

---

# **SPECTROSCOPIE TRANSITOIRE DES NIVEAUX PROFONDS**

**DEEP LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY  
– DLTS –**

## PRINCIPE & OBJECTIF

**Principe:** La technique DLTS a été décrite dès 1974 par D.V Lang [1]. Son principe est basé sur la mesure de la capacité en régime transitoire  $C(t, T)$  des composants à semi-conducteurs (jonction p-n , diode Schottky, etc...) en fonction du temps à différentes températures  $T$  en appliquant une tension  $V$  en polarisation inverse.

**Objectif:** La technique DLTS a pour objectif de détecter et d'évaluer la présence des défauts (niveaux d'énergie localisés) dans la bande interdite. Ces niveaux additionnels résultent de la présence d'impuretés ou de défauts cristallographiques, ou de leurs interactions. Ils sont qualifiés de niveaux profonds (deep levels) car ils sont généralement situés à quelques 100meV des bandes permises.

# ORIGINE DES DEFAUTS & CONSÉQUENCES

✓ **Lacune(a) :**

atome manquant à une certaine position du réseau cristallin

✓ **Atome d'impureté interstitielle(b):**

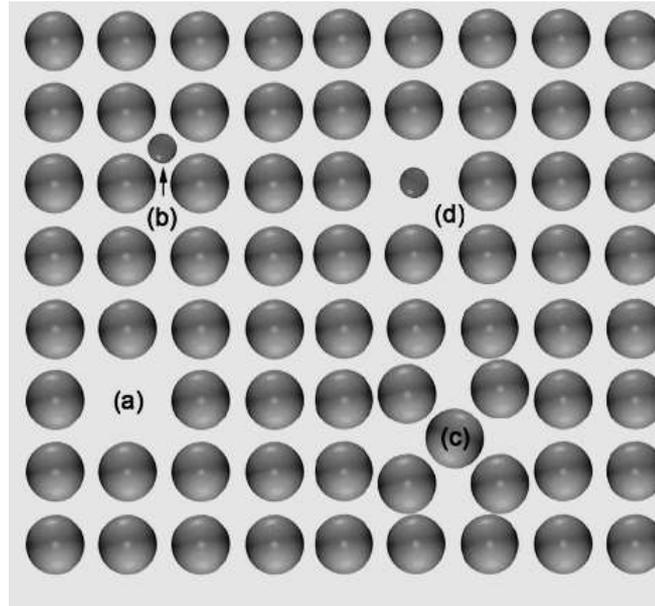
atome d'impureté supplémentaire dans une position interstitielle

✓ **Atome auto-interstitiel (c):**

atome supplémentaire dans une position interstitielle;

✓ **Impureté de substitution (d):**

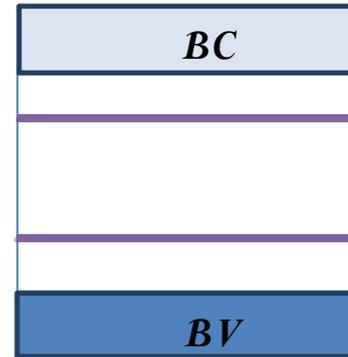
atome d'impureté supplémentaire dans une position d'origine



Les défauts peuvent introduire des niveau d'énergie dans la structure de la bande:

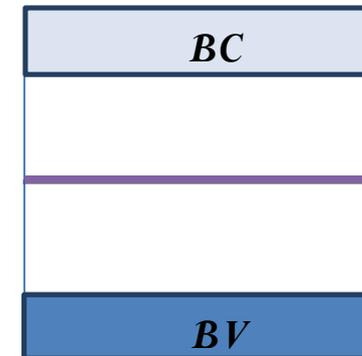
❑ *Niveau peu profond*

- Proche des bords de la bande interdite
- Utiliser principalement comme dopant



❑ *Niveau profond*

- À proximité du milieu de la bande interdite
- Agir comme centre de piège ou de recombinaison.

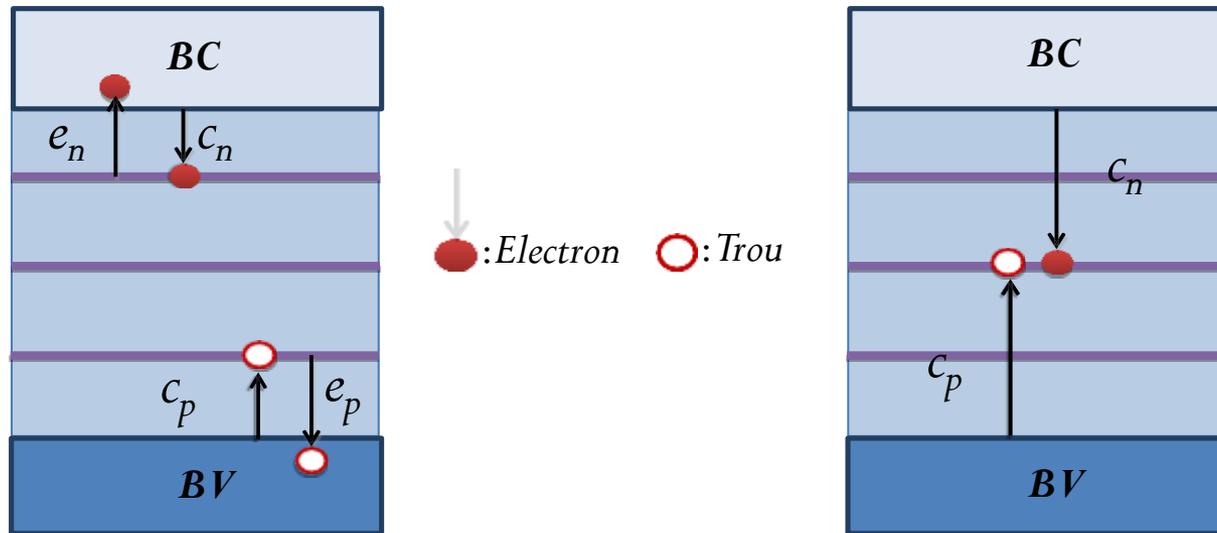


# PROCESSUS CAPTURE & EMISSION

## Notations:

Les flèches  $e_n$  et  $C_n$  représentent les taux d'émission et de captures d'électrons entre le niveau de piège et la bande de conduction (**BC**).

Les flèches  $e_p$  et  $C_p$  représentent les taux d'émission et de captures de trous entre le niveau de piège et la bande de valence (**BV**).



## Remarques:

- ❖ la capture d'un trou de la BV est équivalente à l'émission d'un électron dans cette bande.
- ❖ Contrairement au niveau dopant, un centre sera dit accepteur s'il capture des électrons de la BC et donneur s'il capture des trous de la BV

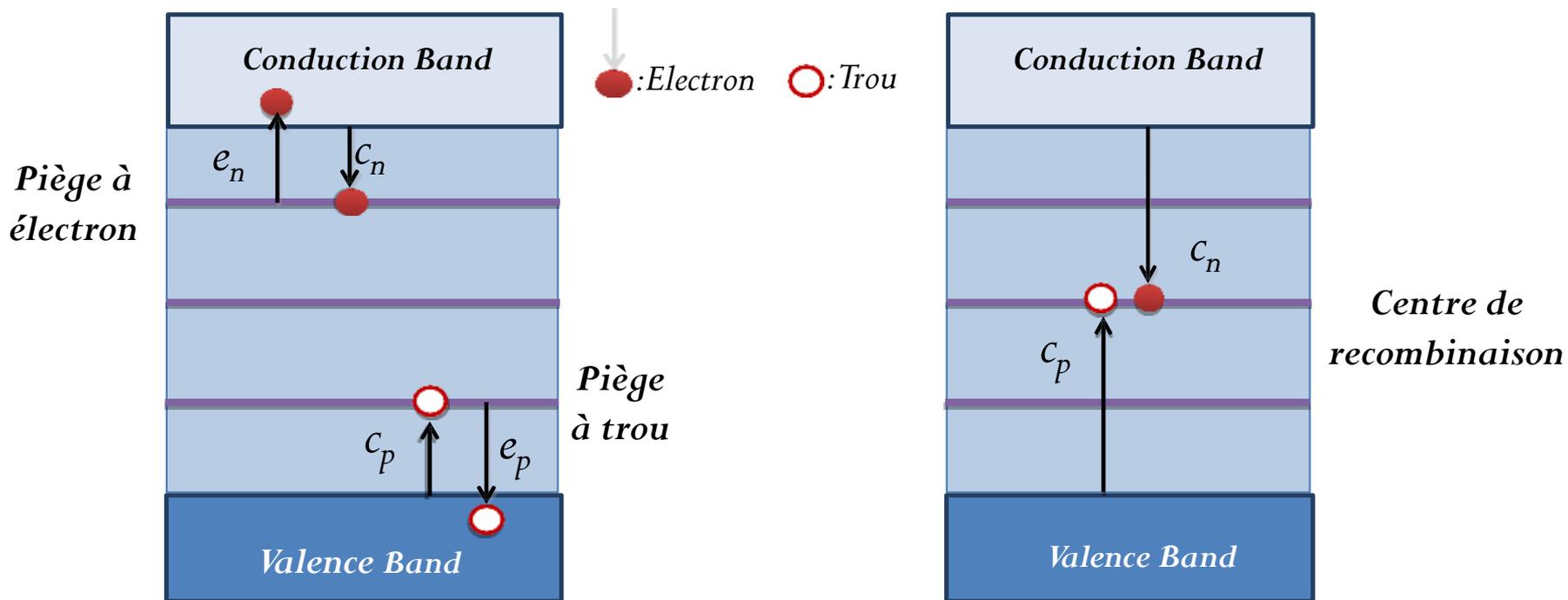
## Vocabulaires:

**Centre piège:** Il réémet le porteur capturé :

Piège à électron si  $C_n \gg C_p$

Piège à trou si  $C_n \ll C_p$

**Centre recombinant:** Il capture deux porteurs opposés qui se neutralisent  $C_n = C_p$ .



Formules:

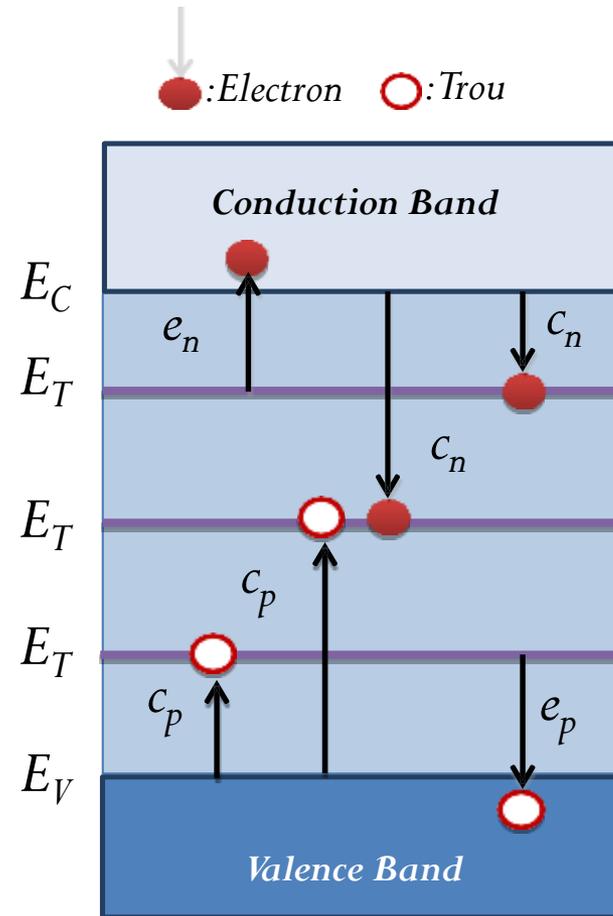
$$e_n = N_c \sigma_n v_n \exp\left(\frac{E_T - E_C}{k.T}\right)$$

$$E_T - E_C = \Delta E < 0$$

$$e_p = N_V \sigma_p v_p \exp\left(\frac{E_V - E_T}{k.T}\right)$$

$$c_n = \sigma_n v_n n$$

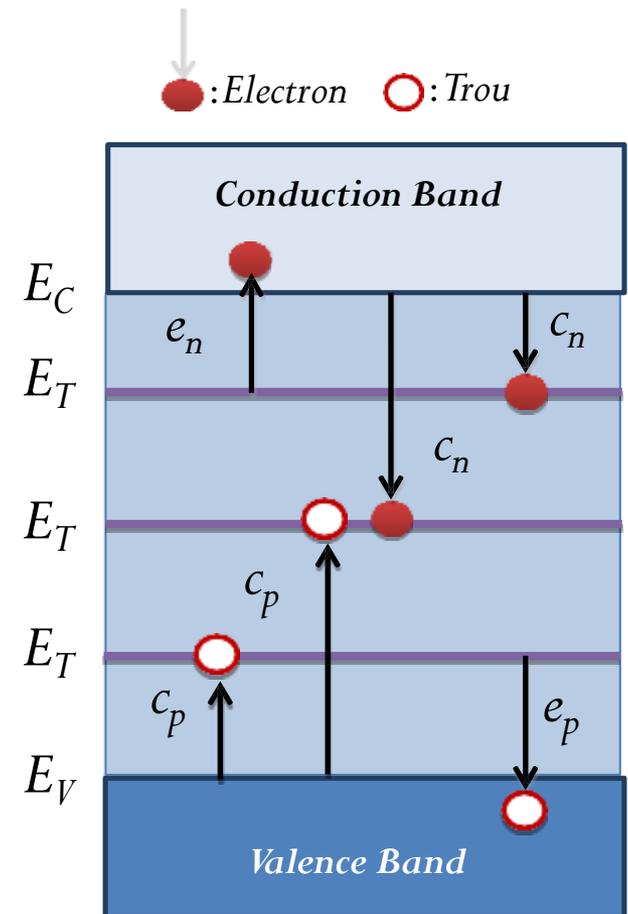
$$c_p = \sigma_p v_p p$$



# PARAMETRES DES DEFAUTS

Pour désigner un défaut (piège ou centre recombinant), on doit connaître les paramètres suivants:

- ❑  $E_T$  : localisation énergétique ( $eV$ ):
  - par rapport à  $E_C$  si piège à électron (accepteur) ;
  - par rapport à  $E_V$  si piège à trou (donneur).
- ❑  $\sigma_T$  : section efficace de capture ( $cm^2$ )
- ❑  $N_T$  : densité de centre ( $cm^{-3}$ ).



# THEORIE DLTS

Soit  $N_T$  la concentration totale de pièges,  $n$  et  $p$  la concentration d'électrons et de trous libres, la variation en fonction du temps de la concentration de pièges remplis d'électrons  $n_T$  s'écrit :

$$\frac{dn_T(t)}{dt} = C_n \cdot n \cdot (N_T - n_T) - e_n \cdot n_T - C_p \cdot p \cdot n_T + e_p \cdot (N_T - n_T)$$

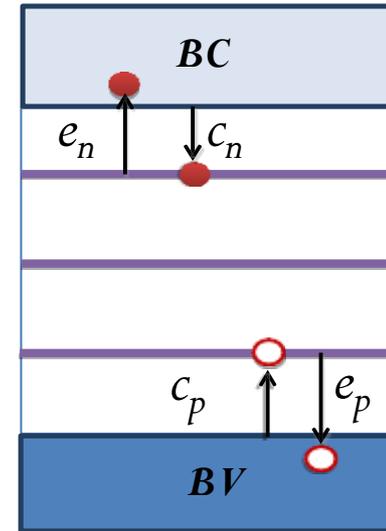
- Si on se place dans la ZCE d'une jonction p-n, la concentration de porteurs libres est négligeable ( $n \sim p \sim 0$ );
- De plus, si on considère un niveau de piège proche de la BC,  $e_n \gg e_p$ .

Dans ces conditions, l'équation devient :

$$\frac{dn_T(t)}{dt} = - e_n \cdot n_T$$

qui admet pour solution en considérant que tous les pièges sont remplis au temps  $t = 0$  ( $n_T(0) = N_T$ ) :

$$n_T(t) = N_T e^{-e_n \cdot t}$$



La séquence de mesure **DLTS** dans le cas d'une jonction p<sup>+</sup>-n peut être divisé en quatre étapes:

**Etape ①:**

on applique une tension inverse  $V_b$  à la jonction p<sup>+</sup>-n. La zone de charge d'espace est maximale, le niveau de piège est vide à l'intérieur de la zone de charge d'espace et la capacité de la jonction a une valeur constante  $C(\infty)$  dont la valeur est donnée par l'équation:

$$C(\infty) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r * S}{W} = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r * q * N_D}{2(\phi_i - V)}}$$

**Etape ②:**

on applique une impulsion constante de tension  $V_p$  de durée  $\tau_p$  et telle que au maximum,  $V_b + V_p = 0$ . Dans cette seconde étape, la largeur de la zone de charge d'espace est réduite et la capacité augmente.

Etape ③:

on retire la tension  $V_p$  et c'est le début de la mesure à proprement dit. La capacité  $C(t=0)$  revient alors à un niveau inférieur à son niveau initial. En effet, son expression serait:

$$C(0) = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r * q * (N_D - N_T)}{2(\phi_i - V_b)}},$$

Où encore:

$$C(0) = C(\infty) \sqrt{1 - \frac{N_T}{N_D}} \cong C(\infty) \left(1 - \frac{N_T}{2N_D}\right) \quad \text{Sachant que généralement: } N_D \gg N_T$$

Etape ④:

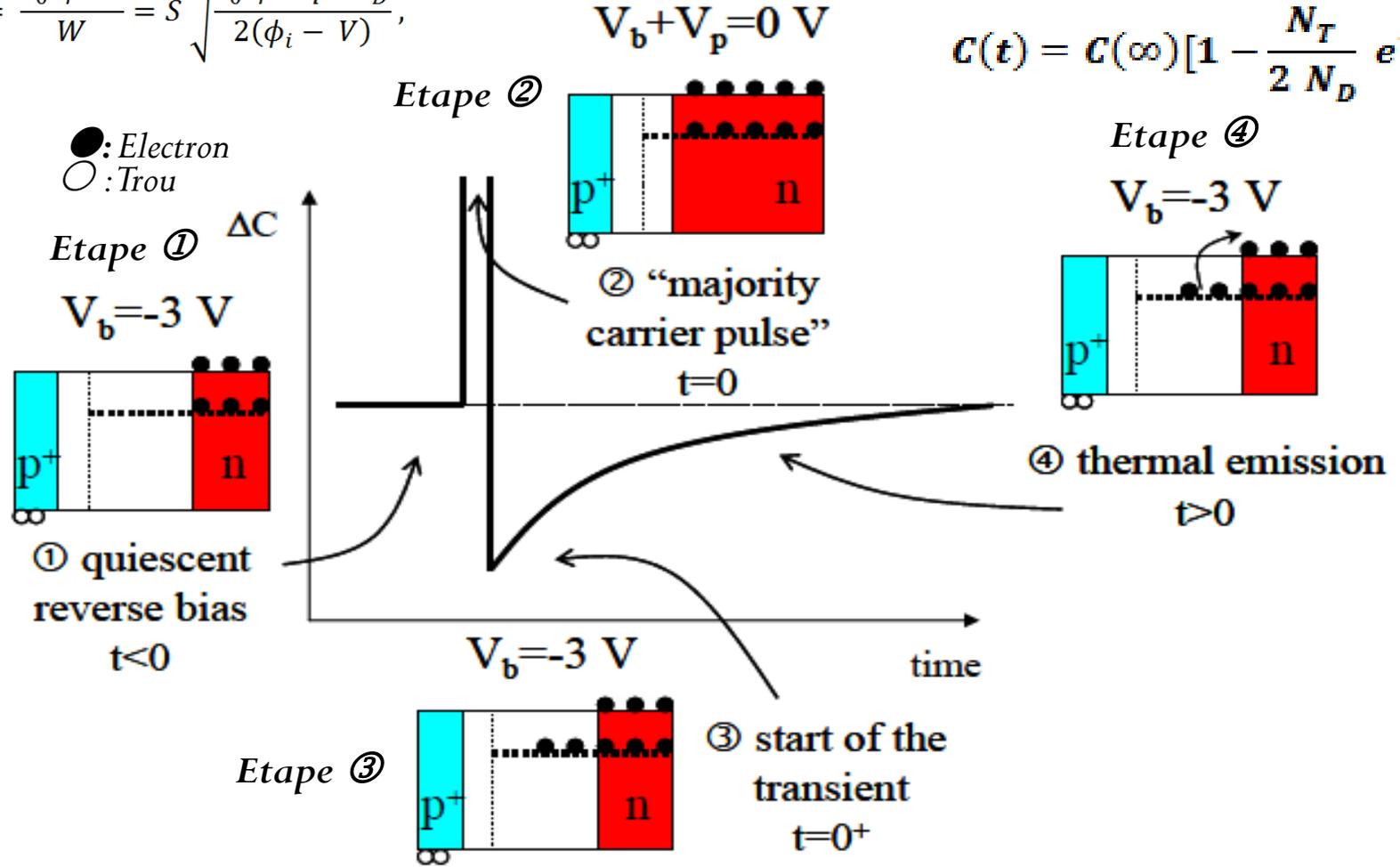
Elle représente la variation transitoire de capacité. Elle est donnée par:

$$C(t) = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r * q * (N_D - n_T(t))}{2(\phi_i - V_b)}}, \quad \text{où encore } \mathbf{C(t) = C(\infty) \left[1 - \frac{N_T}{2 N_D} e^{-e_n t}\right]}$$

Cette variation transitoire de capacité dépend du taux d'émission  $e_n$  donc de la température et du niveau de piège par l'intermédiaire de la position du niveau de piège dans la bande interdite ( $E_C - E_T$ ) et de sa section efficace de capture  $\sigma$ . Le couple  $(E_T, \sigma)$  représente la signature du niveau de piège que l'on détermine par **DLTS**.

$$C(\infty) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r * S}{W} = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r * q * N_D}{2(\phi_i - V)}}$$

$$C(t) = C(\infty) \left[ 1 - \frac{N_T}{2 N_D} e^{-e_n t} \right]$$



$$C(0) = S \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r * q * (N_D - N_T)}{2(\phi_i - V_b)}}$$

$$e_n(T) = K_n T^2 \sigma_n \exp\left(-\frac{E_C - E_T}{K_B T}\right)$$