

GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE

1 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque dont nous disposons est implanté dans un environnement sahélien : vents de sable, chaleur, et humidité tropicale à certaines époques. Nous avons pu observer son fonctionnement dans ces conditions pendant quatre années au Parc des Energies Renouvelables (PER).

Le dimensionnement de cette installation correspond effectivement à celui d'une application fonctionnant dans le but d'alimenter un système de différentes charges parmi lesquelles on peut citer, l'installation pilote d'osmose inverse d'eau saumâtre pour un village isolé. L'étude expérimentale présente donc un grand intérêt.

Nous rappelons les bases théoriques concernant l'énergie photovoltaïque et nous proposons une analyse des systèmes de cette forme d'énergie. Nous mettons ainsi en évidence la conception d'un système photovoltaïque, tant au niveau électrotechnique qu'automatique qui doit impérativement prendre en compte des phénomènes régissant les points de fonctionnement.

1-1 Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un dispositif en matériau semi-conducteur qui réalise la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Dans une cellule à jonction PN cette conversion est à l'origine d'un courant de porteurs minoritaires appelé courant photovoltaïque I_{ph} proportionnel à l'énergie lumineuse incidente.

Le comportement de la cellule à jonction P N est donc équivalent à une source de courant shunté par une diode.

La caractéristique statique théorique de la cellule a donc pour expression en convention générateur [4], [6], [12] et [13] :

$$I_p = I_{ph} - I_0 \exp\left[\left(\frac{V_p}{V_T} - 1\right)\right]$$

$V_T = \frac{K_b T}{e}$ est appelé potentiel thermique ;

$K_b = 1.38 \cdot 10^{-23}$ joules/kelvin : constante de Boltzmann ;

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ coulomb, charge de l'électron ;

V_p est la tension délivrée par la cellule ;

I_p courant fourni à une charge;

I_0 courant de saturation de la diode.

I_{ph} courant photovoltaïque, de la cellule éclairée.

Le second terme de cette expression est le courant d'une diode polarisée dans l'obscurité en directe.

Le schéma équivalent et la caractéristique des cellules présentent donc bien un fonctionnement générateur dans le quadrant $I_p > 0$. et $V_p > 0$.

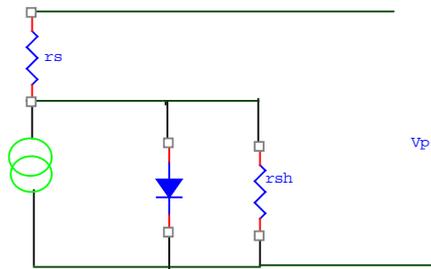


Fig.1-1 Schéma équivalent d'une photopile solaire

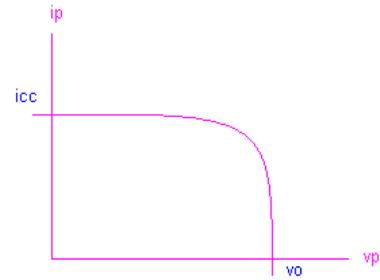


Fig.1-2 Caractéristique du courant en fonction de la tension

1-2 Caractéristiques électriques du générateur PV :

On trouve dans le commerce des modules photovoltaïques constitués par l'association d'un certain nombre de cellules élémentaires selon des critères précis.

Le générateur est lui même constitué de l'association série et parallèle de modules en fonction des besoins énergétiques et des conditions de consommation de l'utilisateur.

La caractéristique globale du générateur se déduit de la combinaison des caractéristiques des cellules élémentaires.

Cette caractéristique dépend des conditions d'éclairement et de la température:

- ✓ La tension à vide V_0 (circuit ouvert) varie sensiblement avec l'éclairement comme le logarithme du courant de court-circuit.

Ainsi dans cette étude (comme dans la majorité des travaux sur le système photovoltaïque) on considère V_0 comme un paramètre fixe et quasi-constant pour une installation donnée.

$V_0 = \text{constante}$

- ✓ Le courant de court-circuit I_{cc} , pratiquement indépendant de la température à éclairement donné, il en est donc une image et nous utiliserons par la suite I_{cc} comme grandeur d'entrée électrique de notre modèle d'étude.
- ✓ La puissance délivrée par le générateur photovoltaïque correspond pour des conditions d'éclairement et de température données par l'intersection d'un maximum au point de tangence horizontale de la caractéristique

avec l'hyperbole d'équipuissance. Ce point est qualifié de point optimal de fonctionnement (V_{opt} , I_{opt}).

Lorsque les conditions varient, la caractéristique du générateur évolue dans le plan (I_p , V_p) [4], [6], [12] et [13].

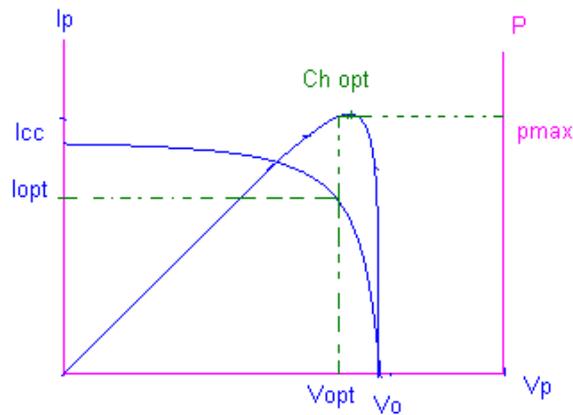


Fig.1-3 Caractéristique courant –tension et courbe de puissance

Cette caractéristique présente trois zones de fonctionnement distinctes (Fig.1-4)

- ✓ Zone AB : le courant I_p varie très peu avec la tension, le courant peut être considéré comme constant et la tension variable. La cellule se comporte donc comme une source de courant ;
- ✓ Zone CD : la tension varie très peu avec le courant. La cellule se comporte une source de tension ;
- ✓ Zone BC : la tension et le courant varient fortement. Nous n'avons ni une source de tension, ni une source de courant.

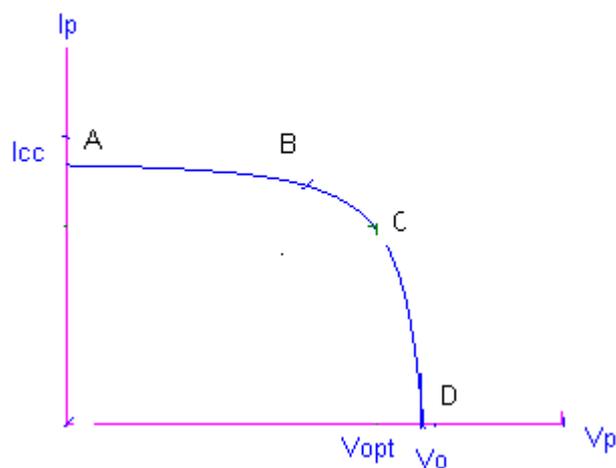


Fig.1-4 Caractéristique du générateur photovoltaïque

1-3 Groupement des modules en série :

On constate Fig.1-5 que le courant qui traverse chaque module est le même que celui dans la charge.

Si les modules sont identiques comme le cas du PER (même condition d'éclairage et de température), leurs tensions sont égales et dans ce cas la tension délivrée par le générateur photovoltaïque est multipliée par le nombre de modules en série

$$I_s = I_i$$
$$V_s = n_s \cdot V_i, \text{ avec } n_s: \text{ nombre de modules en série}$$

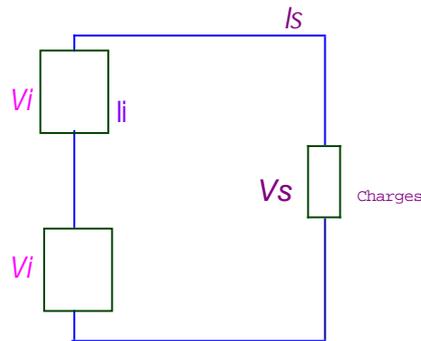


Fig.1-5 Schéma de groupement des modules en séries

Il peut arriver que des modules non identiques soient couplés en série (disparités dues au masquage par la poussière de certains modules), la tension d'utilisation des modules en série sera légèrement diminuée pour une impédance de charge faible, les cellules moins efficaces peuvent devenir réceptrices si le courant d'utilisation est inférieur au courant produit par ces cellules. Ainsi, pour une impédance nulle (courant de court – circuit), une cellule ombragée sera soumise à ses bornes à une tension inverse égale à la somme des tensions délivrées par les autres cellules.

Pour éviter cela, on met en parallèle avec chaque module une diode de protection D qui se met à conduire dès l'apparitions d'une tension inverse.

La diode en parallèle limite la tension inverse par sa tension directe, puisqu' elle devient passante.

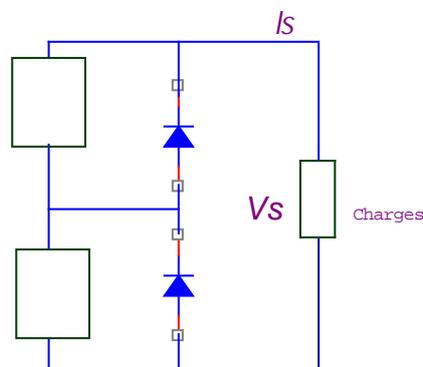


Fig.1-6 Schéma de groupement des modules en séries avec des diodes de protection

1-4 Groupement des modules en parallèle :

Il est possible d'augmenter le courant fourni à une charge en disposant en parallèle plusieurs modules. Si les modules sont identiques, comme le cas du PER, leurs courants sont égaux et dans ce cas les relations sont comme suit :

$$V_i = V_s$$

$$I_s = np \cdot I_i, \text{ avec } np : \text{ nombre de modules en parallèle.}$$

Si les modules ne sont pas identiques, le courant d'utilisation total des modules sera plus faible pour une impédance de charge élevée, les modules moins performants deviendront récepteurs.

Ainsi, le cas le plus critique ou la charge est nulle et le circuit ouvert, le courant des branches des modules performants se dissipera dans la branche la moins performante.

Bien que la cellule puisse dissiper un courant important, il est préférable de disposer d'une diode anti-retour. Celle-ci empêchera le gaspillage dans le module occulté une partie de la puissance produite par les modules fonctionnant normalement. En effet, cette diode est traversée en fonctionnement normal par un courant qui introduit une perte de puissance permanente [4], [6], [12] et [13]:

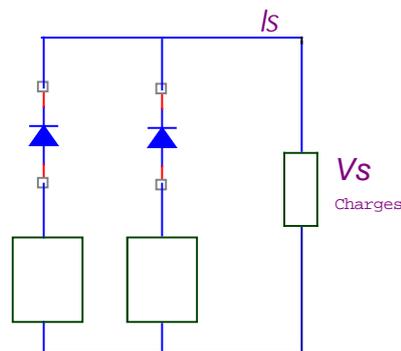


Fig.1-7 Schéma de groupement des modules en parallèle avec des diodes de protection

2-PRESENTATION DES MODELES DU SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE