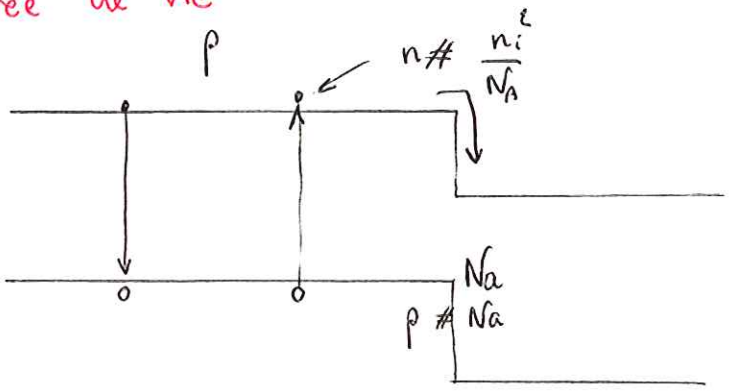
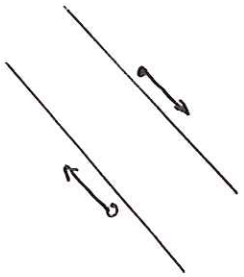
Rappel des PROP des JONCO PN

1 L et τ, longueur de diffusion ; Vaux de généraO- recombinaison durée de vie



ds 1te struct, on a éq entre généraO et recombinaison, de Vaux égale à $\frac{n}{\tau} = \frac{n_i^2}{N_A \tau}$

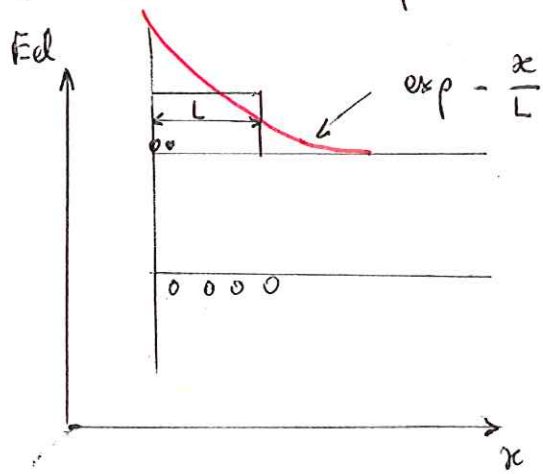
Dans la SC :



dé qu'il y a 1 porteur, il et collecté, pas recombiné : il constitue le courant.

→ généraO de porteur de Vaux égal à $\frac{n_i}{\tau}$.

pendant τ, les porteurs mino sont capable de parcourir L, longueur de diffusion thermique.



(généralemt : marche d'escalier suffisante).

avec : $L = \sqrt{D\tau}$

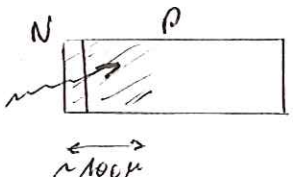
où D = coeff de diffusion

et $D = \mu \frac{kT}{q}$

AN : $\tau = 10^{-5}$ s pour les e^-
$\mu_{e^-} = 1200\ cm^2 V^{-1} s^{-1}$
$\Big\}$ $D_{e^-} \simeq 30\ cm^2 s^{-1}$

→ $L_{e^-} = 160\ \mu m$

c'est l'ex d'1 ℄ photovoltaïque :



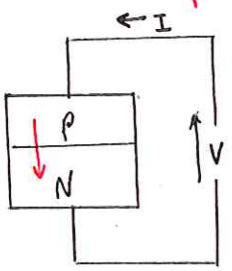
chaque porteur mino (qui se déplace sur les 100µ) sera à 1 ctt ou à 1 autre collecté, puisqu'il passera sur la jonc0.

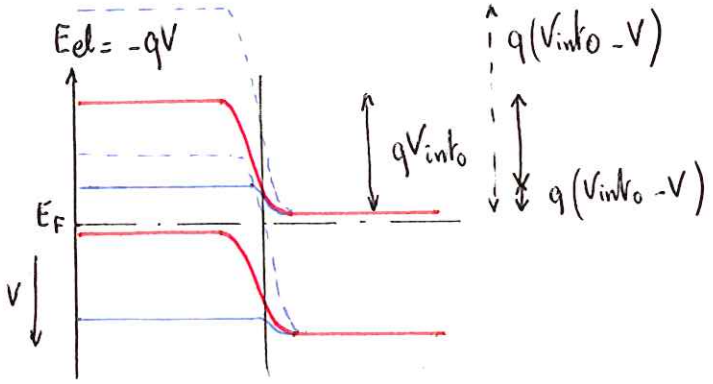
Par rapport aux struct intégrées, L est ↗ : ire la struct est active.
(10µ, 1µ)

$$\vec{J} = q \frac{n_i^2}{N_A \tau} L$$

2 Propriétés statiques

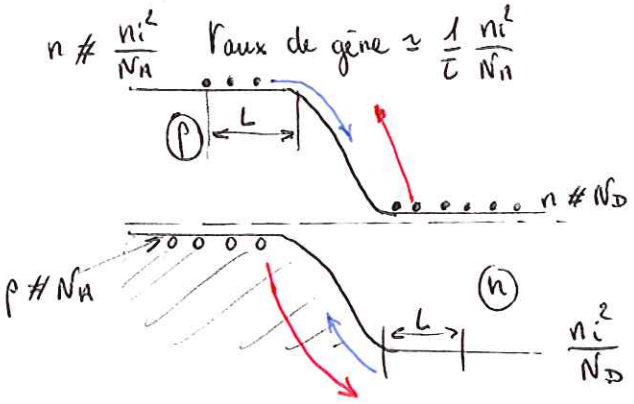
2.1 Géné





si $V > 0$: en bleu : on a réduit la barrière à la jonc0.

si $V < 0$: en bleu pointé : on accroit la barrière interne.



Thermique

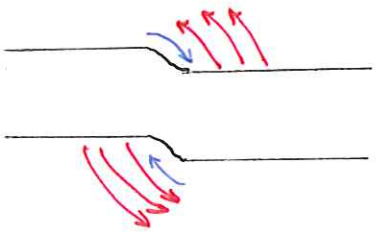
→ courant de diffusion sur L

→ certains des N_D é majo sont capables de franchir la barrié. re, avec $e\left(-\frac{qV_{int}}{kT}\right)$

idem pour les trous mino (n) : générés avec 1 taux $\frac{n_i^2}{N_D} \cdot \frac{1}{\tau}$

ceux générés vers par la jonc0 sont collectés (sur L)

de la jonc0 polarisée > 0 :



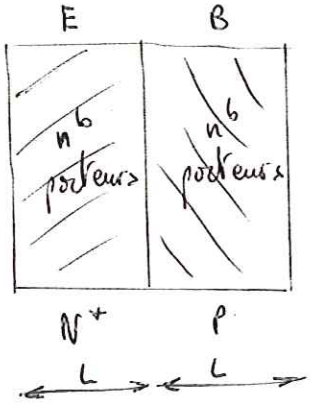
on accroit le flux d'é franchissant la barrière :

$$\exp\left(-\frac{q(V_{into} - V)}{kT}\right)$$

idem pour les trous.

sous polarisaO inverse : franchissemt ≥ imp.

→ applicaO au transistor :

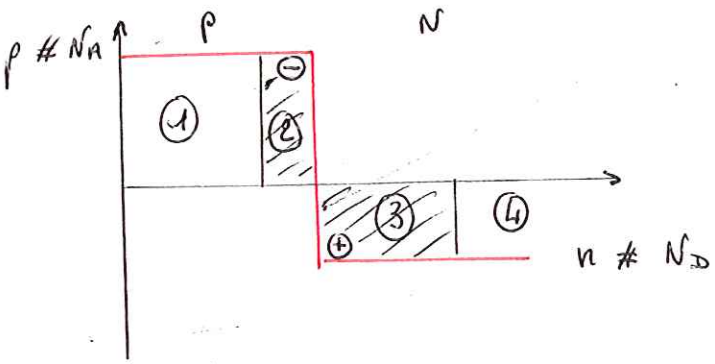


gain = rapport des 2.

22 Propriétés statiques

ds tte struct : $\Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{-\rho}{\varepsilon}$

$E = -\frac{dV}{dx}$

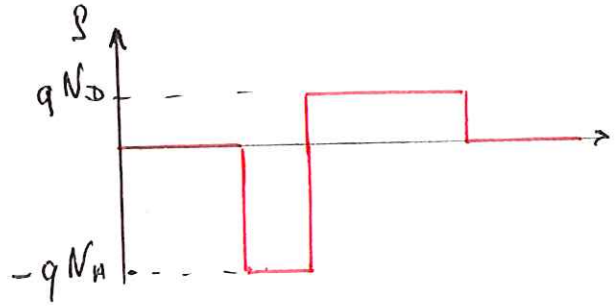


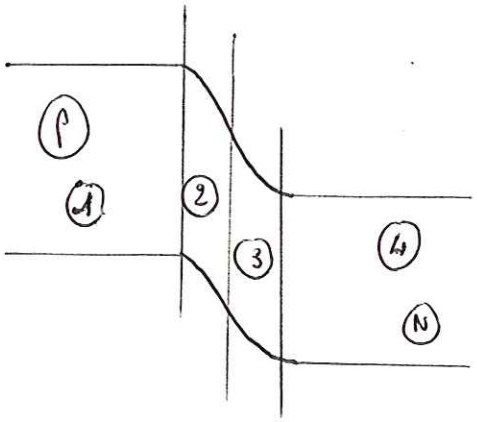
situaO statique : déficit de trous ds P → charge d'espace ⊖

_____ d'e⁻ ds N → _____ ⊕

on peut admettre que cette déserO est totale sur 1 certaine long, et nulle au delà : hyp de la jonctO abrupte.

→



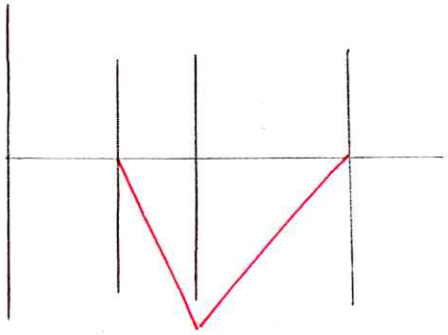


(2) : densité totale des trous, reste la charge des dopants accepteurs ayant cédé leurs trous.

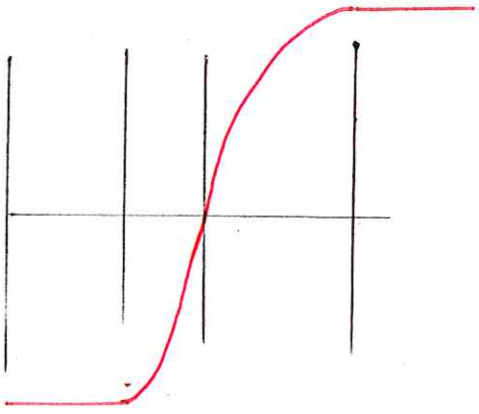
(3) : densité totale des $\bar{e}$, reste la charge des donneurs ayant cédé leurs $\bar{e}$.

→ les résultats sont conformes à l'exp.

$$E = -\frac{dV}{dx}$$



V :



c'est le détail de la SC.

cond aux lim : $V = 0$ en $x = 0$ et $x = \infty$ } poly.

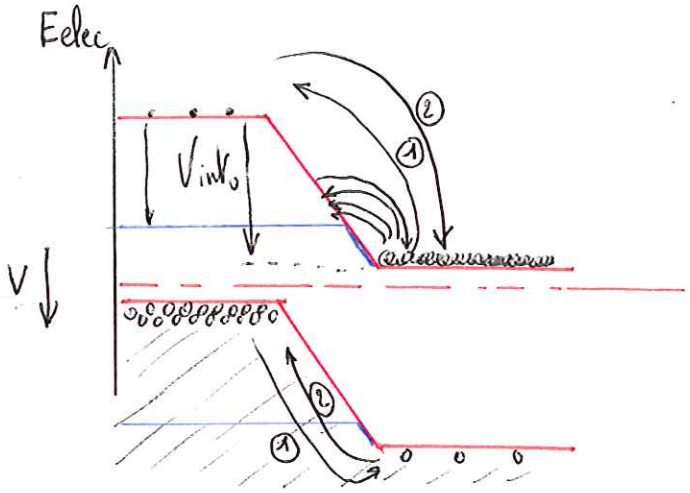
champ continu.

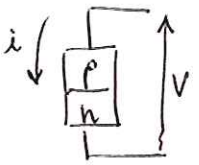
(2) : région la + dopée

(3) : ——— — — : la + étendue : (B d'1 transistor).

c'est le matériau le + dopé qui participe le + au courant.

3 Courants ds 1 jonc⊖ pn





$\underline{V=0}$ (rouge) : franchissem^t de barrière : flux ① : courant

$$: A \exp\left(\frac{-qV_{int_0}}{kT}\right)$$

côté p : $\bar{e}$ mino : durée de vie → L diffusion

→ épaisseur active = L

→ courant ② $= -q \frac{n_i^2}{N_A} \frac{1}{\tau_n} L_n$

$$\rightarrow \quad A \exp\left(-\frac{qV_{int_0}}{kT}\right) - q \frac{n_i^2}{N_A} \frac{1}{\tau_n} L_n = 0 \qquad (J_n = 0)$$

$\underline{V > 0}$: en bleu

Courant de type ① ↗↗ accrue.

$$J_n = A \exp\left(\frac{-q[V_{int_0} - V]}{kT}\right) - q \frac{n_i^2}{N_A} \frac{L_n}{\tau_n}$$

$$= A \exp - \frac{qV_{int_0}}{kT} \left[\exp \frac{qV}{kT} - 1\right]$$

$$\boxed{J_n = q \frac{n_i^2}{N_A} \frac{L_n}{\tau_n} \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1\right)}$$

ex : $N_A = 10^{19}$, $\bar{e}_n = 10^{16}$, $n_i \# 10^{10}$ → 10^2 porteurs minoritaire côté p ds L

→ $t_n = 10^5$ → $\tau_{t_n} = 10^{11}$ s

$\tau \# 10^{-6}$ s → $\frac{10^2}{10^{-6}} = 10^8$ $\bar{e}$ générés par s et par cm^3

à $V=0$:

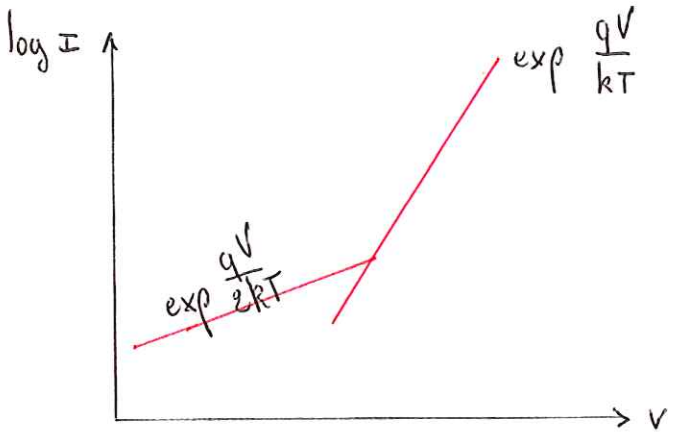
$$J_p = B \exp\left(-\frac{q V_{inv} r_0}{kT}\right) - q \frac{n_i^2}{N_D} \frac{L_p}{\tau_p} = 0$$

à $V>0$:

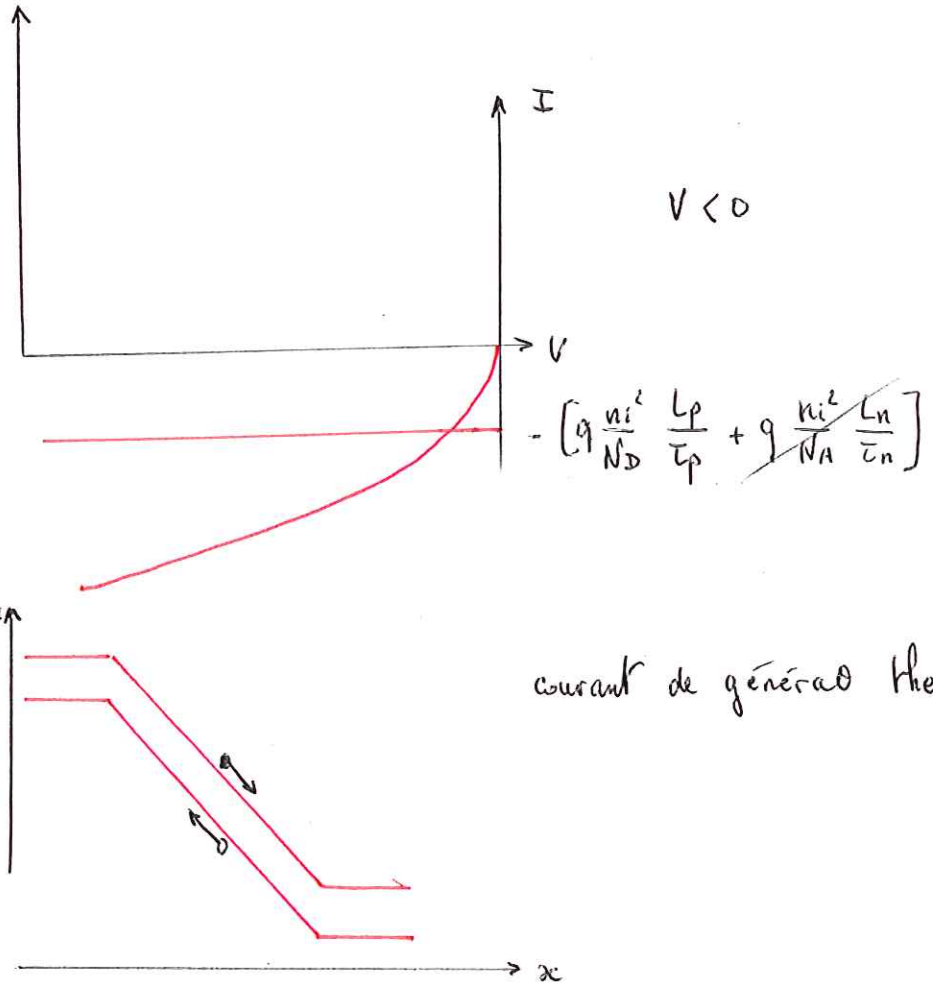
$$J_p = \underbrace{B \exp\left(-q \frac{[V_{inv} r_0 - V]}{kT}\right)}_{①} - q \frac{n_i^2}{N_D} \frac{L_p}{\tau_p} =$$

à $V<0$: courant ① négligeable

donc $\boxed{J_p = q \frac{n_i^2}{N_D} \frac{L_p}{\tau_p} \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1 \right)}$ si $V>0$



$V>0$



$V<0$

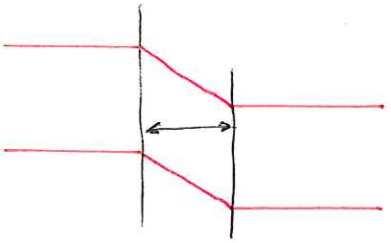
courant de génération thermique dans la zsc

ds SCR : taux de génér de port mino $\neq \frac{n_i}{\tau}$

collecté par effet de champ : recombinaison $\neq 0$

donc sous polarisation inverse : $q \frac{n_i}{\tau} d$ $\uparrow$ $\sqrt{V_{int(0)} - V}$ → pratiquement 1 parabole.

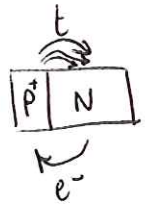
sous pola direct :



$\exp \frac{qV}{kT}$ prépondérant

pour $V \lesssim 0{,}5\,V$

4 Efficacité d'injecté



quelle est la dyssymétrie du flux de trous / flux d'é⁻ ?, pour 1 jonct polarisée en direct. $V > 0$

efficacité d'injecté : $\gamma = \frac{J_p}{J_n + J_p} = \frac{1}{1 + \frac{J_n}{J_p}} = \boxed{\left(1 + \frac{D_n L_p N_D}{D_p L_n N_A}\right)^{-1} = \gamma}$

en remplaçant $\tau_n = \frac{L_n^2}{D_n}$ et $\tau_p = \frac{L_p^2}{D_p}$ ds les formules de courant.

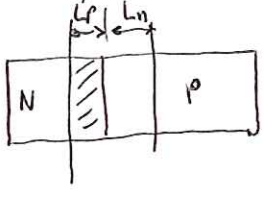
c'est $\frac{N_D}{N_A}$ qui détermine l'efficacité.

$N^+ P$

$$\gamma_{el} = \frac{J_n}{J_n + J_p} \Rightarrow \left(\gamma_{el} = 1 + \frac{D_p L_n N_n}{D_n L_p N_D}\right)^{-1}$$

on voit que indép de V.

A la jonct NP épaisse on associe 1 épaisseur active :



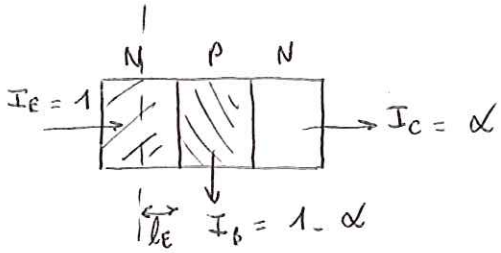
émetteur N : capable d'injecter tout ce qui est à sa région active.

soit : $L_n \cdot N_A$ = n^b de Gummel.

base P : pour la région de type p : réservoir à trou : $L_p N_D$.

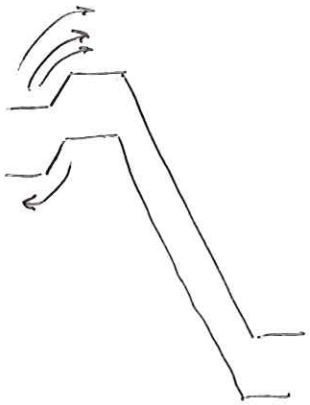
si l'ép de P (W) $\ll L_n$ = n^b de Gummel = $N_A W$

$\longrightarrow$ $\boxed{H_{FE} = \dfrac{N_D L_A}{N_A W}}$



$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \neq \frac{1}{1-\alpha}$$

$$\alpha = 1 - \varepsilon = 1 - \frac{1}{K} \rightarrow \beta \neq K$$



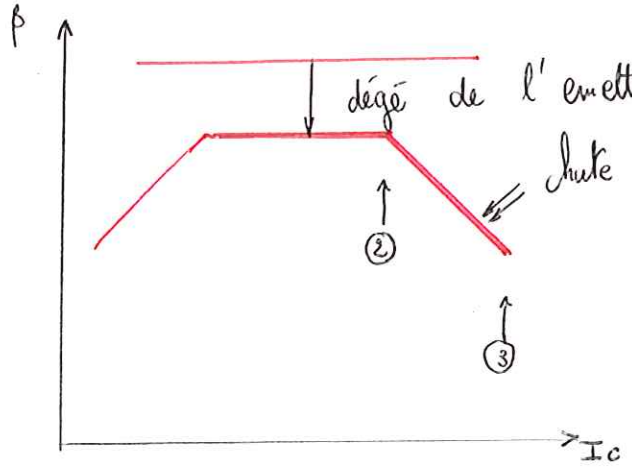
$$\alpha = \frac{J_n}{J_n + J_p} = \frac{1}{1 + \frac{J_p}{J_n}}$$

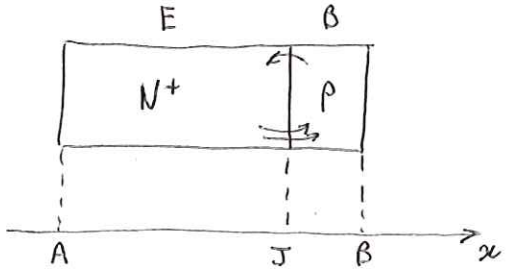
$[e^-] . l_E$ = n° de Gummel de l'emetteur = Q_E

l_E = ép active $\simeq$ l de diff.

$$\rightarrow \beta = \frac{Q_E}{Q_B} \frac{D_n}{D_p}$$

$\simeq 10^4$ $\simeq 3$





$$\beta = \frac{J_n}{J_p} = \frac{\int_A^B n \frac{1}{D_p n_i^2} dx}{\int_A^B p \frac{1}{D_n n_i^2} dx}$$

Q_{SB} : charge stockée ds la base

Q_{SE} : ——— l'E

$$\beta = \frac{Q_E \frac{1}{q D_{pE} n_{iE}^2}}{Q_B \frac{1}{q D_{nB} n_{iB}^2} + \underbrace{Q_{SB} \frac{1}{q D_n^B n_{iB}^2}}_{②} + \underbrace{Q_{SE} \frac{1}{q D_{pE} n_{iE}^2}}_{③}}$$

② tient compte des é injectés $N^+ \rightarrow P$ (fort champ)

③ ——— ——— t ——— $P \rightarrow N^+$ (très fort champ)

$Q_{SB} = J_n t_B = \frac{J_n W_B^2}{2 D_n}$ ~~Q_{BS}~~ $\frac{1}{2}$: milieu isotrope : $\frac{W_B^2}{D_n}$

$Q_{SE} = J_p t_{pE} =$ ↑ de séjour ds la base.

↑ de diff$_E$ + gde que ds la B → t → τ (durée de vie).

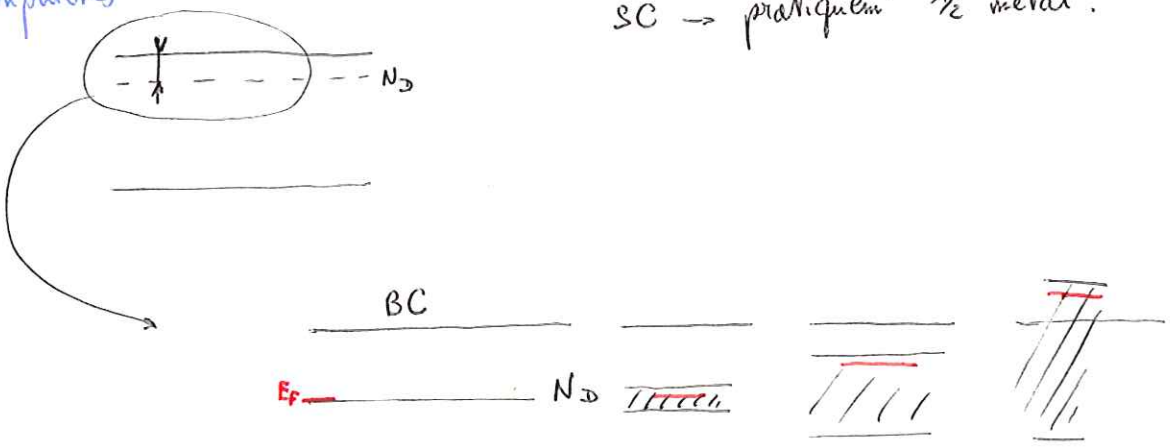
Forte injectⁿ : $Q_{SB} = Q_B$

$$\rightarrow \quad J_C = \frac{q N_A W_B}{\frac{W_B^2}{2 D_n}} = \frac{2 q N_A D_n}{W_B}$$

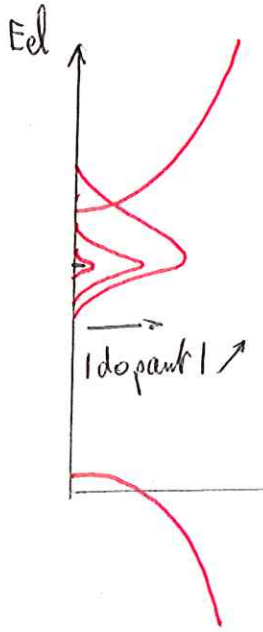
6 Effets de fort dopage = dégé de l'Emetteur

6.1 bandes d'impuretés

SC → pratiquemt ½ métal.

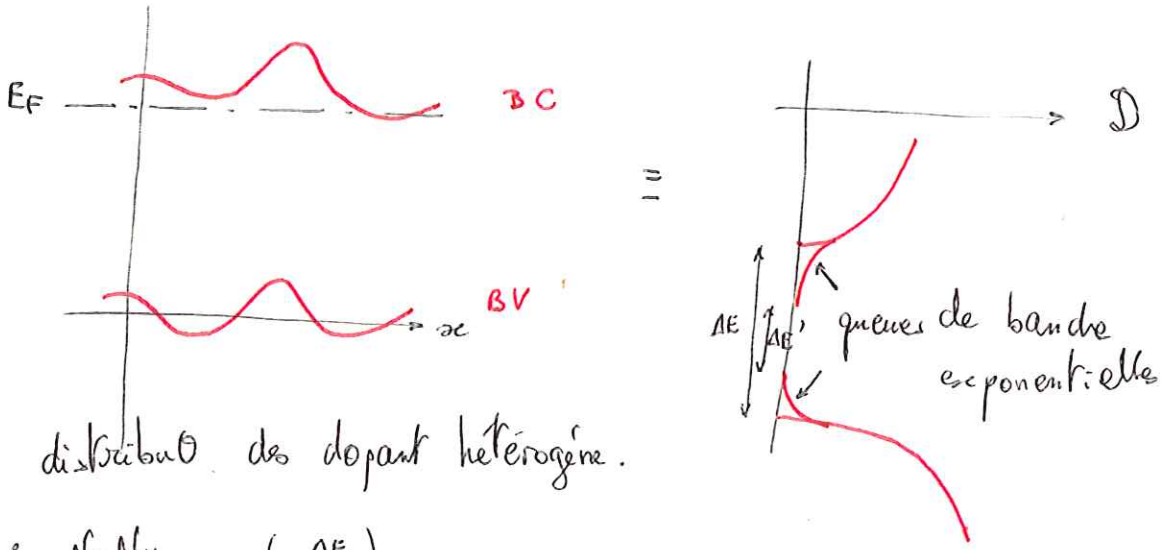


→ [dopant] ↗



Il se passe ĉ si on avait 1 ↓ effective de la largeur de bande interdite.

6.2 queue de bande → 1 1 inhomogène

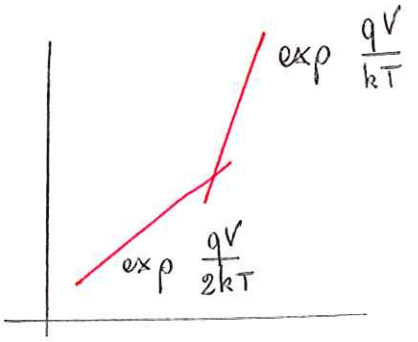


distribu0 des dopant hétérogène.

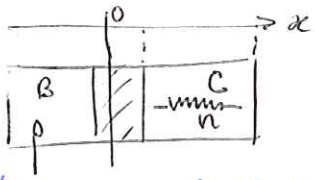
alors $n_i^2 = N_c N_v \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$

→ $n_{ieff}^2 = N_c N_v \exp\left(-\frac{\Delta E'}{kT}\right)$ souvent $\frac{n_{ieff}^2}{n_i^2} \simeq 10^2$

lors d'1 faible injec0 il se pose aussi de recombi de SC.



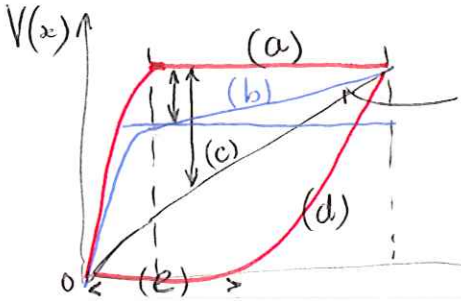
7 Elargissem^t de la base



7.1 struct travaillant sous faible tension (5V)

à I_C ↗

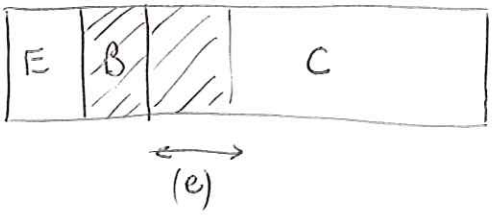
→ appari0 non négligeable d'1 résistance → tension aux bornes réduite d'autant.



chute de tension à cause de R

→ SC ↓

→ à I_C ↑↑, la région SC ↓. On arrive à la situaθ de dispariθ de la joncθ BC, situaθ (c), voire m̂ à la situaθ (d), avec région équipotentielle, prolongeant la base elle m̂ équipotentielle :



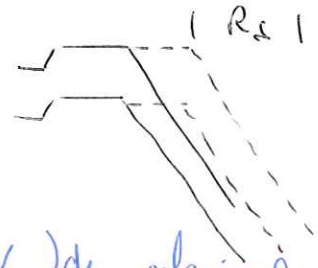
la région d'épaisseur (e), est la base induite.

Dans C : résistance série (R_s)

ĉ ttes les propriétés des transistors dépendent de la joncθ EB, rien n'est changé sur les prop du transistor. Mais les combinaisons de porteurs ds la base deviennent non négligeables. → affecte les performances dynamiques.

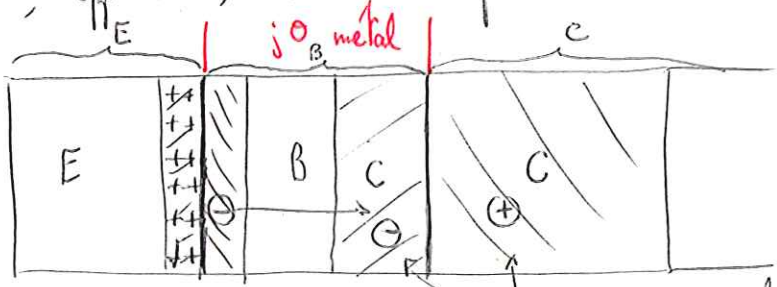
→ t. de réponse du transistor :

$$t_d = \frac{w^2}{2D_n}$$



72 Travaillant sous forte tension (24V) de polarisaθ.

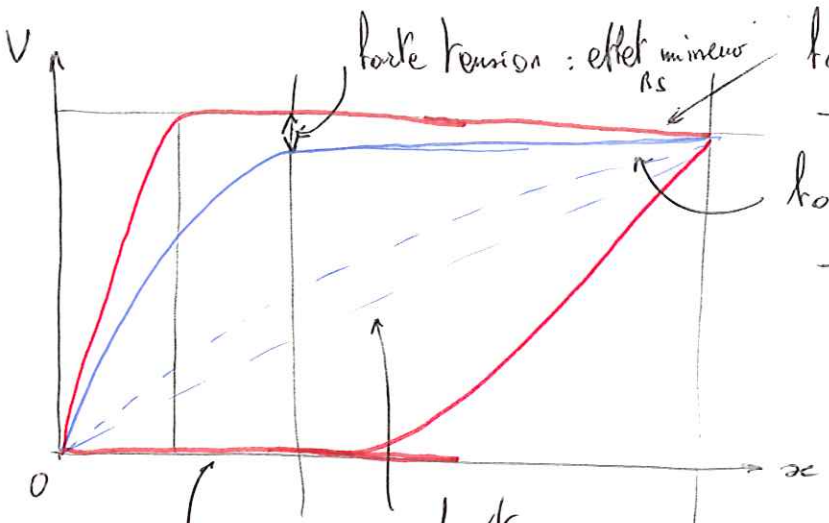
l'effet de résistance série devient négligeable, mais effet de compensaθ, apparaît, des ions présents ds la SC.



ē disparus t disparus région peu chargées (dopées)

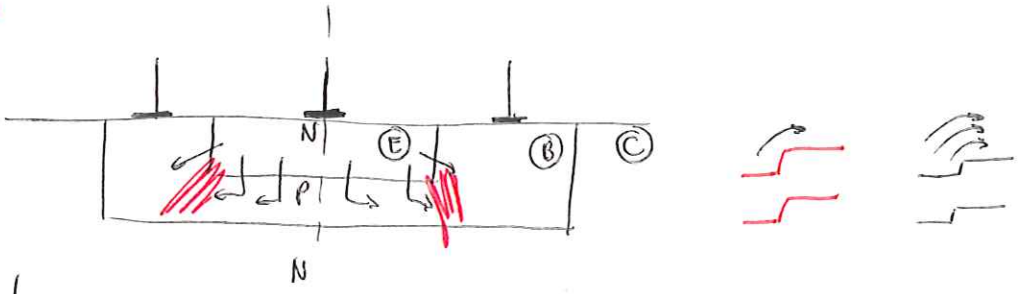
0,1μ dopage (E) ↑↑ → |ion⁺| ↑↑

BC : momentanément, la densité d'ē à fort I_C compense + ou − fortement la charge statique ds ion⁺ présents init.



→ Le transistor est la jonct° EB puisque les modificat° éventuellement sont sur la base.

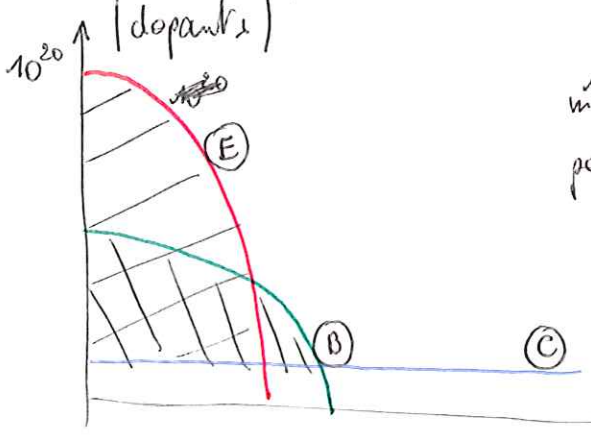
8 Effets bidim



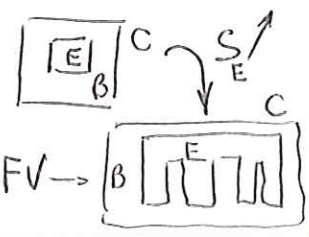
courant de base I_B → grad V dans la base, car la résistance de la couche de base est non négligeable ~~(résistive)~~.

→ la région de base la + polarisée en direct est la périphérie. La - est le centre.

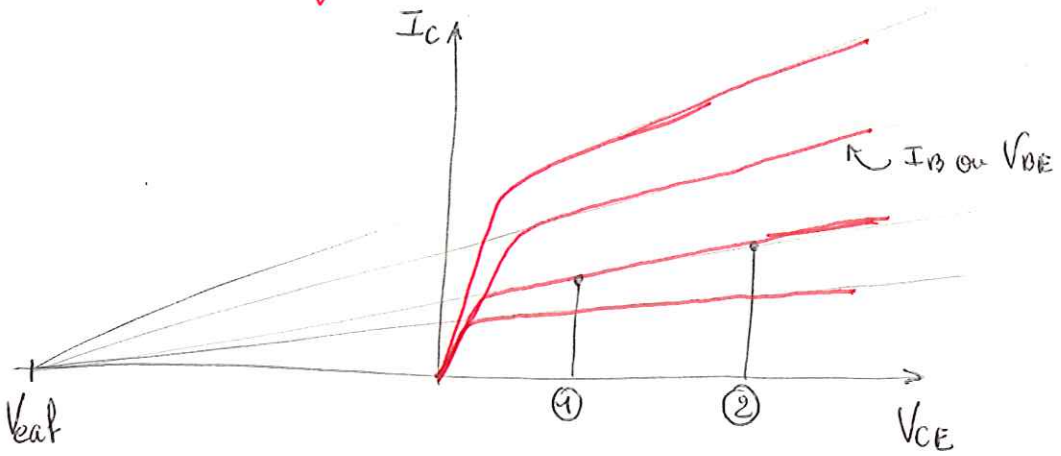
→ l'essentiel du flux de porteurs est concentré ds la zone rouge.



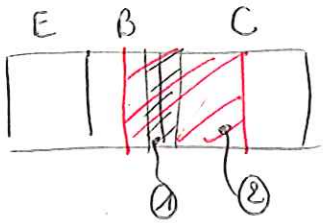
m^ avec I_B // R_B n'est pas tout à fait négligeable.

FV → 

9 Tension de ~~Retai~~ Earley



$V_{CE} \nearrow \rightarrow SC \nearrow$



$\frac{Q_E}{Q_B} \nearrow$ car $Q_B \searrow$ et $\frac{\Delta Q_B}{\Delta V_{CE}} \simeq C_{CB}$ (μF)

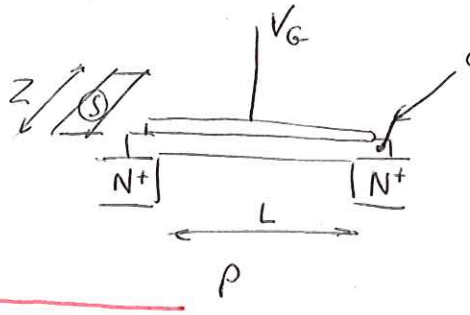
$\rightarrow$ $\boxed{V_{af} \neq \frac{Q_B}{C_{CB}} \frac{A_{CB}}{A_{EB}}}$

10 Transistor MOS

$\vec{v_e} = \mu \vec{\mathcal{E}}$

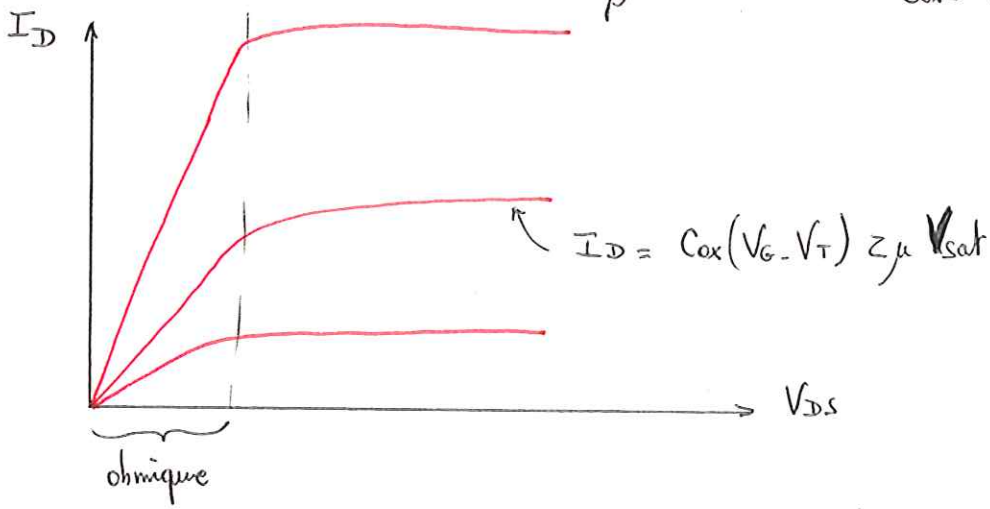
$I_D = q N Z v_e$

$= C_{ox} (V_G - V_T) Z \mu \frac{V_{DS}}{L}$



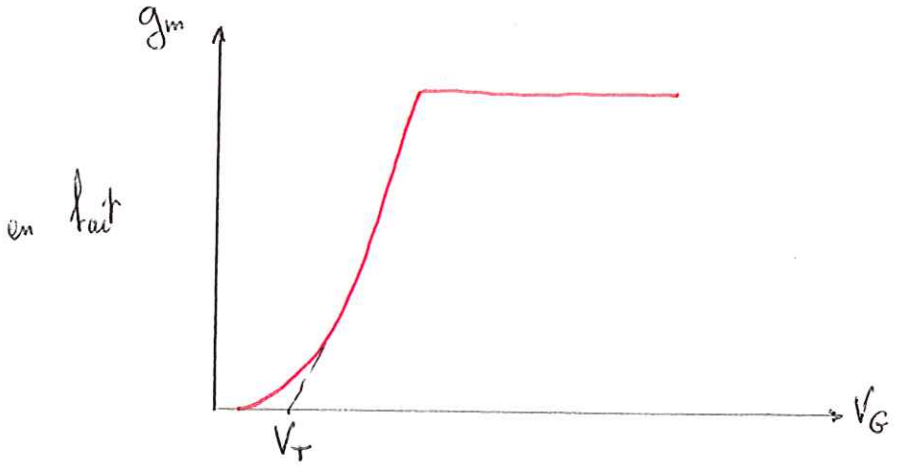
$\Delta Q = C \Delta V_G$

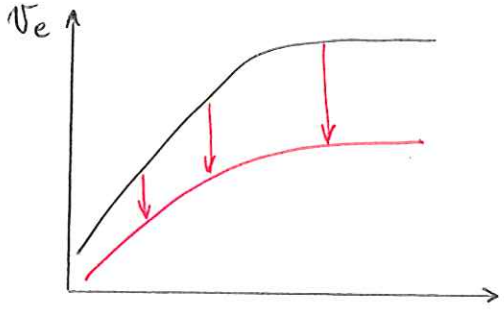
$C_{ox} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{SiO_2}} \frac{Z L}{e_{SiO_2}}$



Transconductance $\boxed{g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_G} = Z C_{ox} v_{sat}}$

Z : dim transverse.



Dans 1 mosf, on a aussi 1 champ créé fait de la direct transverse: réduct de la mobilité effective des porteurs du canal, de 1 bon facteur 3 : 1200 → 400 $cm^2 V^{-1} s^{-1}$

On peut représenter $v_e = f(\mathcal{E})$ en coordonnées réduites, et en 3D :