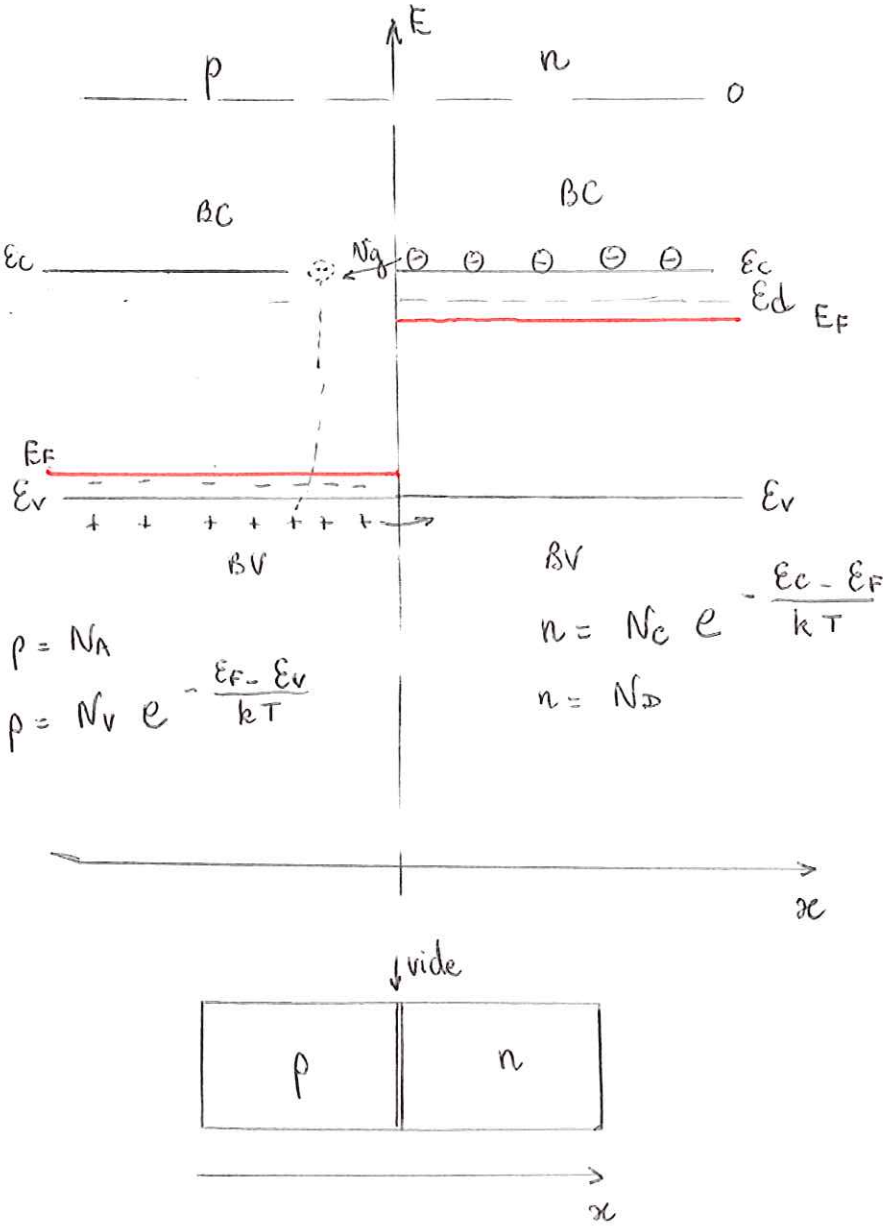
JONCTION P-N

1 Rappel



2 Jonct° p-n

La répartit° est hors d'équilibre au contact : 2 niveaux de Fermi.

vitesse de l'é à droite (ou les trous à gauche) :

$$N_g = \frac{1}{\hbar} \frac{\partial E}{\partial k}$$

→ possibilité pour lui de passer à gauche de BC, et se combiner à 1 trou de BV.

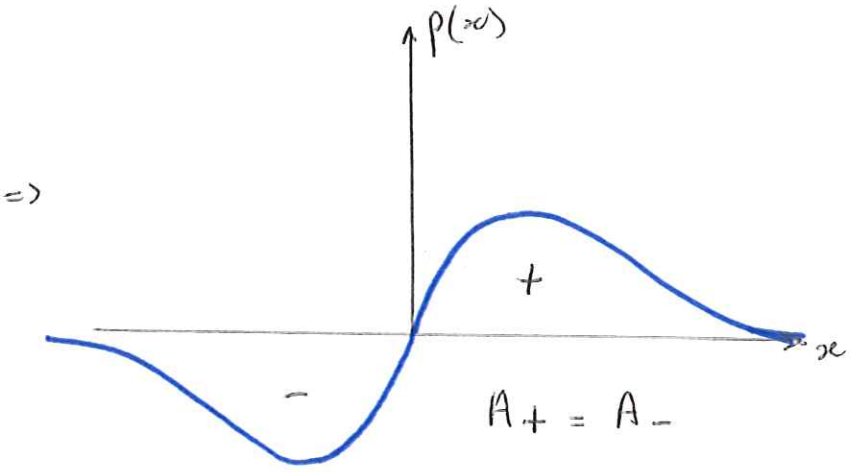
pour cet $\bar{e}$, il y a alors impossibilité de passer de la BV de droite puisqu'elle est pleine.

En revanche le trou de BV (gauche) peut passer de BV (droite) et se combiner à 1 $\bar{e}$ de BC (droite). (m^e impossibilité que précédent)

→ écart à équilibre se traduisant par 2 flux de charges, positives passant de p → n.

→ rupture de neutralité : zone p : gain d'$\bar{e}$ (perte de trou)

zone n : gain de trou (perte de $\bar{e}$)

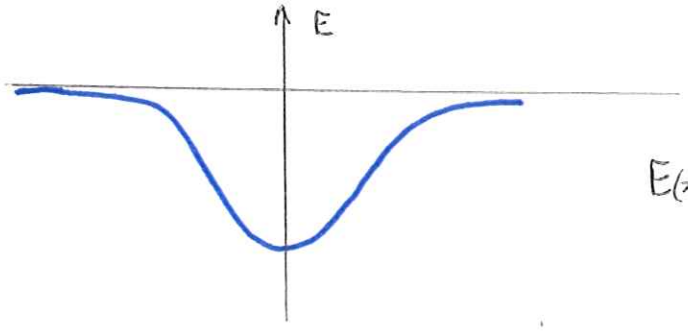


$\Rightarrow$ $A_+ = A_-$

→ apparition d'1 champ électrique.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

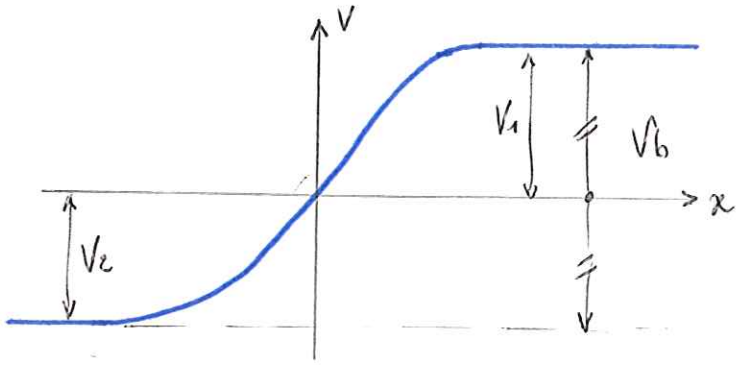
1D → $\dfrac{\partial E(x)}{\partial x} = \dfrac{\rho(x)}{\varepsilon_r \varepsilon_0}$ $\quad \varepsilon_0 = 8{,}84 \cdot 10^{-12}$ $\quad \varepsilon_r = 16$



$$E(x) = \int \frac{\rho(x)}{\varepsilon_r \varepsilon_0} dx$$

il existe 1 ddp : $E = -\text{grad}\,\vec{V}$

$= -\dfrac{\partial \vec{V}}{\partial x}$



le déséquilibre thermique de la jonction ⇒ apparition de ddp à longue distance.

V_b = ddp de charge d'espace.

3 Variation des niveaux d'E

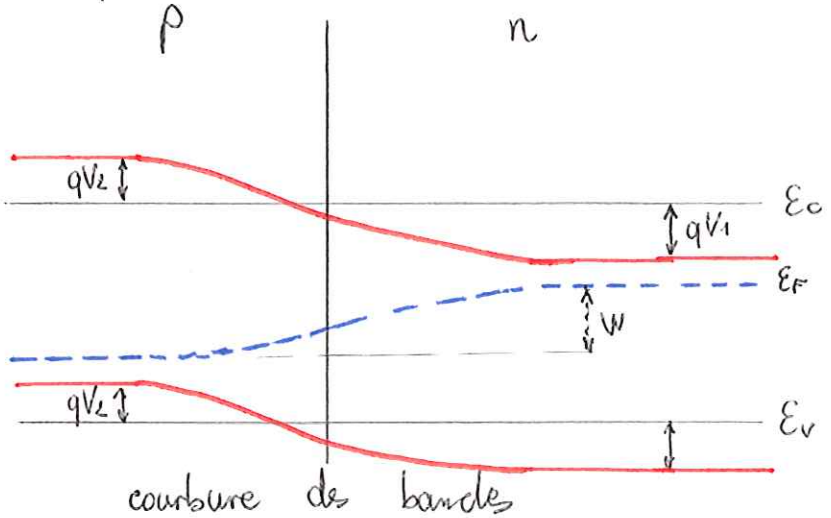
effet de V_b sur la structure e^-.

$$H\,\psi_k = \mathcal{E}_k\,\psi_k$$

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + V(\vec{r}) \qquad \text{si cristal neutre et E nul.}$$

→ energie électrostatique de l'e^- : qV $\quad (V = V_b)$

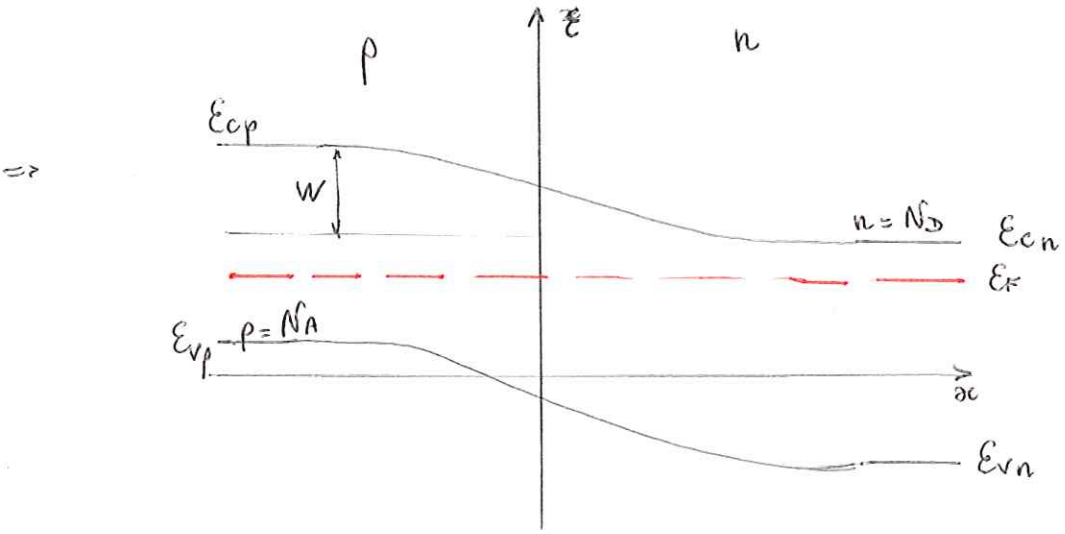
donc de le potentiel V_b : tous les niveaux sont modifiés de qV_b



$\Delta V \ll$ distance interat

$q < 0$

ce schéma évolue pour rétablir l'équilibre :



$$\left.\begin{aligned} n &= N_c\, e^{-\frac{\mathcal{E}_c - \mathcal{E}_F}{kT}} \\ p &= N_v\, e^{-\frac{\mathcal{E}_F - \mathcal{E}_v}{kT}} \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} n(x) &= N_c\, e^{-\frac{\mathcal{E}_c(x) - \mathcal{E}_F}{kT}} \\ p(x) &= N_v\, e^{-\frac{\mathcal{E}_F - \mathcal{E}_v(x)}{kT}} \end{aligned}$$

en chq pt au voisinage de la jonct°, on trouve la [porteur] de m̂ manière que pour Si sans jonct°.

$\mathcal{E}_c(x) - \mathcal{E}_F$ change : $\mathcal{E}_c(x)$ s'éloigne de $\mathcal{E}_F$ jusqu'à sa valeur ds p.

$$n(x)\, p(x) = N_c N_v\, e^{-\frac{\mathcal{E}_c(x) - \mathcal{E}_v(x)}{kT}}$$
$$= cte.$$

$$\left.\begin{aligned} np &= cte = n_i^2 \\ n_i &= 10^{10}\ cm^{-3} \\ N_A &= N_D = 10^{17} \end{aligned}\right]$$

partie droite : $n = 10^{17}$: $p \simeq 0$

— gauche : $p = 10^{17}$: $n \simeq 0$

au milieu : $n = p = 10^{10}$

au voisinage de la jonct° : ≃ plus de porteurs.

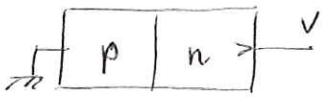
La différence de hauteur entre la partie droite et la gauche est la " entre les 2 niveaux de fermi de départ.

ds Si : $1{,}1 - 2 \cdot 0{,}2 = 0{,}7$ V : tension de seuil

si ddp externe :

ddp > 0 / zone p, et inférieur à la largeur de bande :

zone n : e^- de BC sont attirés par le potentiel > 0 appliqué

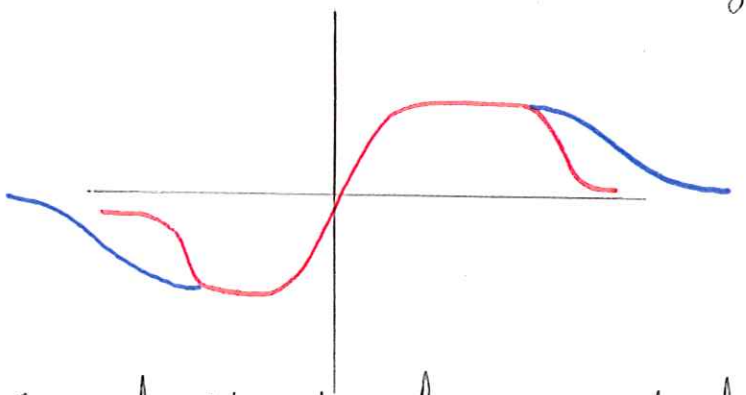


→ Tendance à élargir la zone de charges d'espaces.

zone p : trous attirés vers l'extérieur → ↗ de la zone de charge d'espace.

donc la charge d'espace ↗ : −

↗ de la charge électrique



⇒ ↗ de la ddp entre la zone n et la zone p.

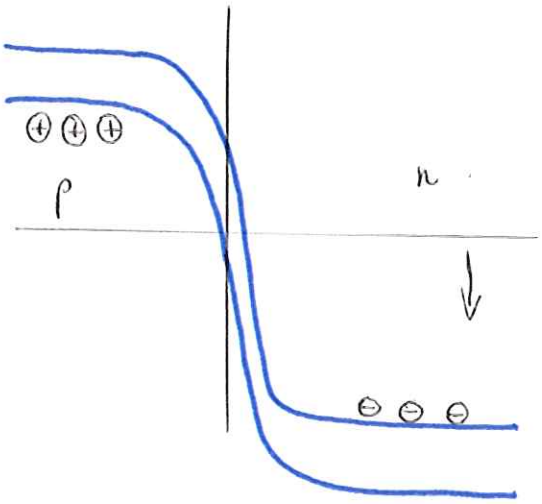
→ ds 1 jonct° pn, la ddp vaut :

$$ddp = \neq \text{équilibre} + ddp \text{ appliquée}$$

ex : $ddp_{ext} = 0{,}7\,V$ → ramène les niveaux de chute, de 0,7 eV (sens direct)

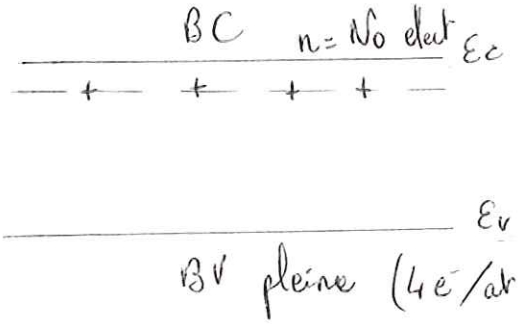
→ rééquilibrage des niveaux → passage facile des e^- de n vers p. (court circuit)

si on inverse la tension :



impossibilité de conduire, car pas de remplacents $e^- \longleftrightarrow$ trous.

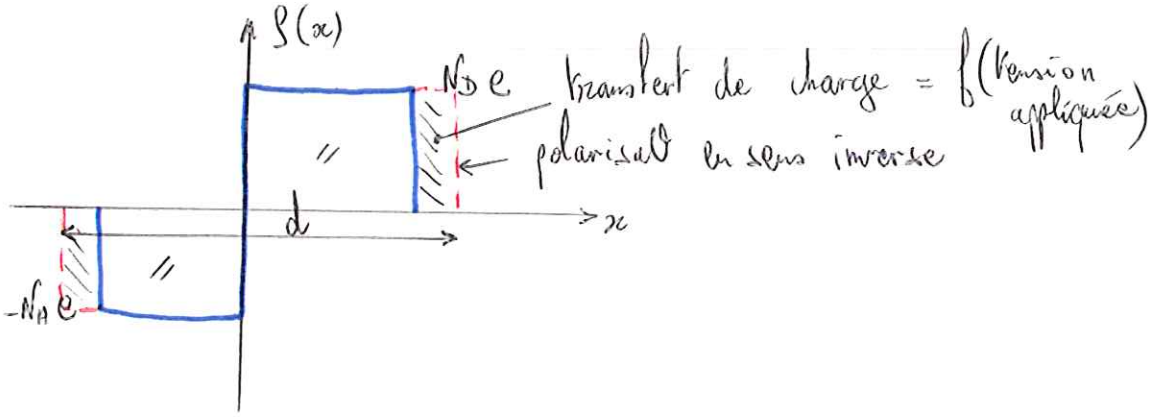
évaluat de la charge d'espace :



en approchant de la charge d'espace (zone courbe) :

$\rho = N_D e$ densité de charge du côté n

et côté p : $\rho = -N_A e$



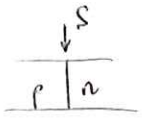
$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{\rho}{\varepsilon_r \varepsilon_0}$ et $E = -\text{grad}\, \vec{V}$ E linéaire / ρ

→ E parabole / $\vec{V}$

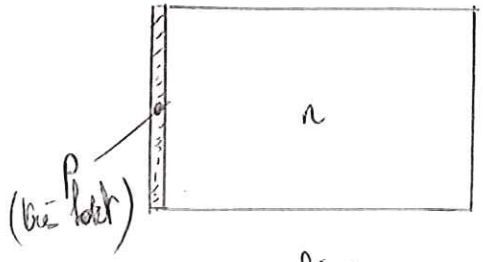
$\frac{dQ}{dV} = C$ = capacité apparente de la jonction pn.

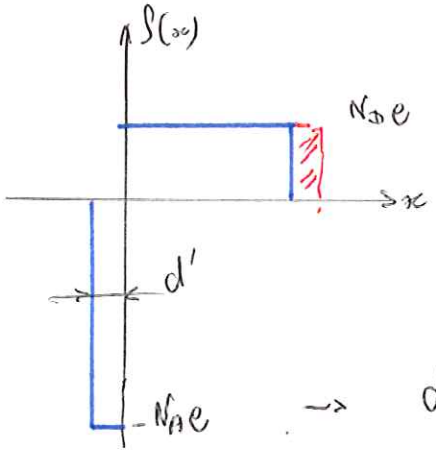
$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0}{d}$ par unité de surface.

$C_{mesurée} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{d}$:



lorsque l'on veut mesurer la densité de porteur d'1 sc n :

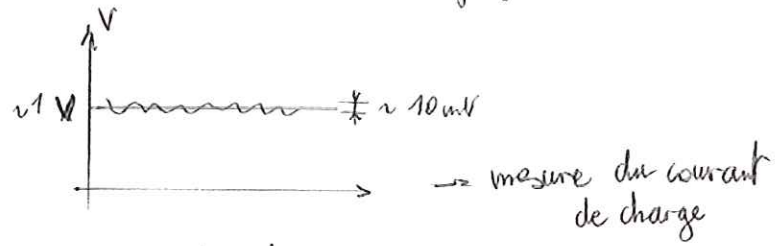




→ d ≥ largeur de n

on négligera d'

→ à tension variable :

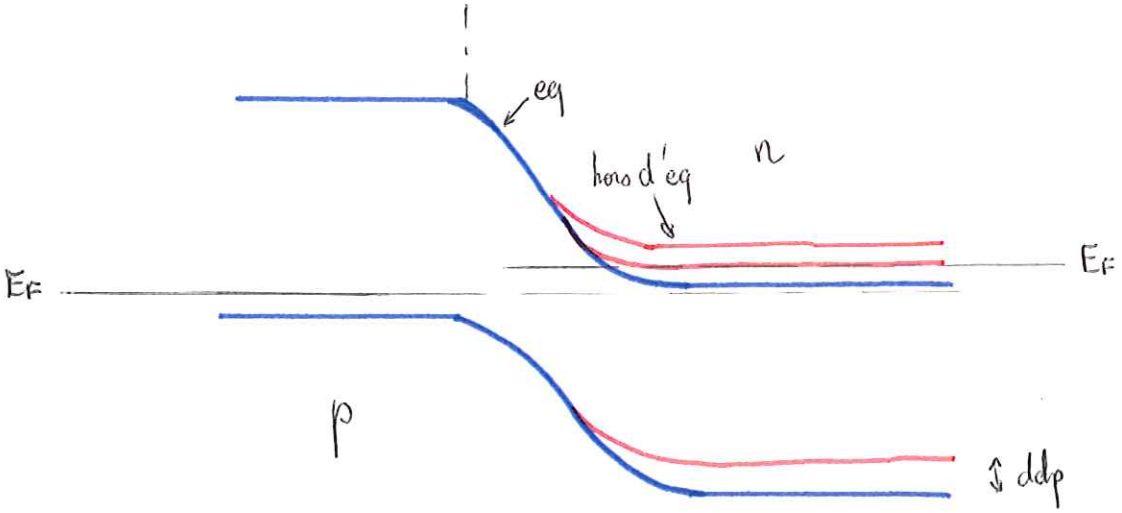


→ variation de la largeur de charge d'espace.

$\frac{1}{C^2} = a + bV$ → densité de donneurs à l'intérieur du sc.

$b = f(\varepsilon_0, \text{dopage})$.

4 Jonction hors d'équilibre



sortie de l'éq lors de l'applicat° de ddp → E_F n'est pas commun aux 2 zones.

→ pseudo niveaux de Fermi.

n : $n \simeq N_D$ = n° d'é⁻/u de vol $\simeq 10^{17}$

p : $n = \frac{n_i^2}{N_A} \simeq 10^4$

transis° : <u>à l'éq :</u> $n = N_C\, e^{\frac{E_c(x) - E_F}{kT}}$

ds la zone de charge d'espace : $\boxed{n \sim e^{-\frac{qV}{kT}}}$

V = pot électrostatique

<u>hors d'éq :</u> $n = N_D$ ds n

ds p : $n \longrightarrow \frac{n_i^2}{N_a}$ qd $x \to -\infty$

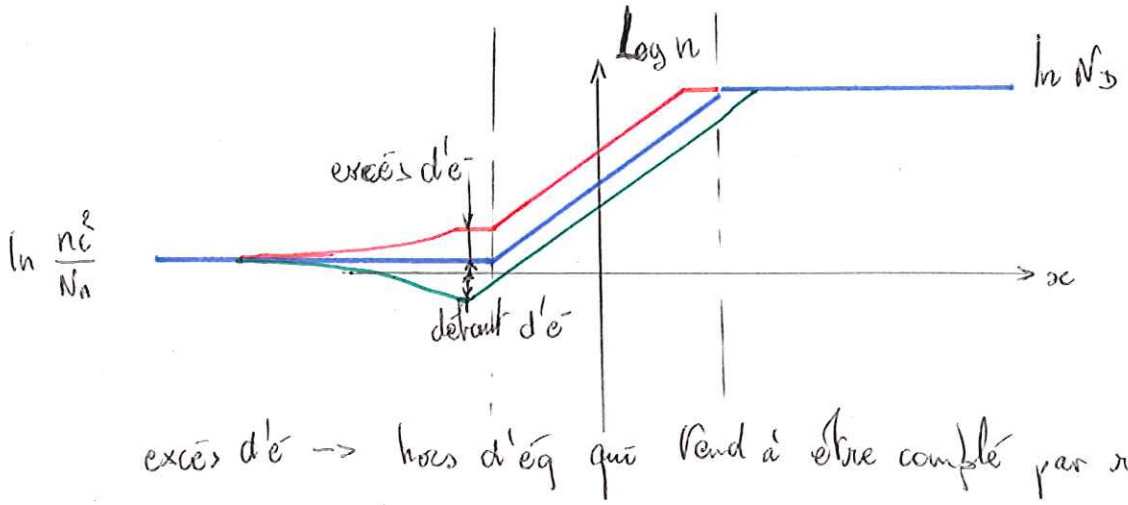
ds la zone où le pot° varie : $n \simeq e^{\frac{-qV}{kT}}$

mais à l'entrée de p : n° é ayant sauté la barrière

$>$ n° é à l'éq.

car la hauteur de la barrière

à ↓ à cause de ddp.



excès d'é → hors d'éq qui tend à être comblé par recombinaisons entre $\bar{e}$ et trous, au fur et à mesure que x ↗.

→ qd $x \to \infty$: $[\bar{e}]_{eq}$.

polarisat° en sens inverse : vers → défaut d'$\bar{e}$ et recombinaisons avec les trous.

idem avec les trous.