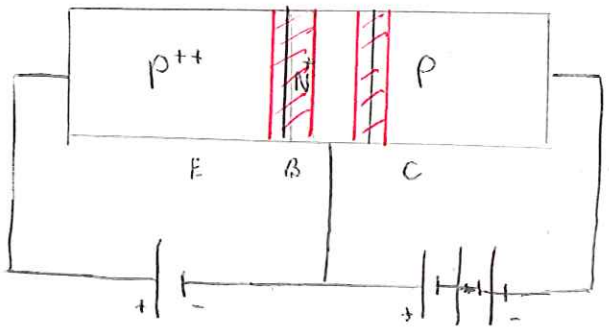
TRANSISTOR BIPOLAIRE

1 Foncθ^t idéal



trous arrivant vers N : diffusent ds P par hapage à cause de E_{sc} ds la 2e joncθ → collecteur.

le courant $I_{EB} = I_{BC}$

la connecθ(B) n'est pas traversé par 1 courant.

$$\vec{j} = j_s \exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT} - 1\right)$$

la tension EB ne sert qu'à moduler le courant j.

2 Foncθ^t réel

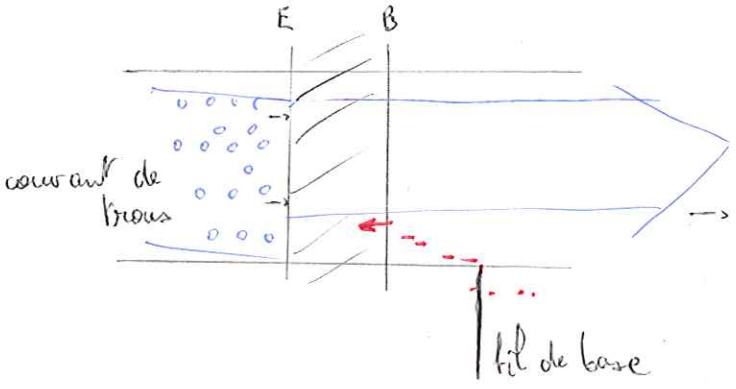
le courant I_{EB} est composé de trou, mais aussi d'e$^-$ que l'on avait négligé

On à le rapport :

$$\frac{j_{pn}}{j_{np}} = \frac{N_{dB}}{N_{AE}} \cdot \frac{D_n W}{D_p L_E} \quad \begin{matrix}\text{(donneur ds la base)} \\ \text{(accepteur ds l'emetteur)}\end{matrix}$$

$$\simeq \frac{1}{100}$$

$$\cancel{= \frac{D_n}{D_p}}$$

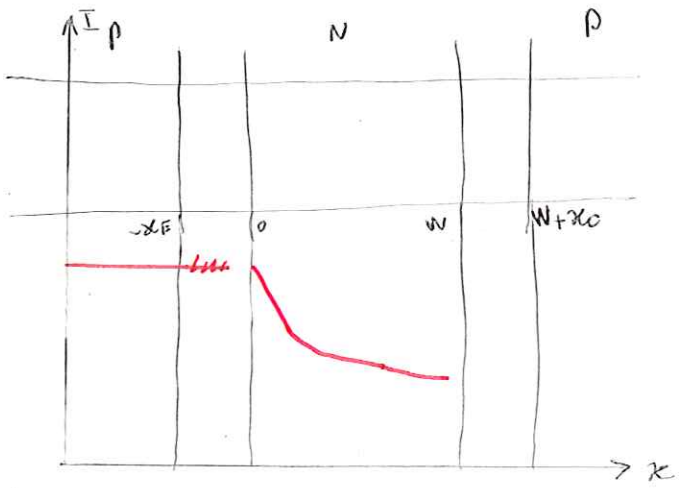


On suppose que $W \ll L_p$

→ les trous passent la base sans se recombiner avec les e$^-$: Toute p^{te} recombinaison en fait.

cette p^{te} recomb ⇒ appel de e$^-$ par la base.

d'où 1 courant supplémentaire.



$$I_E = I_1 + I_2 + I_{dp} + I_3$$

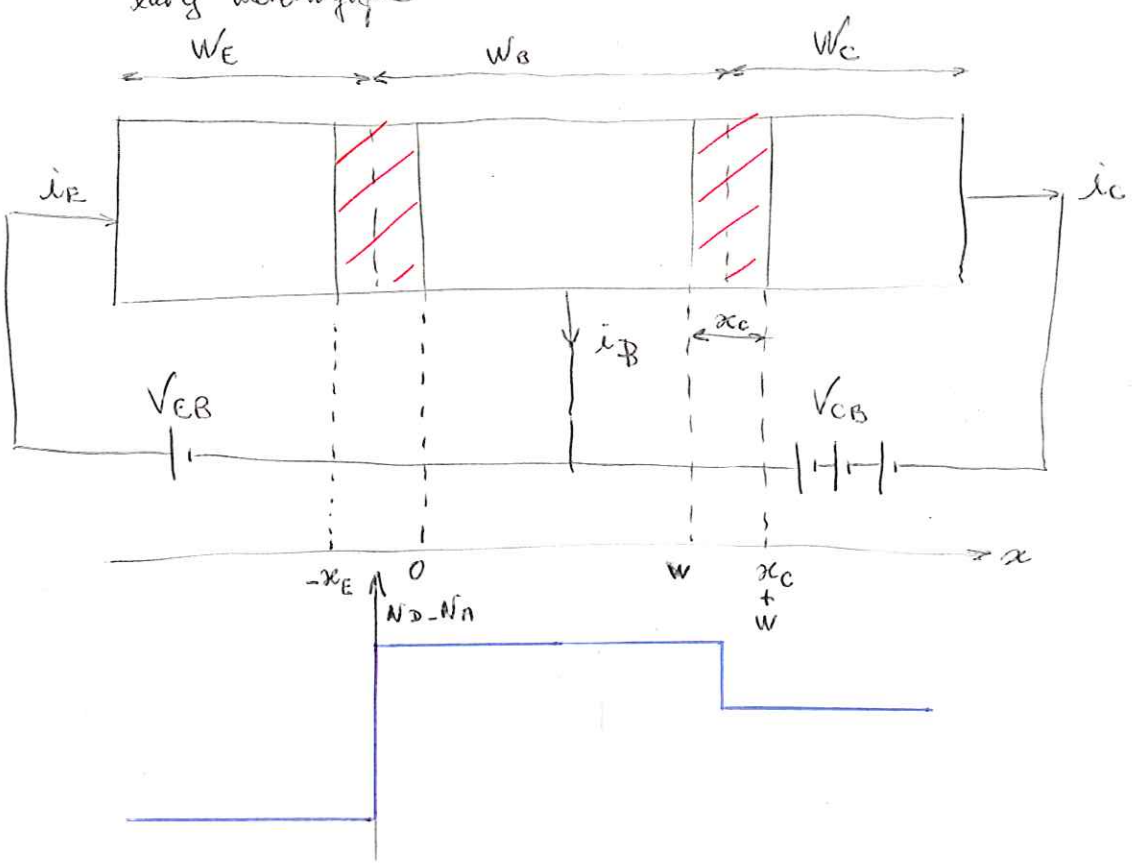
I_1 : é injectés ds l'E de type P

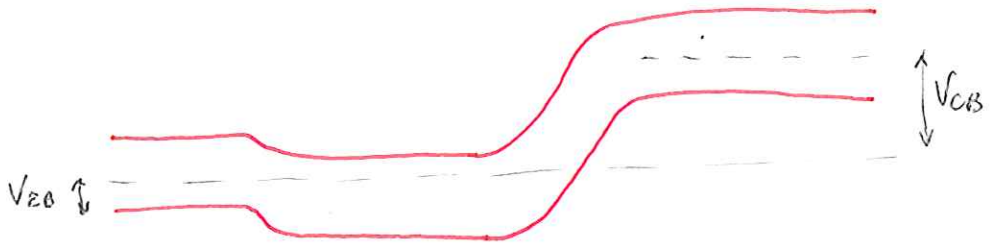
I_2 : e⁻ injectés ds SC EB

I_3 : disparaît neutre ds la base

Caractéristique du transistor :

hyp : profil de porteurs 1D
jonct° abrupte, uniformément dopée
base mince, faible injec°.





Calculons la [porteurs minos] :

lim de EB :

densité de trous en 0 : $p'(0) = p(0) - p_B = p_B\left[\exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT} - 1\right)\right]$

p_B : nb de trous à l'éq de la base

$$n'(-x_E) = n(-x_E) - n_E = n_E\left[\exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT} - 1\right)\right]$$

n_E : nb é eq de l'Emetteur

lim de CB :

$$p'(W) = p(W) - p_B = p_B\left[\exp\left(\frac{qV_{CB}}{kT} - 1\right)\right]$$

$$n(W + x_C) = n(W + x_C) - n_C = n_C\left(\exp\left(\frac{qV_B}{kT} - 1\right)\right)$$

région neutre de la base :

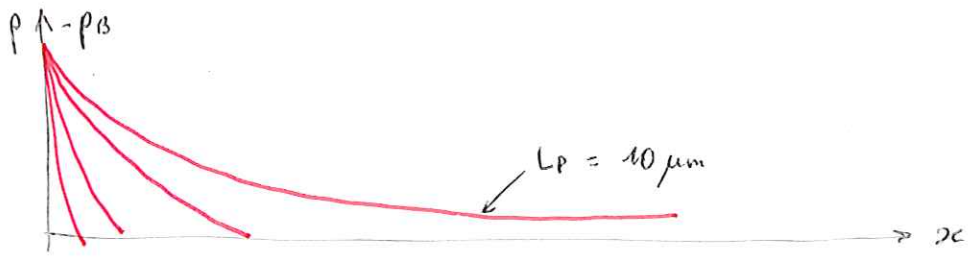
$$0 = \frac{p - p_B}{\tau} + \frac{1}{q}\frac{\partial J_p}{\partial x}$$

$$J_p = -qD_p\frac{\partial p}{\partial x}$$ (unique r diffusion trous de base)

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{p - p_B}{D_B \tau_B}$$

$$p - p_B = A\exp\frac{-x}{L_B} + B\exp\frac{x}{L_B} \qquad L_B = \sqrt{D_B \tau_B}$$

cond aux lim : → formule.

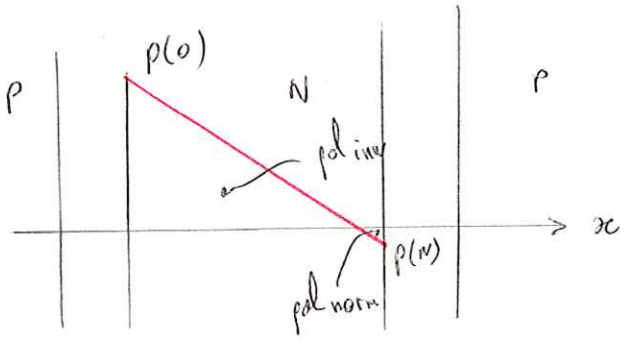


base très mince :

$$p(x) = p(0) + \left[p(W) - p(0)\right] \frac{x}{W}$$

profil linéaire : cas idéal d'1 recomb nulle.

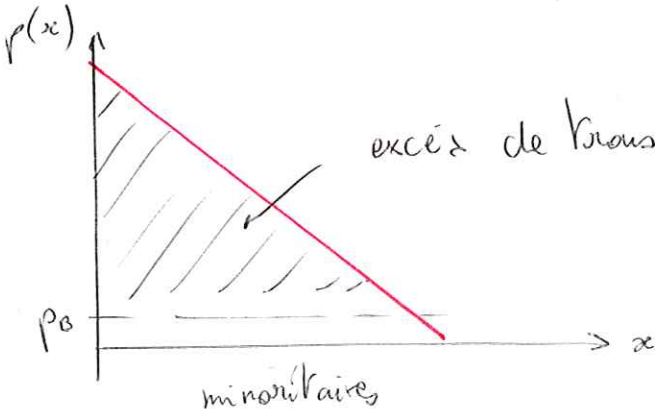
Cas d'1 base mince :

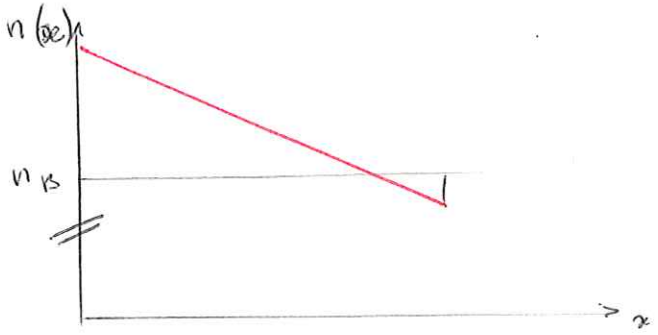


en sens polarisé normale : $V_{EB} \gg \frac{kT}{q} \rightarrow p(0) \gg p(B)$

en polarisé normale : $|V_{CB}| \gg \frac{kT}{q} \rightarrow p(W) \simeq 0$

pas de recombinaison ds la base.





excès de mino → excès de majo, mais excès de majo négligeable.

Calculons la densité de courant des minos de la base :

avant la zone de SC : courant minos

après ——— : ——— majos

le courant des minos = courant des majos après la traversée.

→ courant total = $\sum$ courants majos minos

j_{minos} de la base (t) :

$$j_p = -q D_B \frac{\partial p}{\partial x}$$ en régime permanent

cas de la base mince : profil linéaire : $p(x) = p(0) + (p(w) - p(0))\frac{x}{w}$: $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{dx}{dx} = \frac{p(w) - p(0)}{w}$

→ $$\boxed{j_p = \frac{q D_B}{w} (p(0) - p(w))}$$

→ $j_p(0) = j_p(w)$ puisque courant de

→ pas de recomb de la base ≡ jonct° idéale.

On hyp que qd $\hat{m}$ 1 peu tout de $\hat{m}$ de recomb :

mais il ne perturbe pas le profil des porteurs (linéaire)

$$j_p = \underbrace{\frac{q D_B}{w}(p(0) - p_B)}_{\text{forward}} - \underbrace{\frac{q D_B}{w}(p(w) - p_B)}_{\text{mode reverse}}$$

(mode direct)

mode direct : sous polarisat° normale $j_p \simeq \frac{q D_B}{w}(p(0) - p_B)$

→ charge stockée de la base = nb porteurs × charge élémentaire

aire × ± q

$$\rightarrow \quad Q_B = \pm Q_F + Q_R$$

$$Q_F = \frac{qW}{2}\left(p(0) - p_B\right)$$

$$Q_R = \frac{qW}{2}\left(p(W) - p_B\right) \neq 0 \quad \text{sous pol normale.}$$

éq de cont en rég perm^t :

$$\frac{1}{q}\frac{\partial j_p}{\partial x} + \frac{p - p_B}{\tau_B} = 0$$

$$\frac{\partial j_p}{\partial x} = \cancel{\frac{p}{\tau_B}} - q\,\frac{p - p_B}{\tau_B}$$

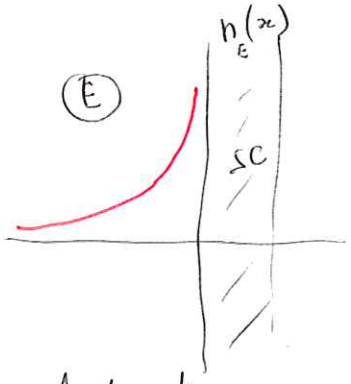
$$\rightarrow \quad j_p(0) - j_p(W) = + \frac{q}{\tau_B}\int_0^W (p - p_B)\,dx$$

$$j_p(W) - j_p(0) = -\left(\frac{Q_F + Q_R}{\tau_B}\right) = \text{courant de la base.}$$
minos

↑ signe $\ominus$ = appel d'électrons.
(vont vers la base)

Courant minos de l'Emetteur :

$$j_n(x = -x_E) = q\,D_E\left(\frac{\partial n}{\partial x}\right)_{x=-x_E}$$



il faut $n(x) = \frac{q\,D_E}{L_E}\cdot n(-x_E)\ldots$

puisque $n(x) = n_E + n(-x_E)\,\exp\left(-\frac{|x|}{L_E}\right)$

$n(-x_E) = n_E \exp\left[\frac{qV_{EB}}{kT} - 1\right]$ puisque borne pol directe.

A : section de la jonct°.

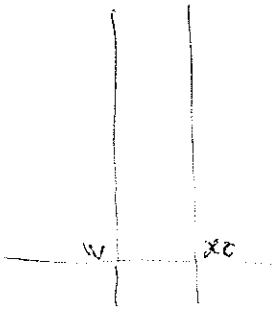
$$\rightarrow \quad I_E = A\left[j_n(-x_E) + j_p(0)\right]$$

$$I_E = Aq\left[\frac{n_E D_E}{L_E} + \frac{p_B D_B}{W}\right]\exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT}\right)$$

Courant de le Collecteur :

$I_E = I_C$ + courant recomb de base

→ $I_C = Aq\left[\frac{n_E D_E}{L_E} \ldots\right.$ pas de chance !



$j_C = [j_p(W) + j_n(x_C)]\, A$

$j_n(x_C) = \frac{q D_C}{L_C}\left(\frac{\partial n}{\partial x}\right)$

$= -\frac{q D_C}{L_C} n_C \left\{\exp\left(\frac{q V_{CB}}{kT}\right) - 1\right\} \simeq + \frac{q D_C n_C}{L_C}$

puisqu'on est en forte pol inverse.

→ $I_C = Aq\left[\frac{p_B D_B}{W} \exp\frac{q V_{EB}}{RT} + \frac{D_C n_C}{L_C}\right] + A\,\underbrace{\frac{Q_F + Q_R}{\tau_B}}$

terme correctif, recomb de la base.

$I_B = I_E - I_C$

→ $I_B = Aq\left[\left[\frac{D_E n_E}{L_E} \exp\left(\frac{q V_{EB}}{kT}\right) - \frac{D_C n_C}{L_C}\right] - \frac{Q_F + Q_R}{\tau_B}\right]$

électrons minos émetteur — ē minos collecteur — recomb de la base

Pour 1 bon transistor, $I_B \simeq 0$, ce terme sont de termes parasites.