

Objectifs et Définitions	La jonction PN non polarisée	La jonction PN polarisée en direct
La jonction PN polarisée en inverse	La jonction PN en régime dynamique	Conclusions Exercices

La jonction PN idéale - 1.4 La jonction PN polarisée en inverse.

1.4.5. Calcul de la tension de claquage inverse.

● **Claquage de la jonction** : brusque augmentation du courant inverse lorsque la tension inverse appliquée atteint une certaine valeur : **la tension de claquage** (*breakdown voltage*).

● le claquage n'est pas destructif si le courant inverse est limité par le circuit extérieur pour éviter un échauffement excessif. Le courant inverse disparaît lorsque la tension inverse redevient inférieure à la tension de claquage.

● Le claquage inverse peut être obtenu par deux mécanismes différents : l'effet Zener et l'effet d'avalanche.

a) Effet Zener

● Dans le cas d'une jonction fortement dopée "P" et fortement dopée "N", la zone désertée est très étroite (500 \AA) et le champ électrique est très intense (10^6 V/cm).

● En polarisation inverse, un électron de la BdV du côté "P" a une probabilité appréciable de traverser la zone désertée et de se retrouver du côté "N" par **effet tunnel**.

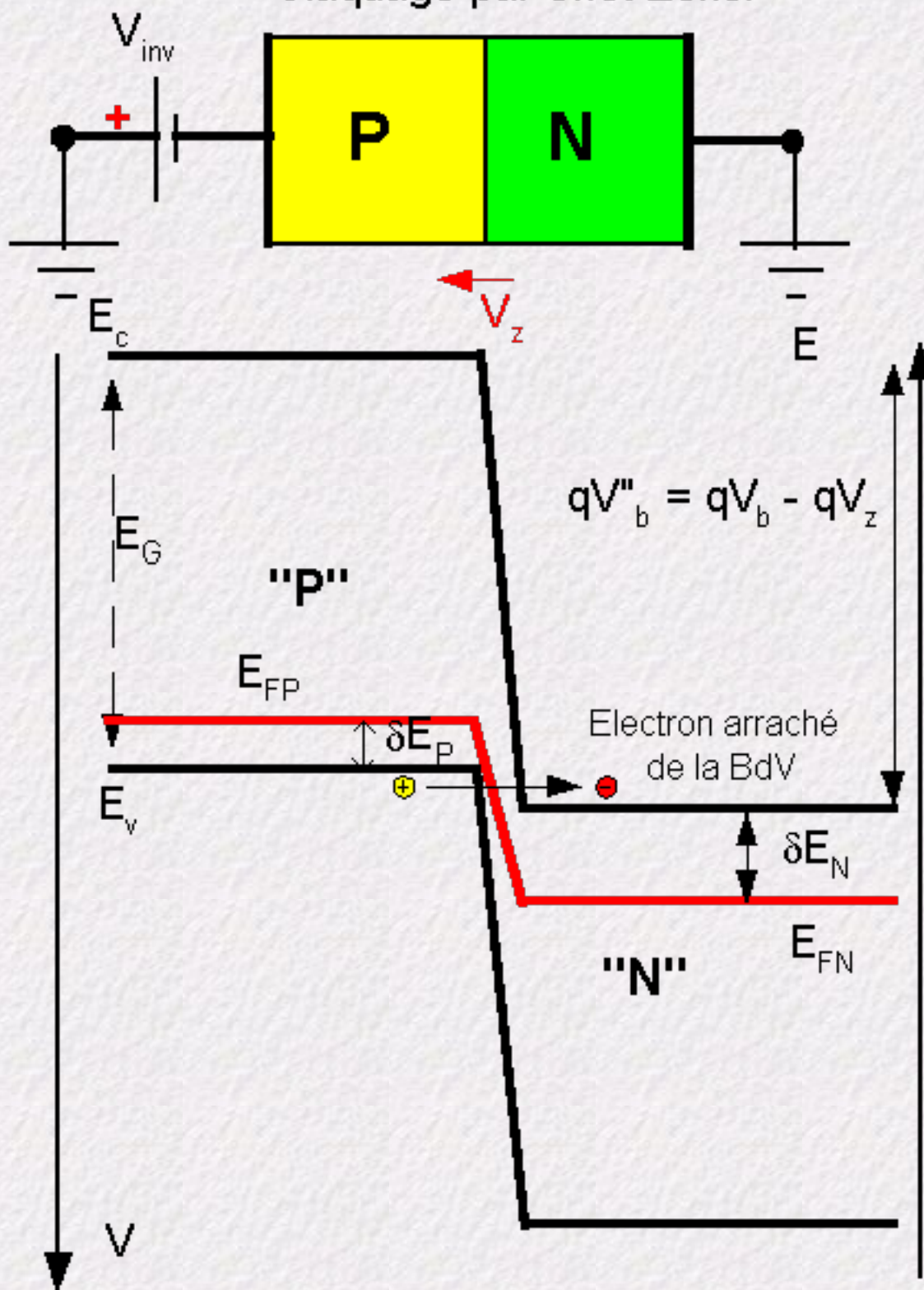
● Physiquement le champ électrique de la ZCE est suffisamment intense pour arracher un électron d'une liaison de valence et le transformer en électron de conduction.

● La tension (tension de Zener) pour obtenir ce phénomène dépend de l'épaisseur de la ZCE (étroite $< 500 \text{ \AA}$) et des dopages P et N (élevés $> 5.0 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$).

● Une fois la tension de Zener atteinte, la tension inverse sur la jonction ne peut plus varier.

● Le claquage par effet Zener présente un coefficient de

Claquage par effet Zener



température négatif : la tension Zener diminue en valeur absolue quand la température augmente.

● Pour les jonctions en silicium, les tensions de Zener sont inférieures à environ $4 E_G/q$.

Claquage par effet Zener

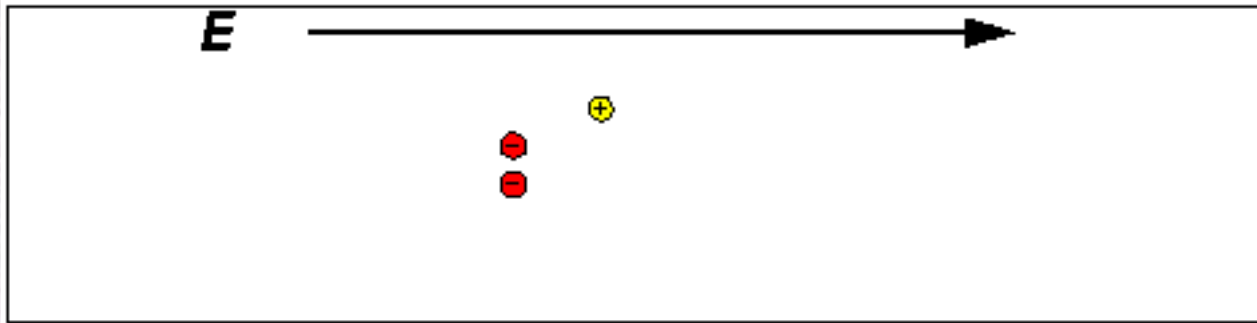
b) l'effet d'avalanche.

● Le claquage de la jonction intervient pour des champs électriques dans la ZCE inférieurs au seuil de Zener.

● C'est un effet à rapprocher à l'ionisation des gaz.

● Soumis à un champ électrique important (10^5 V/cm), un électron libre atteint dans la ZCE une vitesse très grande (de l'ordre de la vitesse limite, c'est un "porteur chaud"). Lors d'une collision avec un atome du réseau, il peut l'ioniser en créant une paire électron-trou (**choc ionisant**). Le nombre de porteurs libres augmente et le phénomène se reproduit avec le porteur initial et les porteurs créés par le choc ionisant. Il apparaît un énorme effet multiplicateur caractérisé par un **coefficient de multiplication** M (*avalanche multiplication factor*) tel que :

$$I_{av} = - M I_s.$$



Multiplication par chocs ionisants

On applique souvent la formule empirique de Miller :

$$M = \frac{1}{1 - (V_i/V_c)^n}$$

V_i : tension inverse appliquée, V_c : tension pour laquelle apparaît le claquage

n : varie entre 3 et 6 selon le semiconducteur de la jonction.

● Condition d'avalanche :

- pour que l'électron puisse faire un choc ionisant il faut que son énergie cinétique acquise pendant le libre parcours moyen soit supérieure à E_G .

$$q E_{av} L > E_G \rightarrow E_{av} = E_G/qL$$

E_{av} = amplitude du champ électrique nécessaire pour l'avalanche.

L : libre parcours moyen,


E_G : hauteur de la B.I. du semiconducteur utilisé.

Cette valeur du champ électrique est obtenue pour une tension appliquée sur la jonction telle que :

$$V_{av} = -V_b \left[\left(\frac{E_{av}}{E_M} \right)^2 - 1 \right] \text{ (V.)}$$

V_b : tension de barrière de la jonction sans polarisation et E_M champ maximum dans la ZCE dans les mêmes conditions.

- Cette représentation est très grossière car elle suppose que toute l'énergie nécessaire à l'ionisation par choc est acquise sur un seul libre parcours moyen. Une étude plus fine fait apparaître le **taux d'ionisation** (*ionization rate*) c'est à dire le nombre de paires électron trou créées par centimètre

de parcours d'un trou $\beta(x)$ ou d'un électron $\alpha(x)$. On montre ( [L11](#) p 165) que dans le cas ou : $\beta(x) = \alpha(x)$:



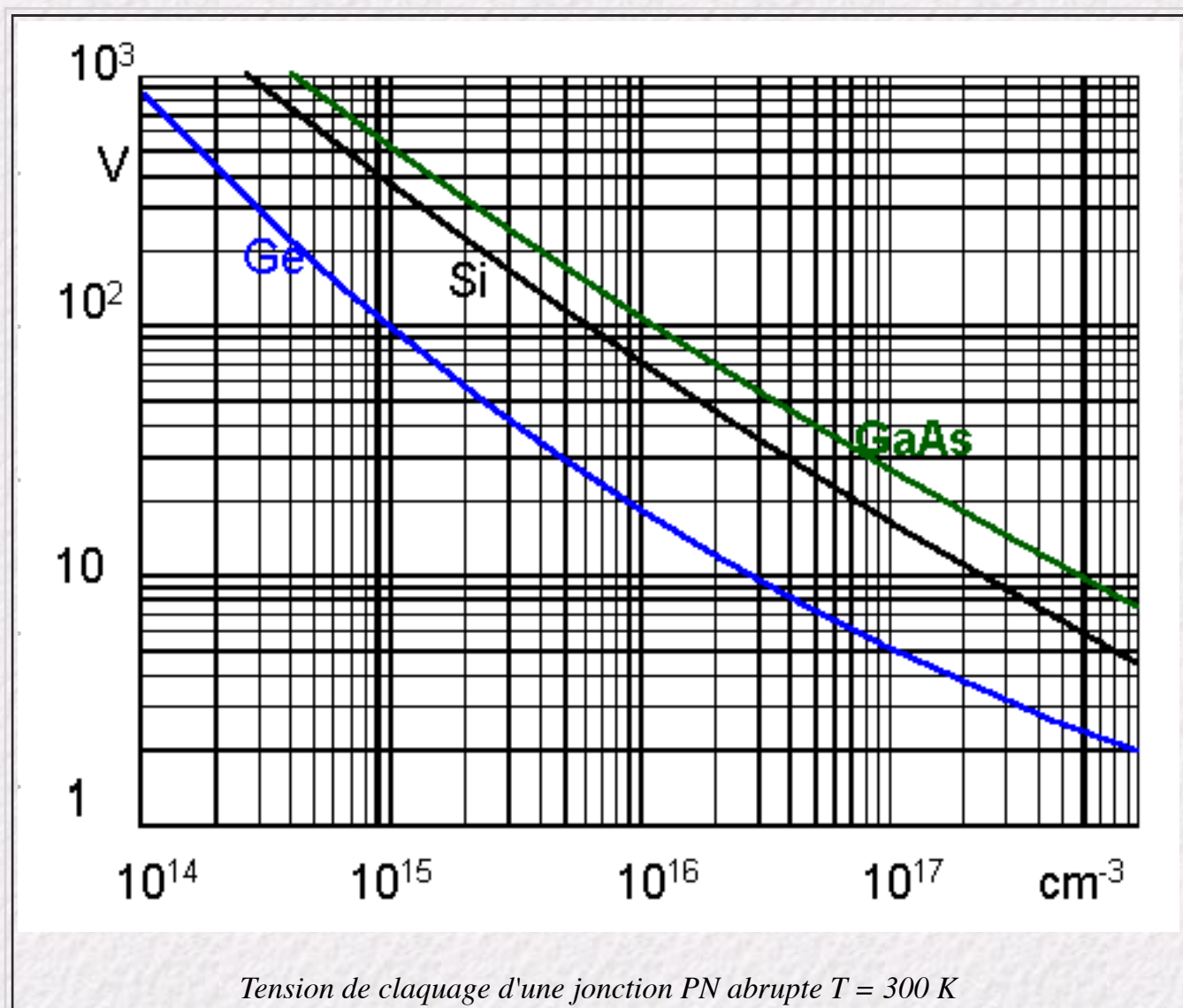
$$M = \frac{1}{1 - \int_0^W \alpha(x) dx}$$

- La condition d'avalanche est donnée par $M \rightarrow \infty$ donc l'intégrale égale à l'unité. Il faut connaître la relation entre le taux d'ionisation et l'amplitude du champ électrique. Elle est assez bien décrite par la relation empirique :

$$\alpha(x) = A \exp -B/|E(x)|$$

Pour les électrons dans le silicium : $A = 9 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$, $B = 1.8 \cdot 10^6 \text{ V/cm}$

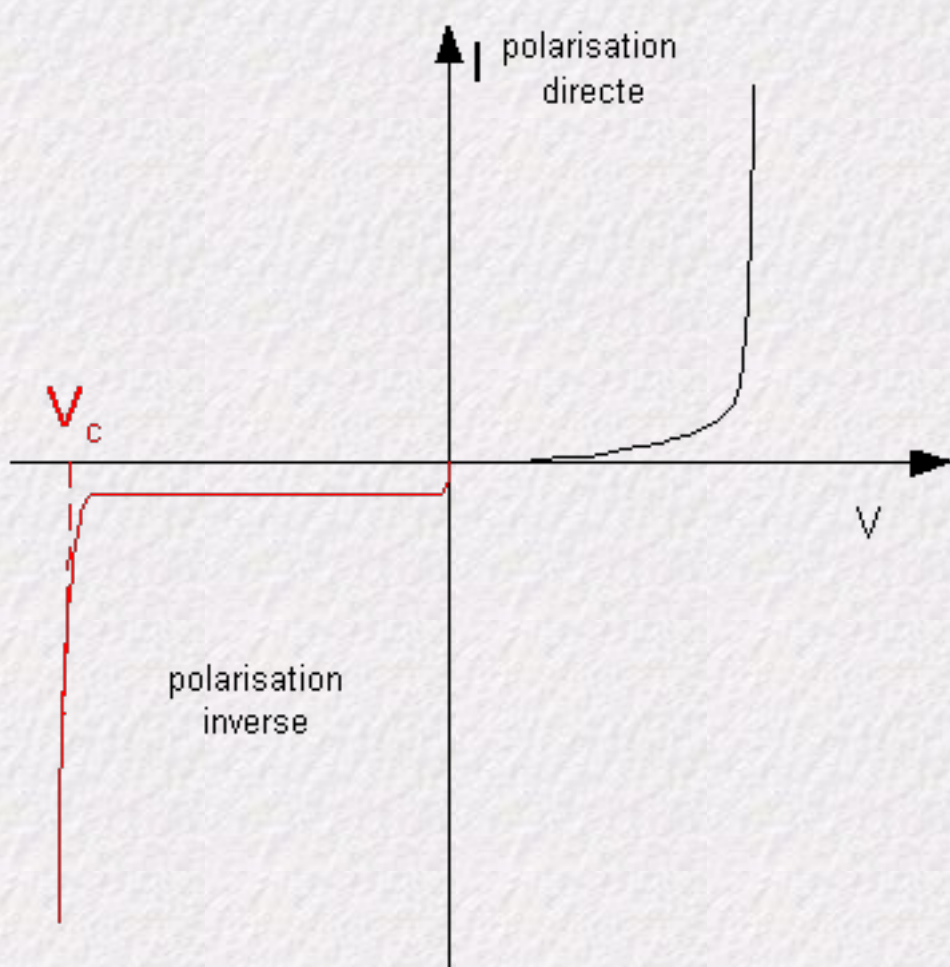
- On notera que la tension d'avalanche possède un coefficient de température positif : la tension d'avalanche augmente en valeur absolue lorsque la température augmente. C'est ce paramètre qui permet de distinguer expérimentalement si le claquage est provoqué par un effet Zener ou un effet d'avalanche.



c) Caractéristique I(V) d'une jonction PN

● La caractéristique I(V) d'une jonction PN présente :

- une **zone directe**, caractérisée par un courant qui croît exponentiellement en fonction de la tension appliquée (sens passant)



- une **zone inverse** caractérisée par un courant très faible indépendant de la tension appliquée (sens bloqué).
- un **claquage** qui survient pour une tension inverse V_c provoqué par
 - un phénomène de Zener si (pour des jonctions en silicium) $V_c < 5V$.
 - un phénomène d'avalanche si $V_c > 7V$.
 - la combinaison des 2 effets si $5V < V_c < 7V$.

● Ces remarques s'appliquent à la jonction et non à la diode qui sera envisagée ultérieurement.

caractéristique $I(V)$ d'une jonction PN

 <http://ece-www.colorado.edu/~bart/book/breakdown.htm>



● **2ème loi de Wyszowski** : *Toute théorie peut être juste, en la modifiant suffisamment.*

[La jonction PN idéale](#)

Objectifs et définitions	La jonction PN non polarisée	La jonction PN polarisée en direct
La jonction PN polarisée en inverse	La jonction PN en régime dynamique	Conclusions Exercices



La jonction PN polarisée en inverse



[Retour à la table des matières](#)

Dernière mise à jour : 15 mars, 2004 **Auteur** : Bernard BOITTIAUX