

En cas d'illumination, le taux de génération optique  $G(x)$  dans les équations précédentes est donné par la loi exponentielle décroissante depuis la région de photogénération.

$$G(\lambda, x) = \alpha(\lambda) \cdot \phi(x) \exp(-\alpha(\lambda) \cdot x)$$

Dans l'état stationnaire, le taux de recombinaison total des électrons est égale à celui des trous. On peut définir le taux de recombinaison total ; tel que

$$U_n(x) = U_p(x) = U_R(x)$$

L'étude théorique de la cellule solaire est réalisée généralement par deux approches :

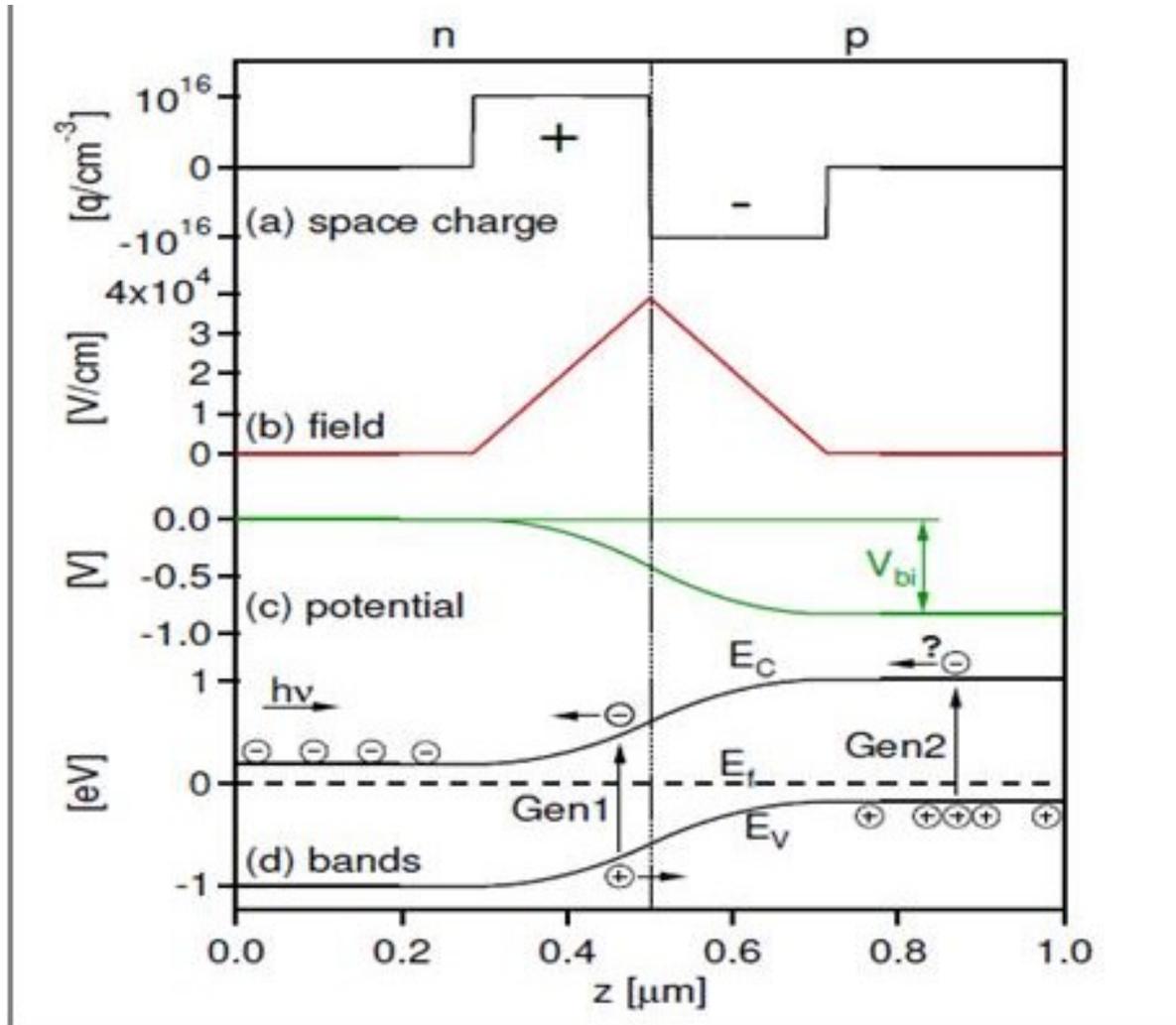
### **1. Approche analytique :**

nous considérons des simplifications et des approximations permettant de résoudre les équations de transport qui décrivent le comportement de la cellule analytiquement.

### **2. Approche numérique :**

Renoncer à toutes les simplifications et les hypothèses conduisant à la solution analytique nécessite des approches numériques pour résoudre les équations de transport.

Formation de la jonction np dans l'approximation analytique . (a) la distribution de la charge d'espace due aux dopants ionisés fixes, (b) le champ électrique obtenue par l'intégral de l'équation de Poisson, (c) un 2ème intégral donne le potentiel électrostatique. La tension interne  $V_{bi}$  décrit la différence de potentiel entre le coté n et p de la jonction à l'équilibre. La collection des porteurs photo-générés nécessite que la tension appliquée  $V < V_{bi}$  et, par conséquent,  $V_{bi}$  est une limite supérieure de la tension en circuit ouvert d'une cellule solaire; (d) le minimum de la bande de conduction  $E_c$ , et le maximum de la bande de valence  $E_v$ , et le niveau de Fermi à l'équilibre. On présente, schématiquement, la génération d'une paire électron-trou à l'intérieur (Gen1) et à l'extérieur (Gen2) de la SCR



## Modèle de la recombinaison:

Le taux de recombinaison net à travers un piège  $E = E_T$  dans le gap d'énergie, appelé également la recombinaison Shockley –Read –Hall est donnée par :

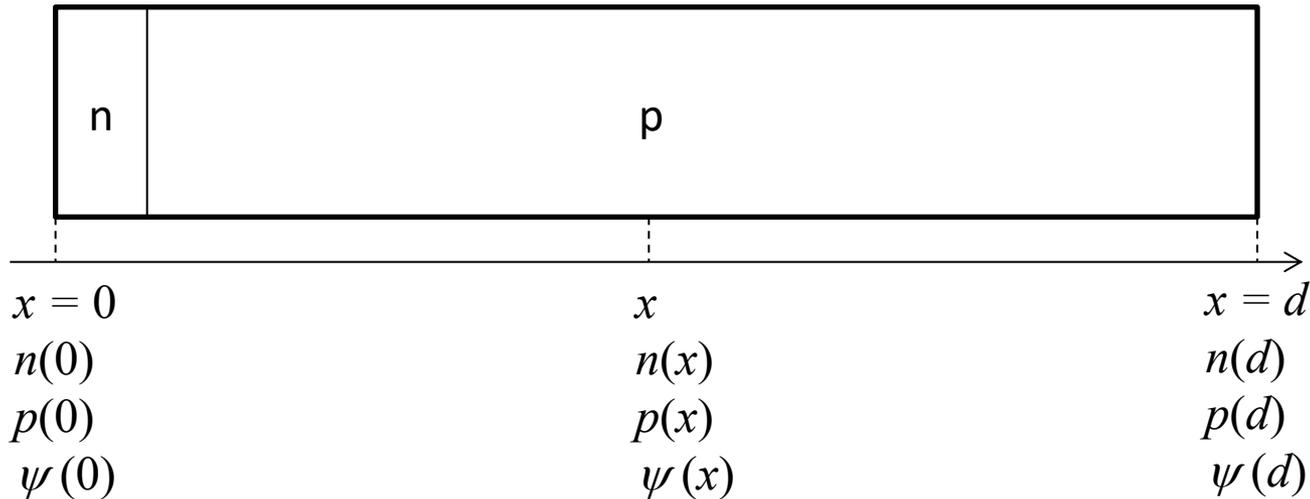
$$R_{srh} = \frac{n \cdot p - n_i^2}{\tau_{srh,n} \left( p + n_i e^{(E_i - E_T) / KT} \right) + \tau_{srh,p} \left( n + n_i e^{(E_T - E_i) / KT} \right)}$$

Ou la durée de vie des porteurs est donnée par [83]:

$$\tau_{srh} = \frac{1}{\sigma \vartheta_{th} N_T}$$

Ou  $\sigma$  est la section efficace de capture,  $\vartheta_{th}$  est la vitesse thermique des porteurs libres, et  $N_T$  la densité des pièges.  $E_i$  niveau de Fermi intrinsèque,  $n_i$  concentration intrinsèque. le coefficient de capture  $C = \sigma \vartheta_{th}$

## Conditions aux limites:



Les trois équations qui gouvernent le transport dans la jonction np (équations de Poisson et de continuité) doivent être vérifiées à chaque point du dispositif et la solution de ces équations implique la détermination ou le calcul des variables  $n(x)$ ,  $p(x)$  et  $\psi(x)$  à chaque point  $x$  ce qui définit complètement le système à chaque point  $x$  du dispositif.

Les équations gouvernant le transport dans la cellule sont non linéaires et sont couplées, elles ne peuvent pas être résolues analytiquement. Donc des méthodes numériques doivent être utilisées comme la méthode de Newton. Elle est utilisée pour résoudre numériquement les équations résultantes. Comme toute analyse mathématique, des conditions aux limites doivent être imposées sur l'ensemble des équations. Pour être spécifique, les solutions des équations (de Poisson et de continuité) doivent satisfaire les conditions aux limites suivantes :

$$\psi(0) = \psi_0 - V, \psi(d) = 0$$

$$J_P(0) = -qS_{P0}(p_0(0) - p(0)), J_P(d) = qS_{Pd}(p(d) - p_0(d))$$

$$J_n(0) = qS_{n0}(n(0) - n_0(0)), J_n(d) = -qS_{nd}(n_0(d) - n(d))$$

$x=0$  indique le coté gauche et  $x=d$  indique le coté droit du dispositif.

Dans les conditions aux limites appliquées au potentiel, les quantités  $\psi(0)$  et  $\psi(d)$  présentent le potentiel dans l'équation de Poisson évalué à  $x=0$  et  $x=d$ . Sa valeur à  $x=0$  à l'équilibre thermodynamique est  $\psi_0$  (ou la tension de diffusion  $V_d$ ), et selon notre définition sa valeur à  $x=d$  est égale à zéro à l'équilibre thermodynamique. En effet  $\psi(d)$  est toujours égale à zéro quelque soit les conditions du voltage ou d'éclairage à cause de notre choix de référence pour  $\psi$ . Cependant,  $\psi(0)$  devient  $\psi_0 - V$  si un voltage est appliqué, ou un éclairage ou les deux à la fois. Ici  $V$  est pris positif si le niveau de Fermi au contact gauche (coté n à  $x=0$ ) est élevé par  $q.V$  au dessus du niveau de Fermi au contact droit (coté p à  $x = d$ ). Cela conduit aux conditions aux limites appliquées pour le potentiel et qui sont valides pour toutes les structures et toutes les situations.

$p_0(0)$  et  $p_0(d)$  sont les densités des trous libres à  $x=0$  et  $x=d$  respectivement à l'équilibre thermodynamique.  $n_0(0)$  et  $n_0(d)$  sont les densités des électrons libres à  $x=0$  et  $x=d$  respectivement à l'équilibre thermodynamique. Les quantités  $p(0)$  et  $p(d)$   $n(0)$  et  $n(d)$  sont respectivement les densités des trous et électrons libres aux conditions d'opération. Aux conditions de l'équilibre thermodynamique,  $n(0) = n_0(0)$

$n(d) = n_0(d)$  ,  $p(0) = p_0(0)$  ,  $p(d) = p_0(d)$  . Les quantités  $S_{p0}$  ,  $S_{pd}$ ,  $S_{n0}$ ,  $S_{nd}$  apparaissant dans les conditions aux limites pour les électrons et les trous représentent les vitesses de recombinaison surfaciques pour les trous et les électrons à  $x=0$  et  $x=d$  respectivement. Le transport dans ces conditions peut être limité par la recombinaison ou l'émission thermo-ionique selon la valeur de la vitesse  $S$ . Si  $S_{p0}$  est prise égale à la vitesse thermique pour les trous, donc les trous traversent  $x=0$  par l'émission thermo-ionique. Si la valeur de  $S$  représente la recombinaison surfacique, la valeur sélectionnée peut être utilisée pour refléter le degré de passivation surfacique. Pour avoir un contact ohmique idéal à  $x=d$  pour les électrons par exemple , on choisit  $S_{nd}$  assez large pour assurer que  $n(d) = n_0(d)$  pour toutes les conditions de polarisation considérées.

Les conditions de l'équilibre thermodynamique signifient que la charge totale  $\rho$  est neutre à  $x=0$  et  $x=d$ .  $\rho(0) = 0 \Rightarrow q(p(0) - n(0) + p_t(0) - n_t(0) + N_a) = 0$

$$\rho(d) = 0 \Rightarrow q(p(d) - n(d) + p_t(d) - n_t(d) - N_a) = 0.$$

### Conditions initiales:

Les conditions initiales sont des conditions arbitraires qui doivent vérifier aux limites les conditions aux limites. Pour simplifier on peut considérer des distributions linéaires pour le potentiel  $\psi$  et les densités des électrons et trous libres  $n$  et  $p$  :

$$\psi(x) = A \cdot x + B; n(x) = n(0) \exp\left(\frac{q\psi(x)}{k_B T}\right), p(x) = p(0) \exp\left(-\frac{q\psi(x)}{k_B T}\right).$$

On supposant les conditions aux limites de l'équilibre thermodynamique, les distributions initiales doivent vérifier ces conditions.

$$\psi(0) = \psi_0 = V_d, \psi(d) = 0$$

$$p(0) = p_0(0), p(d) = p_0(d), n(0) = n_0(0), n(d) = n_0(d)$$

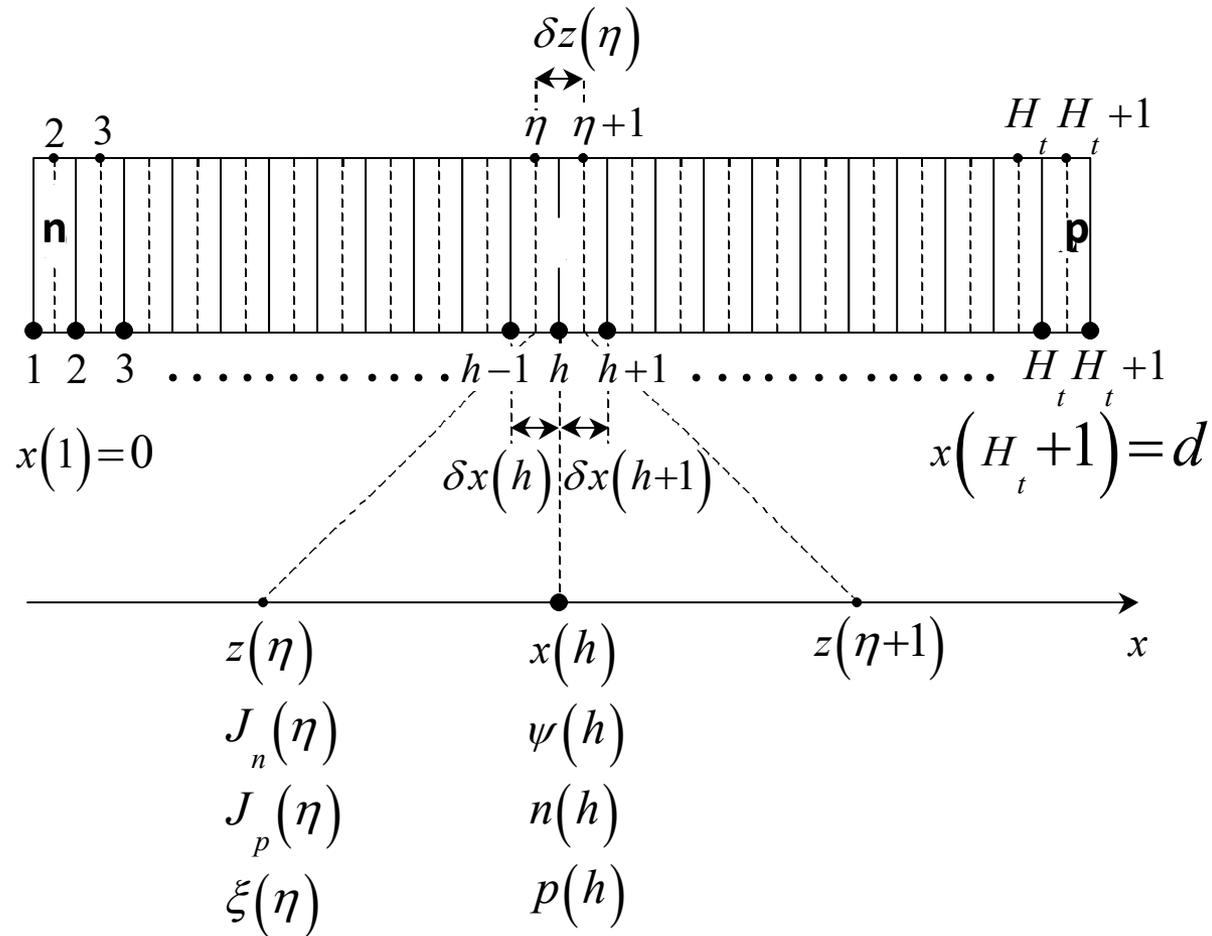
### Discrétisation spatiale des équations de transport:

La discrétisation du domaine à étudier des équations aux dérivées partielle est basée sur la méthode de différences finies, cette méthode est très classique, simple à mettre en œuvre et convient pour beaucoup de problèmes rencontrés en physique mathématique. Le principe de cette méthode consiste à remplacer les dérivées par des quotients de différences.

Les calculs sont effectués suivant un maillage. Dans le cas unidimensionnel, le domaine de simulation est un segment de droite de longueur  $d$  (épaisseur de la structure), le maillage est constitué d'un ensemble de point  $x(h)$  et  $z(\eta)$ , pour  $h$  et  $\eta$  variant de 1 à  $H_t+1$ ,

La structure selon l'axe unidimensionnel est discrétisé en un nombre  $H_t$  de tranches.

On aura donc  $H_t + 1$  nœud ;  $x(1), x(2), \dots, x(H_t + 1)$ , espacés l'un de l'autre par un pas  $\delta x$  tel que  $\delta x(h) = x(h) - x(h-1)$ .



Discretisation spatiale de la structure (np) selon la méthode des différences finies en indiquant la position des différentes variables.