

II.1.Introduction :

Après avoir cité le principe de conversion et les différentes caractéristiques d'un système photovoltaïque, nous procédons, par la suite, à la modélisation de ce système.

La modélisation nécessite un ensemble d'équations caractérisant tous les éléments du système étudié.

II.2.Le fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque :

La conception de système photovoltaïque optimisée est par nature difficile. En effet, coté source, pour un générateur photovoltaïque, la production de puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température, mais aussi du vieillissement global du système. Coté charge que ce soit de nature continue (**DC**), ou bien alternative (**AC**), comme le réseau électrique, chacune a son comportement propre qui peut être aléatoire. Pour que le générateur fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui jouera le rôle d'adaptateur source-charge.

Dans des conditions données, c'est au point de puissance maximale de la caractéristique puissance en fonction de la tension présentée à (la figure II.1) que l'on exploite au mieux la puissance crête installée. Nous pouvons voir sur cette figure l'évolution de la puissance pour différents éclairagements. Ces points correspondent donc au point de puissance optimale, terme traduisant le caractère relatif aux conditions d'éclairement et de température de la puissance fournie.

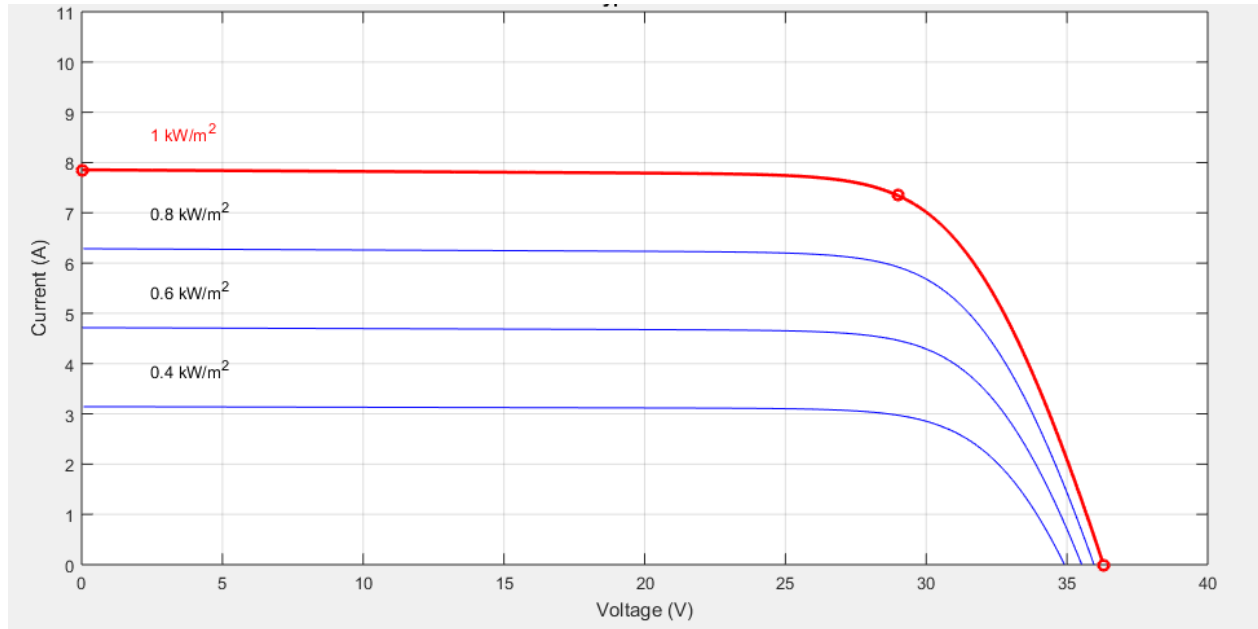


Figure II.1:Caractéristique de la tension

Pour assurer le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque à son point de puissance maximale (**PPM**), des contrôleurs **MPPT** sont souvent utilisés. Ces contrôleurs sont destinés à minimiser l'erreur entre la puissance de fonctionnement et la puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques.

La puissance de fonctionnement du générateur **PV** est facilement calculée à partir du produit tension-courant. Par contre, la détermination de la puissance maximale de référence est plus délicate vue que cette dernière est fonction des conditions climatiques (éclairage, température).

Cette référence, étant alors non constante et étant caractérisée par une fonction non linéaire rend le fonctionnement à puissance maximale plus difficile à réaliser. Afin de résoudre ce problème des méthodes numériques utilisant des outils informatiques, sont exploitées..

II.2.1.Les méthodes analogiques:

En les comparant aux méthodes micro-programmées, les méthodes analogiques sont souvent simples à réaliser et à bas prix. Parmi ces dernières, nous rappelons quelques méthodes souvent utilisées :

- La première méthode consiste à commander un convertisseur à travers un circuit électronique utilisant des cellules PV étalons comme consigne de référence afin de déterminer la tension optimale du générateur PV [20][21] ou le courant optimal [22] [23] [24]. Malgré le

fonctionnement à une puissance proche de la puissance maximale, quelques inconvénients sont à soulever :

- ✓ Non prise en compte des dérives des caractéristiques du générateur **PV** dues aux paramètres extérieurs (vieillessement, vent, température, poussières).
 - ✓ Dépendance totale de la cellule étalon qui peut subir des modifications ou anomalies.
- Une deuxième méthode analogique se basant sur la recherche extrême analogique de la puissance maximale a été utilisée dans [25]. Cette méthode est basée sur la dérivation de la puissance **P** du générateur. L'action de la commande du convertisseur permet de changer la résistance apparente vue du générateur et par conséquent on aura une variation de la puissance débitée par ce dernier. Le générateur travaille à son optimum de puissance lorsque le signal dérivé $\frac{dP}{dt}$. S'annule.

- ✓ Cette méthode, quoique théoriquement séduisante et facile à étudier présente par contre des difficultés de mise en œuvre et ceci pour différentes raisons [26] [27] [28] :
 - ✓ Nécessité de dériver le signal analogique **P(t)** ce qui engendre des bruits et des dérives importantes difficiles à filtrer,
 - ✓ Instabilité due aux bruits et aux perturbations.
 - ✓ Nécessité de tenir compte de la dynamique de mesure de puissance.
- La troisième méthode concerne la modulation par détection synchrone.

Elle consiste à superposer, en série avec le générateur une source de tension sinusoïdale de faible amplitude. La puissance débitée par le générateur sera alors modulée d'une manière sinusoïdale. Et la phase de la modulation nous renseigne sur la position du point de fonctionnement par rapport au point de puissance maximale. Le positionnement du point de fonctionnement se fera aussi par incrémentation ou décrémentation de la tension aux bornes du générateur **PV** [29]

II.2.2.Méthodes micro-programmées :

L'évolution du domaine de la microinformatique a permis d'améliorer les conditions de fonctionnement des systèmes photovoltaïques. Parmi ces conditions nous citons les procédures micro programmées permettant un fonctionnement du système à puissance maximale L'élaboration de ces procédures se base sur plusieurs points tels que :

- L'utilisation d'une base de données climatique permettant de déterminer pour chaque température et éclairement la puissance maximale de référence prévue.
- La simulation des équations caractéristiques du générateur **PV** pour chercher chaque nouvelle référence (puissance référence).
- L'utilisation des techniques de recherche en temps réel du point de fonctionnement à puissance maximale suivant les variations des conditions climatiques.

Les deux premières méthodes nécessitent un modèle de la source **PV** ainsi que des mesures de la température et de l'éclairement. Quant à la troisième, on n'a besoin ni du modèle de la source ni de la température ni de l'éclairement. Cependant cette dernière la mesure de la tension et du courant du générateur **PV** en temps réel. Une procédure de commande micro programmée calcule la puissance délivrée par le générateur **PV** ainsi que sa dérivée puis élabore une commande du système qui ne se stabilise que dans le cas d'une dérivée nulle de la puissance correspondante à une puissance maximale [28] [27][29].

II.2.3. Recherche extrémale adaptative :

II.2.3.1. Asservissement de la tension du générateur PV : (Tension de référence fixe)

Cette méthode suppose que les variations de l'éclairement et de la température au niveau du générateur PV entraînent des variations insignifiantes de la tension optimale, et qu'une tension constitue une approximation adéquate du point de puissance maximale. La tension aux bornes du générateur PV est prise comme variable à contrôler. La régulation de cette tension permet de maintenir un fonctionnement du système proche du point de puissance maximale. Malgré la simplicité de la mise en œuvre de cette méthode, cette dernière présente quelques inconvénients :

- Elle néglige l'effet de l'éclairement et de la température sur le générateur PV.
- Elle ne tient pas compte des dérives des caractéristiques du générateur dues aux paramètres extérieurs (vieillesse, vent, occultation).
- Elle ne peut pas être utilisée pour la régulation des systèmes à stockage d'énergie.

II.2.3.2. Asservissement de la puissance du générateur PV :

Cette méthode est basée sur la recherche du point de fonctionnement optimum par le principe dit de perturbation et observation [34] ou « aveugle » [27]. Un micro-processeur compare entre deux instants d'échantillonnage, la puissance débitée par le générateur et élabore une consigne en fonction du signal d'écart. Dans cette approche on maximise la puissance délivrée à la charge et non la puissance permettant un rendement maximale de cette charge.

Des applications récentes de cette méthode, utilisant l'estimation de la puissance maximale par réseaux de neurones, sont présentées dans [35], [36].

II.3. Modélisation du générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque permet une conversion convenable d'énergie solaire en énergie électrique sous forme de tension et de courant continu, variable selon l'influence de l'éclairement et la température.

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Dans notre cas nous avons utilisé le modèle à diode qui permet de donner le comportement global en termes de puissance fournie.

II.3.1. Cas idéal :

L'équation caractéristique d'une cellule solaire idéale est de la forme [30] :

$$I = I_{PV} - I_0 \left[e^{\frac{qV}{akT}} - 1 \right] \quad (\text{II.1})$$

Le circuit électrique équivalent correspondant à une cellule idéale solaire est :

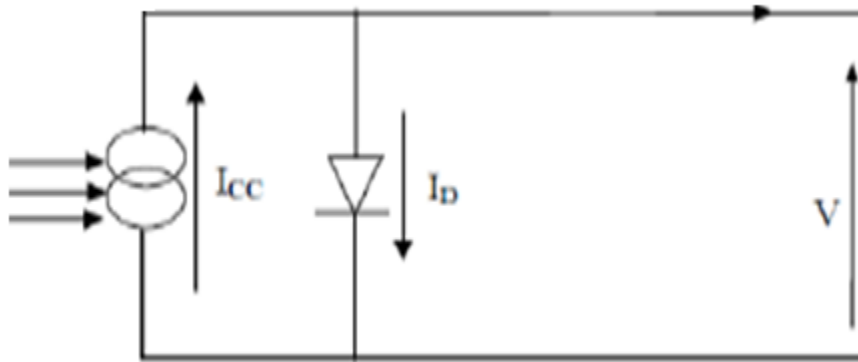


Figure II.2: Cellule solaire idéale.

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{qV}{akT}} \right] \quad (\text{II.2})$$

II.3.2. Cas réel :

La performance d'une cellule solaire est limitée par l'influence de deux phénomènes physiques assimilables à deux résistances (R_s et R_p).

R_s : La résistance série caractérise les pertes par effets Joule de la résistance propre du semi-conducteur et les pertes à travers les grilles de collectes et les mauvais contacts ohmiques de la cellule. Les contacts semi-conducteur-électrodes à résistance élevée abaissent appréciablement la tension et le courant de sortie ce qui va limiter le rendement de conversion.

R_p : La résistance parallèle (ou shunt) caractérise les pertes par recombinaison des porteurs dues aux défauts structuraux du matériau épaisseurs des régions N et P et de la zone de charge et d'espace.

L'existence de fissures et de défaut de structures complexes devient le siège de phénomène physique assimilable aussi à une résistance parallèle R_p .

R_p augmente avec le groupement série de cellules solaires et diminue avec une connexion parallèle [31].

R_s Et R_p modifient le courant de court-circuit de la cellule en photo- courant I_{pv} ; on aura donc le montage électrique équivalent suivant [30].

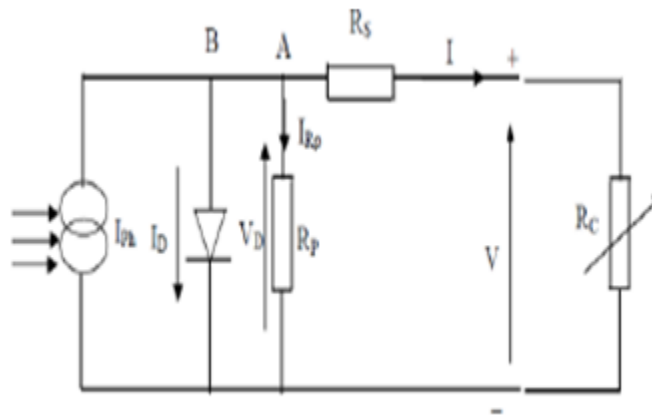


Figure II.3: Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle.

Appliquons la loi de Kirchhoff aux nœuds A, B :

$$I = I_{pv} - I_D - I_P \tag{II.3}$$

$$I_P = \frac{V + R_s I}{R_p} \tag{II.4}$$

On remplace ces courants par leurs équations on obtient :

$$I = I_{pv} - I_0 \left[e^{\frac{qV}{akT}} - 1 \right] \frac{V + R_s I}{R_p} \tag{II.5}$$

On suppose que $R_s \gg R_p$ ce que fait $I_p \approx 0$

On aura donc

$$I = I_{PV} - I_0 \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] \quad (\text{II.6})$$

II.4. Le module photovoltaïque :

Les modules solaires se composent de cellules solaires regroupées en série et en parallèle, afin d'obtenir la puissance finale souhaitée, déterminée par le courant et la tension du module. La quantité de cellules solaires dans les modules cristallins varie entre 36 et 72[32]. Les cellules solaires sont incorporées dans un châssis en aluminium selon un en capsulage verre – film EVA - cellule solaire – feuille de Tedlar, pour les protéger des conditions météorologiques. Des diodes by-pass sont placées sur la face arrière du module, afin de minimiser les pertes de puissance provoquées par l'ombrage.

Les cellules (et modules) solaires se distinguent par leurs caractéristiques électriques. Les cellules (et modules) solaires se comportent de la même manière que les diodes et leurs caractéristiques électriques sont donc représentées à l'aide de courbe courant – tension (courbe **I-V**). La (figure II.4) illustre la courbe **I-V** et **P-V** d'une cellule solaire et montre le comportement électrique des différentes plages de courant - tension. **I_{sc}** représente le courant de court-circuit, autrement dit la valeur pour laquelle le courant est au maximum et la tension est égale à zéro. **V_{oc}** représente la tension du circuit ouvert, autrement dit la valeur pour laquelle la tension est à son maximum et le courant est égal à zéro. Le maximum de la courbe bleue donne la valeur maximale de puissance **MPP** ("maximum power point"). Le maximum de la courbe rouge donne la valeur de courant du MPP (**I_{mpp}**) qui permet d'obtenir la valeur de tension du MPP (**V_{mpp}**), à partir de la courbe **I-V** et **P-V**.

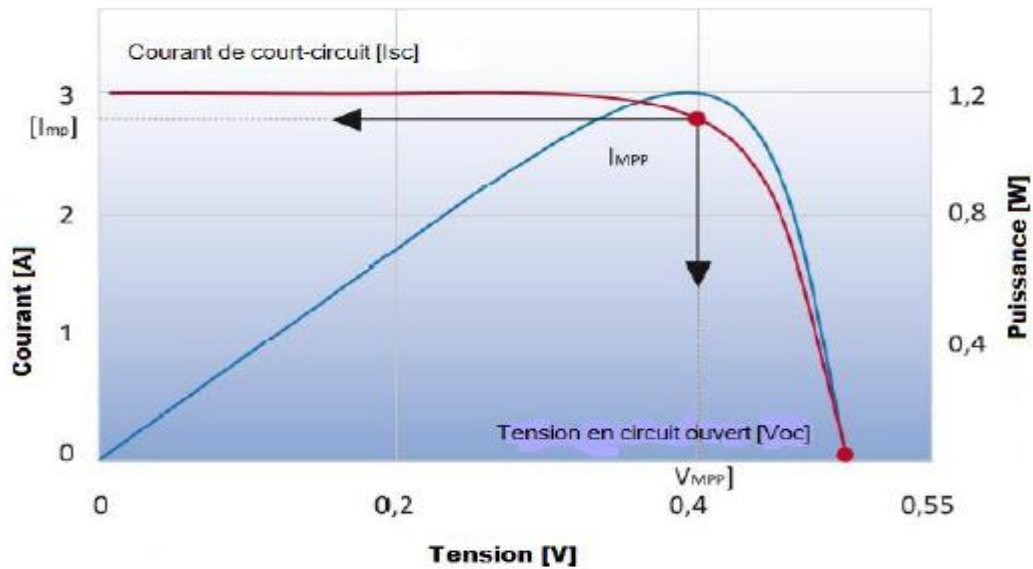


Figure II.4: Caractéristique I-V, P-I d'un module PV (MPP)

II.5. Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, un suiveur de point de puissance maximum (MPPT : Maximum Power Point Tracker) est utilisé pour contrôler les variations de la caractéristique courant tension des cellules. Nous avons vu dans la présentation des cellules la caractéristique d'une cellule, et l'évolution de cette caractéristique en fonction de l'éclairement ou de la température.

Le terme MPPT, il s'agit, par un moyen (à trouver), de venir se placer sur le point maximum de la caractéristique en puissance et de pouvoir y rester quelles que soient les variations de température, ensoleillement ou autre.

Pour avoir la meilleure connexion entre le générateur photovoltaïque et la charge et produire la meilleure puissance, la MPPT a été développé depuis 1968[35], ces genres de contrôleurs forcent le générateur à travailler à son « Maximum Power Point » (MPP) induisant une amélioration

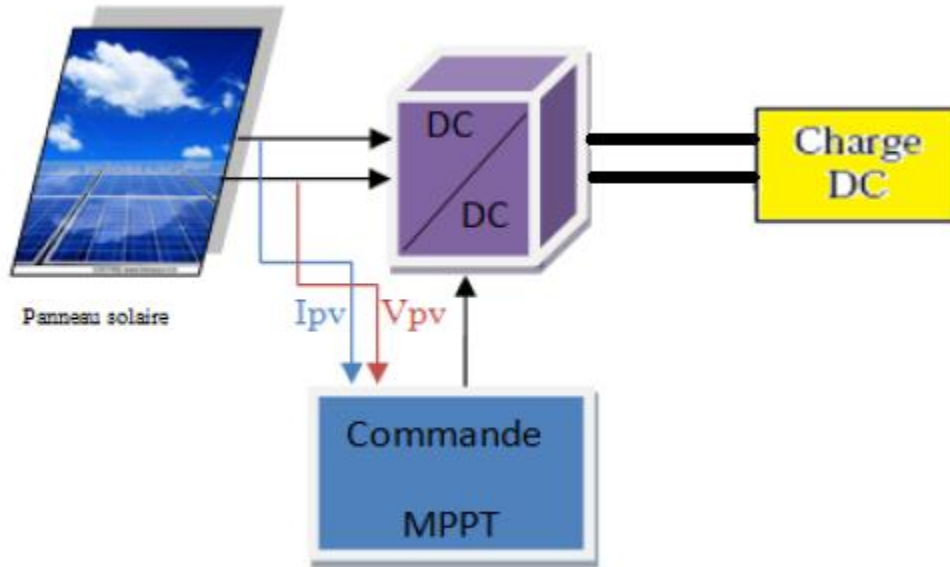


Figure II.5: schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec convertisseur (DC/DC) contrôlé par (MPPT) sur charge (DC).

II.6. Modélisation d'un hacheur BOOST :

Le nom d'un hacheur BOOST implique l'application typique de convertir une basse tension d'entrée à une tension de sortie élevée, fonctionnant essentiellement comme un convertisseur dévolteur renversé [34].

Le modèle de circuit équivalent d'un hacheur BOOST est dans (la figure II.6).

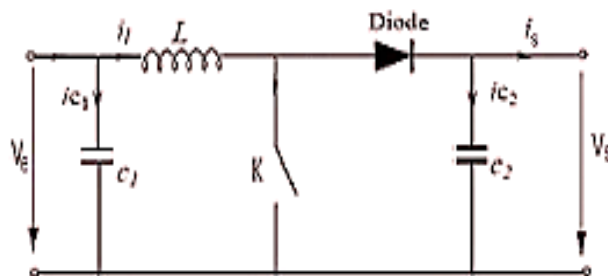


Figure II.6: Circuit d'un hacheur BOOST.

Le circuit d'un hacheur BOOST avec interrupteur fermé est montré dans (la figure II.7)

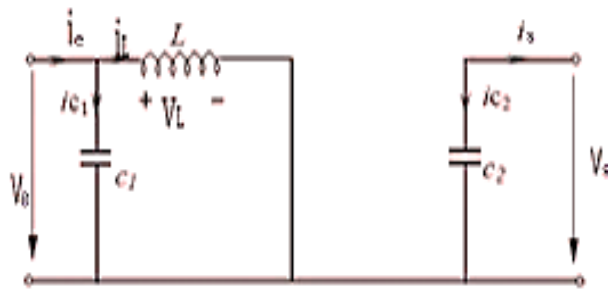


Figure II.7: Circuit idéal d'un hacheur BOOST avec interrupteur fermé.

Les équations équivalentes d'un circuit d'un hacheur BOOST avec interrupteur fermé sont :

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = c_1 \cdot \frac{dv_e(t)}{dt} = i(t) - i_L(t); \\ i_{C2} = c_2 \cdot \frac{dv_e(t)}{dt} = -i_s(t); \\ V_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} = V_e(t); \end{cases} \quad (II.7)$$

Le circuit d'un hacheur BOOST avec interrupteur ouvert est montré dans la (figure II.8).

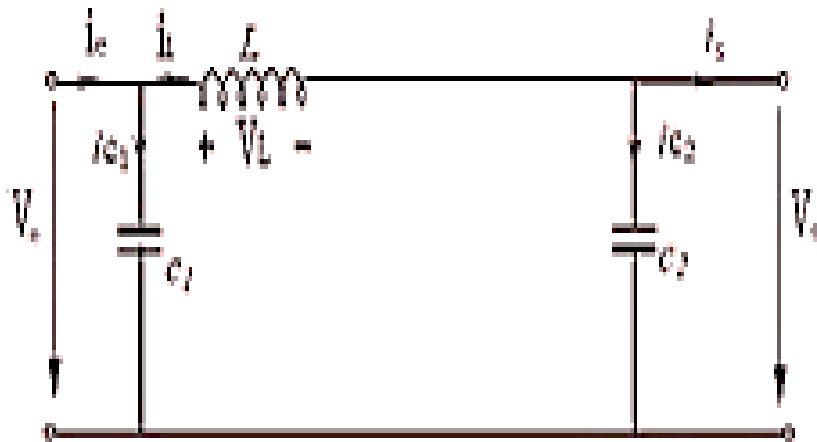


Figure II.8: Circuit d'un hacheur BOOST avec interrupteur ouvert.

Les équations équivalentes d'un circuit d'un hacheur BOOST avec interrupteur ouvert sont :

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = c_1 \cdot \frac{dv_e(t)}{dt} = i(t) - i_L(t); \\ i_{C2} = c_2 \cdot \frac{dv_e(t)}{dt} = i_L - i_s(t); \\ V_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} = V_e(t) - V_s(t); \end{cases} \quad (II.8)$$

II.7. Convertisseur continu-continu (DC/DC) dite à découpage :

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu. Leur utilisation permet le contrôle de la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé [38].

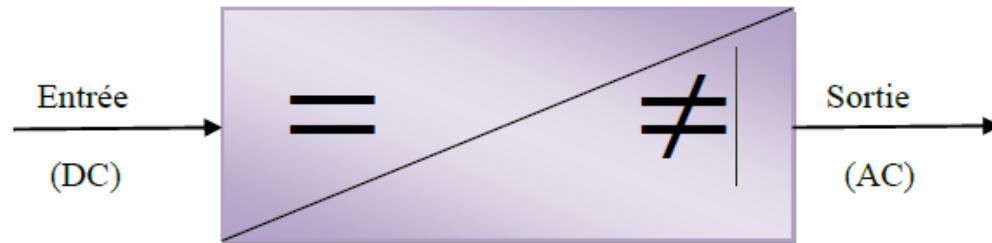


Figure II.9: Schéma principe d'un hacheur.

II.7.1. Alimentation à découpage :

La technique du découpage, apparue dans les années soixante, et a apporté une solution au problème du mauvais rendement et de l'encombrement des alimentations séries qui nécessités des transformateurs de grandes puissances. Dans une alimentation à découpage (Figure II.9), la tension d'entrée est "hachée" à une fréquence donnée par un IGBT alternativement passant et bloqué. Il en résulte une onde carrée de tension qu'il suffit de lisser pour obtenir finalement une tension continue [38].

D'un point de vue, le hacheur apparaît comme un quadripôle (figure II.10), jouant le rôle d'organe de liaison entre deux parties. On peut le considérer comme un transformateur de grandeur.

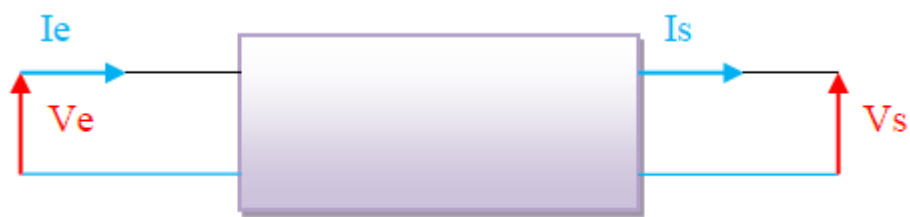


Figure II.10: Schéma d'un quadripôle électrique.

La régulation de la tension de sortie à un niveau constant est réalisée par une action sur le "rapport cyclique" ("duty cycle"), défini comme la fraction de la période de découpage où l'interrupteur est passant (figure II.11).

L'interrupteur est un dispositif semi-conducteur en mode tout ou rien (bloqué-saturé).

Pendant le fonctionnement du hacheur, le IGBT sera commuté à une fréquence constante f_s avec un temps de fermeture égale à $D \cdot T_s$ et un temps d'ouverture de $(1-D) \cdot T_s$, où :

- T_s la période de commutation qui est égale à $1/f_s$.
- D le rapport cyclique du commutateur ($D \in [0,1]$).

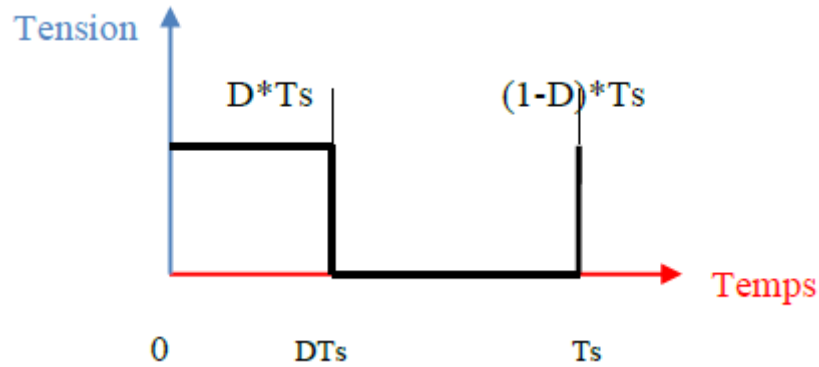


Figure II.11: Représentation de la sortie d'un commutateur e ouverture/fermeture sur une période.

L'avantage du découpage est double :

- D'une part, le semi-conducteur n'est utilisé qu'en commutation : soit il est bloqué, soit il est saturé. Il génère donc par principe beaucoup moins de pertes que dans une alimentation série et le rendement s'en trouve nettement amélioré (de 60% pour les premières alimentations à découpage jusqu'à typiquement 85% à 95% aujourd'hui).
- D'autre part, la fréquence de base vue par les éléments réactifs (pièces magnétiques et capacités) est comprise entre quelques dizaines de kilohertz et quelques mégahertz suivant le type d'alimentation, ce qu'est un avantage vis-à-vis leur volume.

II.7.2. Les types de convertisseurs :

Il y a différents types de convertisseurs DC-DC on peut citer :

- Convertisseur <<BOOST >>.
- Convertisseur <<BUCK >>.
- Convertisseur << Buck-BOOST >>.
- Convertisseur <<ĆUK >>.
- Convertisseur <<SEPIC >>.
- Convertisseur <<Flyback >>.

On se contentera de deux qui sont les plus répondu :

- Les abaisseurs (BUCK) dans lesquels $V_e > V_s$ avec V_e est la tension d'entrée et V_s la tension de sortie.
- Les éleveurs (BOOST) dans lesquels $V_e < V_s$.

II.7.2.1. Convertisseur BOOST :

Le schéma de principe est celui de la (figure II.12).

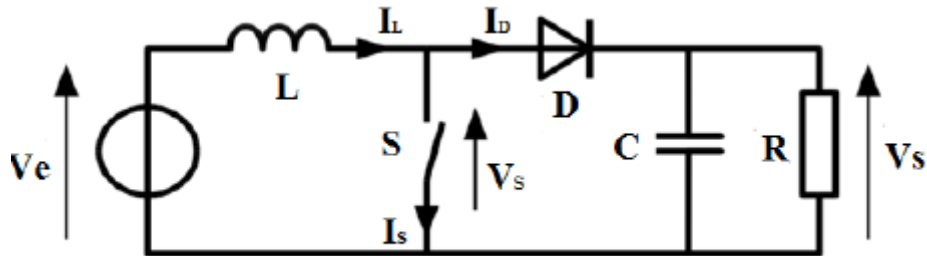


Figure II.12: Structure d'un hacheur BOOST

a. Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur BOOST peut être divisé en deux phases distinctes selon l'état de l'interrupteur S [38]. La (figure II.13) montre la configuration d'un convertisseur BOOST suivant l'état de l'interrupteur S.

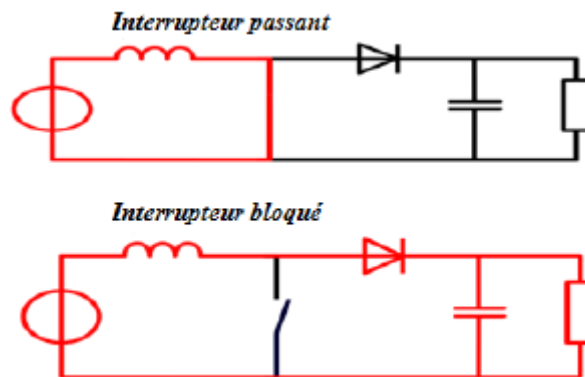


Figure II.13: La configuration d'un convertisseur BOOST suivant l'état de l'interrupteur S.

- Une phase d'accumulation d'énergie : lorsque l'interrupteur S (figure II.8) est fermé (état passant), cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode D est alors bloquée et la charge est alors déconnectée de l'alimentation.

- Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'inductance se trouve alors en série avec le générateur et sa f.e.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode D, le condensateur C et la charge R. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité.

b. Conduction continue :

Quand un convertisseur BOOST travaille en mode de conduction continue, le courant IL traversant l'inductance ne s'annule jamais. La (figure II.14) montre les formes d'ondes du courant et de la tension dans un convertisseur BOOST [38].

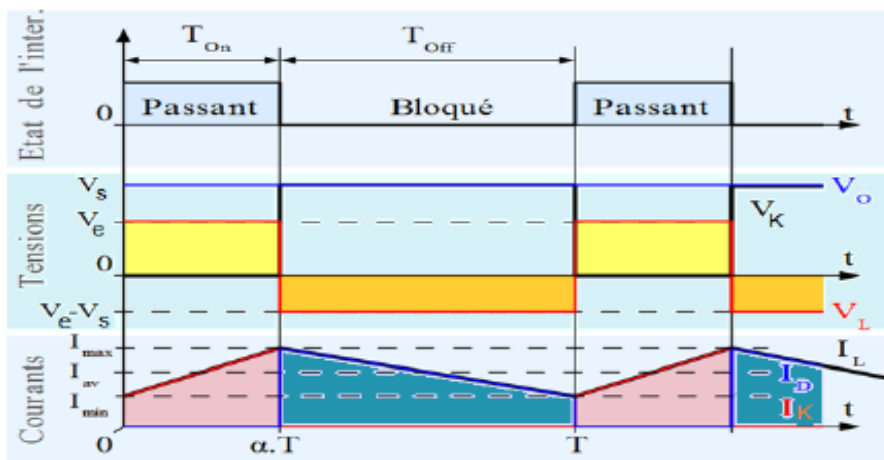


Figure II.14: Les formes d'ondes courant/ tension d'un convertisseur BOOST en conduction continue.

La tension de sortie est calculée de la façon suivante (en considérant les composants comme parfaits) :

Durant l'état passant, l'interrupteur S est fermé, entraînant l'augmentation du courant suivant la relation :

$$V_i = L \frac{dI_L}{dt} \tag{II.9}$$

À la fin de l'état passant, le courant IL a augmenté de :

$$\Delta I_{Lon} = \int_0^{\alpha.T} dI_L = \int_0^{\alpha.T} \frac{V_e \cdot dt}{L} = \frac{V_e \cdot \alpha.T}{L} \tag{II.10}$$

Par conséquent, la variation de IL durant l'état bloqué est :

$$\Delta I_{Loff} = \int_0^{(1-\alpha)T} dI_L = \int_0^{(1-\alpha)T} \frac{(V_e - V_s) dt}{L} = \frac{(V_e - V_s)(1-\alpha)T}{L} \tag{II.11}$$

Si on considère que le convertisseur a atteint son régime permanent, la quantité d'énergie stockée dans chacun de ces composants est la même au début et à la fin d'un cycle de fonctionnement. En particulier, l'énergie stockée dans l'inductance est donnée par :

$$E = \frac{1}{2} L \cdot I_L^2 \quad (\text{II.12})$$

En conséquence, le courant traversant l'inductance est le même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Ce qui peut s'écrire de la façon suivante :

$$\Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = 0 \quad (\text{II.13})$$

En remplaçant $\Delta I_{L\text{on}}$ et $\Delta I_{L\text{off}}$ par leur expression, on obtient :

$$\Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = \frac{V_e \cdot \alpha \cdot T}{L} + \frac{(V_e - V_s)(1 - \alpha)T}{L} \quad (\text{II.14})$$

Ce qui peut se réécrire de la façon suivante :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (\text{II.15})$$

Après l'équation (II.7), on peut voir que la tension de sortie est toujours supérieure à celle d'entrée (le rapport cyclique variant entre 0 et 1), qu'elle augmente avec α , et que théoriquement elle peut être infinie lorsque α se rapproche de 1. C'est pour cela que l'on parle de survolteur.

c. Conduction discontinue :

Dans certains cas, la quantité d'énergie demandée par la charge est assez faible pour être transférée dans un temps plus court qu'une période de commutation.

Dans ce cas, le courant traversant l'inducteur s'annule pendant une partie de la période. La seule différence avec le principe de fonctionnement décrit précédemment, est que l'inductance est complètement déchargée en début de cycle, la figure (II.14) montre les formes d'ondes [38].

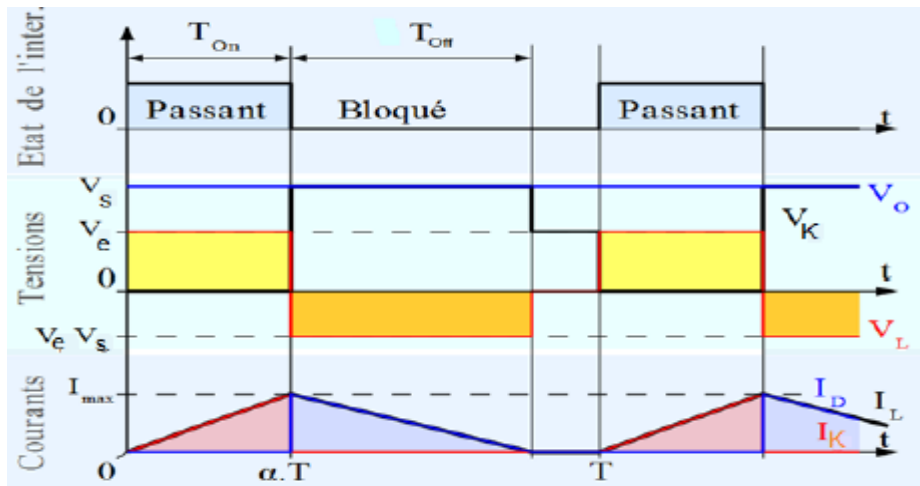


Figure II.15: Les formes d'ondes courant/ tension d'un convertisseur BOOST en conduction discontinue.

Comme le courant de l'inductance est nul en début de cycle, son maximum $I_{LMax}(a = t \alpha.T)$ vaut:

$$I_{LMax} = \frac{V_e \cdot \alpha.T}{L} \tag{II.16}$$

Pendant l'état bloqué, IL s'annule après $\delta.T$:

$$I_{LMax} = \frac{(V_e - V_s) \delta.T}{L} = 0 \tag{II.17}$$

Le courant dans la charge I_s est égal au courant moyen traversant la diode (I_D). Comme on peut le voir sur la figure (II.10), le courant traversant la diode est égal à celui dans l'inductance pendant l'état bloqué.

Par conséquent, le courant traversant la diode peut être écrit de la façon suivante :

En remplaçant I_{LMax} et δ par leurs expressions respectives, on obtient :

$$I_e = \bar{I}_D = \frac{I_{LMax} \cdot \delta}{2} \tag{II.18}$$

Par conséquent, le gain de tension en sortie peut être écrit de la façon suivante :

$$\frac{V_s}{V_e} = 1 + \frac{V_e \cdot \alpha^2.T}{2L.I_s} \tag{II.19}$$

II.8.Suivi de la puissance maximale (MPPT) :

Diverses publications sur des commandes assurant un fonctionnement de type MPPT apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce type, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type PV [39].

Étant donné le grand nombre de publications dans ce domaine, nous avons fait une classification des différents MPPT existants en les regroupant selon leur principe de base. La classification, en plus du principe, s'est effectuée selon des critères comme la précision du « tracking » ou la rapidité pour en faire une évaluation comparative. Il est à noter qu'une première évaluation comparative avait été faite par A. S. Kislovski en 1993 [40].

- Base théorique de la commande extrémale.
- Les premiers type de commande MPPT.
- Commande MPPT destinées aux applications spatiales.
- Commande MPPT par contre réaction de tension.
- Contre réaction de tension par V_{ref} fixe.
- Contre réaction de tension par $V_{ref} = f(V_{OC})$.
- Contre réaction de tension par une cellule pilote.
- Commande MPPT par contre réaction de courant.
- Contre réaction de courant par $I_{ref} = f(I_{CC})$.
- Contre réaction par maximisation de courant de sortie.
- Contre réaction de puissance.
- Les MPPT à implantation analogique.
- MPPT par oscillations forcées.
- MPPT à implantation mixte.

II.8.1.L'efficacité (rendement) maximale de la conversion :

Elle est le rapport de la puissance électrique maximale pouvant être extraite, a la puissance de rayonnement incident sur la surface S de la cellule.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{inc}}} = \frac{I_{\text{mpp}}}{S \cdot G_a} = \frac{V_{\text{cc}} \cdot V_{\text{pv}} \cdot \text{FF}}{P_{\text{inc}}} \quad (\text{II.20})$$

II.8.2.Le facteur de forme FF :

C'est le rapport de la puissance maximale qui peut être délivré à la charge et le produit de I_{pv} et V_{oc} .

$$\text{FF} = \frac{P_{\max}}{V_{\text{ov}} \cdot I_{\text{pv}}} = \frac{I_{\text{mpp}} \cdot V_{\text{mpp}}}{V_{\text{oc}} \cdot I_{\text{pv}}} \quad (\text{II.21})$$

II.8.3. Méthode Perturbation et Observation :

La méthode (P&O) est sans doute la plus naturelle qui vient à l'esprit pour faire une recherche du point maximal de puissance (MPP, Maximum Power Point). Dans le cas d'une application photovoltaïque, il s'agit en fait d'un algorithme qui va chercher la valeur optimale par 'essai-erreur', en faisant varier la valeur de la tension U (aussi appelée V dans le graphique), et en analysant la puissance de sortie P , (ou l'intensité de sortie I), l'objectif est de maximiser P , en augmentant au maximum la tension U sans faire baisser l'intensité I .

L'algorithme est expliqué comme suit :

1. Pour une tension U_1 fixée va mesurer la puissance correspondante P_1 délivrée par le générateur.
2. Après un certain temps, l'algorithme impose une tension $U_2 = U_1 + \Delta U$ et mesure également la puissance correspondante P_2 .

Si $P_2 > P_1$: l'algorithme cherche à imposer une tension plus grande $U_3 = U_2 + \Delta U$.

Sinon l'algorithme cherchera au contraire à abaisser la tension : $U_3 = U_1 - \Delta U$.

Ainsi le système adapte en permanence la tension aux bornes du générateur photovoltaïque afin de se rapprocher du point de puissance maximum, sans jamais l'atteindre précisément.

L'organigramme d'algorithme est représenté par la (figure II.15) :

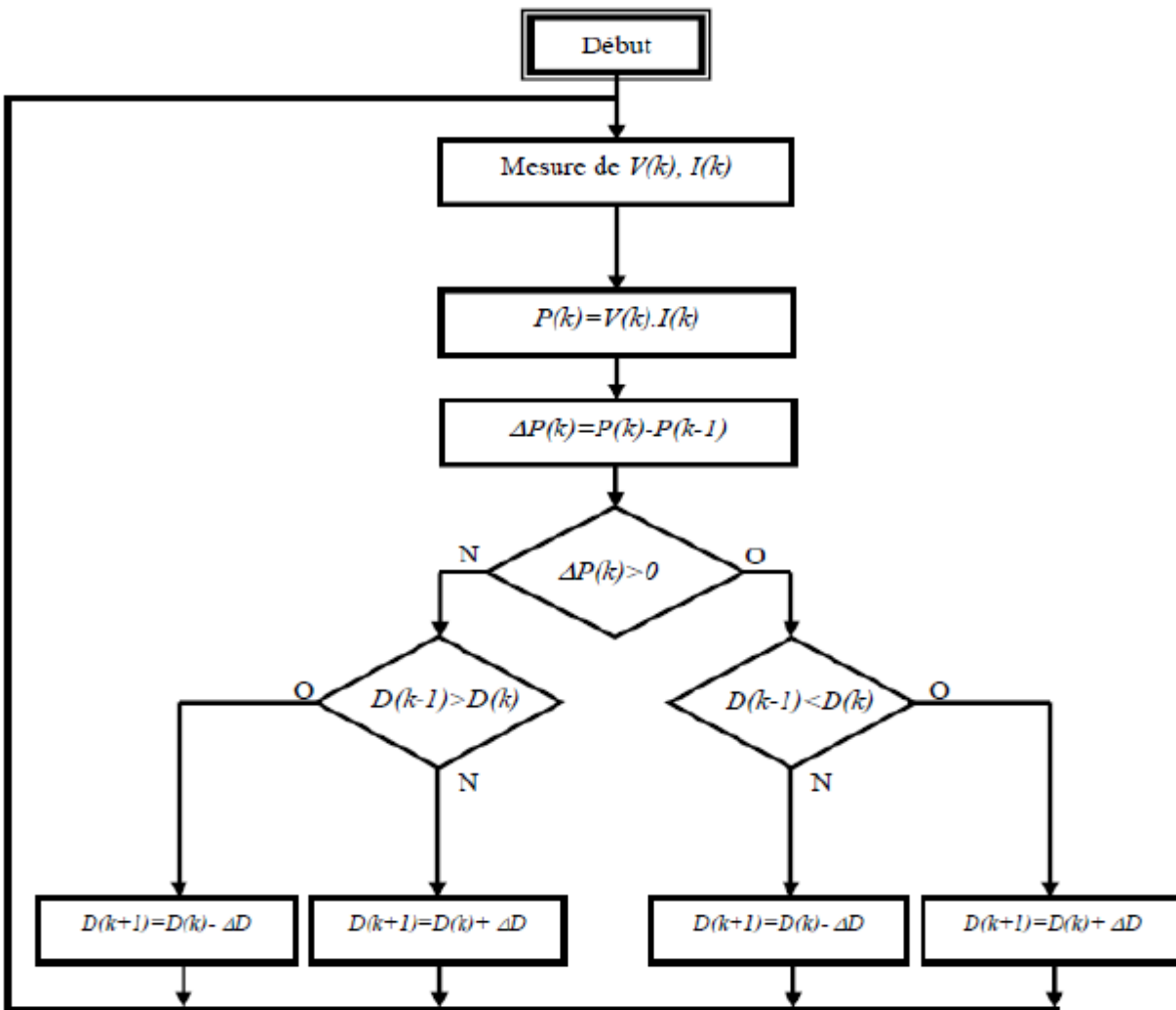


Figure II.16 : Organigramme de l'algorithme P&O.

II.9.Conclusion :

Nous avons pu voir dans cette partie l'intérêt grandissant des sources d'énergie renouvelable qui peuvent répondre à certain besoin de notre quotidien. Nous pouvons trouver plusieurs technologie celle qui nous parait efficace est le monocristallin. Reste à trouver le meilleur choix vis-à-vis de leurs arrangements de point de vue connexion.

Le choix du convertisseur DC/DC nous amène à prendre le BOOST puisque les valeurs des tensions de sortie restent faibles. La MPPT avec la méthode (P&O) a montré son efficacité dans les différentes applications citées dans les références.