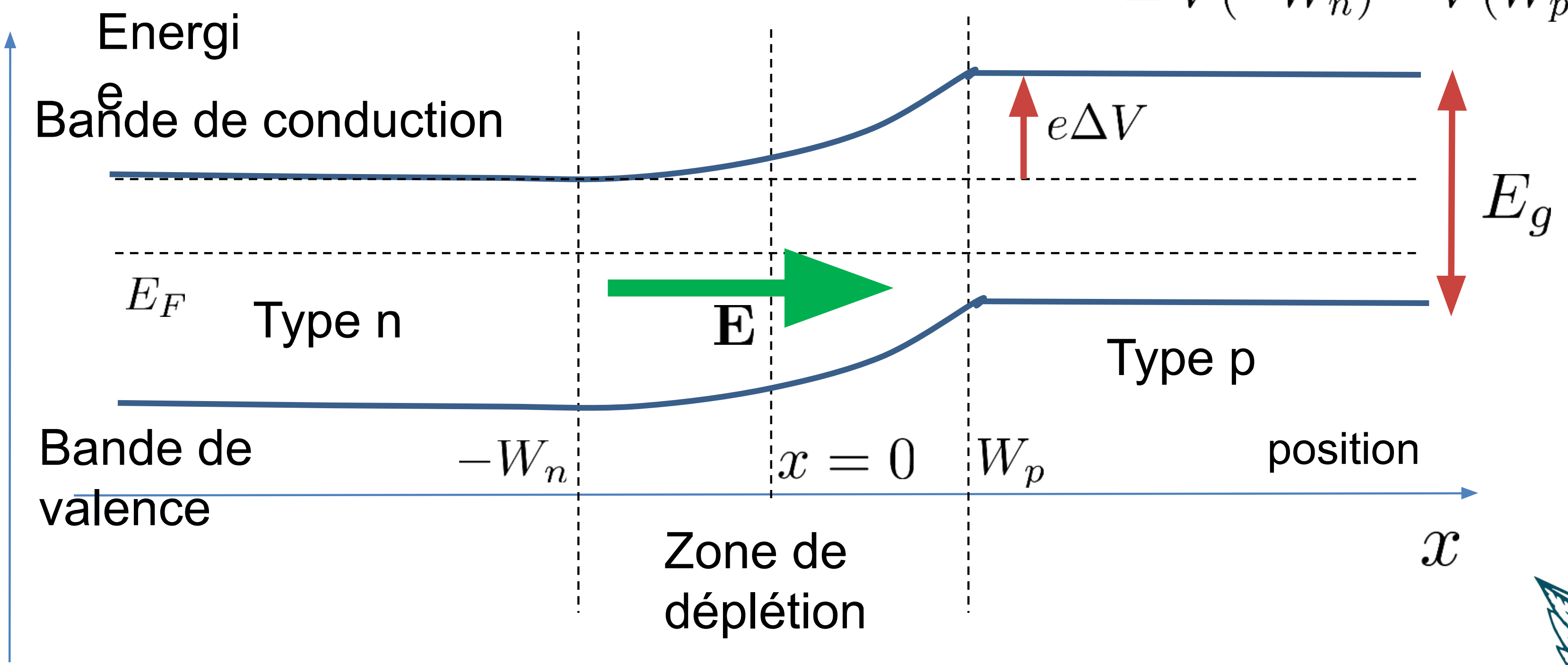
Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n à l équilibre thermodynamique

Il se construit une barrière de potentiel interne

$= V(-W_n) - V(W_p)$



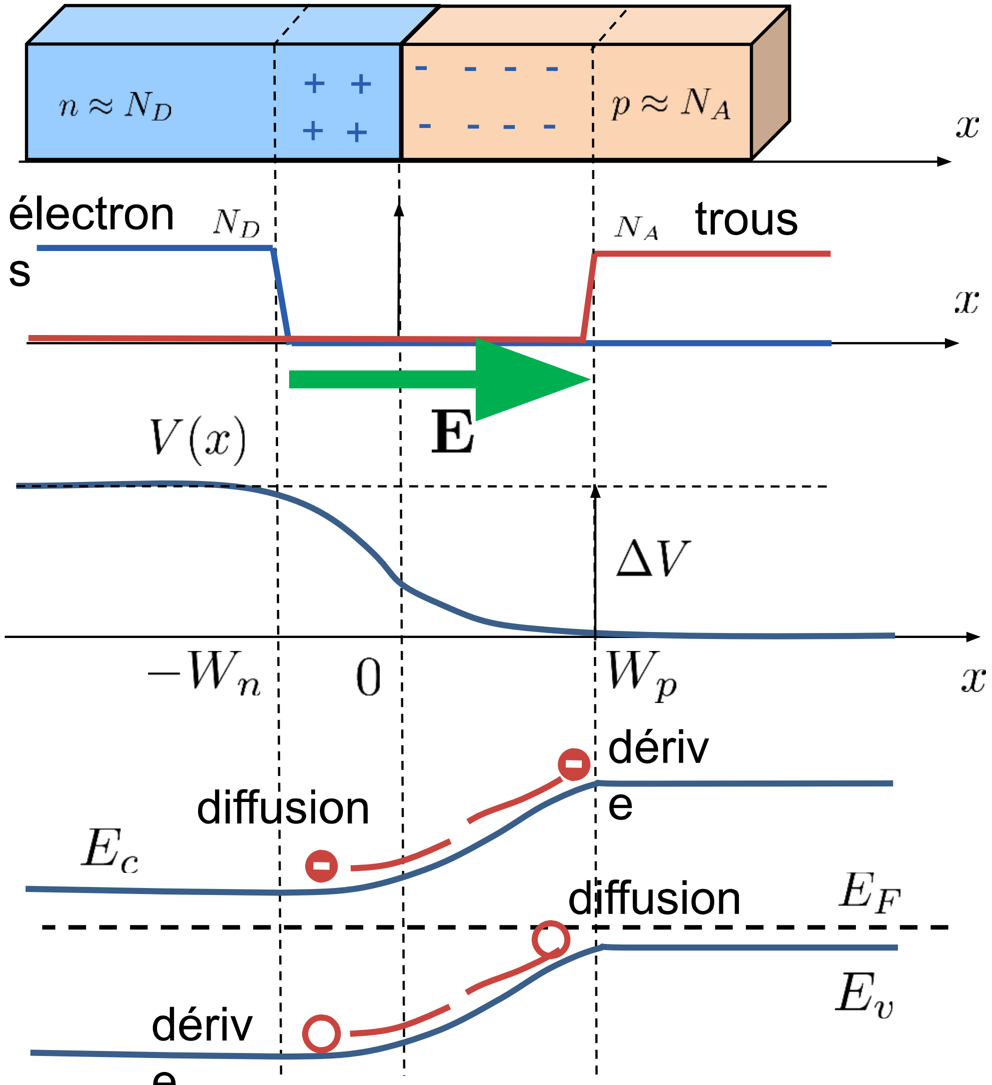
$$e\Delta V = E_g - \underbrace{(E_{c,n} - E_F)}_{-kT\ln\left(\frac{N_c}{N_D}\right)} - \underbrace{(E_F - E_{v,p})}_{-kT\ln\left(\frac{N_v}{N_A}\right)}$$

$$e\Delta V = E_g \boxed{+ kT\ln\left(\frac{N_c N_v}{N_A N_D}\right)}$$

Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n à l équilibre thermodynamique

Résum
é



$$e\Delta V = E_g - kT \ln\left(\frac{N_c N_v}{N_A N_D}\right)$$

$$W_n = \sqrt{\frac{\Delta V \epsilon_r \epsilon_0}{e} \frac{2N_A}{N_D(N_D + N_A)}}$$

$$W_p = \sqrt{\frac{\Delta V \epsilon_r \epsilon_0}{e} \frac{2N_D}{N_A(N_D + N_A)}}$$

Slicium

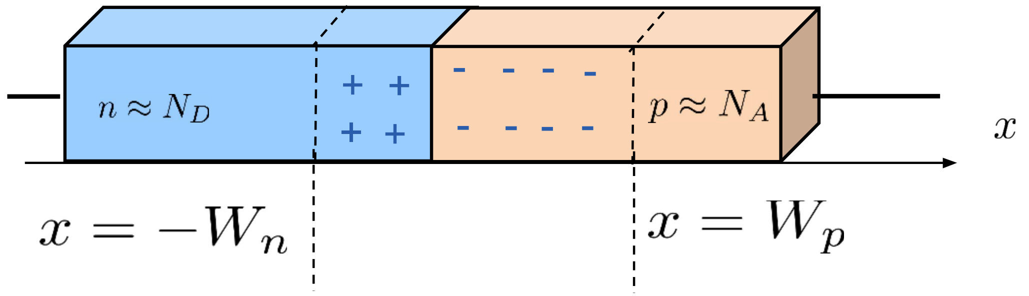
$N_c, N_v \sim 10^{19}\ \mathrm{cm}^{-3}$

$N_A, N_D \sim 10^{16}\ \mathrm{cm}^{-3}$

$$\Delta V \sim 0.77\ \mathrm{V}$$
$$W_n + W_p \sim 0.4\ \mu\mathrm{m}$$

Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n à l'équilibre thermodynamique



A l'équilibre

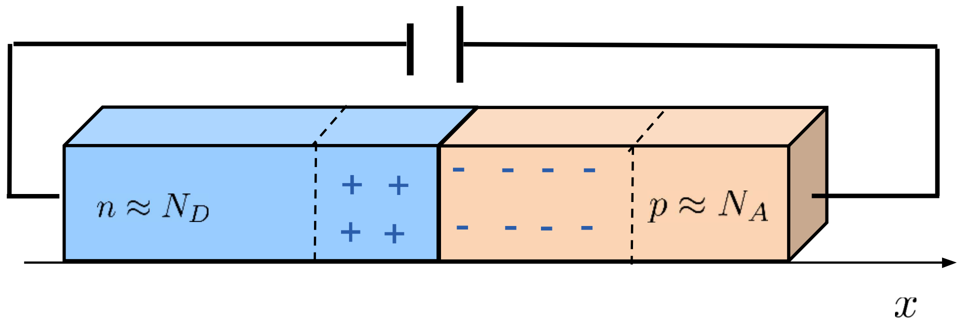
$$n_p^0(W_p) = N_c e^{-\frac{E_c(W_p) - E_F}{kT}} = N_c e^{-\frac{E_{c,n} - E_F}{kT}} e^{\frac{-e\Delta V}{kT}} = N_D e^{-\frac{e\Delta V}{kT}} = n_i^2 / N_A$$

$$p_n^0(-W_n) = N_v e^{-\frac{E_F - E_v(-W_n)}{kT}} = N_v e^{-\frac{E_F - E_{v,p}}{kT}} e^{\frac{-e\Delta V}{kT}} = N_A e^{-\frac{e\Delta V}{kT}} = n_i^2 / N_D$$

Concentration homogène de porteurs minoritaires de part et d'autre de la jonction

Séance 4: La jonction p-n

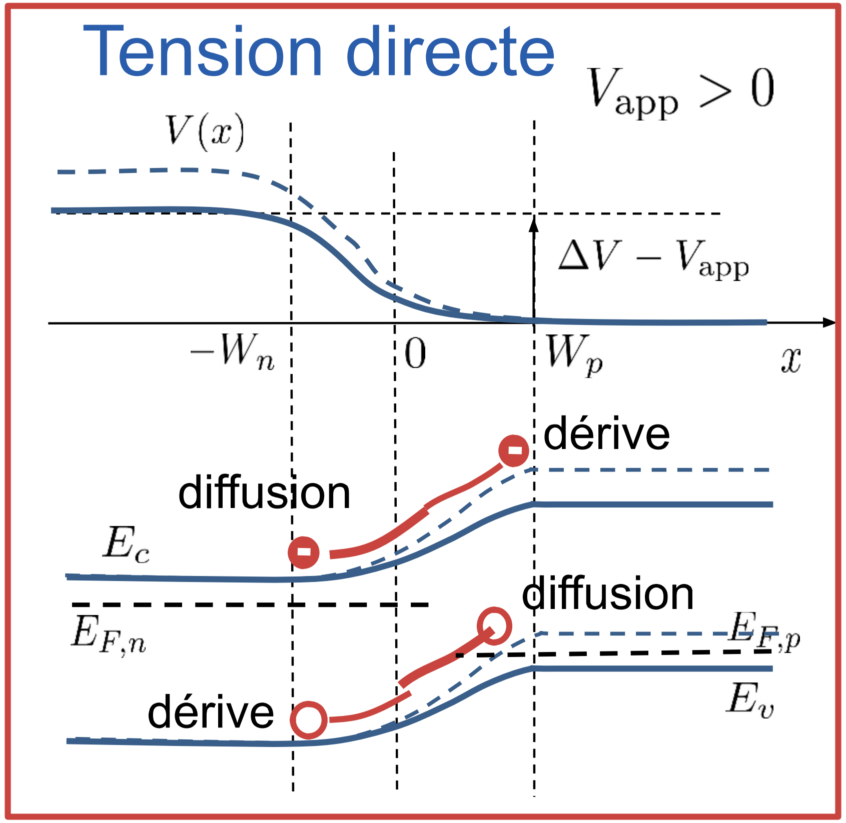
Jonction p-n hors équilibre

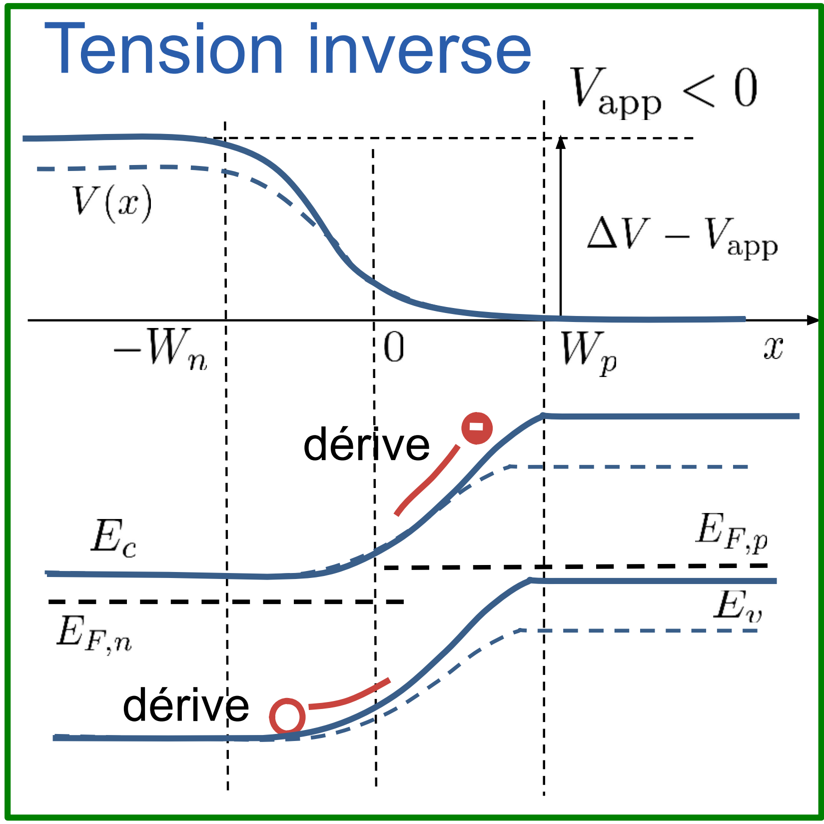


$$V_{app} = \frac{1}{e}(E_{F,n} - E_{F,p})$$

Nouvelle barrière $\Delta V - V_{app}$

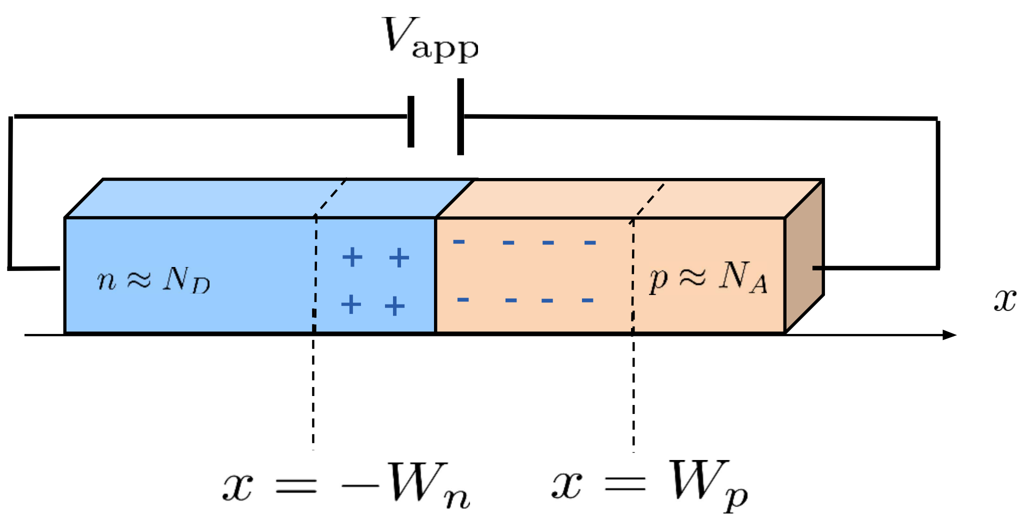
$$W_n + W_p = W_n(0) + W_p(0)\sqrt{\frac{\Delta V - V_{app}}{\Delta V}}$$





Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n hors équilibre



Calcul du courant

Condition de Shockley

Porteurs dans la zone désertée restent en équilibre avec leur zone respective

Sous tension appliquée

$$n(W_p) = N_D e^{-e\frac{\Delta V - V_{app}}{kT}} = n_p^0 e^{\frac{eV_{\text{app}}}{kT}}$$

$$p(-W_n) = N_A e^{-e\frac{\Delta V - V_{app}}{kT}} = p_n^0 e^{\frac{eV_{\text{app}}}{kT}}$$

En direct: excès de porteurs minoritaires aux bords de la zone de déplétion

$$\Delta n_p(W_p) = n_p^0 \left(e^{\frac{eV_{\text{app}}}{kT}} - 1 \right)$$

$$\Delta p_n(-W_n) = p_n^0 \left(e^{\frac{eV_{\text{app}}}{kT}} - 1 \right)$$

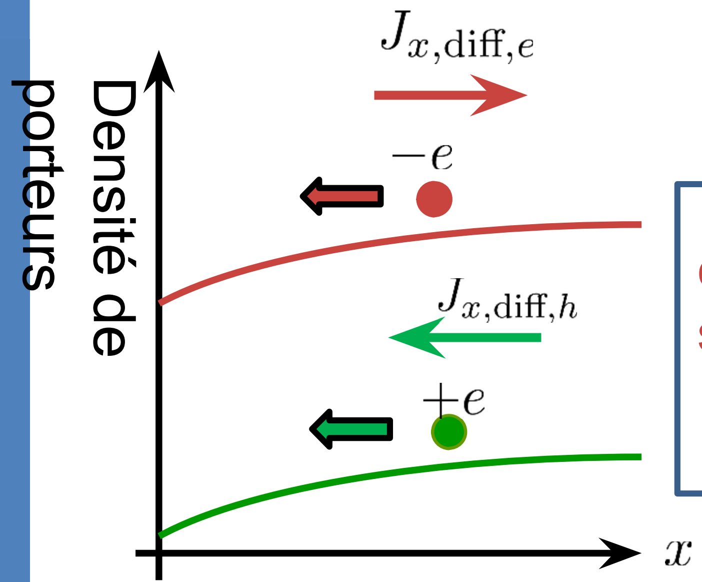
Dans les zones n et p:
seul moyen de transport est la diffusion de porteurs minoritaires!

+

Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n hors équilibre

Calcul du courant   Rappel séance 3



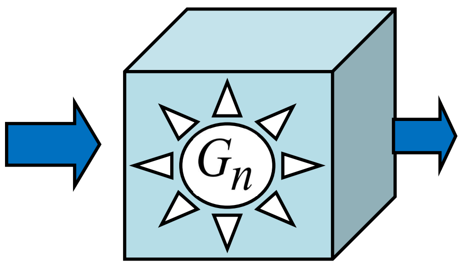
semiconducteur inhomogène

courants de diffusion (loi de Newton-Fick)

électrons $\varphi_e = -D_e \frac{dn}{dx} \Rightarrow J_{x,\mathrm{diff},e} = +eD_e \frac{dn}{dx}$

trous $\varphi_h = -D_h \frac{dp}{dx} \Rightarrow J_{x,\mathrm{diff},e} = -eD_h \frac{dp}{dx}$

Équations de continuité



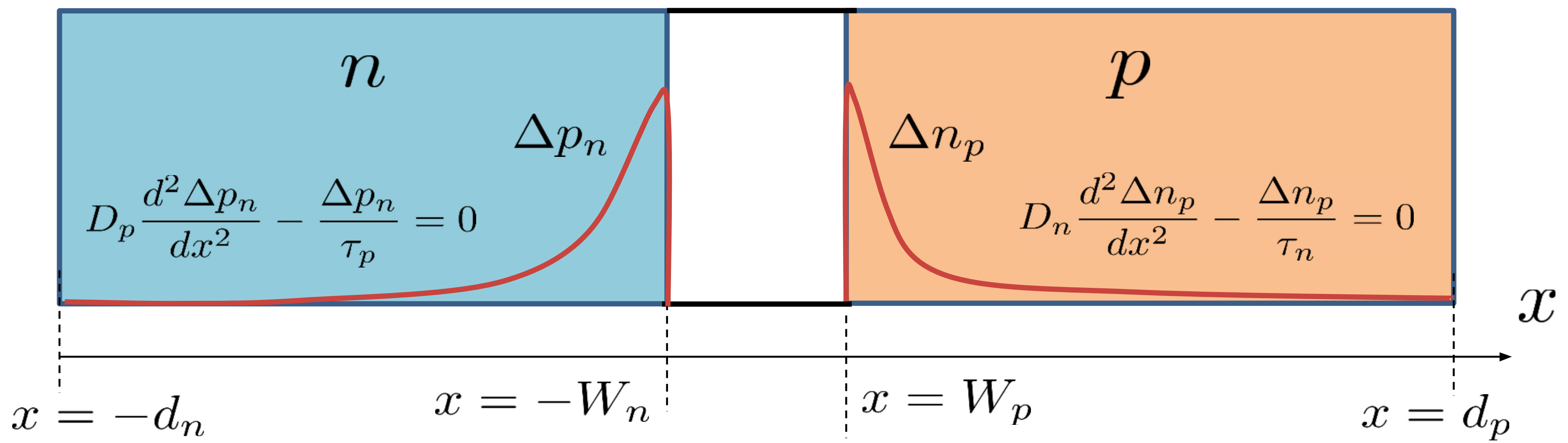
$$\frac{\partial n}{\partial t} - \frac{1}{e}\vec{\nabla}\cdot\mathbf{J}_\mathrm{e} = \mathrm{G_e} - \mathrm{R_e}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{e}\vec{\nabla}\cdot\mathbf{J}_\mathrm{h} = \mathrm{G_h} - \mathrm{R_h}$$

Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n hors équilibre

Calcul du courant



état stationnaire: équilibre entre diffusion et recombinaison

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \qquad L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

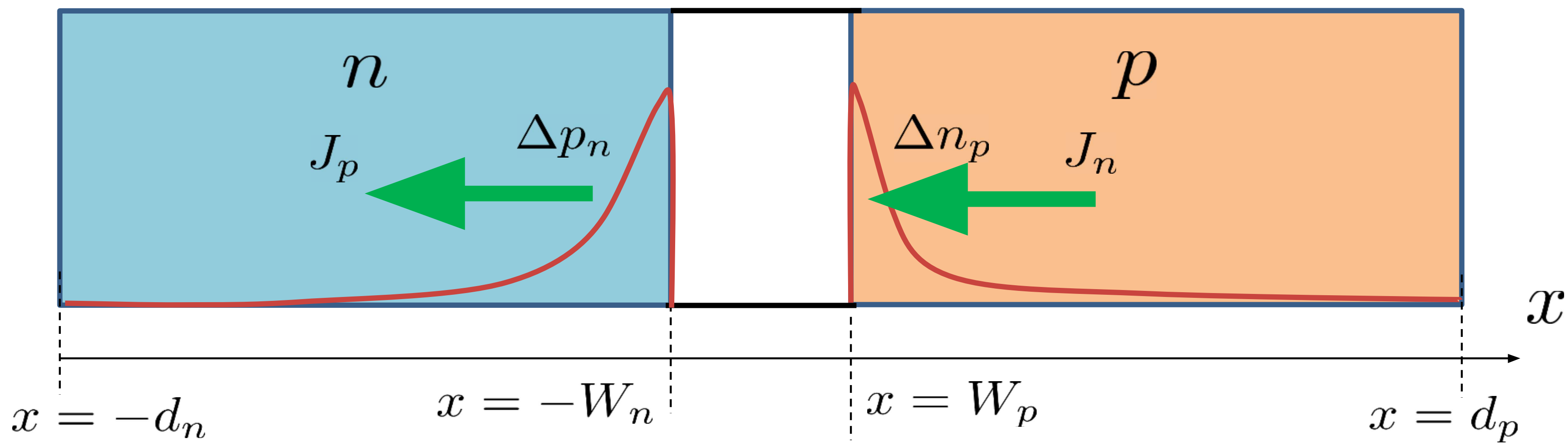
$$\left.\begin{array}{ll} \Delta p_n(-W_n) = \frac{n_i^2}{N_D} e^{e\frac{V_{\mathrm{app}}}{kT}} & \Delta p_n(-d_n) = 0 \\ \Delta n_p(W_p) = \frac{n_i^2}{N_A} e^{e\frac{V_{\mathrm{app}}}{kT}} & \Delta n_p(d_p) = 0 \end{array}\right\}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \Delta n_p(x) = \frac{n_i^2}{N_A} e^{e\frac{V_{\mathrm{app}}}{kT}} \frac{\sinh(\frac{d_p - x}{L_n})}{\sinh \frac{d_p - W_p}{L_n}} \\ \Delta p_n(x) = \frac{n_i^2}{N_A} e^{e\frac{V_{\mathrm{app}}}{kT}} \frac{\sinh(\frac{x + d_n}{L_n})}{\sinh \frac{-W_n + d_n}{L_p}} \end{array}}$$

Séance 4: La jonction p-n

Jonction p-n hors équilibre

Calcul du courant



Courants de diffusion

$$\left.\begin{aligned} J_n(W_p) &= -eD_n \frac{dn}{dx} \\ J_p(-W_n) &= eD_p \frac{dp}{dx} \end{aligned}\right\}$$

$$\boxed{J = J_s \left(e^{e\frac{V_{\mathrm{app}}}{kT}} - 1 \right)}$$

Equation de diode de Shockley

densité de courant de saturation

$$J_s = \frac{eD_n n_i^2}{L_n N_A} \coth\left(\frac{d_p - W_p}{L_n}\right) + \frac{eD_p n_i^2}{L_p N_D} \coth\left(\frac{-W_n + d_n}{L_p}\right)$$