

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الطاقات المتجددة  
Département des Energies Renouvelables



## Mémoire de Projet de Fin d'Études

pour l'obtention du diplôme de master en énergies renouvelables

option : conversion photovoltaïque

Thème :

---

**Etude, modélisation, et simulation des techniques indirectes  
de recherche du point de puissance maximale (MPPT)**

---

**Fait par :**

Nasry mohamed

**Encadré et suivi par :**

A.bounemri

**Devant le jury composé de :**

Dr H .Mazouz	Université de Blida 1	président
Dr M. Chihk	UDES	examineur
Dr chekired	UDES	examineur

**Juin 2016**

# *Remerciements*

Je tien avant tout de remercier le bon **DIEU** qui m'a donné la volonté et le courage pour la réalisation de ce travail.

A mon promoteur qui m'aider et m'orienté pour bien complété ce travail

Toutes les enseignants les administratifs et le personnel du Département des énergies renouvelables.

# *Dédicace*

À mes chers parents :

Mon cher **père** qui, par ses précieux conseils et son soutien, a su me guider vers le droit chemin et vers la voie de la réussite.

Ma très chère **mère** qui a sacrifié sa noble existence pour bâtir la mienne, et qui est pour moi : le symbole du courage et du sacrifice.

À mes très chères sœurs : **Amel, Amina, Houria, Meriem** et la petite **Ibtissem**.

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte.

À tous mes amis (sud et nord)

À tous ceux qui me sont chers

---

## ملخص:

مولد الطاقة الكهروضوئية يقدم طاقة غير مستقرة، تعتمد على الإضاءة الشمسية والحرارة، لذلك هناك حاجة إلى إدراج محول بين المولد والمتلقي متنوع بأوامر معروفة باسم MPPT (تتبع الحد الأقصى للطاقة) الغرض من هذه الورقة هو تصميم ونمذجة ومحاكاة للسلسلة الكهروضوئية تستخدم نوعين من تكنولوجيا MPPT وهذا باستعمال misP و Matlab Simulink

كلمات المفاتيح: MPPT، للسلسلة الكهروضوئية، Matlab Simulink، Psim

---

## Résumé :

le générateur photovoltaïque fourni une puissance non stables, elle dépend de l'éclairage solaire et de la température, donc il nécessaire d'intercale entre le générateur et le récepteur par un convertisseur statique suivi par des commandes connus sous le nom de MPPT (Maximum Power Point Tracking), Le but de ce mémoire est l'étude, la modélisation et la simulation d'une chaîne PV on utilisant deux techniques MPPT sous deux logiciel : Matlab Simulink et Psim .

**Mots clés :** MPPT, PV, Matlab Simulink, Psim

---

## Abstract :

The photovoltaic generator provided power not stable, it depends on solar and temperature illumination, so it needed to inserted between the generator and the receiver by a converter followed by orders known as the MPPT (Maximum Power Point Tracking) the purpose of this paper is the design, modeling and simulation of PV chain is using two MPPT methods with Matlab Simulink and Psim.

**Keywords :** MPPT, PV, Matlab Simulink, Matlab Simulink

---

## Liste des Symboles et abréviations

$\alpha$ :	Rapport cyclique
$I_{cc}$ :	Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire [A]
MPPT :	Maximum Power Point Tracking.
$V_{co}$	Tension du circuit ouvert [V]
VOP :	Tension optimale d'un générateur PV [V]
$V_p$ :	Tension de sortie d'un module PV [V]
$V_e$ :	Tension d'entrée d'un hacheur [V]
$V_s$ :	Tension de sortie d'un hacheur[V]
ppm :	point de puissance maximale [V]
PPM :	Point de Puissance Maximale
PV :	Photovoltaïque.
$G_{pv}$ :	générateur photovoltaïque.
PWM :	Pulse Width Modulation

Les autres abréviations sont explicitées dans le texte.

# Table des matières

Remerciements.....	2
Dédicaces.....	3
Résumé.....	4
Liste des acronymes et abréviations.....	5
Table des matières.....	6
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	7
Introduction générale.....	11

## Chapitre I

### Le générateur photovoltaïque

I.1 Introduction.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	2
I.2 Rappel sur les semi-conducteurs .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	2
I.3 L'effet photovoltaïque et la jonction PN .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	2
I.4 La cellule photovoltaïque .....		133
I.5 Représentations électroniques des cellules PV.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	3
I.6 Caractéristique d'une cellule photovoltaïque .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	5
I.6.1 La tension de circuit ouvert $V_{oc}$ .....		15
I.6.2 Le courant de court-circuit $I_{cc}$ .....		16
I.6.3 La puissance de crête $P_c$ .....		16
I.6.4 Le point de fonctionnement maximal $P_{pm}$ .....		16
I.6.5 Le facteur de forme $FF$ .....		16
I.6.6 Le rendement d'un module.....		16
I.7 Les caractéristiques électriques d'un module PV .....		17

I.8 Etude et simulation de l'influence des conditions météorologiques sur le module PV.....	18
I.8.1 L'influence de la température .....	18
I.8.2 L'influence de l'éclairement .....	19
I.9 Conclusion.....	21

## Chapitre II

### Les convertisseurs DC/DC et les commandes MPP

II.1 Introduction.....	24
II.2 L'étage d'adaptation entre un générateur PV et une charge .....	25
II.3 Hacheur série (buck) .....	26
II.3.1 rôle des composants .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 6
II.5 Principe de la commande PWM(MLI) .....	30
II.6 Les commandes MPPT .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.7 quelques travaux sur les commandes MPPT. ....	32
II.8 Bilan sur les différents types d'algorithmes MPPT existants dans la Littérature. ...	32
II.8.1 Les techniques indirectes.....	33
II.8.2 MPPT basée sur le courant de court-circuit $I_{cc}$ .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 3
II.8.3 MPPT basée sur la tension en circuit- ouvert $V_{co}$ .....	34
II.9 Conclusion.....	36

## Chapitre III

### Simulations et Résultats

III.1 Introduction.....	38
III.2 Présentation du logiciel de simulation .....	38

III.3 Simulation du panneau BPSM50 sous Matlab Simulink.....	39
III.4 Simulation du panneau BPSM50 sous Psim.....	40
III.5 Simulation du panneau par couplage entre Psim et Matlab Simulink .....	40
III.6 Simulation des conditions météorologie.....	41
III.7 Simulation du convertisseur DC /DC (hacheur) .....	41
III.7.1 Hacheur parallèle (Boost) .....	42
III.7.1.A valeurs des composants.....	42
III.7.2 hacheur série (Buck) .....	45
III.8 Simulation d'une batterie avec un niveau de charge contrôlable.....	46
III.9 Simulation globale avec un hacheur série(Buck).....	47
III.10 Simulation globale avec un hacheur parallèle (Boost).....	49
III.11 conclusion .....	51
Conclusion et perspective.....	53
Bibliographie.....	54

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : L'effet photovoltaïque .....	13
<b>Figure I.2</b> :Représentation la cellule PV idéale .....	13
<b>Figure I.3</b> :Représentation la cellule PV réelle.....	15
<b>Figure I.4</b> :Les grandeurs importantes sur les caractéristiques I (v) d'une cellule .....	15
<b>Figure I.5</b> :La caractéristique I(v).....	18
<b>Figure I.6</b> :La caractéristique P(v).....	18
<b>Figure I.7</b> :Influence de la température sur la courbe I(V).....	18
<b>Figure I.8</b> :Influence de la température sur la courbe P(V).....	19
<b>Figure I.9</b> :Influence de l'éclairement sur la courbe I(V).....	20
<b>Figure I.10</b> :Influence de l'éclairement sur la courbe P(V) .....	20
<b>Figure II.1</b> :L'emplacement de l'étage d'adaptation .....	25
<b>Figure II.2</b> :Schéma électronique d'un hacheur série.....	26
<b>Figure II.3</b> :Lissage de la tension de sortie du hacheur série.....	26
<b>Figure II.4</b> :Les configurations du hacheur suivant l'état de l'interrupteur.....	27
<b>Figure II.5</b> :Formes d'ondes d'un hacheur série .....	28
<b>Figure II.6</b> :Principe du MLI(PWM) .....	30
<b>Figure II.7</b> :L'emplacement de la commande MPPT dans le système PV .....	31
<b>Figure II.8</b> :Classification des différentes méthodes de poursuite du PPM .....	33
<b>Figure II.9</b> :Organigramme de MPPT basée sur le courant de court-circuit $I_{cc}$ .....	34
<b>Figure II.10</b> :Organigramme de MPPT basée sur la tension de circuit ouvert $V_{co}$ <b>Erreur !</b>	
<b>Signet non défini.5</b>	
<b>Figure III.1</b> : fenêtre principale de logiciel Psim .....	38
<b>Figure III.2</b> : simulation d'un panneau sous Matlab Simulink .....	39
<b>Figure III.3</b> : simulation du panneau sous Psim.....	40
<b>Figure III.4</b> : présentation de de l'application Sim coupler .....	40
<b>Figure III.5</b> : modèle électrique simulant de l'éclairement et de la température.....	41
<b>Figure III.6</b> : variation de l'éclairement et la température .....	41
<b>Figure III.7</b> : montage d'un hacheur parallèle (Boost) sous Psim.....	42
<b>Figure III.8</b> : signaux d'entrée et sortie pour un hacheur parallèle (Boost) .....	42
<b>Figure III.9</b> : montage d'un hacheur série sous Psim.....	43
<b>Figure III.10</b> : signaux d'entrée et de sortie (hacheur série) .....	43

<b>Figure III.11:</b> simulation de la batterie.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>	6
<b>Figure III.12:</b> schéma global avec hacheur série.....		47
<b>Figure III.13:</b> variation de la tension selon l'éclairement .....		47
<b>Figure III.14:</b> suivi de la ppm et variation du rapport cyclique .....		48
<b>Figure III.15 :</b> schéma global avec hacheur parallèle.....		49
<b>Figure III.16 :</b> variation de la tension selon l'éclairement .....		49
<b>Figure III.17 :</b> suivi de la ppm et variation du rapport cyclique .....		50

## Liste des tableaux

<b>Tableau I. 1 :</b> caractéristiques électriques du panneau BPSM5.....	17
--	----

# Introduction générale

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée, qui regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire photovoltaïque (PV).

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique, générée par une tension et un courant, effectuée par le biais d'une cellule dite : photovoltaïque, basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV). En effet la caractéristique  $I(V)$  de ce dernier dépend de l'éclairement solaire et de la température. Ces variations climatiques entraînent la fluctuation du point de puissance maximale. A cause de cette fluctuation, on intercale souvent entre le générateur et le récepteur un convertisseur de courant continu connu sous le nom de hacheur suivi par des commandes permettant de poursuivre le point de puissance maximale.

Ces commandes sont, connues sous le nom de MPPT (Maximum Power Point Tracking), classifiées en deux méthodes principale : direct et indirect, qui assure le couplage entre le GPV et le récepteur, d'une forçant que le premier délivre sa puissance maximale. Dans ce travail on va simuler toute le système à partir du GPV jusqu'à la charge, passant par un convertisseur (hacheur), commandé par une technique indirect de MPPT, assuré par le couplage entre deux logiciels de la simulation : MATLAB Simulink et le PSIM

# Chapitre I

## Le générateur photovoltaïque

## I.1 Introduction

La conversion directe de la lumière en énergie électrique s'obtient par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques, selon un processus appelé couramment effet photovoltaïque [1]. Dans ce chapitre, nous allons présenter un bref rappel sur les semi-conducteurs, on va discuter l'influence des paramètres météorologiques sur la caractéristique courant-tension  $I(v)$ , et puissance-tension  $p(v)$  délivré par une simulation d'un panneau solaire (BPSM50) sous PSIM et MATLAB SIMULINK on a représenté les résultats obtenus par des graphes à l'aide du logiciel :ORIGIN PRO 8.

## I.2 Rappel sur les semi-conducteurs

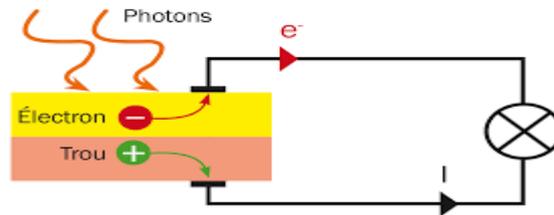
Le semi-conducteur a une structure cristalline. Celle-ci consiste en des atomes parfaitement rangés en lignes et en colonnes et liés les uns aux autres par quatre électrons périphériques. Ces électrons ne peuvent pas se déplacer, et l'ensemble se comporte comme un bon isolant électrique.

Quand un semi-conducteur est éclairé par la lumière du soleil, les photons qui constituent cette lumière sont capables de transmettre leur énergie aux électrons de valence du semi-conducteur pour rompre la liaison qui les maintient liés aux atomes respectifs. Pour chaque liaison rompue, on obtient un électron libre dans le semi-conducteur ainsi qu'un trou. Les trous se comportent, sous différents aspects, comme des particules avec une charge positive égale à celle de l'électron.

## I.3 L'effet photovoltaïque et la jonction PN

Cet effet fut observé la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel, l'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Sous l'effet d'un rayonnement lumineux incident, les électrons des bandes de valence du semi-conducteur vont pouvoir passer dans la bande de conduction et devenir libres. Ce phénomène va engendrer au sein de la structure du semi-conducteur la création de paires d'électron-trou. Ceux-ci, sous l'effet de la barrière de potentiel, vont s'accumuler sur chacune des faces extérieures des zones P et N. Ainsi, une tension électrique apparaît dans les deux côtés **N et P**.

Le dispositif devient donc générateur électrique sous l'effet de la lumière. La collecte de courant se fait par les contacts métalliques (électrodes), (Figure I.1) Si ces électrodes sont reliées à un circuit extérieur, un courant continu circule [2] [3] [4].



**Figure I.1** :L'effet photovoltaïque

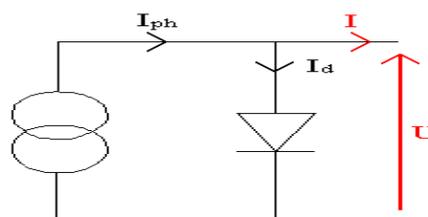
#### I.4 La cellule photovoltaïque

Appelé aussi, cellule solaire ou photopile, la cellule photovoltaïque est fabriquée à l'aide de matériaux semi-conducteurs. Elle est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque, son rôle est de transformer l'énergie solaire en électricité de type continu. La proportion d'énergie transformée constitue le rendement de la cellule [5].

La plus répandue est à base de silicium monocristallin, un certain nombre d'autres matériaux et de structures font l'objet d'efforts de recherche considérables visant à découvrir et à mettre au point des solutions nouvelles pour obtenir des cellules à base de sulfure de cadmium, du silicium amorphe, de l'arséniure de gallium [1].

#### I.5 Représentations électroniques des cellules PV

On peut facilement représenter la cellule PV par le schéma de la figure (Figure I. 2), où le générateur de courant modélise le courant  $I_{ph}$  généré par l'éclairement appliqué à la cellule (l'effet photovoltaïque). La diode modélise le comportement de la cellule dans l'obscurité. C'est le cas idéal de la cellule.



**Figure I.2** : Représentation d'une cellule PV idéale.

Dans ce cas le courant  $I$  est donné par :

$$I = I_{ph} - I_d \quad (1)$$

Avec  $I_{ph}$  : Courant créé par l'effet voltaïque.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{\beta}{1000} \quad (2)$$

$$I_d : \text{Courant de la diode exprimé par : } I_d = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

Ou :  $I_s$  : courant de saturation inverse de la diode.

$q$  : la charge de l'électron ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  c).

$K$  : constante de Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  m<sup>2</sup>kg/s<sup>2</sup>K).

$T$  : température de la jonction.

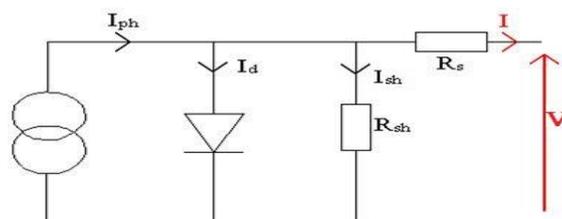
$V$  : tension de sortie de la cellule.

$n$  : le facteur d'idéalité de la diode, dans le cas idéal  $n=1$ .

$\beta$ : niveau d'ensoleillement .

Mais en réalité il y a des pertes au niveau de la cellule donc on ajoute au schéma de la cellule idéale deux résistances pour modéliser les pertes internes :

- Résistance série  $R_s$  : cette résistance est constituée de plusieurs composants. Parmi ces composants, l'émetteur et grille supérieure (composé du doigt et la résistance de barres) dominant la résistance série globale.
- Résistance de shunt  $R_{sh}$  : Une faible résistance de shunt provoque des pertes de puissance dans les cellules solaires en fournissant un trajet de courant alternatif pour le courant généré par la lumière. Une telle dérivation réduit la quantité de courant circulant à travers la jonction de cellules solaires et réduit la tension à partir de la cellule solaire. L'effet d'une résistance de shunt est particulièrement grave à de faibles niveaux de lumière.



**Figure : I. 3** : Représentation d'une cellule PV réelle

La nouvelle équation modélisant la cellule sera

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (4)$$

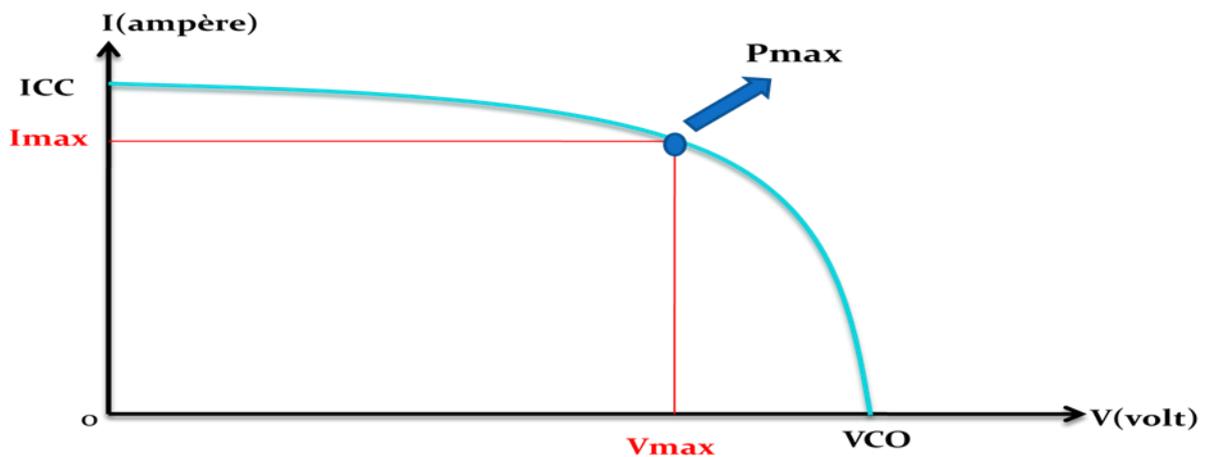
$$\text{Ou : } I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

$$\text{Et : } I_d = I_s \left[ \exp \left( q \left( \frac{V + IR_s}{nKT} \right) - 1 \right) \right] \quad (6)$$

L'équation (4) sera donc :

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp \left( \frac{q(V + IR_s)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

## I.6 : Caractéristique d'une cellule photovoltaïque



**Figure I.4** : les grandeurs importantes sur les caractéristiques  $I(V)$  d'une cellule

### I.6.1 La tension de circuit ouvert $V_{co}$

La tension en circuit ouvert  $V_{co}$ , est la tension maximale disponible à partir d'une cellule solaire, ce qui se produit à courant nul. La tension en circuit ouvert correspond à la quantité de polarisation en sens direct sur la cellule solaire en raison de la polarisation de la jonction de la cellule solaire avec le courant généré par la lumière [6].

### I.6.2 Le courant de court-circuit $I_{cc}$

Si la résistance de charge aux bornes de la cellule PV est nulle, alors sous une intensité de lumière donnée, le courant qui est généré sera à sa valeur maximale pouvant être atteinte. Dans ces conditions, la cellule photovoltaïque est dite être dans sa configuration de court-circuit et le courant est appelé courant de court-circuit,  $I_{cc}$ .

Afin de maximiser l'efficacité d'une cellule photovoltaïque, les chercheurs et les ingénieurs tentent de maximiser la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit [7].

### I.6.3 La puissance de crête $P_c$

Mesurée par watt-crête, est la puissance électrique maximale délivrée par une Cellule solaire pour un ensoleillement standard de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  à  $25^\circ\text{C}$ .

### I.6.4 le point de fonctionnement maximal $P_{pm}$

C'est le point de la puissance maximale  $P_{max}$  dont les coordonnées sont le courant  $I_{max}$ , et la tension  $V_{max}$  [8].

### I.6.5 le facteur de forme FF

Le facteur de forme (fill factor en anglais) est une mesure de la véritable caractéristique I-V. Sa valeur est supérieure à 0,7 pour les bonnes cellules [9]. Il est le rapport entre la puissance maximale que peut être délivrée à la charge et le produit de  $I_{cc}$  et  $V_{co}$ .

$$FF = \frac{P_c}{I_{cc}V_{co}} \quad (8)$$

### I.6.6 Le rendement d'un module

Il représente le rapport entre l'énergie électrique fournie par la cellule et l'énergie incidente et s'exprime par la relation suivante [10]:

$$\eta = \frac{P_c}{G_b \cdot S} \quad (9)$$

Avec :  $P_c$  : la puissance maximale délivrée à la charge.

$G_b$  : le flux global incliné.

$S$  : la surface de module photovoltaïque.

Ce rendement de conversion dépend de plusieurs facteurs qui sont :

- Absorption incomplète des photons et excès des photons absorbés ;

- La réflexion à la surface qui peut être réduite par le traitement antireflet de la surface exposée au rayonnement à incidence normale;
- Rendement de collecte qui dépend des caractéristiques des matériaux

### I.7 Les caractéristiques électriques d'un module PV

Pour des conditions météo logiques standard, d'un éclairement de  $1000\text{w}/\text{m}^2$  et une température de  $25^\circ\text{c}$ , on a simulé un panneau solaire type BPSM50( Tableau I. 1 ) sous Psim et obtenu les résultats par le couplage avec le Matlab Simulink (Figure I .5 et Figure I.6 )

type	Bpsm50
Pmax	50Wc
Vco	21.35V
Icc	3.15A
Vmax	17.39V
Imax	2.87A

**Tableau I. 2 :** caractéristiques électriques du panneau BPSM5

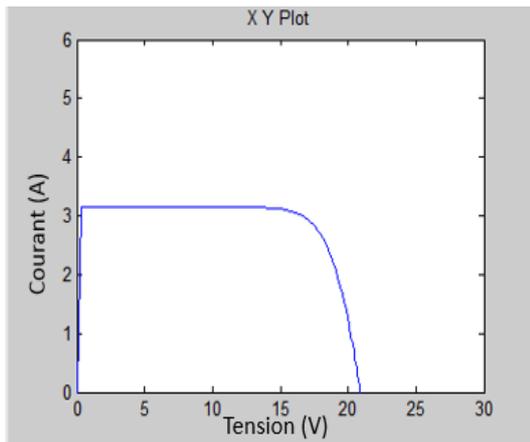


Figure I.5 : la caractéristique I(v)

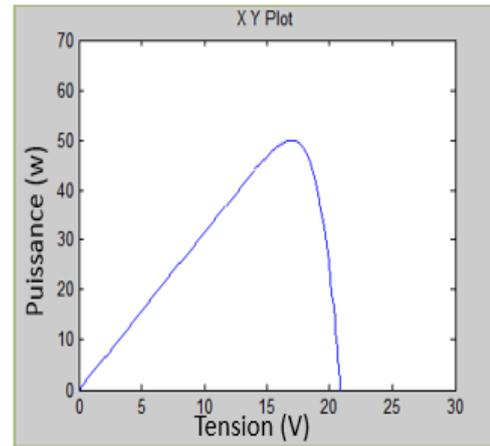


Figure I.6 : la caractéristique P(v)

À partir de la figure I.5, on observe que le logiciel Psim prend comme considération la résistance interne du panneau : existence d'une droite reflétant la loi d'ohm

## I.8 : Etude et simulation de l'influence des conditions météorologiques sur le module PV

### I.8.1 l'influence de la température

La courbe ci-dessous (Figure I.7) relate la variation du courant en fonction de la tension pour un éclairement fixe et des températures variables dans la gamme  $[10^\circ, 55^\circ]$  par pas de  $10^\circ$

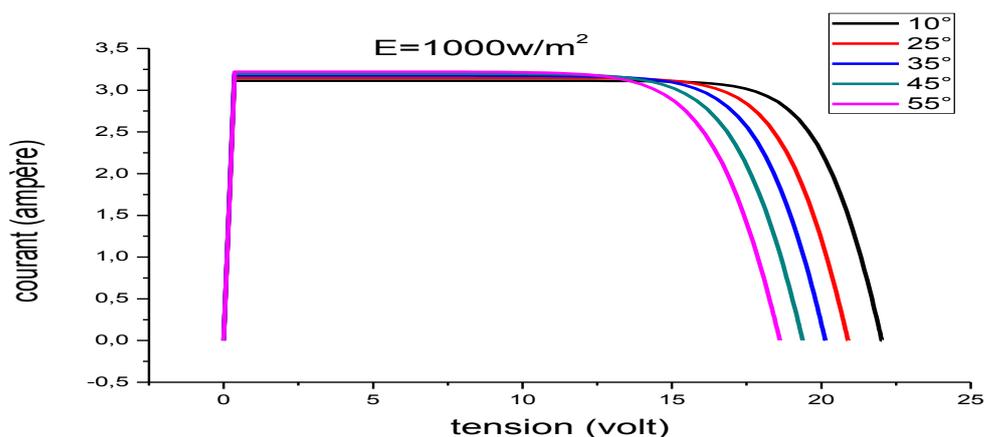
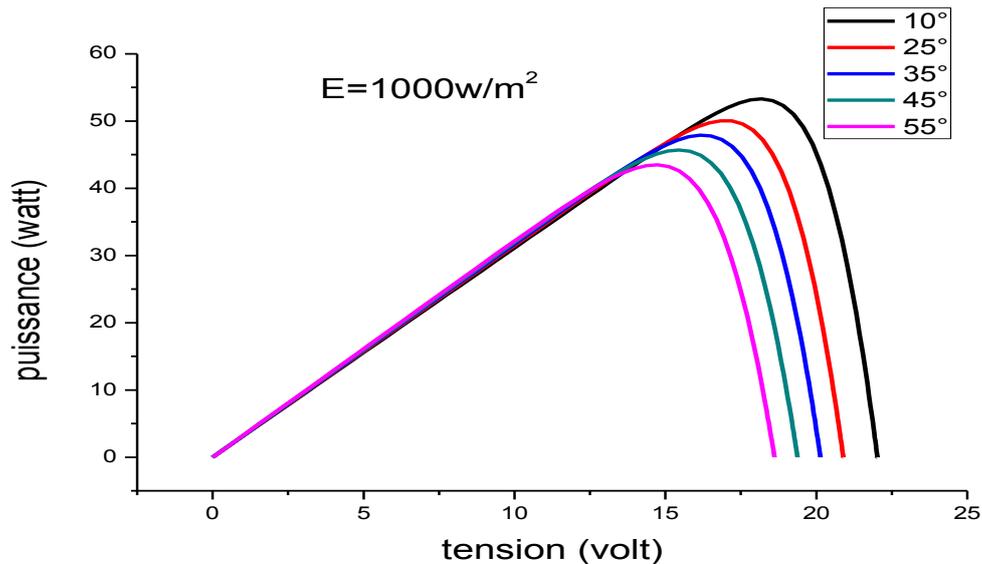


Figure I.7 : Influence de la température sur la courbe I-V.

Nous remarquons que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente.

Dans le cas de la variation de la puissance en fonction de la tension (Figure I.8) toujours à éclairement fixe et à température variable, on constate que lorsque la température augmente, la puissance diminue.



**Figure I.8 :** L'influence de la température sur la courbe P-V.

## I.8.2 L'influence de l'éclairement

Dans le cas d'une étude à température fixe (25°) et à éclairement variable, les caractéristiques I(V) (Figure I.9) et t P(V) (Figure I.10) nous remarquons que l'augmentation de l'éclairement, engendre une augmentation d'une façon importante de puissance et du courant délivré par le panneau solaire par contre la tension la tension  $V_{co}$  est affectée est subit aussi de légers variation en passant d'un éclairement a une autre .

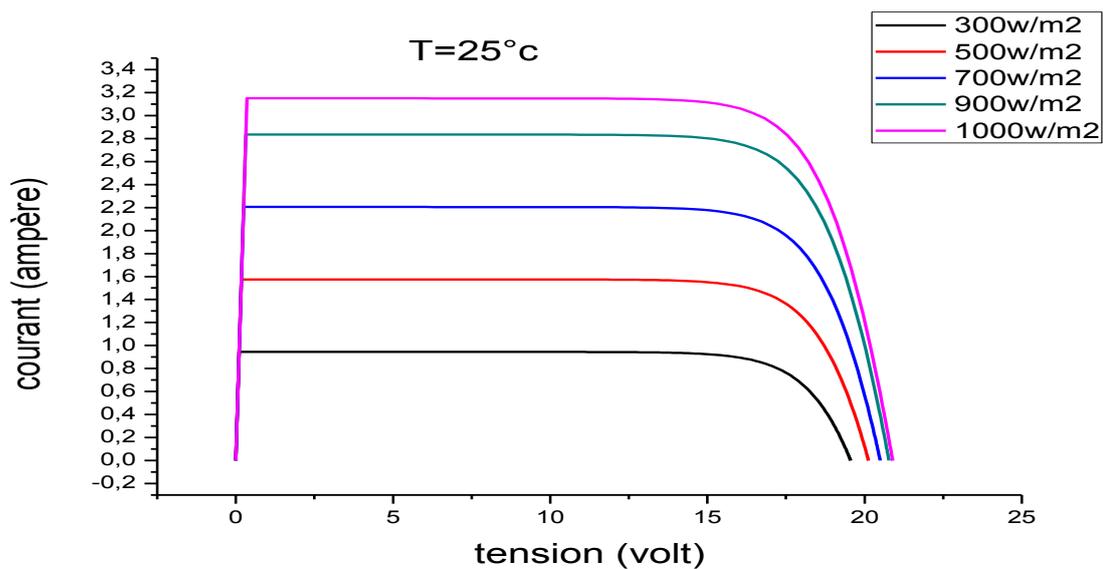


Figure I.9 :L’Influence de l’éclairement sur la courbe I-V.

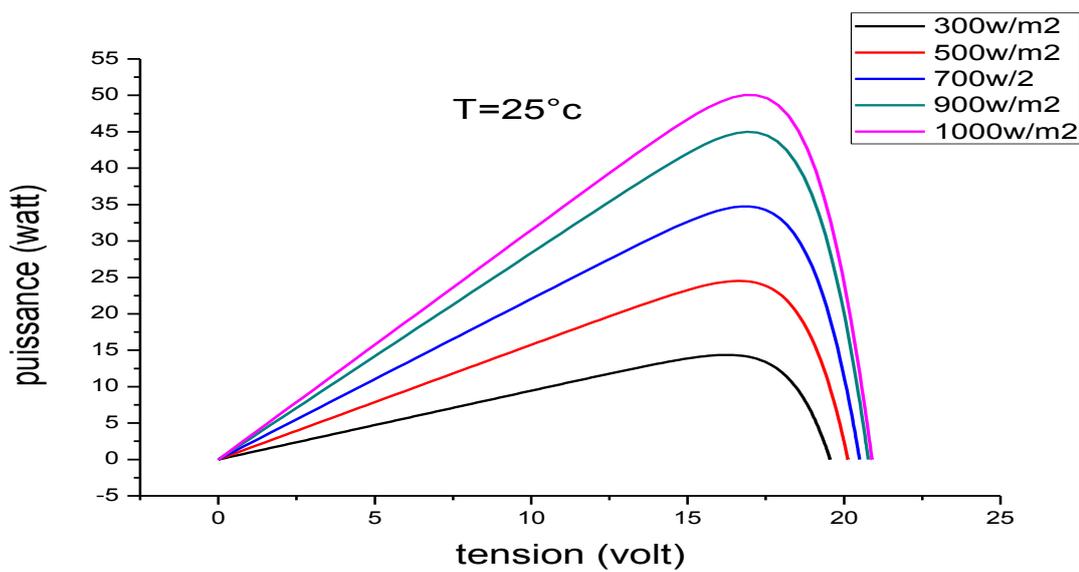


Figure I.10 :L’influence de l’éclairement sur la courbe P-V.

## **I.9 Conclusion**

La cellule photovoltaïque est l'élément de base dans la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Elle présente une caractéristique courant-tension fortement non linéaire, et son rendement dépend des conditions météorologiques (éclairage, température). Donc il est nécessaire de raccorder un étage qui doit suivre tous changements météorologiques, et qui sera bien détaillé dans le chapitre suivant.

**Chapitre II**  
**Le convertisseur DC/DC**  
**Et les commandes MPPT**

## II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré, pour la définition de l'étage d'adaptation (convertisseur DC/DC) connue par le nom hacheur, qui prend sa place entre le GPV et la charge. Le type de hacheur qui sera présenté, est le hacheur série (Buck). On détaillera son principe de fonctionnement, suivi par une classification des commandes MPPT (Maximum Power Point Tracking) présentée dans la littérature. Dans le cadre de notre travail Nous nous sommes particulièrement intéressés aux méthodes indirectes.

## II.2 L'étage d'adaptation entre un générateur PV et une charge

Un GPV présente des caractéristiques  $I(V)$  non linéaires avec des ppm, ces caractéristiques dépendent entre autre du niveau d'éclairement et de la température de la cellule. De plus selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion direct [11].

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure II.1. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de  $P_{\max}$  disponible [12].

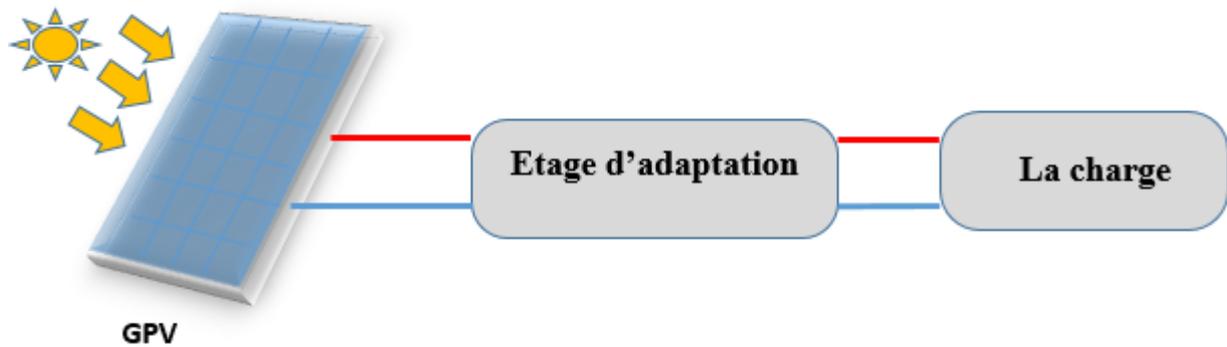
Aujourd'hui, on peut trouver deux types d'étages d'adaptation électroniques distincts commercialisés.

Le premier type permet de connecter le GPV à une charge continue telle qu'une batterie. Il fait appel à des convertisseurs DC-DC. Ce type d'architecture est la plupart du temps utilisé pour un fonctionnement en site isolé (hors réseau, off-grid en anglais).

Dans certains cas, il n'y a pas le choix car les caractéristiques de la charge ne sont pas compatibles avec la forme d'électricité produite par un GPV. C'est le cas de toutes les charges ayant besoin des tensions alternatives. Dans ce cas, on fait appel à un second type d'architecture permettant d'effectuer une conversion continu-alternatif (DC-AC).

L'étage d'adaptation (partie de puissance) se compose généralement d'un convertisseur statique, qui est situé entre les panneaux solaires et la charge.

Par définition un convertisseur statique est un montage permettant par une commande adaptée de un ou plusieurs interrupteurs à semi-conducteur de régler un transfert d'énergie entre une source et un récepteur, Usuellement, au sein d'un MPPT.



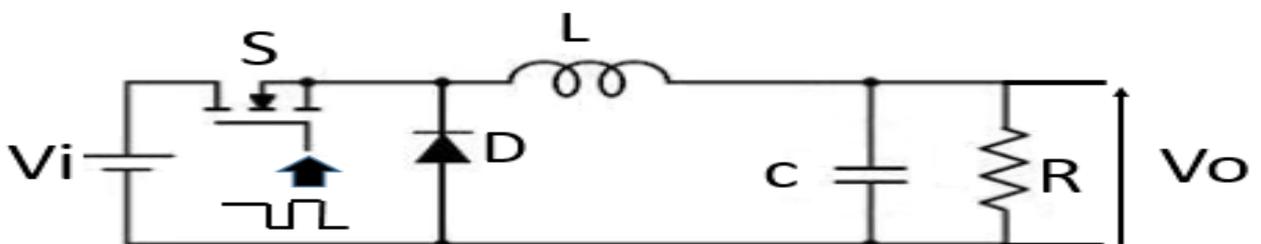
**Figure II.1 :** Emplacement de l'étage d'adaptation

Il existe plusieurs types de hacheurs les

- **Hacheur série:** en anglais (Buck converter ; step down converter), Son application typique est de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie inférieure.
- **Hacheur parallèle:** en anglais (Boost converter ; step up converter), L'application typique est l'augmentation de la tension d'entrée afin fournir en sortie.
- **Hacheur série/parallèle:** en anglais (cuk converter), Sa principale caractéristique, c'est la conversion non linéaire de la tension d'entrée en une amplitude de tension de sortie qu'elle soit supérieure ou inférieure à l'amplitude de la tension d'entrée.

On s'intéresse dans ce mémoire au hacheur aux deux premiers types

### II.3 Hacheur série (Buck)

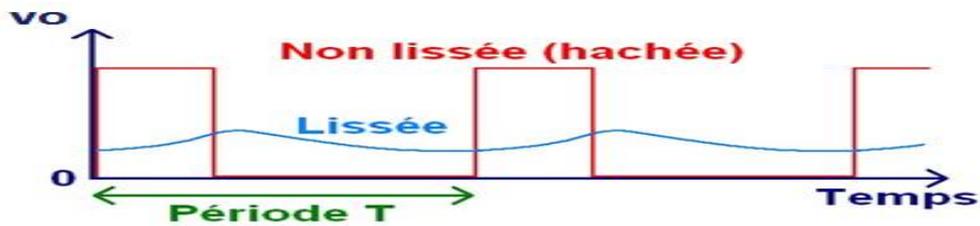


**Figure II.2 :** Schéma électronique d'un hacheur série.

#### II.3.1 Rôle des composants

Pour éviter que la tension de sortie soit "hachée" (Figure II.3), il faut ajouter des éléments qui vont la lisser, c'est-à-dire réduire ses variations. Pour cela, on ajoute une inductance ( $L$ ), un

condensateur(C) et une diode(D). En sortie du hacheur série, on branche une résistance (charge résistive).



**Figure II.3:** Lissage de la tension de sortie du hacheur série

Le hacheur série est une alimentation à découpage atténuatrice, .L'alimentation à découpage comme le hacheur série offre une efficacité supérieure à celle des régulateurs linéaires, mais encore plus important pour le but de ce projet il peut offrir une adaptation d'impédance entre la charge de sortie et la résistance interne de la source [13].

Le fonctionnement d'un convertisseur Buck peut être divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur (transistor en mode commutation).

#### (A) Transistor a l'état passant

Dans l'état passant (Figure II.4), la tension aux bornes de l'inductance vaut

$$V_L = V_i - V_o \quad (10)$$

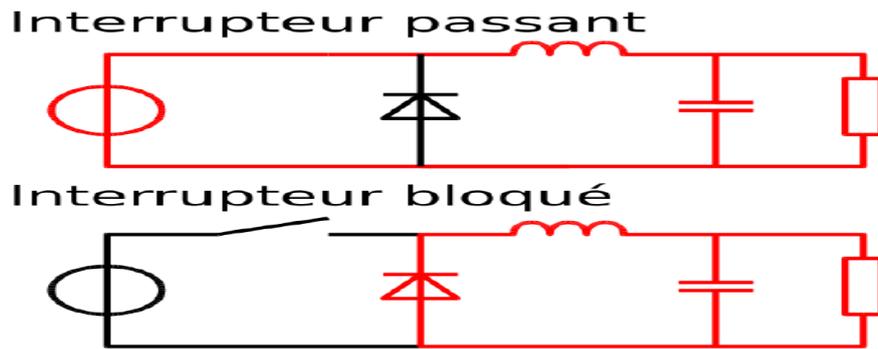
Le courant à travers l'inductance augmente linéairement. La tension aux bornes de la diode étant négative ( $V_{\text{anode}} < V_{\text{cathode}}$ ), aucun courant ne la traverse.

#### (B) Transistor a l'état bloqué

Dans l'état bloqué, l'interrupteur est ouvert. La diode devient passante afin d'assurer la continuité du courant dans l'inductance. La tension aux bornes de l'inductance vaut

$$V_L = -V_o \quad (11)$$

Le courant traversant l'inductance décroît.



**Figure II.4 :** Les configurations du hacheur suivant l'état de l'interrupteur.

Le taux d'accroissement de  $I_L$  est donné par :

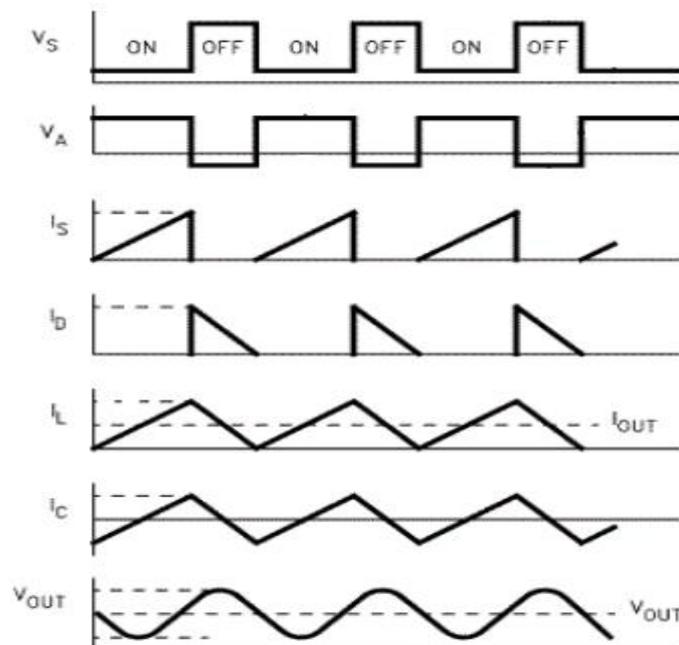
$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} \tag{12}$$

L'augmentation de  $I_L$  durant l'état passant est donnée par :

$$\Delta I_{L_{on}} = \int_0^{\alpha T} dI_L = \int_0^{\alpha T} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o)\alpha T}{L} \tag{13}$$

De même, la baisse du courant dans l'inductance durant l'état bloqué est donnée par :

$$\Delta I_{L_{off}} = \int_{\alpha T}^T dI_L = \int_{\alpha T}^T \frac{V_L}{L} dt = -\frac{V_o(T - \alpha T)}{L} \tag{14}$$



**Figure II.5** Formes d'ondes d'un hacheur série.

Si on considère que le convertisseur est en régime permanent, l'énergie stockée dans chaque composant est la même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. En particulier, l'énergie stockée dans l'inductance est donnée par :

$$E = \frac{1}{2} L \cdot I_L^2 \quad (15)$$

En conséquence, le courant  $I_L$  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 :

$$\Delta I_{L_{on}} + \Delta I_{L_{off}} = 0 \quad (16)$$

En remplaçant  $\Delta I_{L_{on}}$  et  $\Delta I_{L_{off}}$  par leur expression (12) et (13), on obtient :

$$\frac{(V_i - V_o)\alpha T}{L} - \frac{V_o(T - \alpha T)}{L} = 0 \quad (17)$$

Ce qui peut se réécrire de la façon suivante :

$$V_o = \alpha V_i \quad (18)$$

Grâce à cette équation, on peut voir que la tension de sortie varie linéairement avec le rapport cyclique. Le rapport cyclique  $\alpha$  étant compris entre 0 et 1, la tension de sortie  $V_o$  est toujours inférieure à celle d'entrée. C'est pour cela que l'on parle parfois de hacheur dévolteur.

Pour mettre en œuvre l'adaptation d'impédance, il est essentiel de connaître la relation entre la charge du hacheur à la sortie et la charge apparente à son entrée (sortie du panneau).

En utilisant la loi d'ohm :

$$R_o = \frac{V_o}{I_o} \quad (19)$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} \quad (20)$$

Avec :

$R_o$  : La charge aux bornes du hacheur.

$R_i$  : La charge d'entrée du hacheur.

$$R_o = R_i \quad (21)$$

A partir des équations (16), (17), (18) et (19) on aura :

$$R_i = \frac{1}{\alpha^2} R_o \quad (22)$$

## II.5 Principe de la commande PWM(MLI)

Dans les convertisseurs DC-DC, la tension de sortie doit être régulée pour être constamment égale à une tension de référence, du fait que la tension d'alimentation  $V_{in}$  et les caractéristiques de la charge peuvent varier.

Une méthode pour réguler la tension de sortie  $V_{out}$  afin d'obtenir une tension moyenne fixe consiste à ajuster en permanence le rapport cyclique de commande de l'interrupteur  $\alpha = T_{on}/T$

Sans modifier  $T$ .

Cette méthode qui consiste à faire varier la largeur des impulsions de commande de

L'interrupteur est appelée méthode de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) ou encore PWM (Pulse Width Modulation).

Le signal de contrôle de l'interrupteur  $S$  devra être élaboré par comparaison entre une la tension de la boucle de retour et une tension en dents de scie  $V_{DS}$  (Figure II.6)

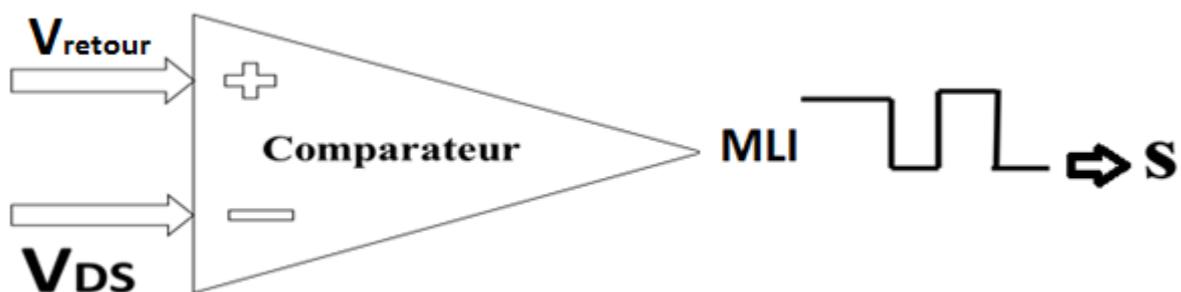


Figure II.6 : Principe de génération d'une commande du PWM

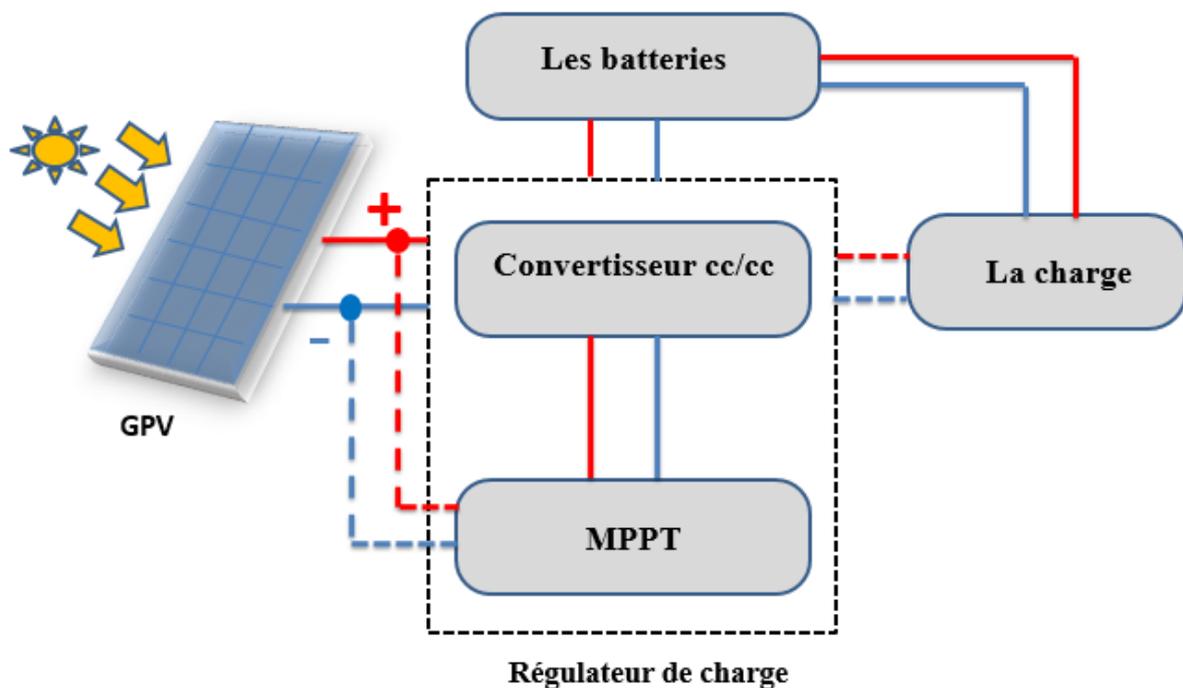
## II.6 Les commande MPPT

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique jusqu'à l'obtention de la puissance maximale  $P_{max}$  disponible aux bornes du générateur.

L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le PPM., Il est basé généralement sur la variation du rapport cyclique du convertisseur statique. L'algorithme place sur le PPM en fonction des évolutions des paramètres d'entrée du convertisseur statique ( $I_{PV}$  et  $V_{PV}$ ), qui dépendent fortement de l'ensoleillement et de la température.

Dans la section suivante, nous présentons un bilan sur les différents types d'algorithmes MPPT présents dans la littérature en détaillons l'algorithme MPPT basée sur la tension en circuit- ouvert  $V_{co}$  et MPPT basée sur le courant de court-circuit  $I_{cc}$

L'emplacement du bloc définissant la commande MPPT est configuré en Figure II 7 ce bloc nécessite comme signaux d'entrée : la tension et le courant transmis par l'intermédiaire d'instrument de mesure



**Figure II 7** :L'emplacement de la commande MPPT dans le système PV

## II.7 quelques travaux sur les commandes MPPT

**2003 :** (étude comparative entre les différents syst MPPT) fait par:Hohm, D. P., & Ropp, M. E.

**2004:** (evolution des sys PV) fait par:Liu, C., Wu, B., & Cheung R.

Solar Buildings Conférence, Montréal

**2008 :** ( les techniques du Sys MPPT) fait par: Aranda, R., & Leva, S

**2009 :** (nouveau algorithme basé sur un calculateur numérique) fait par:Hu, J., Zhang, J., & Wu, H China: Baoding

**2012 :** (simulation et analyse des Sys MPPT) fait par:Busa, V., Narsingoju, K. K., & Kumar, G. V .le journée international des ingenieurs d'electronique et electricité (IJAEED)

**2014:** (A Review on favorable maximum power point tracking systems in solar energy application) fait par:Jusoh, A., Sutikno, T., Guan, T. K., & Mekhilef, S Telkomnika

**2015:** ( Maximum Power Point Tracking techniques for photovoltaic) systems fait par :Lyden, S., & Haque, M. E/ A comprehensive

## II.8 Bilan sur les différents types d'algorithmes MPPT existants dans la Littérature

Il existe différentes manières de classification des algorithmes MPPT. Cependant il est plus intéressant de les classer selon le nombre de variables (paramètres d'entrée) ou selon la technique utilisée pour la poursuite du PPM. (Figure II.8)

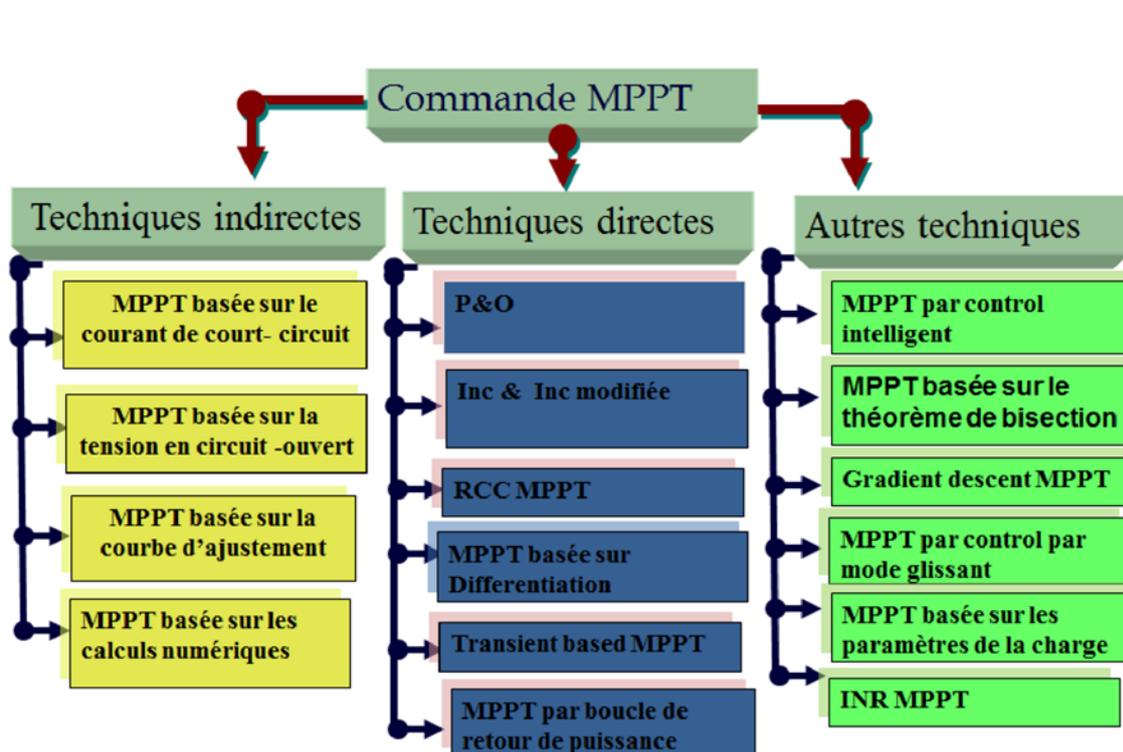


Figure II.8 : Classification des différentes méthodes de poursuite du PPM

### II.8.1 Les techniques indirectes

Les techniques de commande en « offline » emploient habituellement les données techniques du panneau photovoltaïque pour estimer le PPM. Ces données incluent les informations préalables comme, les courbes  $I(V)$  et  $P(V)$  pour différentes conditions climatiques et les différents modèles mathématiques du panneau. On cite parmi ces techniques les méthodes basées sur la régulation du courant et de la tension du module photovoltaïque, qui font l'objet de ce mémoire

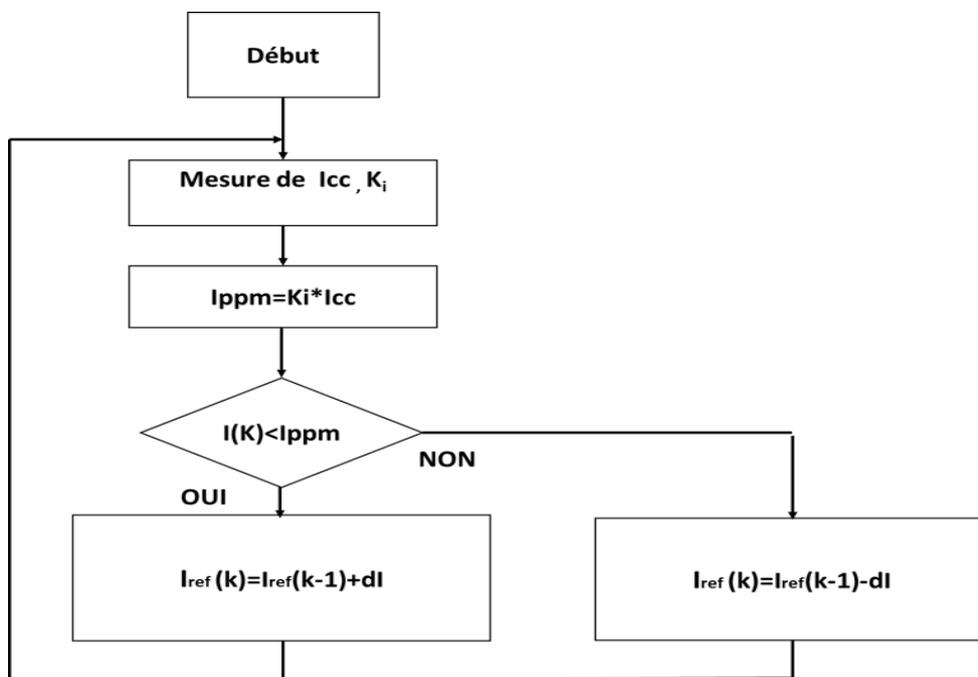
### II.8.2 MPPT basée sur le courant de court-circuit $I_{cc}$

La première méthode consiste à mesurer un courant de référence qui est dérivé du courant de court-circuit  $I_{cc}$  (en court-circuitant périodiquement le panneau) et de déduire, à l'aide d'une relation proportionnelle plus ou moins complexe :

$$I_{ppm} = K_i \cdot I_{cc} \quad (24)$$

.Le coefficient  $K_i$  est appelé le facteur courant, sa valeur change de 0.7 à 0.9 relativement au matériau des cellules et à la caractéristique du panneau. Dans le cadre de notre travail on opte pour  $K_i=0.8$  cette valeur concorde avec le matériau utilisé pour la fabrication des cellules du panneau

Ce type de commande ayant besoin uniquement d'un capteur, s'avère plus facile à mettre en œuvre et un peu moins coûteuse que d'autres commandes sauf que leur précision est faible notamment à cause du procédé d'estimation de  $I_{cc}$ . De plus, à chaque fois que la mesure de courant est faite, cela exige un arrêt obligatoire de transfert de puissance et donc des pertes énergétiques qui ne sont pas négligeables au cours d'une journée. L'algorithme est présenté en (Figure II .9)



**Figure II .9** : organigramme de MPPT basée sur le courant de court-circuit  $I_{cc}$

### II.8.3 MPPT basée sur la tension en circuit- ouvert

Dans la deuxième méthode, on déduit la tension optimale  $V_{opt}$  à partir de la tension du circuit ouvert du panneau en procédant à des estimations plus au moins précises. Pour ce faire, on utilise une fraction constante de la tension en circuit ouvert comme référence.

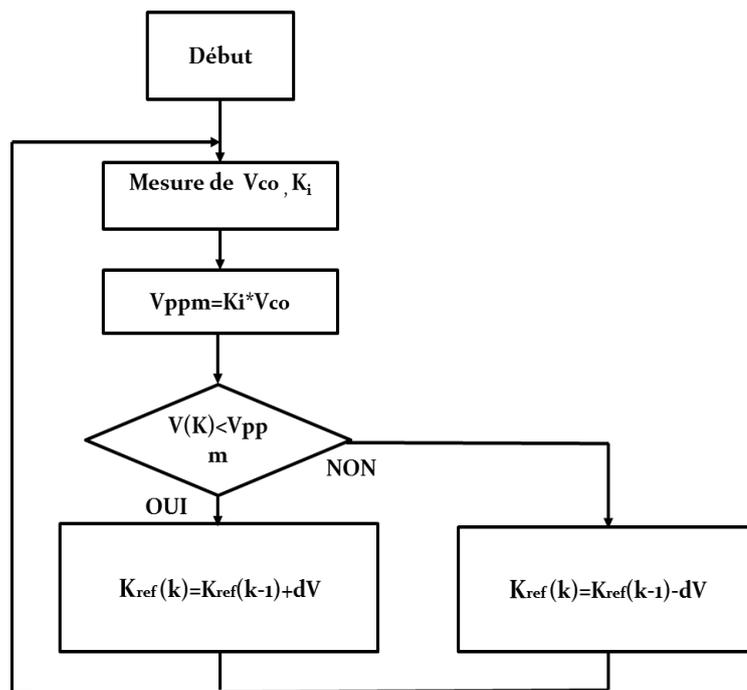
La tension maximale se calcule de l'équation

$$: V_{ppm} = K_i * V_{co} \quad (25)$$

Où  $K_i$  est le facteur de tension, sa valeur s'étend de 0.7 à 0.95 selon les caractéristiques du panneau

La vitesse de poursuite de cette technique est haute, parce qu'aucune dérivation n'est exigée pour le calcul. Elle est plus simple et économique parce qu'elle n'utilise qu'une seule boucle de retour. L'inconvénient majeur est qu'elle n'est pas efficace dans les températures et les conditions de l'ensoleillement variables et également elle ne peut pas être appliquée dans le système de stockage de l'énergie en batteries. Cette méthode serait employée au cas où l'ensoleillement ne varie pas énormément par exemple pour un système satellite.

Donc ces commandes sont destinées pour des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où la météo garantit très peu de changements climatiques. La (Figure II.10) illustre l'algorithme



**Figure II.10** : organigramme de MPPT basée sur le la tension de circuit ouvert  $V_{co}$

## **II.9 Conclusion**

Dans tout système photovoltaïque, le circuit raccordé au panneau solaire a un rôle fondamental. Il permettant l'adaptation de la charge, afin d'extraire la puissance maximale disponible qui est influencée par l'ensoleillement et la température. Nous avons extraire les deux techniques de commande permettant d'atteindre cet objectif elles seront l'objet d'une simulation dans le chapitre suivant.

# Chapitre III

## Simulation et Résultats

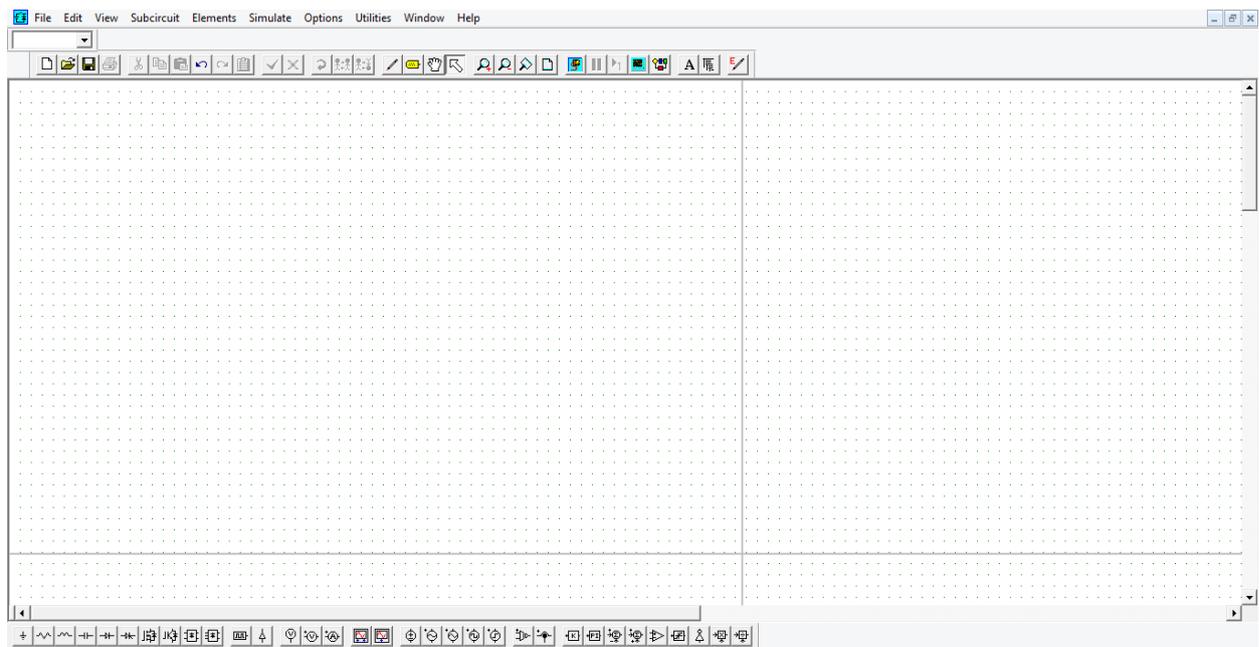
### III.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à la simulation d'une chaîne PV composé d'un GPV, hacheur série et une batterie de 12v .une autre chaîne composé d'une même GPV, d'un hacheur parallèle et une batterie de 24v sera aussi simulée. On va simuler chaque bloc Independent de l'autre. La chaîne entière sera ensuite simulée en groupant tous les blocs.

### III.2 Présentation du logiciel de simulation

Le Psim (power simulation) est un logiciel de simulation de l'électronique et l'électrotechnique, il représente le comportement réel des composants électriques. Il contient aussi une bibliographie relative aux énergies renouvelables contenant les panneaux solaires et les aérogénérateurs. A l'ouverture du logiciel l'espace de travail apparait comme illustré la Figure

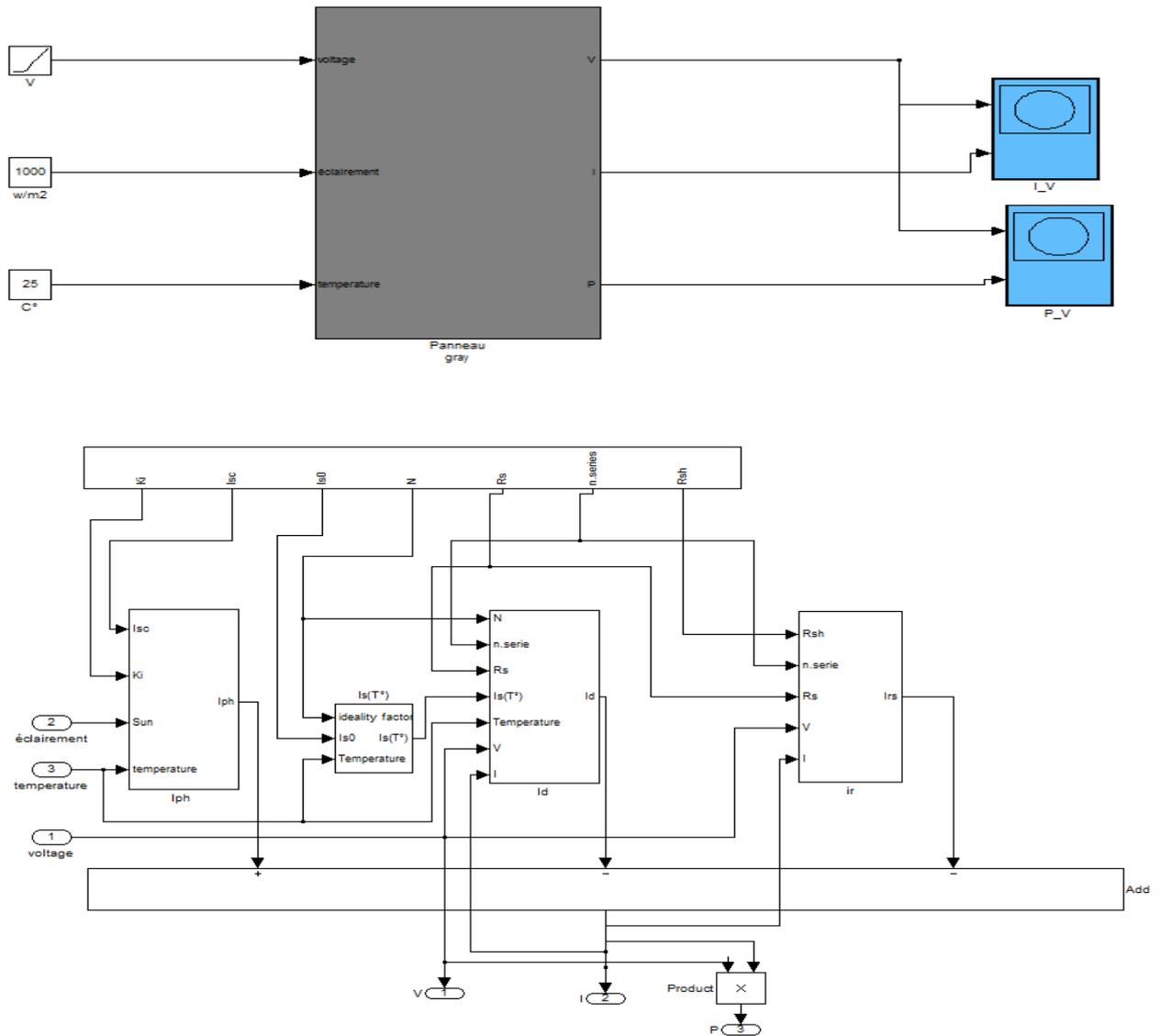
III.1



**Figure III.1** : fenêtre principale de logiciel Psim

### III.3 Modélisation du panneau BPSM50 sous Matlab Simulink

On a modélisé le panneau pour avoir la caractéristique  $I(v)$  et  $p(v)$  dans des conditions standard de l'éclairage et la température ( $1000\text{w/m}^2$  et  $25^\circ\text{c}$ ).le bloc de modélisation se présente (Figure III.2)



**Figure III.2 :** modèle d'un panneau sous Matlab Simulink

L'élaboration du panneau sous Matlab Simulink nécessite le raccordement du plusieurs sous-blocs qui modélise les équations qui définissent le fonctionnement de la cellule PV

### III.4 Modélisation du panneau BPSM50 sous Psim

La modélisation du panneau sous Matlab Simulink est compliquée par rapport à Psim, ce dernier contient le modèle déjà préparé (Figure III.3), il suffit de transférer les données tel que le nombre des cellules,  $P_{max}$ ,  $V_{co}$  et  $I_{cc}$

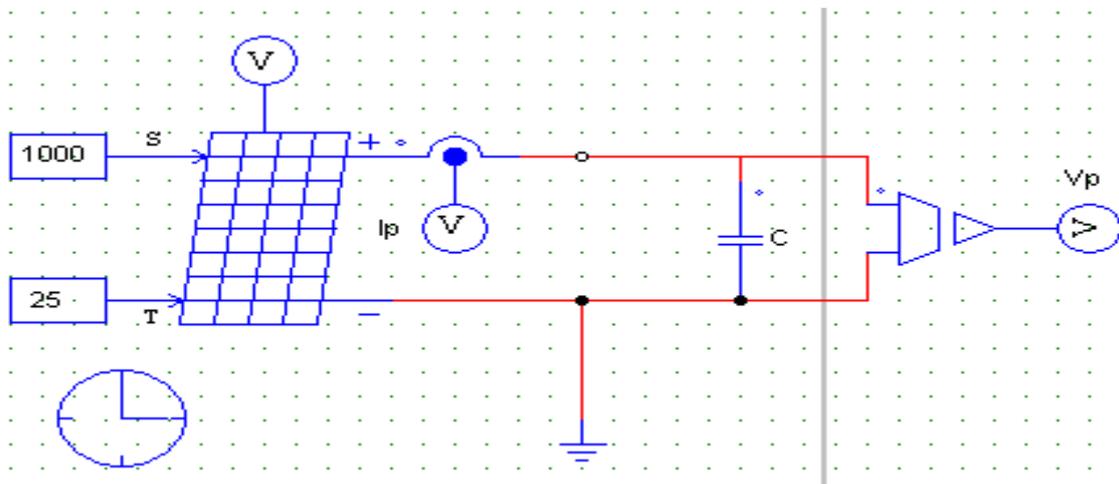


Figure III.3 : modèle du panneau sous Psim

### III.5 Modélisation du panneau par couplage entre Psim et Matlab Simulink

Il est possible de coupler les deux logiciels par l'application Sim coupler, comme indique la Figure III 3.4 ceci présentes par la visualisation des graphes dans les deux environnements, avec possibilité de modéliser la partie de puissance dans un côté et la partie de commande dans l'autre côté

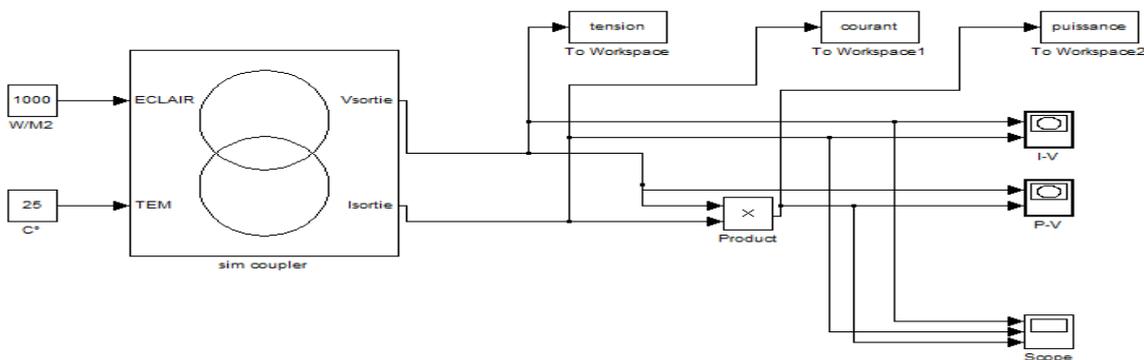
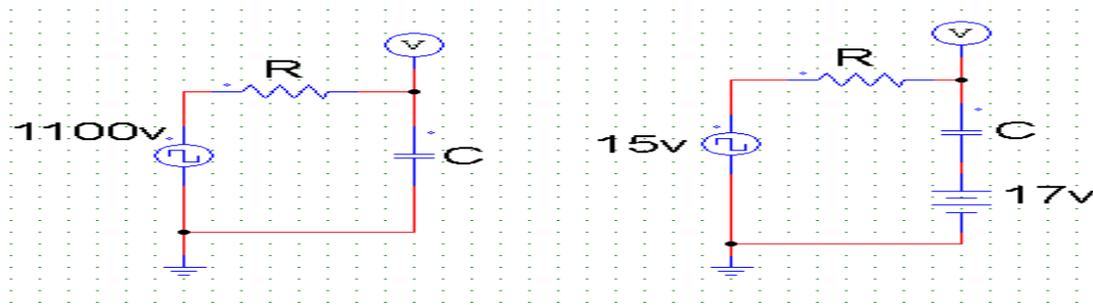


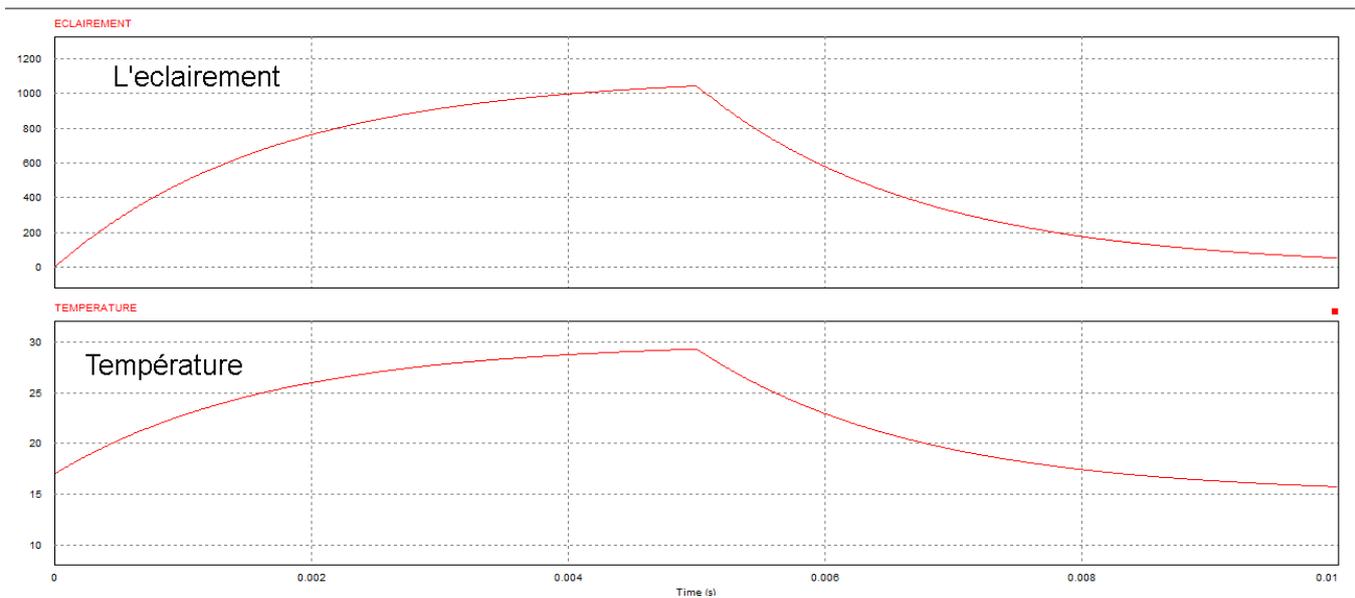
Figure III.4 : présentation de de l'application Sim coupler

### III.6 Modélisation des conditions météorologie

Pour simuler les variations de l'éclairement et de la température sous Psim, on a utilisé comme solution la charge et la décharge d'un condensateur, selon nos besoins cette solution est illustrée en Figure III.5 ainsi que les résultats qui en découlent (Figure III.6)



**Figure III.5 :** modèle électrique simulant de l'éclairement et de la température



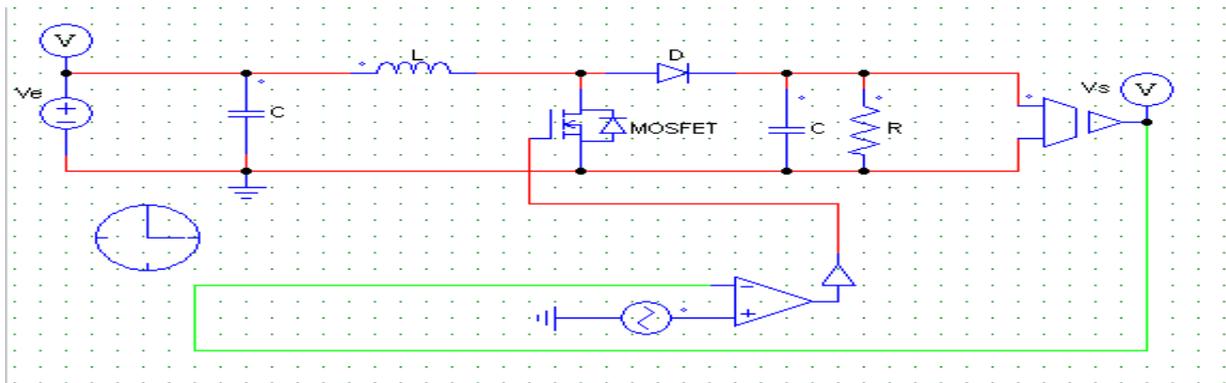
**Figure III.6 :** variation de l'éclairement et la température

Pour simulé toute la journée on fait varie l'éclairement de 0 jusqu'à  $1000\text{w/m}^2$ , et l'inverse pour l'après-midi. Ces variations sont représentées sur la Figure III.6, avec échelle réduite dans le temps

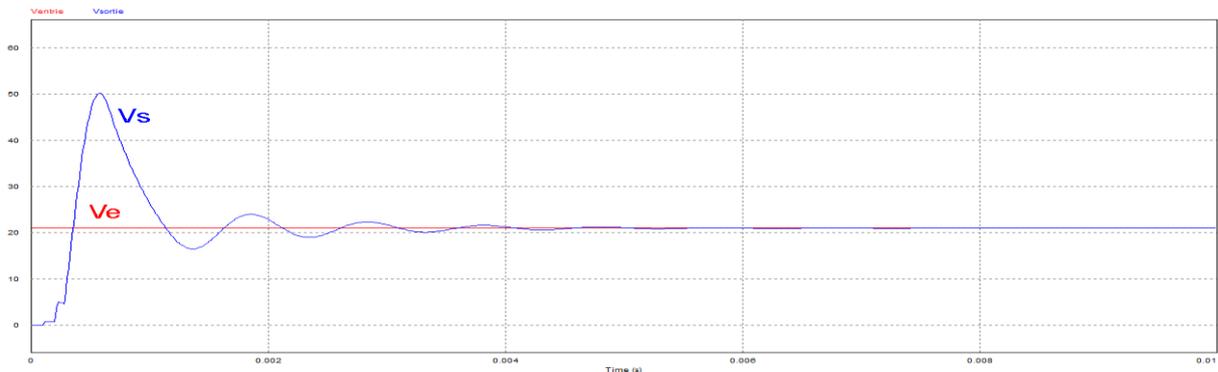
### III.7 Simulation du convertisseur DC /DC (hacheur)

#### III.7.1 Hacheur parallèle (Boost)

Le circuit électronique du hacheur parallèle (Figure III .7) simulé sur Psim, et les résultats de simulation apparaît sur la Figure III.8, nous permettant de constater que cz type de hacheur, permet d'augmenter la tension d'entrée .Pour les valeurs des composants calculés selon les étapes suivant.



**Figure III .7 :** montage d'un hacheur parallèle (Boost) sous Psim



**Figure III.8 :** signaux d'entrée et sortie pour un hacheur parallèle (Boost)

#### III.7.1.A valeurs des composants

Déterminer les caractéristiques de la carte de puissance est une étape critique dans la construction du MPPT. Certes, tout composant inadapté peut logiquement empêcher un fonctionnement optimal de cette carte de puissance [15].

Dans notre type du panneau BPSM50, le convertisseur doit remplir les conditions suivantes

\*Le convertisseur fournit une tension réglable à la valeur souhaitée (dans notre cas égale 24V) à partir du panneau BPSM50, avec une ondulation résiduelle en tension de sortie ne dépassant pas 10 mV et en entrée ne dépassant pas 100 mV.

\*Le convertisseur fonctionne en conduction continue pour un courant de charge  $I_s$  qui varie de 0.3A à 3.15A (soit de 9.52% à 100% de sa valeur maximale). En dessous de 0.3A, l'utilisation du convertisseur n'est pas intéressante puisque son rendement est trop faible. Donc, la charge maximale ( $R_{smax}$ ) admissible est :

$$R_{smax} = \frac{100}{0.3} = 300\Omega \quad (27)$$

La charge  $R_s$  doit être supérieure à la résistance interne optimale  $R_{opt}(R_{opt} = \frac{V_{opt}}{I_{opt}})$  à un éclaircissement donné pour que le convertisseur effectue correctement son rôle.

Dans tous les calculs qui vont suivre, le cas extrême sera envisagé. Nous supposons que la conduction est continue (le courant dans l'inductance ne s'annule jamais) et que le convertisseur est toujours efficace à 100%

### A-La bobine

Cet élément est le plus délicat à déterminer. En effet, une inductance trop faible ne permet pas le fonctionnement du circuit de puissance, et une inductance trop forte quant à elle provoquerait d'importantes pertes de puissance par effet joule.

$$L = \frac{\alpha_0 V_{pv}}{I_{smin} f} \quad (28)$$

Avec :

$\alpha_0$  : le rapport cyclique

$I_{smin}$  : 0.3A

$f$  : fréquence de commutation

Le rapport cyclique que l'on peut prévoir dans les conditions nominales ( $V_e = 17.37V$  et  $V_s = 24V$ ) se déduit de :

$$\frac{V_e}{V_s} = \frac{1}{1-\alpha} \quad (29)$$

AN:  $\alpha = 0.29$

Nous supposons que notre convertisseur statique fonctionne à la fréquence de 10 kHz (il s'agit de la fréquence de commutation de l'interrupteur), cela implique que :

$$L \approx 1.6mH$$

## B-Condensateur

### B.1 Condensateur d'entrée

Le critère de conception pour les condensateurs d'entrée est que la tension d'ondulation à travers eux devrait être plus moins de 1%.

$$C_e = \frac{I_{opt}\alpha}{\Delta V_e f} \quad (30)$$

Avec :

$$\Delta V_e = 10mV$$

La valeur de  $C_e$  est :

$$C_e = 11.90\mu F$$

### B.2 Condensateur de sortie

Le but du condensateur de sortie est en effet de filtrer les variations de tension en sortie du convertisseur Boost.

La valeur du ( $C_s$ ) est calculée on utilisant l'équation d'ondulation de tension de sortie.

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-\alpha}{8LC_s f^2} \quad (30)$$

Avec :

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = 1\%$$

La solution de l'équation (31) pour le  $C_s$  donne :

$$C_s = \frac{1-\alpha}{8L \frac{\Delta V_0}{V_0} f^2} = \frac{1-0.27}{(8)(2 \times 10^{-3})(0.01)(10 \times 10^3)^2} = 58.12\mu F \quad (31)$$

### III.7.2 Hacheur série (Buck)

Le circuit électronique du hacheur série (buck) simulé sous Psim (Figure III.9), les valeurs des composants sont les mêmes que pour le hacheur (boost) sauf que la bobine a pour valeur  $L \approx 2mH$ . Les résultats apparaissent sur la figure III.10 montrant que le hacheur série diminue la tension d'entrée.

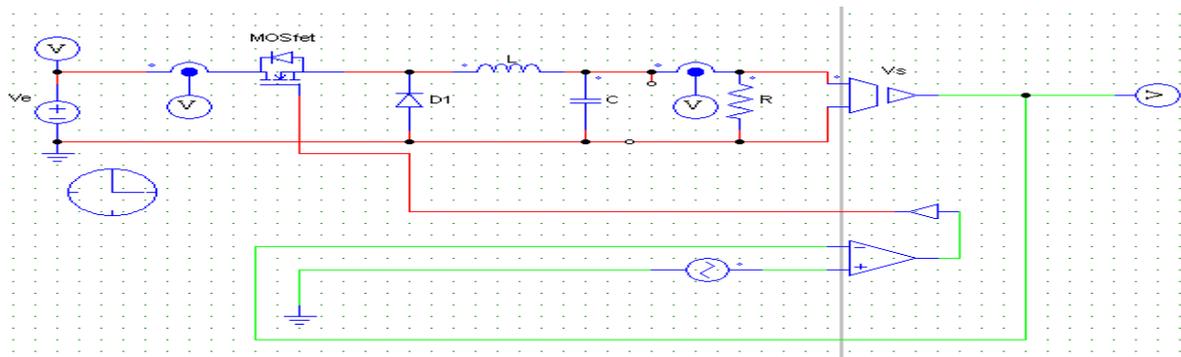


Figure III.9 : montage d'un hacheur série sous Psim

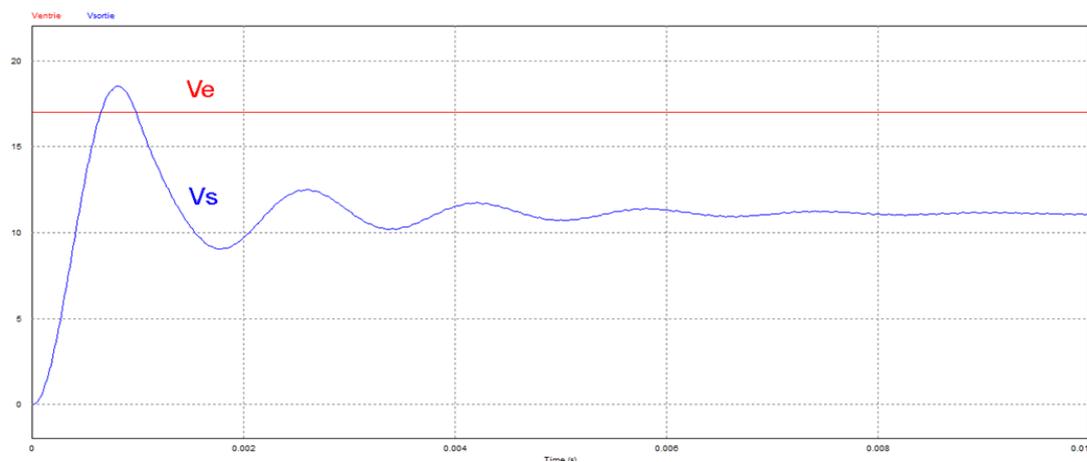


Figure III.10: signaux d'entrée et de sortie (hacheur série)

### III.8 Simulation d'une batterie avec un niveau de charge contrôlable

On a simulé une batterie par un condensateur, avec un contrôle de son niveau de charge à l'aide d'un comparateur et d'un interrupteur (Mosfet), comme présenté sur la figure III.11

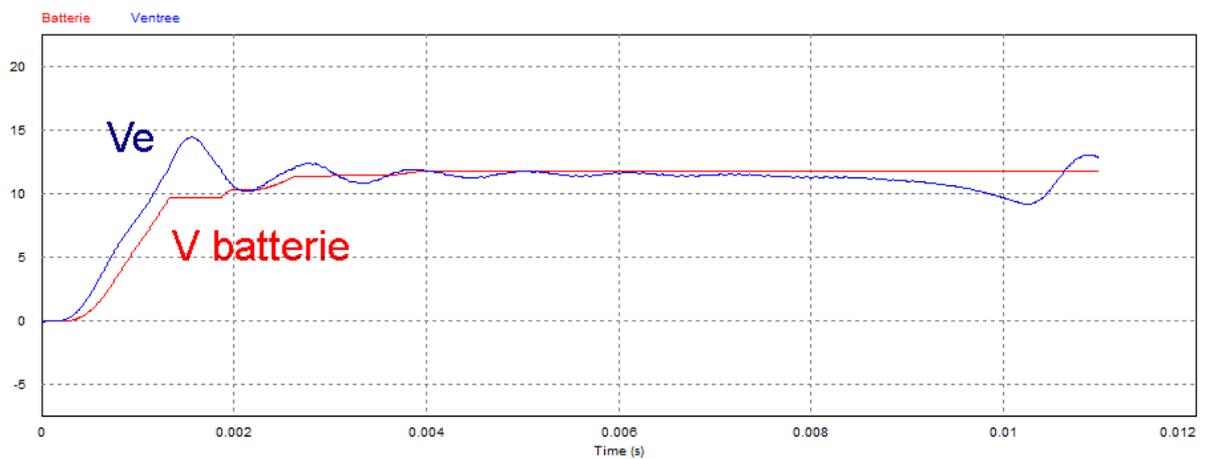
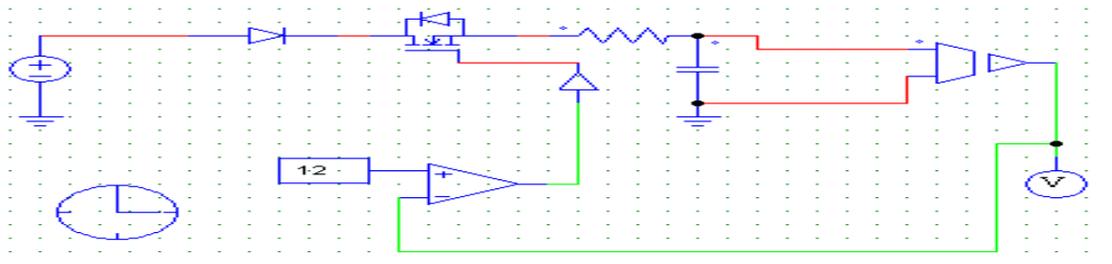
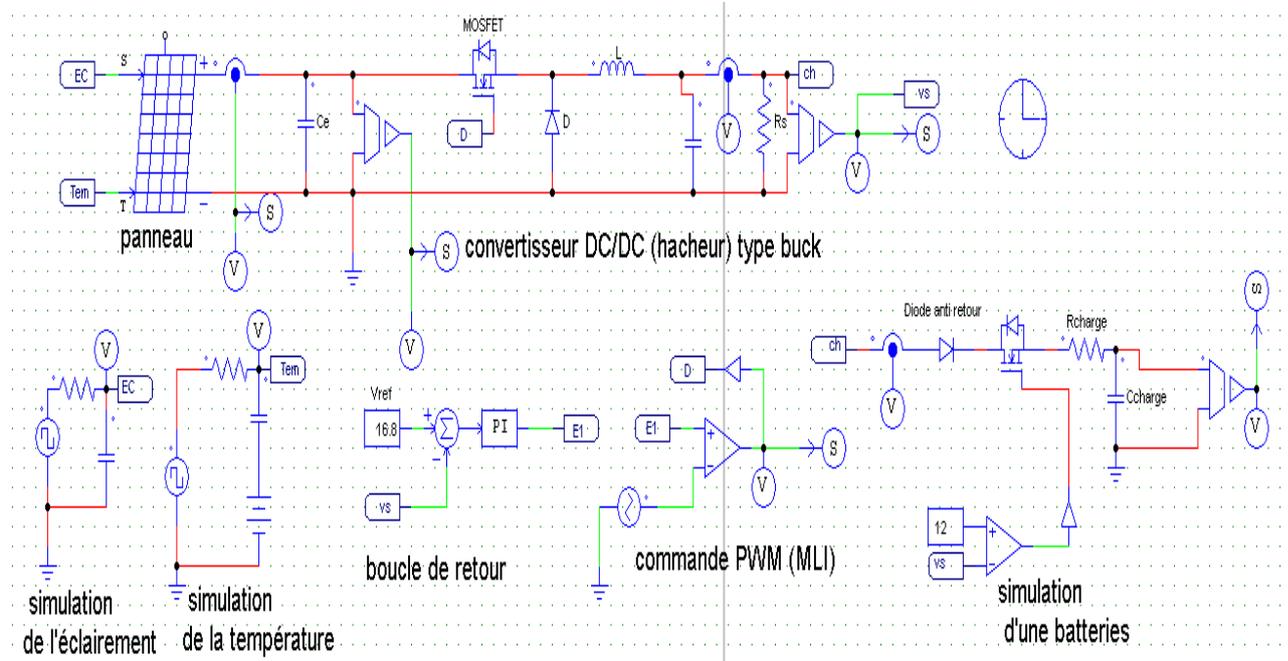


Figure III.11 simulation de la batterie

On constate que la batterie atteint sa charge (portion verticale de la courbe V batterie), elle garde le niveau de charge quel que soit la variation au niveau de Ve

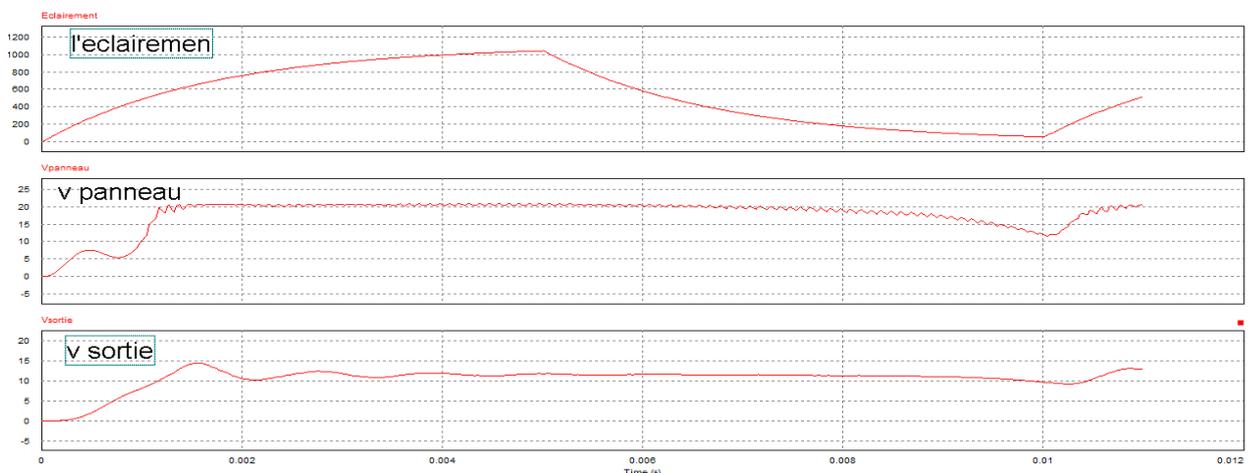
### III.9 Simulation globale avec un hacheur série (Buck)

Pour simulé l'ensemble de la chaine, on a raccordé tous les blocs avec une commande MPPT basé sur la tension en circuit ouvert de  $V_{co}$ . L'ensemble est apparait sur la figure III.13



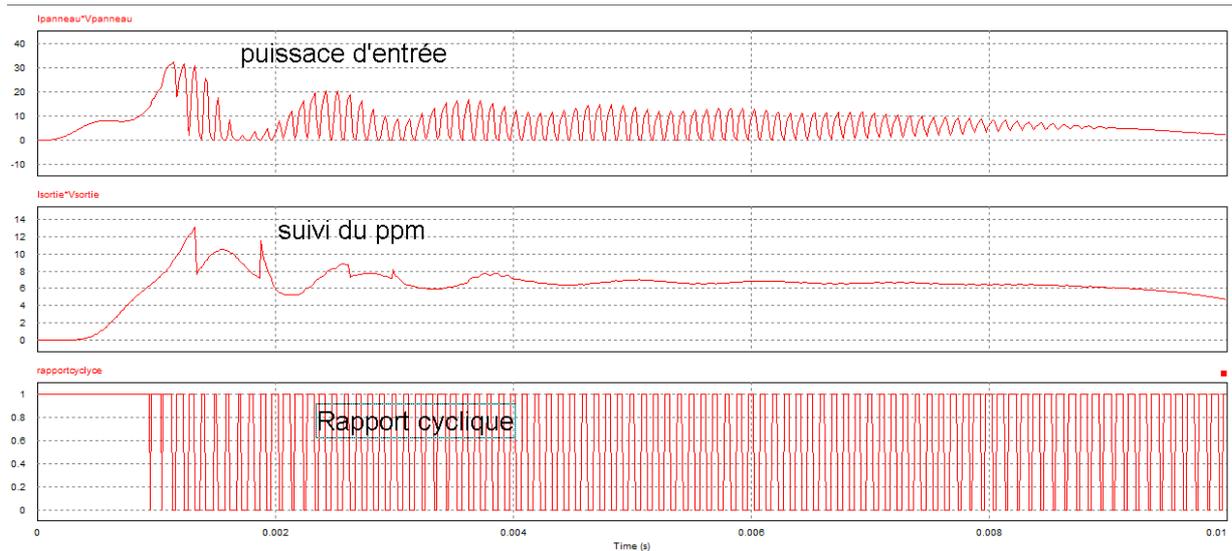
**Figure III.12** : schéma global avec hacheur série

Les résultats édiés par le bloc de simulation apparaissent en figure III.14 et en figure III .15



**Figure III.13** : variation de la tension selon l'éclairement

Ces résultats est en concordance avec les résultats énoncé en I.8.2 .l'abaissent de la tension de sortie du hacheur apparait, elle aussi comme résultats correct



**Figure III .14** : suivi du ppm et variation du rapport cyclique

Comme psente la figure III .15 , le suivi de la variation de la puissance et corectement etabli par le hacheur (suivi du ppm) sous l'influence de l'acommande (variable) decrite par le rapport cyclique.on constate aussi que chaque instant de circuit ouvert en sortie du panneau ,la perte de puissance apparait sous forme de pics vers le bas (puissance d'entrée)

### III.10 Simulation globale avec un hacheur parallèle (Boost)

On a raccordé toute les blocs avec une commande MPPT basé sur le courant de court-circuit  $I_{cc}$

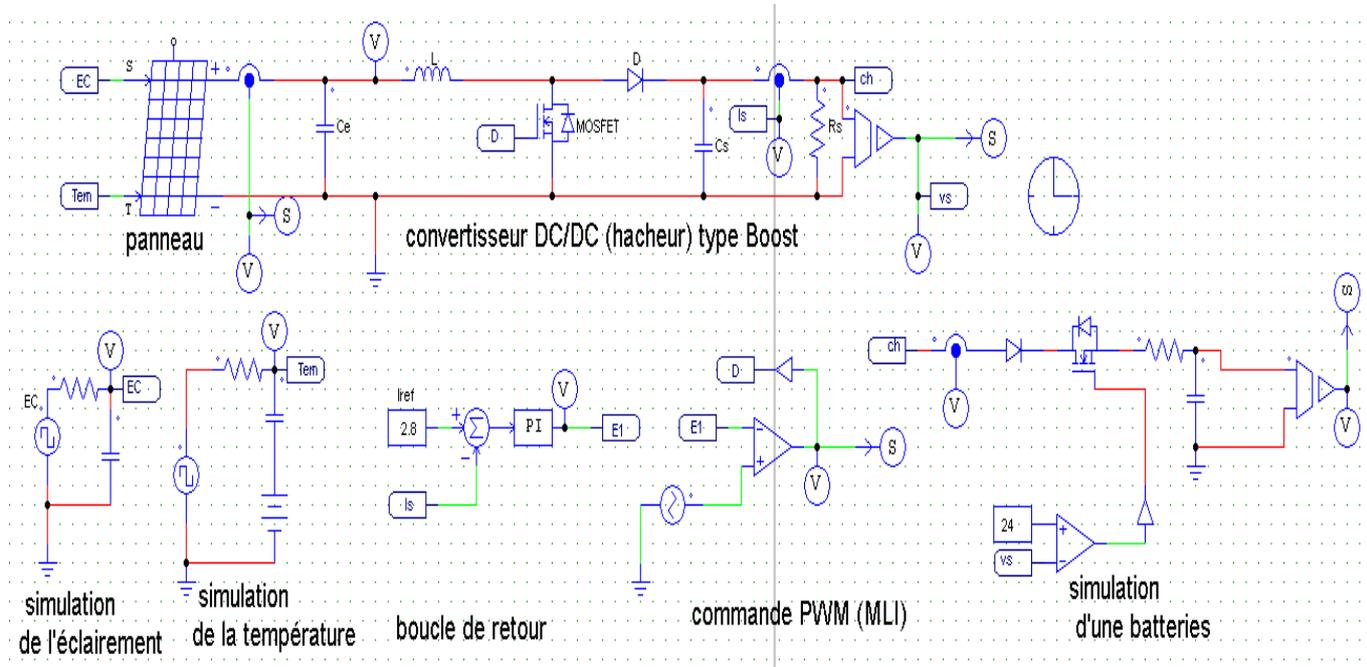


Figure III.15 : schéma global avec hacheur série

Les résultats de cette simulation est apparait en figure III.17, elle démontre bien l'influence de l'éclairement sur le courant délivré

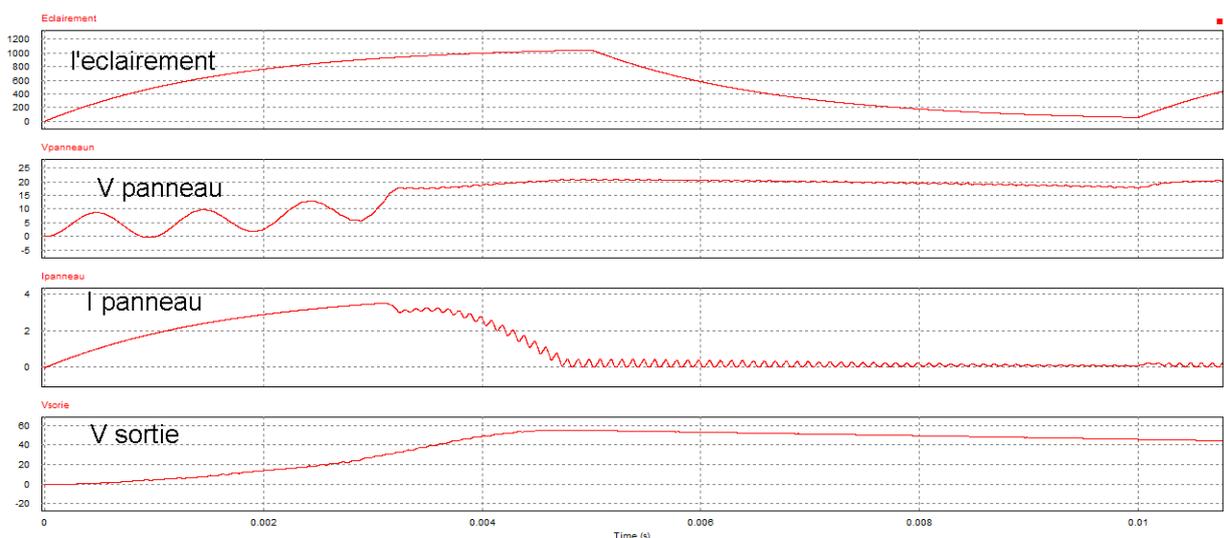
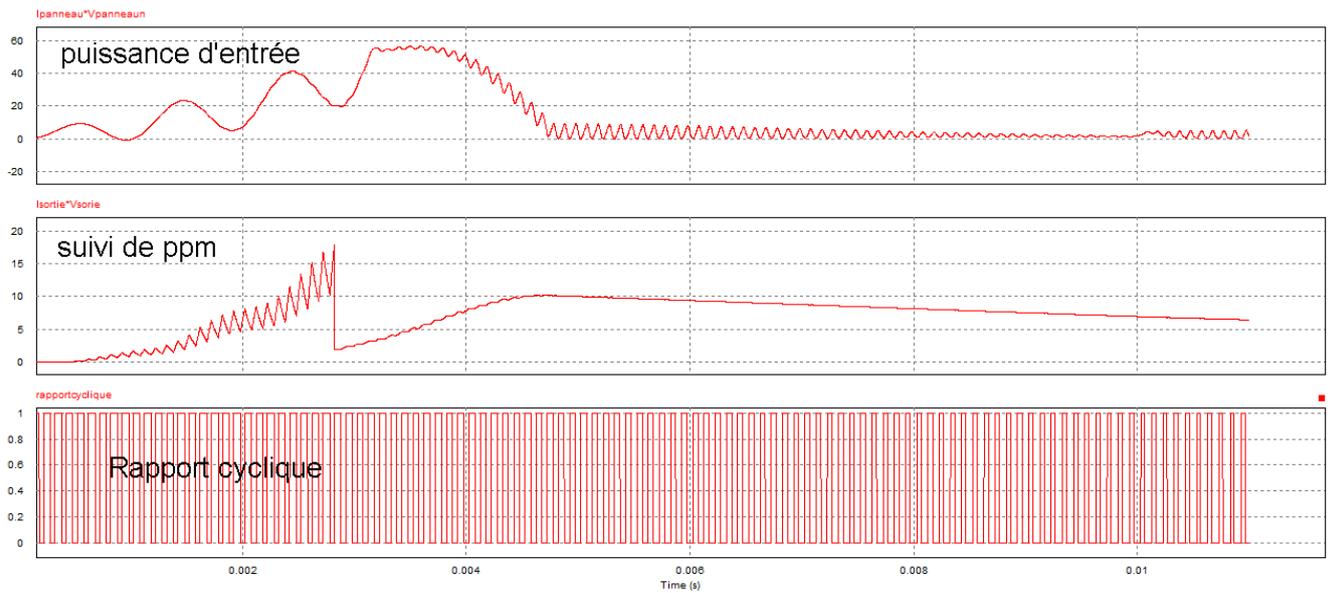


Figure III.16 : variation de la tension selon l'éclairement



**Figure III.17** : suivi du ppm et variation du rapport cyclique

On observe qu'il ya un suivi ppm de la puissance avec une variation de rapport cyclique, la technique MPPT fonctionne correctement mais avec une faible précision par rapport à la technique précédente.

### **III.11 Conclusion**

Dans ce chapitre on a mis en évidence la simplicité d'une modélisation du panneau solaire sous Psim par rapport à un panneau solaire sous Matlab Simulink. de plus l'utilisation du Psim simulation montrée que la commande étudiée aboutit aux résultats prédit

# **Conclusion générale Et perspectives**

# Conclusion générale et perspectives

Les travaux présentés dans cette thèse se sont focalisés sur l'optimisation de la production d'énergie électrique par les générateurs photovoltaïques ainsi que le suivi du PPM de ces derniers,

A la fin, on peut résumer notre travail par les points suivants :

- La modélisation et la conception d'un module ou générateur PV est une manière d'étude très importante pour analyser le fonctionnement de système PV, et voir l'influence de différents facteurs sur le module surtout la variation de l'éclairement et la température.
- Pas mal des travaux ont été faits sous l'environnement Matlab Simulink, nous avons fait notre travail avec un autre logiciel puissant (Psim), qui offre aussi des avantages dans le domaine des énergies renouvelables.
- Nous avons montré tout d'abord l'importance d'installer un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge, avec une explication et simulation de son principe de fonctionnement.
- Nous avons présenté les différentes techniques du MPPT, et détaillé deux techniques indirectes utilisées dans ce travail qui ont abouti à des résultats acceptables.
- Nous espérons d'avoir plus d'amélioration sur ce travail

Finalement, Ce travail propose le régulateur MPPT comme solution pour optimiser le système photovoltaïque, quel que soit le taux de variation de l'éclairement et la température.

## Bibliographie

- [1]: L'électricité photovoltaïque, Yves JAUTARD et Thierry BOUDOL (Solarte) - 25/05/2000.
- [2]: R. Chenni, " Etude Techno-économique d'un Système de Pompage Photovoltaïque dans un Village Solaire, Thèse de Doctorat, Avril 2006.
- [3]: Townsend, T. U. "A method for estimating the long-term performance of direct coupled photovoltaic systems". MS Thesis, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, 1989.
- [4]: Akihiro Oi, "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System", A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2005.
- [5]: G. Walker, "Evaluating MPPT Converter Topologies Using A MATLAB PV Model, A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2005
- [6] <http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/open-circuit-voltage>
- [7] Manuel scolaire « TERMINALE STI ELECTROTECHNIQUE Nathan », 'Ce qu'il faut savoir sur L'énergie solaire photovoltaïque', office fédéral suisse des questions conjoncturelles-Suisse, 2011/2 012.
- [8] David Sanz Morales, 'Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications', Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology, 14.12.2010.
- [9] Francisco M, González-Longatt, 'Model of Photovoltaic Module in Matlab', 2docongresoiberoamericano de estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónica y computación, pp 1-5, 2005.
- [10] K.TAHRI, B. BENYOUCEF, 'Etude de Modélisation d'un Générateur Photovoltaïque', 10ème Séminaire International sur la Physique Energétique, Journal of Scientific Research N° 0 vol. 1 , pp 192-197, 2010.
- [11]: Cédric CABAL, "Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque", Thèse de doctorat soutenue le 15 décembre 2008.

[12]: Angel Cid Pastor, "Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques, thèse de doctorat, soutenue le 29 septembre 2006.

[13] Shane McMORROW, ' Variable Inductance for Solar Power Applications', B.E. Electronic Engineering Project Report, 2011.

[14] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur\\_Buck](http://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_Buck)

[15]: Laura Baxerres, Aurélie Michallet, Céline Ramet, Rapport\_PIP\_Microtransat\_Energie\_II, "Partie électronique et énergétique", 20052006.