et convergent vers les sources de signe négatif. Ainsi les charges 0, 1, 3 et 4 sont positives et la charge 2 est négative.
   (b) Le plan $x = 0$ est un plan de symétrie des sources (on peut remarquer que les lignes de champs du plan restent dans le plan, $\vec{E} \in \Pi^+$).
   Le plan $y = 0$ est également un plan de symétrie des sources.
   (c) Il n'existe pas de plan d'anti-symétrie des sources.
2. (a) Pour les mêmes raison que précédemment, les charges 0 et 2 sont positives, les charges 1 et 3 sont négatives.
   (b) Les plans $x = 0$ et $y = 0$ sont des plans de symétrie des sources.
   (c) Les plans $y = x$ et $y = -x$ sont des plans d'anti-symétrie des sources.