

### I.2.4 Facteurs limitant le rendement

En pratique, la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique n'est pas totale. Différentes pertes viennent influencer le rendement d'une cellule. Elles sont dans la plupart des cas dues à la nature du matériau et à la technologie utilisée. Ces pertes sont évoquées ci-après :

1 - La première limitation correspond aux photons utiles dans la conversion. Tous les photons possédant une longueur d'onde supérieure à celle associée au gap du semiconducteur ne peuvent générer de paire électron/trou, et sont donc perdus. Un modèle plus détaillé du phénomène permet toutefois de considérer les mécanismes d'absorption assistée par phonons (voir figure I-2 (b)). Ceci repousse la limite de l'énergie du gap du silicium de 1,124 eV à 1,052 eV dans le cas d'une absorption assistée par un phonon [6].

2 - Les photons d'énergie supérieure au gap ne pourront générer qu'une seule paire/électron trou. L'excès d'énergie est perdu pour la conversion et thermalisé. Sous un éclairement de AM1.5, cette perte est évaluée à 33 % dans le cas du silicium [7].

3 - La tension maximale aux bornes de la cellule ( $V_{oc}$ ) ne pourra pas dépasser la tension de gap  $E_g/q$ . De plus, en raison des recombinaisons Auger,  $V_{oc}$  ne pourra dépasser 0,65 V pour le silicium, sauf dans le cas de cellules très minces ( $V_{oc}=0,72$  V pour une cellule de 20  $\mu m$ ) [8].

4 - Le facteur de forme FF, même dans le cas d'une cellule idéale, ne peut dépasser 0,89 [8], puisque les équations courant/tension sont régies par les équations de Boltzmann sous forme exponentielle :  $\exp(qV/kT)$ . Il ne pourra donc pas exister de courbe courant/tension rectangulaire (voir la caractéristique courant/tension de la figure I-5). Ce paramètre dépend de la conception de la cellule, de la qualité de la jonction p-n et du matériau, de la résistivité des contacts métalliques, etc... [9].

5 - Le rendement d'une cellule dépend aussi à la base du nombre de photons y pénétrant. Cette quantité est limitée par le coefficient de réflexion R de la surface de la cellule, qui pondère toutes les équations des courants photo-générés par un coefficient  $(1-R)$ . Afin de diminuer les réflexions, la surface de la cellule est texturée et recouverte d'une couche anti-reflet.

6 - De manière analogue, le taux d'ombrage tient compte de la couverture partielle de la surface de la cellule par une partie opaque correspondant à la surface des contacts

métalliques de la face avant. Par contre, pour certaines structures de cellules, le taux d'ombrage est égal à zéro (par exemple pour les cellules photovoltaïques à contacts arrières, voir le paragraphe I.5).

7 - Il y a une partie des photons qui, bien qu'ayant l'énergie nécessaire, traversent l'épaisseur de la cellule sans être absorbés (voir figure I-3). Ce terme devient important quand la cellule est très fine ( $<100 \mu m$ ), et peut être minimisé en utilisant une couche réfléchissante sur la face arrière de la cellule (réflecteur arrière).

8 - Le rendement de collecte correspond au rapport entre le nombre de porteurs de charge effectivement collectés et le nombre total photogénérés. Ce terme tient donc compte des recombinaisons de porteurs survenant dans le volume et en surface de la cellule, et il dépend directement de la durée de vie des porteurs minoritaires (le temps moyen entre la génération et la recombinaison d'un porteur minoritaire).