

### Les cellules solaires

Une cellule solaire est un dispositif optoélectronique basé sur une jonction pn, elle fonctionne sans tension extérieure.

La cellule solaire convertit l'énergie des photons en énergie électrique et délivre cette énergie à une charge. Ces dispositifs optoélectroniques sont longtemps utilisés pour l'alimentation des satellites, et les véhicules spatiaux, ainsi que l'alimentation électrique de certaines calculatrices....

La figure 3.1 montre un schéma simple d'une cellule solaire. On considère que la jonction pn est étroite et le taux de dopage de type n est très élevé par rapport au dopage de type p (jonction  $pn^+$ ), alors la zone de charge d'espace est étalée sur la zone p. La lumière pénètre dans la cellule solaire à travers la zone n.

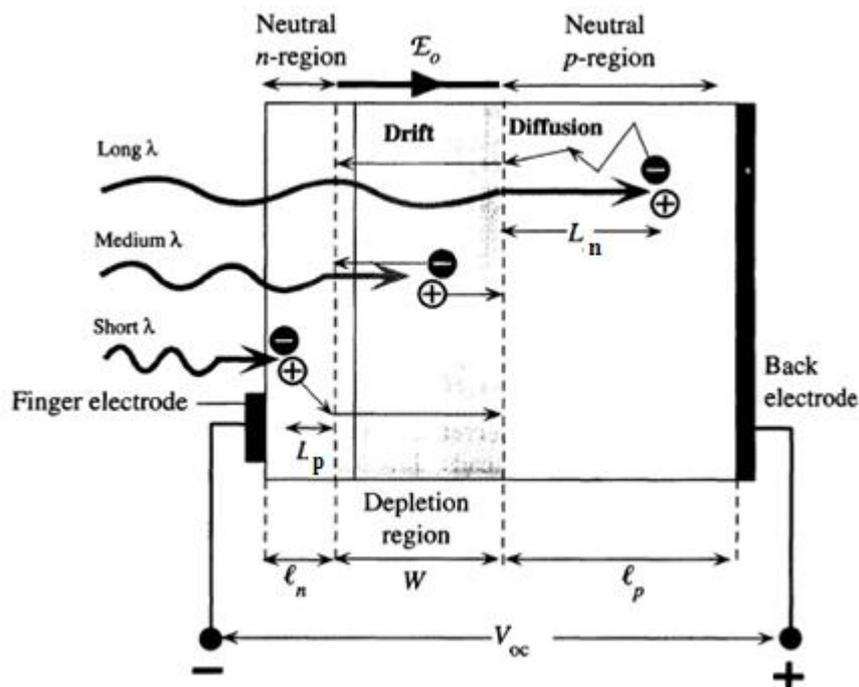


Figure 3.1 Schéma d'une cellule solaire basé sur une jonction  $pn^+$

La zone n est très étroite, la plus part des photons sont absorbés à travers la zone de déplétion et la zone neutre p dont la dernière sont largeur est  $\ell_n$ , il y aura alors une photo-génération des paires (électron-trou).

- Le paire electron-trou généré dans la zone de déplétion est immédiatement séparé par le champs électrique  $E_0$  de la zone de charge d'espace : l'électrons va atteindre la région n+ et augmente la charge de cette zone d'une valeur  $-e$ . De la même manière le trou atteindre la zone p et augmente la charge de cette zone d'une valeur  $+e$ .

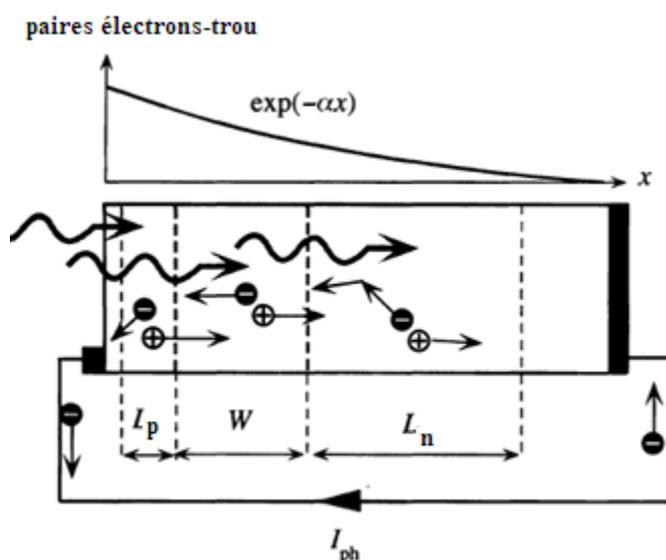
- Les électrons photogénérés (trous) dans la zone neutre p (n) diffusent dans cette région à une longueur  $L_e$  ( $L_p$ ) parceque dans cette région p (n) on a pas de champ électrique :

$l_n = \sqrt{D_n \tau_n}$  ; avec  $D_n$  est la constante de diffusion des électron dans la zone p,  $\tau_n$  est la durée de vie des électron dans la zone p. Ces électrons, diplacés d'une longueur  $L_n$ , se rapprochent de la zone de déplétion et par l'effet du champ électrique  $E_0$ , ils peuvent etteindrent la zone neutre n (figure 3.1) et augmente la densité des charges négatives dans la zone n. Ces électrons laissent derière eux des trous et augmentent la densité des charges positives dans la zone p.

Le même phynomène se produit pour les paires électron-trous photo-générées dans la zone n, où les trous prochent de la zone de déplétion se diffusent à une longueur  $L_p$  vers la zone de déplétion et par l'effet du champ  $E_0$  ils peuvent diffuser à la zone p.

$l_p = \sqrt{D_p \tau_p}$  ;  $D_p$  est la constante de diffusion des trous dans la zone n,  $\tau_p$  est la durée de vie des trous dans la zone n.

Le photo-courant est due à la génération des paires électrons-trous dans la zone de déplétion et dans les régions neutres n et p (figure 3.2).



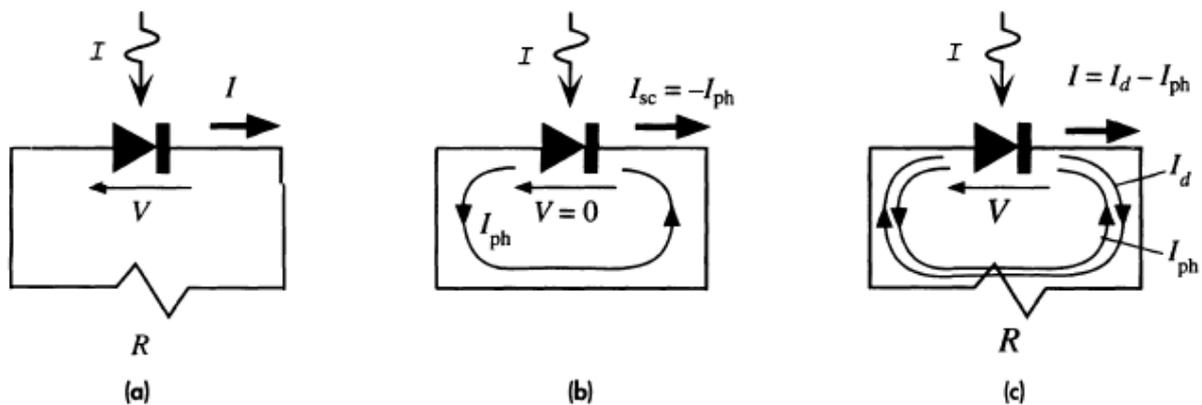
**Figure 3.2 La variation de la concentration des paires électron-trous à travers le volume  $L_p+W+L_n$ ,  $\alpha$  est le coefficient d'absorption du photon conciduré.**

Le champ électrique  $E_0$  joue un rôle important dans l'apparition du photocourant  $I_{ph}$

La liaison entre les bornes de la cellule permet à l'excès des électrons de se recombiner avec l'excès des trous et on aura un courant appelé **photocourant** ( $I_{ph}$ )

Dans un circuit ouvert, une tension  $V_{oc}$  est développée entre les bornes de la cellule photovoltaïque.

Les paires électron-trous générés et proches de la surface de la zone n ou hors de la zone  $L_p$  sont perdus par la recombinaison parce que la durée de vie  $\tau_n$  est très petite (due à un taux de dopage élevé dans la zone n)..



**Figure 6.52**

(a) The solar cell connected to an external load  $R$  and the convention for the definitions of positive voltage and positive current.

(b) The solar cell in short circuit. The current is the photocurrent  $I_{ph}$ .

(c) The solar cell driving an external load  $R$ . There is a voltage  $V$  and current  $I$  in the circuit.

- La figure ci-dessus (a) représente une jonction pn d'une cellule photovoltaïque. On note la direction du courant et de la tension sont des directions conventionnelles.

- La figure (b) présente un court-circuit de la cellule photovoltaïque :

La tension entre les bornes de la cellule est zéro ( $V=0$ ), le courant de court-circuit  $I_{sc} = -I_{ph} = -IK$  avec  $I$  est l'intensité de la lumière et  $K$  est une constante dépend du dispositif.

- Dans la figure (c) ; on met une charge (résistance  $R$ ) dans le circuit : une tension  $V$  direct apparaît entre les bornes de la jonction pn, cette tension diminue la barrière potentielle  $V_0$  et permet aux trous et aux électrons d'injecter dans les zones n et p respectivement.

Le courant totale circulé dans la cellule est due à la lumière ( $-I_{ph}$ ) et à la polarisation direct de la jonction pn ( $I_d$ ) :

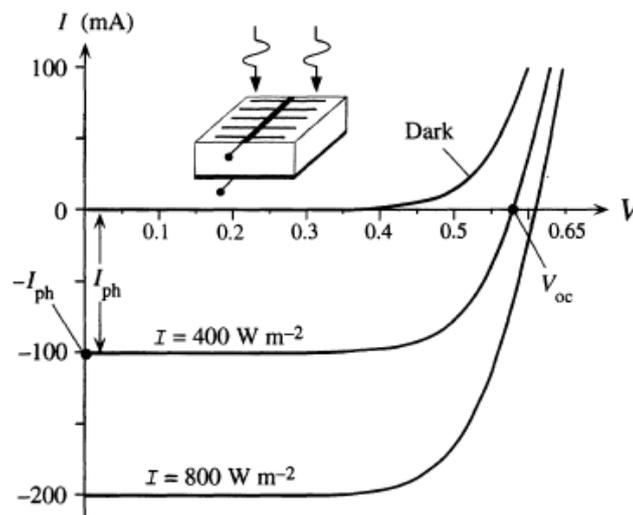
$$I = -I_{ph} + I_s \left[ \exp\left(\frac{eV}{\eta kT}\right) - 1 \right]$$

$I_s$  est le courant de saturation ;  $\eta$  est le factor d'idealité. ( $\eta=1-2$ )

L'équation ci-dessous montre les caractéristique  $I(V)$  d'une cellule solaire ; quand la cellule est connectée à une charge  $R$ , la tension entre les bornes de cette dernière est le même que celui de la cellule et le même cas pour le courant mais la direction du courant est au sens invers que direction conventionnelle où le courant passe du haut tension à basse tension.

### Les caractéristique $I(V)$ d'une cellule solaire de Si :

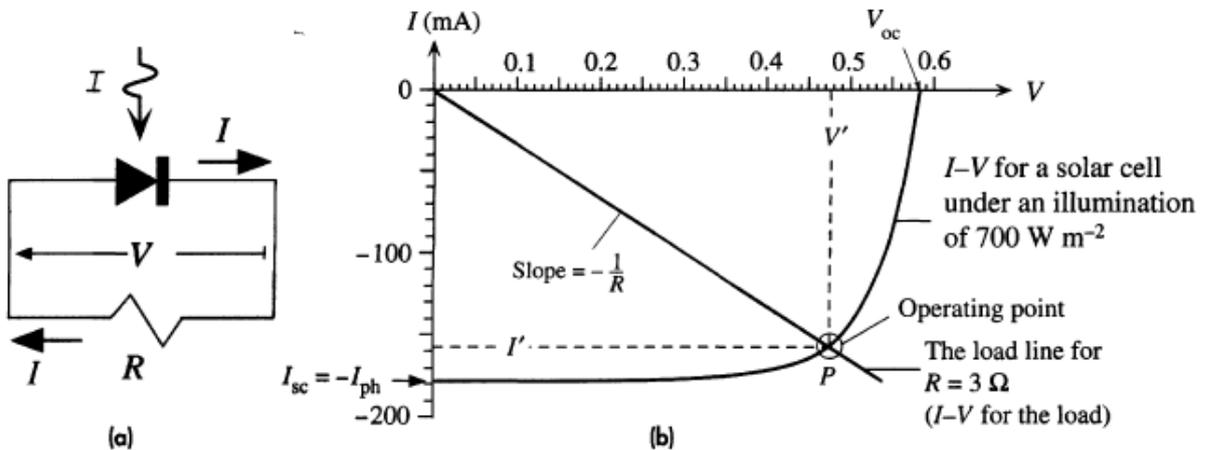
**Figure 6.53** Typical  $I-V$  characteristics of a Si solar cell. The short circuit current is  $I_{ph}$  and the open circuit voltage is  $V_{oc}$ . The  $I-V$  curves for positive current require an external bias voltage. Photovoltaic operation is always in the negative current region.



La figure ci-dessus représente les caractéristique  $I(V)$  d'une cellule solaire de silicium pour une intensité de la lumière  $I=0 \text{ Wm}^{-2}$  (dark),  $I=400 \text{ Wm}^{-2}$  et  $I= 800 \text{ Wm}^{-2}$ .

Le fonctionnement de la cellule est toujours dans la région négative du courant.

On constate que dans le noir ( $I=0 \text{ Wm}^{-2}$ ) la courbe  $I(V)$  est celui de la jonction classique pn.



**Figure 6.54**

(a) When a solar cell drives a load  $R$ ,  $R$  has the same voltage as the solar cell but the current through it is in the opposite direction to the convention that current flows from high to low potential.

(b) The current  $I'$  and voltage  $V'$  in the circuit of (a) can be found from a load line construction. Point  $P$  is the operating point ( $I'$ ,  $V'$ ). The load line is for  $R = 3 \Omega$ .

$V_{oc}$  est la tension de la circuit ouvert.  $I_{sc} = -I_{ph}$  est le courant du court-circuit.

La droite presente la ligne de charge : la variation du courant en fonction de  $V$  entre les bornes de la résistance.  $I = -(1/R)V$ .

$P(I', V')$  est le point de fonctionnement de la cellule photovoltaïque où le courant et la tension entre les bornes de la cellule sont les même entre les bornes de la résistance.

La puissance donnée au charge  $R$  est  $P_{out} = I'V'$ .

On définit le facteur de mérite FF par l'expression suivante :

$$FF = I_m V_m / I_{sc} V_{oc}$$

où  $I_m$  et  $V_m$  sont les valeurs maximales de  $I$  et  $V$  entre les bornes de la cellule en changeant l'intensité de la lumière ou la charge  $R$ .