

2. Jonction PN

2.1 Jonction PN à l'équilibre

2.2 Jonction PN sous polarisation directe

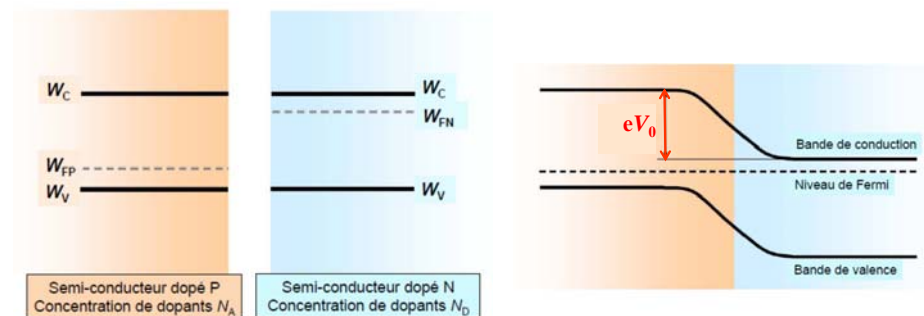
2.3 Jonction PN sous polarisation inverse

2.4 Caractéristique courant-tension d'une diode

2.1 Jonction PN à l'équilibre : modèle des bandes

Avant contact

Après contact



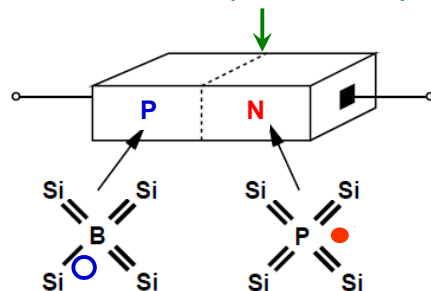
Après contact :

- ❖ Les **niveaux de Fermi s'égalisent** à l'équilibre thermodynamique.
- ❖ Il s'en suit la formation d'un **potentiel interne de jonction V_0** , se traduisant par la **courbure des bandes**.

$$W_{FN} - W_{FP} = eV_0 = k_B T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

2.1 Jonction PN à l'équilibre : définition

Jonction métallurgique
lieu de la mise en contact entre
le matériau dopé P et celui dopé N

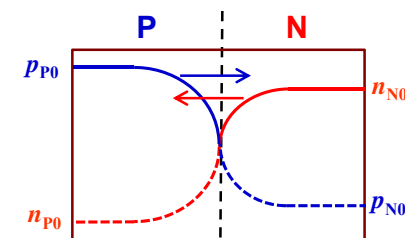


Trous libres « fournis »
par des **atomes accepteurs**
(\Rightarrow ions < 0)

Électrons libres fournis
par des **atomes donneurs**
(\Rightarrow ions > 0)

Jonction à l'équilibre : jonction non polarisée

2.1 Jonction PN à l'équilibre : interface (1)



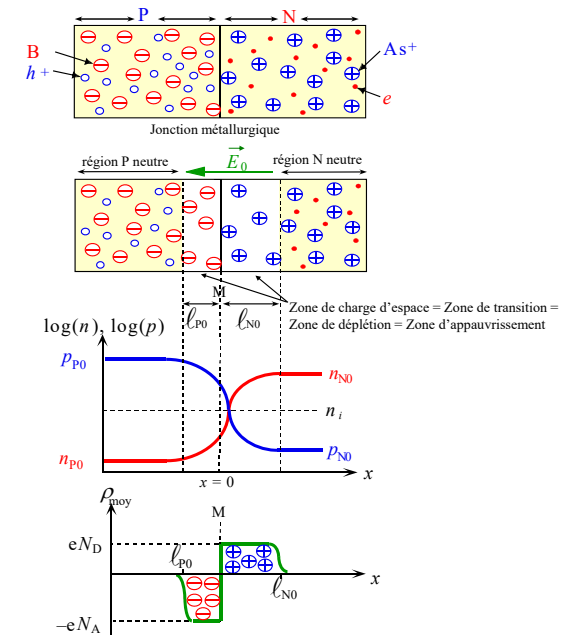
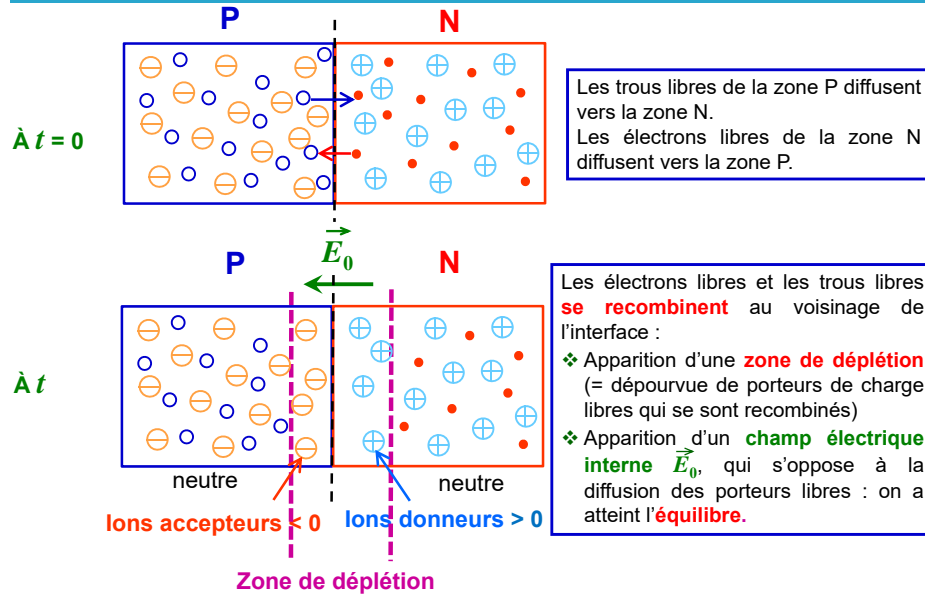
Côté P :

Porteurs **majoritaires** = **trous** de concentration p_{P0} vont diffuser vers la zone N.
Porteurs **minoritaires** = **électrons** de concentration n_{P0}

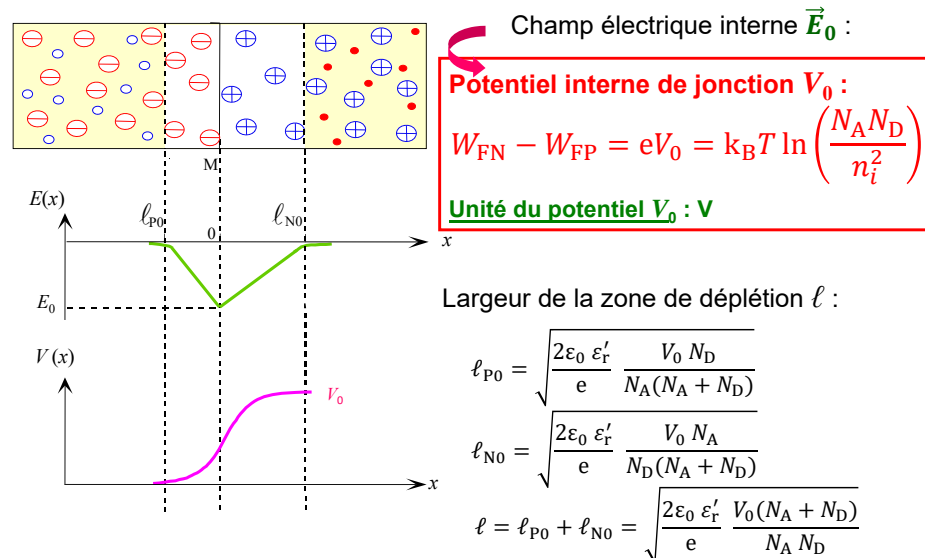
Côté N :

Porteurs **majoritaires** = **électrons** de concentration n_{N0} vont diffuser vers la zone P.
Porteurs **minoritaires** = **trous** de concentration p_{N0}

2.1 Jonction PN à l'équilibre : interface (2)



2.1 Jonction PN à l'équilibre : calcul du potentiel interne



2.1. Jonction PN à l'équilibre : densités de courant

❖ Densité de courant de diffusion des porteurs majoritaires

$$\vec{J}_{\text{diff}} = \vec{J}_{\text{diff},e} + \vec{J}_{\text{diff},h} = e \left(D_e \frac{dn}{dx} - D_h \frac{dp}{dx} \right) \vec{u}_x$$

❖ Relations d'Einstein

$$\begin{cases} D_e = \frac{k_B T}{e} \mu_e \\ D_h = \frac{k_B T}{e} \mu_h \end{cases} \text{ avec } \frac{k_B T}{e} = V_T = \text{tension thermique (V)}$$

où D_e et D_h sont les constantes de diffusion ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

❖ Densité de courant de dérive des porteurs minoritaires

$$\vec{J}_d = \vec{J}_{de} + \vec{J}_{dh} = e (n \mu_e + p \mu_h) \vec{E}_0$$

où E_0 est le champ électrique interne

❖ Densité totale de courant

$$\vec{J}_{\text{tot}} = \vec{J}_d + \vec{J}_{\text{diff}} = \vec{0}$$

2. Jonction PN

2.1 Jonction PN à l'équilibre

2.2 Jonction PN sous polarisation directe

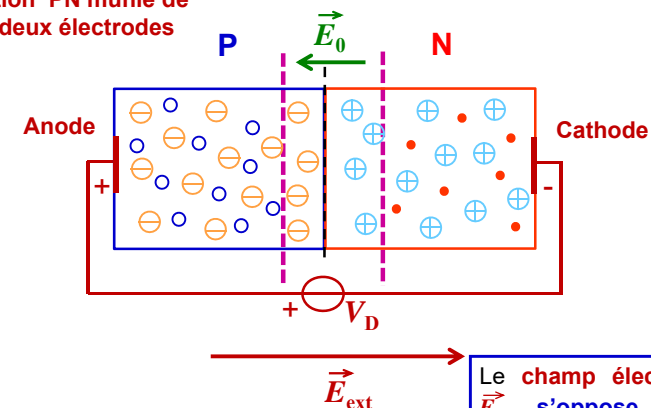
2.3 Jonction PN sous polarisation inverse

2.4 Caractéristique courant-tension d'une diode

2.2 Jonction PN sous polarisation directe $V_{app} = V_D$ (avec $V_D > 0$, appliquée côté P)

Diode =

Jonction PN munie de
ses deux électrodes

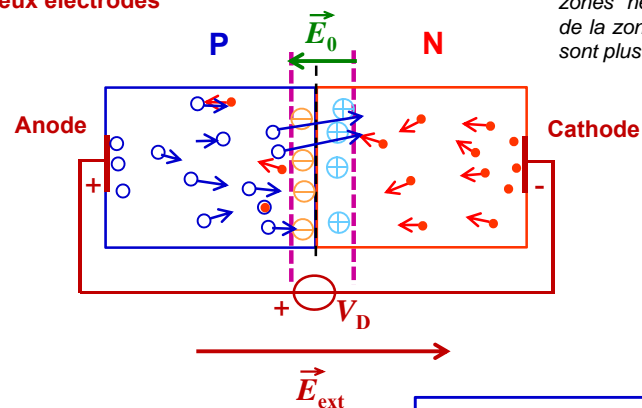


Le **champ électrique appliqué** \vec{E}_{ext} **s'oppose** à \vec{E}_0 et donc **favorise** le déplacement des porteurs libres d'une zone à l'autre.

2.2 Jonction PN sous polarisation directe $V_{app} = V_D$ (avec $V_D > 0$, appliquée côté P)

Diode =

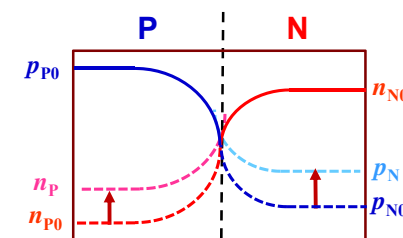
Jonction PN munie de
ses deux électrodes



Pour simplifier, les ions donneurs et accepteurs des zones neutres (en dehors de la zone de déplétion) ne sont plus représentés.

La diode est **passante (on)** : elle laisse passer un courant.

2.2 Jonction PN sous polarisation directe $V_{app} = V_D$ (avec $V_D > 0$, appliquée côté P)



Les concentrations en **porteurs minoritaires** augmentent fortement alors que celles en **porteurs majoritaires** restent relativement **constantes** : on dit qu'il y a **injection de porteurs minoritaires**.

2. Jonction PN

2.1 Jonction PN à l'équilibre

2.2 Jonction PN sous polarisation directe

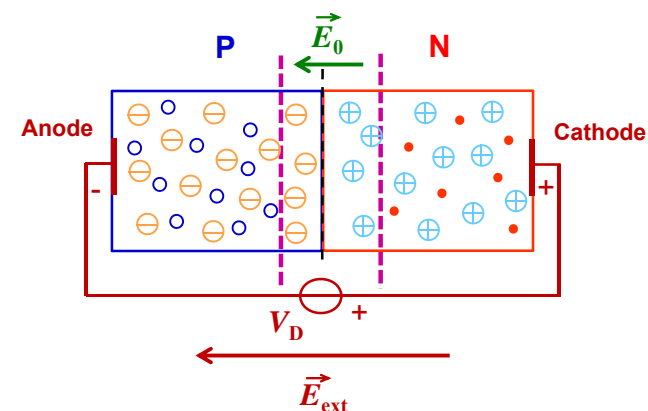
2.3 Jonction PN sous polarisation inverse

2.4 Caractéristique courant-tension

2.3 Jonction PN sous polarisation inverse $V_{app} = -V_D$ (avec $V_D > 0$, appliquée côté N)

Diode =

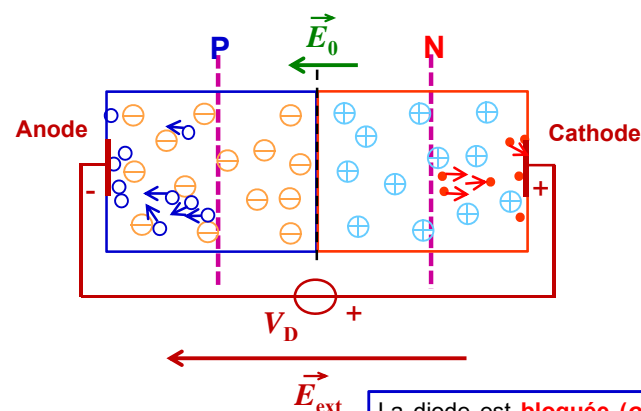
Jonction PN munie de
ses deux électrodes



2.3 Jonction PN sous polarisation inverse $V_{app} = -V_D$ (avec $V_D > 0$, appliquée côté N)

Diode =

Jonction PN munie de
ses deux électrodes



La diode est **bloquée (off)** : elle ne laisse pas passer de courant.

2.3 Jonction PN sous polarisation inverse $V_{app} = -V_D$ (avec $V_D > 0$, appliquée côté N)

Sous une **tension inverse** $V_{app} = -V_D$ (côté + appliqué sur la zone N), la **zone de déplétion s'élargit**.

La diode se comporte comme un condensateur dont la **capacité C_j diminue**.

Plus V_{app} augmente, plus C_j diminue (C_{j0} pour $V_{app} = 0$ V).

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_{app}}{V_0}}} \quad (\text{où } V_{app} < 0)$$

$$\text{avec } C_{j0} = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r \epsilon}{2} \left(\frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right) \frac{1}{V_0}}$$

Unité : C_j et C_{j0} en $F \cdot m^{-2}$

2. Jonction PN

2.1 Jonction PN à l'équilibre

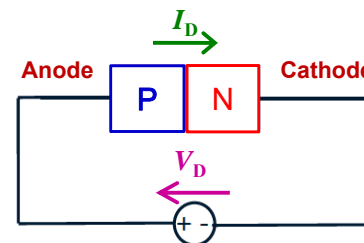
2.2 Jonction PN sous polarisation inverse

2.3 Jonction PN sous polarisation directe

2.4 Caractéristique courant-tension d'une diode

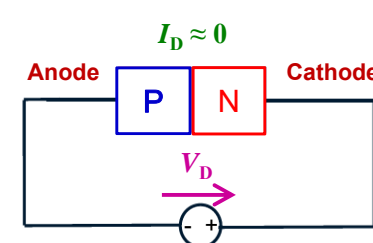
2.4 Caractéristique courant-tension d'une diode

Polarisation directe



La diode est **passante (on)**.

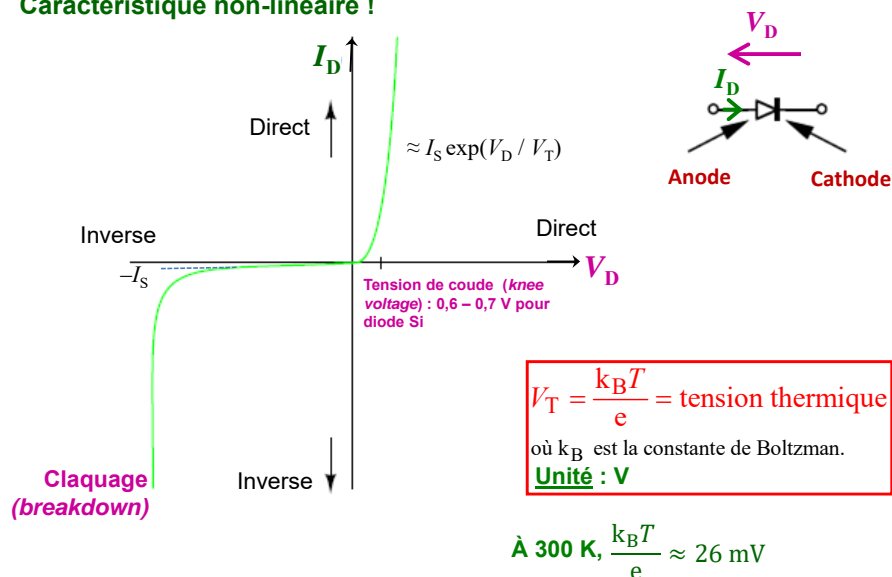
Polarisation inverse



La diode est **bloquée (off)**.

2.4 Caractéristique courant-tension d'une diode

Caractéristique non-linéaire !



2.4 Caractéristique courant-tension : polarisation en direct

Courant I_D traversant une diode polarisée en direct sous V_D :

$$I_D = I_S \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right] = I_S \left[\exp\left(\frac{eV_D}{k_B T}\right) - 1 \right]$$

avec $I_S = S e n_i^2 \left(\frac{D_e}{N_A L_e} + \frac{D_h}{N_D L_h} \right)$

I_S : courant de saturation inverse	(en A)
V_T : tension thermique	(en V)
k_B : constante de Boltzmann	($k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)
T : température	(en K)
S : section du dispositif	(en m^2)
e : charge électrique élémentaire	($e \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
n_i : concentration intrinsèque	(en m^{-3})
N_A, N_D : concentrations en atomes accepteurs / donneurs	(en m^{-3})
D_e, D_h : constantes de diffusion des électrons / trous	(en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
L_e, L_h : longueurs de diffusion des électrons / trous	(en m)