

17/621.860

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8 Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



**Domaine : Sciences et Technologie**  
**Filière : Electrotechnique**  
**Spécialité : Réseaux Electriques**



**Mémoire de fin d'études  
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

---

**Conception Et Simulation D'un Système Photovoltaïque Avec  
Un Régulateur MPPT**

---

Présenté par :

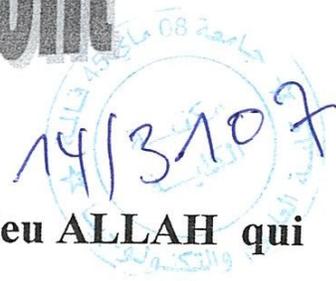
- Bourai Abderrahmen
- Necib khaled

Sous la direction de :

- Bouzit Ali

Juin 2015

# remerciement



**Avant tout , nous remercions notre dieu ALLAH qui nous a menés tout puissant pour nous avoir donné et la volonté d'accomplir ce modeste travail.**

**En guise de remerciement nous témoignons notre reconnaissance encadreur Mr. Bouzit Ali.**

**Nous tenon aussi à remercie nos enseignants Dr.Bounaya.K et Mr.Ladjimi.A pour leurs collaborations et les précieuses conseils et critiques.**

**Les plus grands remerciements à nos parents grâce à ses encouragements et soutiens**

**Et sans oublions tous nos amis pour nous discussions plus au moins sérieuse, avec qui nous avons passé d'agréables moments**

**Nombreuses sont les personnes qui nous ont apporté leur aide et leur soutient, sans citer leurs noms, nous tenons à leurs présenter nos remerciements les plus sincères.**

## SOMMAIRE

Introduction générale .....	2
1. L'énergie solaire.....	4
2. Historique de la cellule photovoltaïque: .....	5
3. Matériaux utilisés dans la fabrication des cellules photovoltaïques.....	8
3.1. Les semi-conducteurs intrinsèques .....	8
3.2. Les semi-conducteurs extrinsèques :.....	9
3.2.1. Dopage de type N :.....	9
3.2.2. Dopage de type P : .....	10
3.3. La jonction PN :.....	10
4. L'effet photovoltaïque .....	11
1. Cellule photovoltaïque.....	13
1.1 Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	14
2. La caractéristique $I=f(V)$ .....	16
2.1. L'effet de l'éclairement .....	17
2.2. L'effet de la température .....	18
2.3. La caractéristique de puissance $P=f(U)$ .....	19
3. Association de cellules : .....	20
1. Introduction.....	24
2. Les convertisseurs continu-continu.....	25
2.1. Analyse de fonctionnement du convertisseur DC/DC .....	26
2.2. Convertisseur DC/DC abaisseur de tension appelé (Buck converter) .....	30
2.2.1. Principe de fonctionnement .....	30
2.2.2. Simulation de convertisseur DC/DC dévolteur (abaaisseur de tension).....	31
2.3. Convertisseur DC/DC éleveur de tension appelé parallèle (Boost converter) .....	34
2.3.1. Le principe de fonctionnement.....	34
2.3.2. Simulation de convertisseur DC/DC survolteur de tension avec Psim .....	36
3. Concept de MPPT.....	38
3.1. Définition de la commande MPPT .....	38
3.2. Principe de la recherche du point de puissance maximale(MPPT) : .....	39
4. Les méthodes utilisées dans la réalisation de fonctionnement de la commande MPPT .....	41

4.1 La méthode perturber et observer .....	41
4.1.1 L'algorithme perturbation et observation .....	43
4.2. Méthode de la conductance incrémentale(INC): .....	44
4.2.1L'algorithme de la méthode de la conductance incrémentielle .....	46
<b>5. Comparaison des deux algorithmes .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Algorithme complet .....</b>	<b>48</b>
6.1 Simulation de la commande MPPT avec psim.....	49
<b>7.Gestion de la MPPT .....</b>	<b>50</b>
<b>8. Classification des Commandes MPPT.....</b>	<b>50</b>
8.1 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche .....	50
8.1.1 MPPT Indirect.....	50
8.1.2 MPPT Direct.....	51
<b>8.2Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée.....</b>	<b>51</b>
8.2.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS.....	51
8.2.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur.....	52
<b>9. Les différents types de commande MPPT : .....</b>	<b>52</b>
Conclusion général .....	54
Bibliographie.....	55

# Listes de figures

- Figure.1 : Spectre d'irradiante solaire.
- Figure.2: schéma d'une cellule photovoltaïque.
- Figure.3 : Conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.
- Figure.4 : Répartition des matériaux pour la conversion PV sur le marché mondial
- Figure.5 : Atome de silicium
- Figure.6 : dopage type N
- Figure.7 : dopage type P
- Figure.8 : la jonction PN
- Figure.9 : l'effet photovoltaïque
- Figure.10 : Symbole d'une cellule photovoltaïque
- Figure.11:cellule photovoltaïque
- Figure.12: schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque
- Figure.13: la caractéristique  $I=f(V)$
- Figure.14:Caractéristique I/V pour différents niveaux de rayonnement
- Figure.15 : caractéristique I/V de différents niveaux de température
- Figure.16 : caractéristique puissance -Tension
- Figure.17 : caractéristique courant tension de  $N_s$  cellule en série
- Figure.18 : module de cellules photovoltaïques
- Figure.19 : un panneau solaire formé par  $N$  modules.
- Figure.20 : groupement de  $b$  cellules en série et  $a$  cellules en parallèle
- Figure.21 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque
- Figure.22 : Courbe caractéristique de puissance d'un GPV
- Figure.23 : convertisseur DC/DC

- Figure.24 : schéma électrique d'un convertisseur DC/DC.
- Figure.25 : l'allure de fonctionnement d'un convertisseur DC/DC
- Figure.26 : schéma montre la présence du transistor comme un interrupteur.
- Figure.27 : schéma montre la présence de l'inductance en série avec le transistor
- Figure.28 : schéma électrique montre la présence d'une diode pour la protection.
- Figure.29 : schéma électrique général du convertisseur DC/DC
- Figure.30 : convertisseur DC/DC abaisseur de tension
- Figure.31 : fonctionnement de convertisseur DC/DC abaisseur de tension
- Figure.32 : simulation d'un convertisseur DC/DC avec Psim
- Figure.33 : simulation de fonctionnement d'un convertisseur DC/DC dévolteur avec psim.
- Figure.34 : simulation de fonctionnement d'un convertisseur DC/DC dévolteur avec Psim  
 $F=10\text{KHZ}$  (pour éviter les ondulations)
- Figure.35 : schéma électrique principale de convertisseur DC/DC élévateur de tension
- Figure.36 : Les caractéristiques de fonctionnement de convertisseur DC/DC survolteur
- Figure.37 : schéma électrique d'un convertisseur survolteur simulé avec psim
- Figure.38 : les formes d'ondes de la tension  $V_L$ ,  $V_S$  les courants  $I_{ch}$  d'un convertisseur DC/DC survolteur simulé avec psim.
- Figure.39 : commande mppt associé à un convertisseur DC/DC
- Figure.40 : chaine élémentaire de conversion photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC  
contrôle par une commande MPPT sur charge DC
- Figure.41 : diagramme fonctionnel algorithme 'perturbation et observation'
- Figure.42 : Evolution de la puissance en fonction de la tension.
- Figure.43 : Diagramme fonctionnel algorithme 'conductance incrémentales'
- Figure.44 : schéma fonctionnel de l'algorithme complet
- Figure.45 : les formes d'ondes de  $I_S$ ,  $V_S$  et  $V_{CONT}$  en régime

# **Introduction générale**

## **Introduction général**

---

### **Introduction général**

De nos jours, l'homme à sa disposition sur la Terre de nombreuses sources d'énergie. Les plus utilisées sont les énergies dites fossiles (charbon, pétrole, gaz) car non renouvelables et issues d'un long processus de transformation de la matière organique, parce qu'elles sont faciles à exploiter, et rentables. Cependant, pour différentes raisons. Tout d'abord, les réserves d'énergie fossiles commencent à diminuer. Les prix de ces énergies ne cessent d'augmenter, et puis, lors de leur utilisation, ces énergies créent une grande pollution dans la nature.

De nombreuses énergies renouvelables, ou abondantes partout à la surface du globe peuvent être exploitées facilement, tel que l'énergie hydraulique, éolienne, nucléaire, et l'énergie solaire. Mais l'énergie éolienne n'est pas assez rentable, au sens qu'elle ne permet pas de produire beaucoup d'énergie par unité de surface. L'énergie nucléaire, même si elle a un rendement élevé, produit des déchets très polluants et peu dégradables. De plus elle fait peur en raison des graves accidents qui peuvent se produire (catastrophe de Tchernobyl), et en raison du risque de prolifération nucléaire. L'énergie hydroélectrique a un bon rendement mais, un fort impact écologique et humain, n'est pas disponible partout, et la plupart des espaces qui lui sont propices sont déjà saturés de barrages. L'énergie solaire, elle est disponible partout à la surface du globe, en quantité égale dans l'année, et a un bon rendement grâce à la technologie actuelle. Elle est de plus facile à exploiter. Elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

# CHAPITRE 01

## 1. L'énergie solaire

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/s , les rayons du soleil mettent donc environ 8 minutes à nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément prise égale à 1360W/m<sup>2</sup>. Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/ m<sup>2</sup> à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules appelés, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \quad 1$$

h : la constante de Planck,

c: la vitesse de la lumière.

$\lambda$  : longueur d'onde

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande.

Une façon commode d'exprimer cette énergie est:

$$E = \frac{1.24}{\lambda} \quad 2$$

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueurs d'ondes variant de 0,22 à 10 microns ( $\mu\text{m}$ ). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement en :

- 9% dans la bande des ultraviolets ( $<0,4\mu\text{m}$ ),
- 47% dans la bande visible ( $0,4$  à  $0,8 \mu\text{m}$ ),
- 44% dans la bande des infrarouges ( $>0,8\mu\text{m}$ ).

Ci-dessous figure.1 montre le spectre de solaire du radiation.

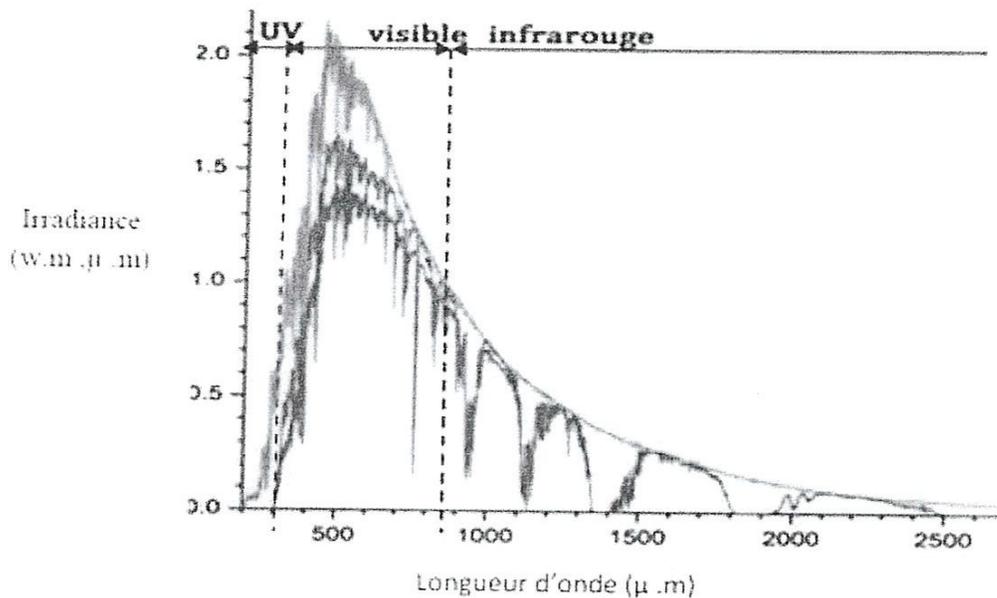


Fig.1 : Spectre d'irradiance solaire.

## 2. Historique de la cellule photovoltaïque:

Les semi-conducteurs sont des éléments qui sont sensible a la lumière visible, et invisible.

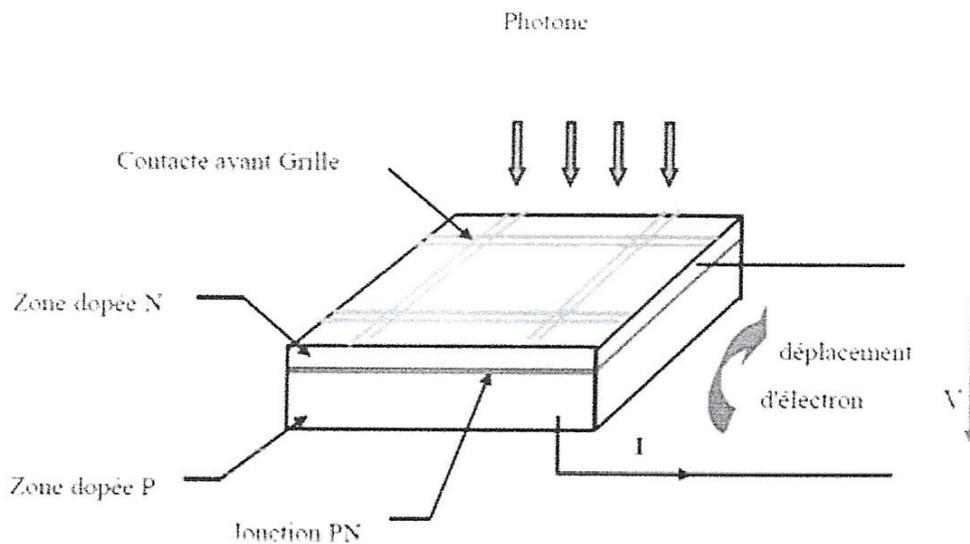
En 1839 le savon Français, *Henri Becquerel* a mis en évidence l'apparition d'une tension électrique aux bornes de deux électrodes immergées dans une solution électrolytique, lorsque celles-ci étaient exposées a la lumière naturelle.

En 1975, K.W.Ford avait reporté que le rayonnement solaire a la surface de la terre était 104 fois plus grand que la demande d'énergie mondiale.

L'énergie solaire peut être utilisée pour produire de l'électricité d'une manière directe ou indirecte.

La Figure.2 montre une cellule photovoltaïque exposé à la lumière. L'utilisation des cellules photovoltaïques pour obtenir cette conversion est une voie prometteuse pour exploiter cette source d'énergie durable.

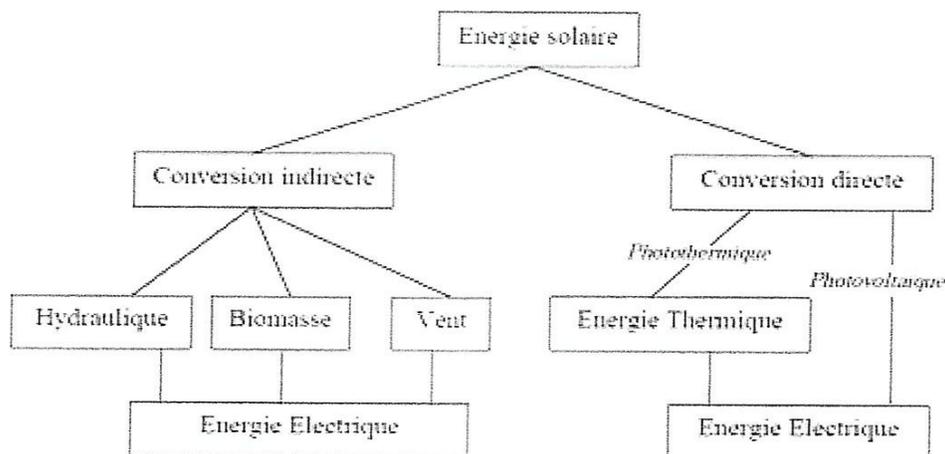
Trente-huit ans plus tard, *W. G. Adams* et *R. E. Day* ont observé un effet similaire en éclairant un échantillon solide en sélénium.



**Fig.2:** schéma d'une cellule photovoltaïque.

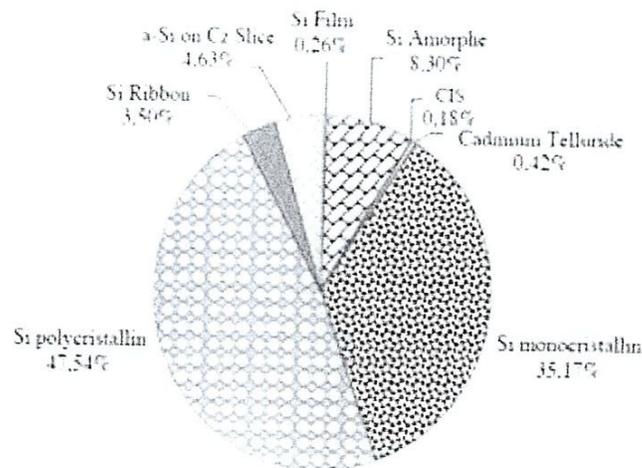
En 1954, des chercheurs des laboratoires «Bell Telephone Laboratories» ont fabriqué la première cellule solaire à base de silicium, ayant un rendement de conversion en puissance de 6%. Le développement des programmes spatiaux a ensuite entraîné une demande de cellules solaires plus rentables. Les systèmes actuels sont d'une grande fiabilité et le coût de fabrication est secondaire dans ce domaine.

L'énergie solaire peut être utilisée directement ou indirectement, selon le mode d'utilisation



**Fig.3 :** Conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

Ce n'est qu'au début des années 1970, et surtout après les crises pétrolières successives, que les pays industrialisés ont porté leur intérêt sur les systèmes photovoltaïques pour des applications terrestres. Actuellement, et grâce aux remarquables avancées technologiques, les rendements ont atteint plus de 32 % en laboratoire et entre 8 et 16 % pour les cellules du commerce. Différents matériaux ont été utilisés pour fabriquer ces cellules, mais le silicium cristallin occupe la plus grande part avec 82,71 % du marché mondial suivi par le silicium amorphe avec 8,3% (Figure 4).



**Fig.4 :** Répartition des matériaux pour la conversion PV sur le marché mondial

Le silicium doit être doté d'une grande pureté, quelle que soit sa forme. On peut réaliser une purification d'un barreau de silicium contenant une impureté en déplaçant une zone fondue d'un bout à l'autre du barreau dans laquelle on concentre l'impureté. Récemment, de nouveaux matériaux à base des composés organiques se sont avérés prometteurs dans la technologie des cellules PV. Cependant, ces produits organiques présentent un rendement de conversion très modeste comparativement à la technologie silicium. Les recherches portant à l'heure actuelle sur ces composés organiques sont en pleine expansion afin d'améliorer leur rendement.

Actuellement, presque tous les générateurs photovoltaïques commercialisés sont à base du silicium sous ses différentes formes (monocristallin, poly-cristallin ou amorphe).

### 3. Matériaux utilisés dans la fabrication des cellules photovoltaïques

Actuellement, le matériau principal de la conversion PV est le silicium sous ses différentes formes. L'inconvénient majeur de cette énergie est le faible rendement des matériaux de conversion et le coût élevé. Le coût de cette énergie reste à l'heure actuelle le plus élevé vis-à-vis du coût des autres formes d'énergie. Cependant, la production des matériaux de conversion double presque tous les quatre ans. Cette augmentation dans la production laisse espérer des prix plus bas (baisse de 5% chaque année). Ce qui fait du soleil une source d'énergie très prometteuse.

#### 3.1. Les semi-conducteurs intrinsèques

Dans la nature il y a plusieurs éléments semi-conducteurs. Tel que : le silicium, germanium, indium,...etc.

La figure.5 ci-dessous montre la structure interne du semi-conducteur le silicium.

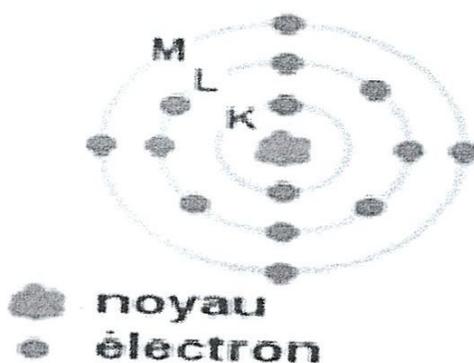


Fig.5 Atome de silicium

Sa couche périphérique contient quatre électrons ; ce qui est difficile de les perdre ou de les recevoir c'est pour ça qu'il faut introduire un autre élément pour doper le silicium.

Mais le nombre d'électrons libres dans un semi-conducteur intrinsèque reste très faible. Ici le nombre de trou et d'électron est égal.

Et comme l'atome du silicium est électriquement neutre (stable), il faut introduire un autre élément pour la doper, afin d'augmenter sa conductibilité.

### 3.2. Les semi-conducteurs extrinsèques :

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

#### 3.2.1. Dopage de type N :

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent. Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième reste disponible va être excité. D'où le nombre d'électron libre va être fortement augmenter; dans ce cas le nombre de trous est très inférieur au nombre d'électrons libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif).

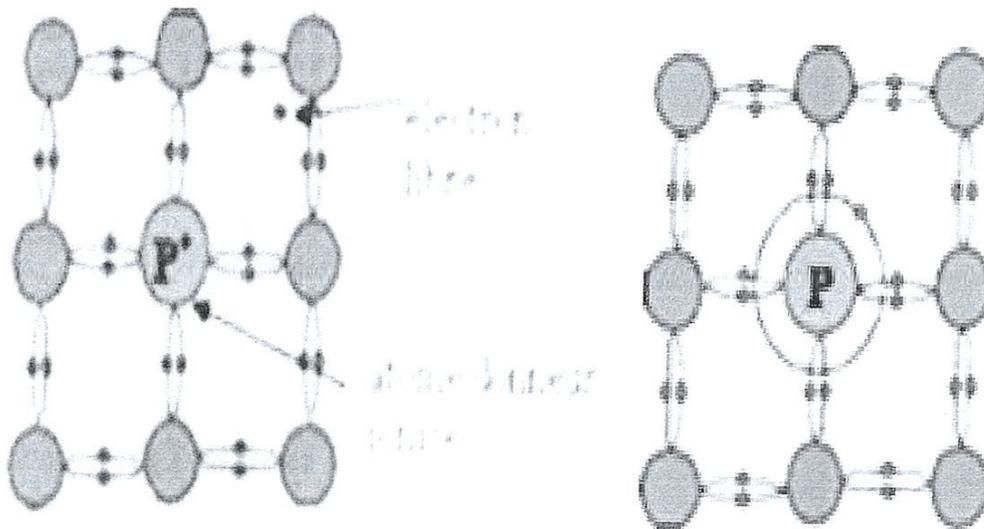


Fig.6 dopage type N

**3.2.2. Dopage de type P :**

De la même façon on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace de proche en proche dans le cristal pour créer un courant. Ici le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore.

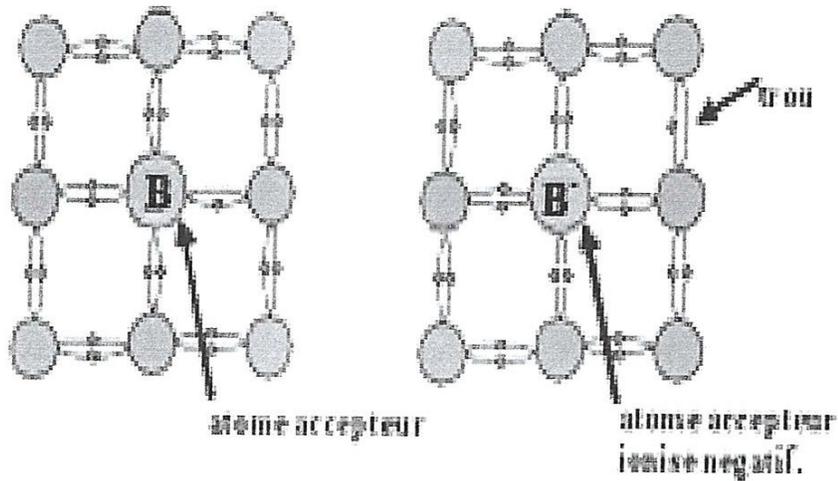


Fig.7 dopage type P

**3.3. La jonction PN :**

La jonction PN est l'accolement d'une région dopée P et d'une région dopée N. Lors de cet assemblage les porteurs de charges électriques libres s'attirent vers la zone P et se recombinent avec les charges positives (trous). La zone entre les semi-conducteurs N et P s'appelle la zone de transition. Les ions dans cette zone créent un champ électrique interne au niveau de la jonction PN, et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner.

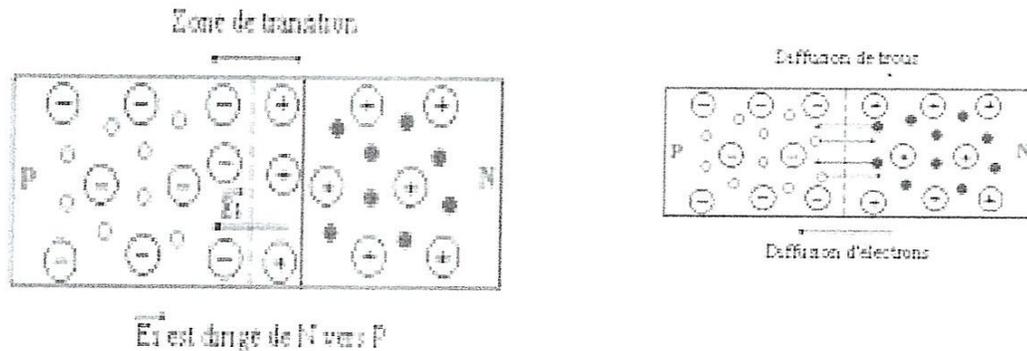


Fig.8 la jonction PN

#### 4. L'effet photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière, les photons constituant la lumière excitent les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches périphériques, appelées aussi électrons libres ont tendance à être arracher. Dans les cellules PV.

Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est basé sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, au rayonnement et à la température ambiante de la cellule. La figure.9 illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée.

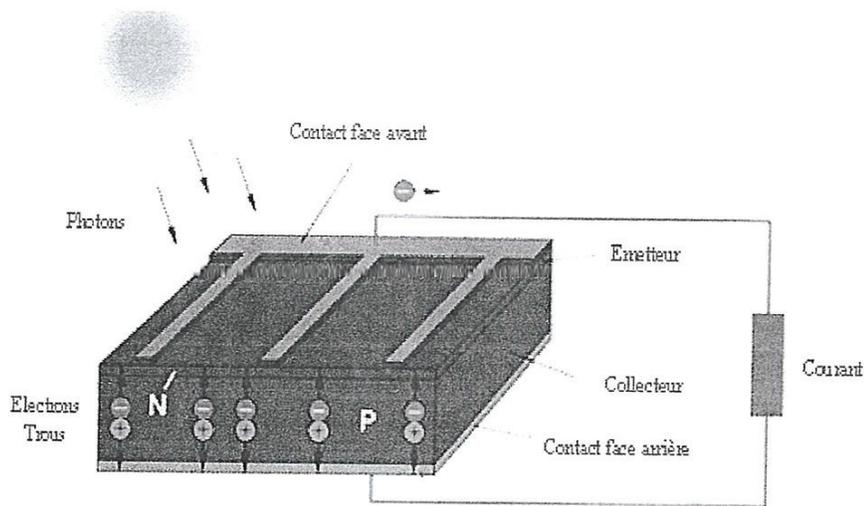


Fig.9 l'effet photovoltaïque

Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12 % avec du silicium polycristallin et enfin 7 à 8 % pour le silicium amorphe en films minces. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque.

# CHAPITRE 02

## 1. Cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé, effet photovoltaïque.

La cellule photovoltaïque est représenté généralement par le symbole suivant:

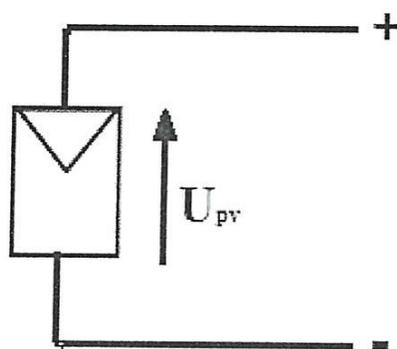


Fig.10 Symbole d'une cellule photovoltaïque

C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité.

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6V.

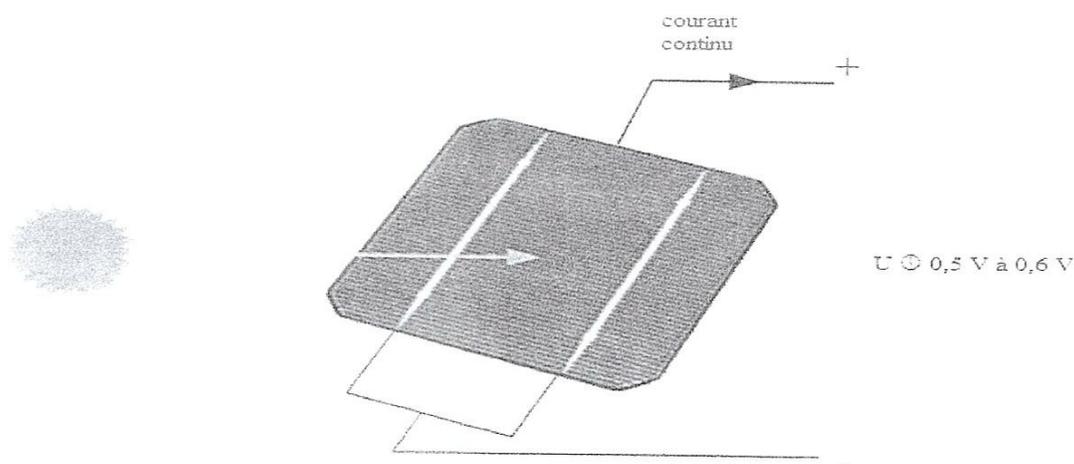


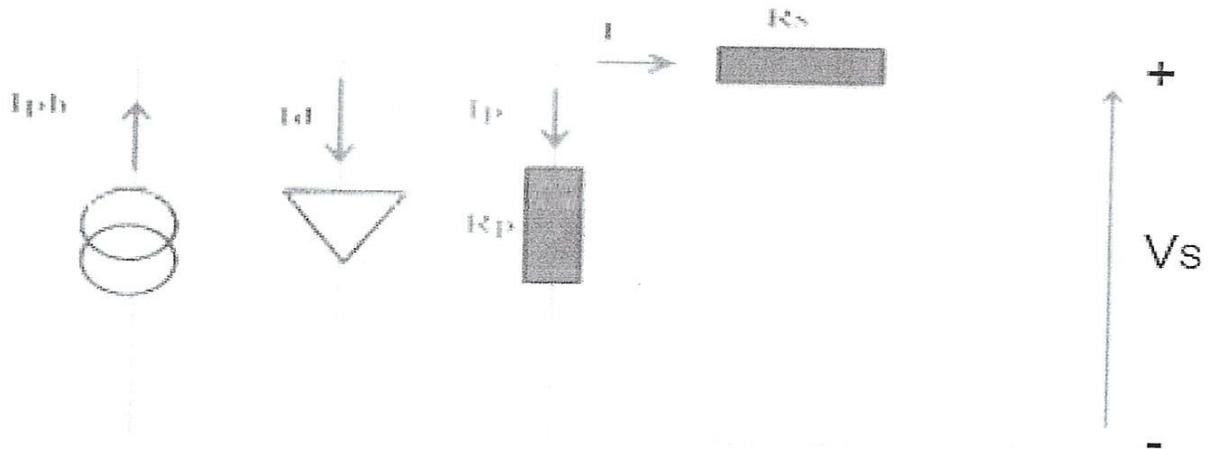
Fig.11 cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur):

- une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P),
- une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N).

### 1.1 Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque peut être modélisée par le schéma électrique équivalent suivant :



**Fig.12** schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque

Tel que :

$I$  : courant fournit de la cellule

$I_{ph}$  : courant photovoltaïque.

$I_d$  : courant de la diode.

$I_p$  : courant de fuite.

$R_s$  : les pertes thermiques

$R_p$  : tension de fuite

$$I = I_{ph} - I_p - I_d$$

3

Les courants électriques  $I_d$ ,  $I_p$  peuvent être exprimé par leur expression d'où :

$$I = I_{PH} \frac{E_s}{1000} + \alpha_P (T - T_{réf}) - I_0 \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad 4$$

Tel que :

$E_s$  : Eclairement ( $w/m^2$ )

$\alpha_P$  : Coefficient de température

K : Constante de Boltzmann [J/K]

n : Jour de l'année

T : Température de la cellule

$T_{réf}$  : Température de référence

V : Tension de la sortie de la cellule

q : Charge électrique

$R_s$  : Résistance en série (les pertes thermiques)

$R_p$  : Résistance en parallèle (tension de fuite)

D'après l'équation.2 le courant électrique fournit par la cellule photovoltaïque, est proportionnelle à l'éclairement, et inversement proportionnelle à la température.

## 2. La caractéristique $I=f(V)$

Le courant électrique fourni par la cellule photovoltaïque en fonction de la tension électrique est représenté par la courbe ci-dessous :

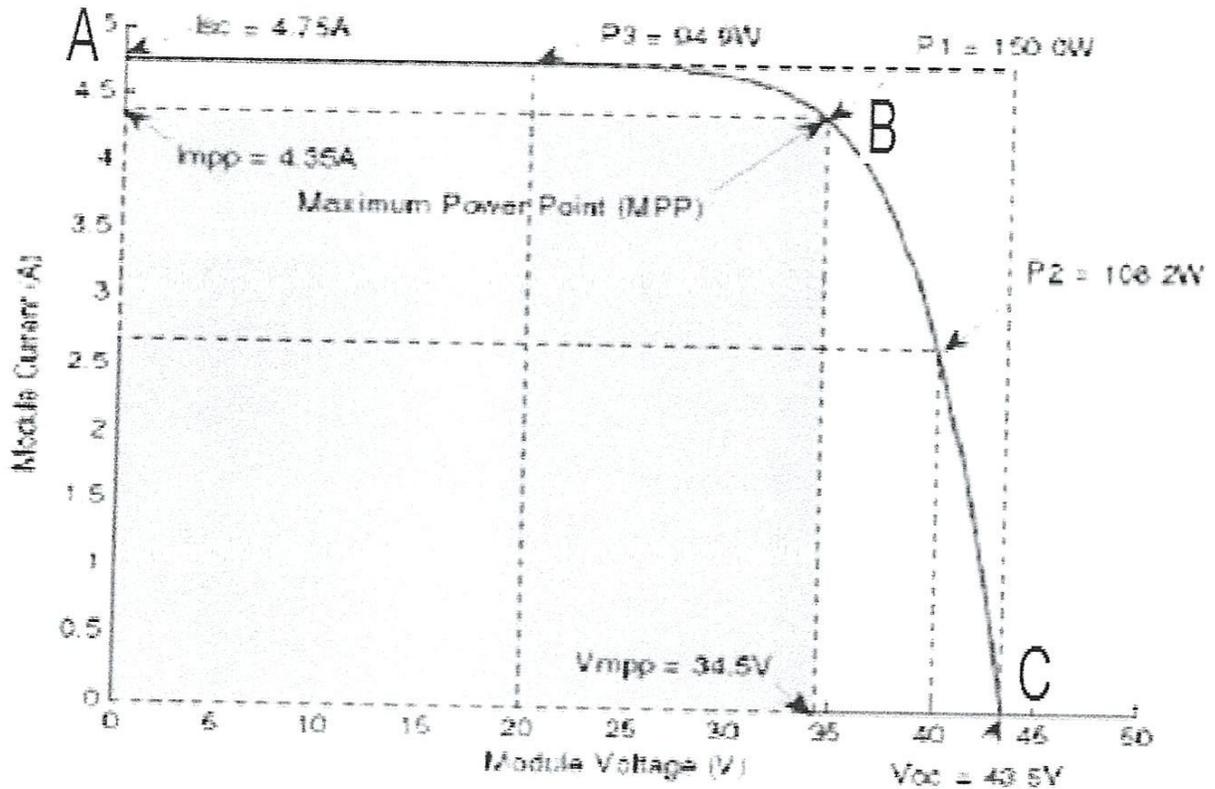


Fig.13la caractéristique  $I=f(V)$

D'après la caractéristique  $I(A)=f(V)$  ci-dessus, figure.13, on remarque trois point caractéristique sur la courbe A, B et C.

- Le point A représenté la court-circuit du cellule,  $I_{Amax}$ ,  $U_A=0$ , d'où  $P_A=0$ .
- Le point C représente la tension à vide de cellule,  $I_C=0$ ,  $U_{Cmax}$ , d'où  $P_C=0$ .

Par contre tous les autre points de la courbe correspond a une puissance bien défini, mais il existe un point ou la puissance est maximale  $P_B$ .

### 2.1. L'effet de l'éclairement

D'après l'équation.4 nous voyons que le courant électrique est proportionnelle à l'éclairement  $E(\text{w/m}^2)$

La figure.14 ci-dessous montre l'effet de l'intensité de l'éclairement de la cellule.

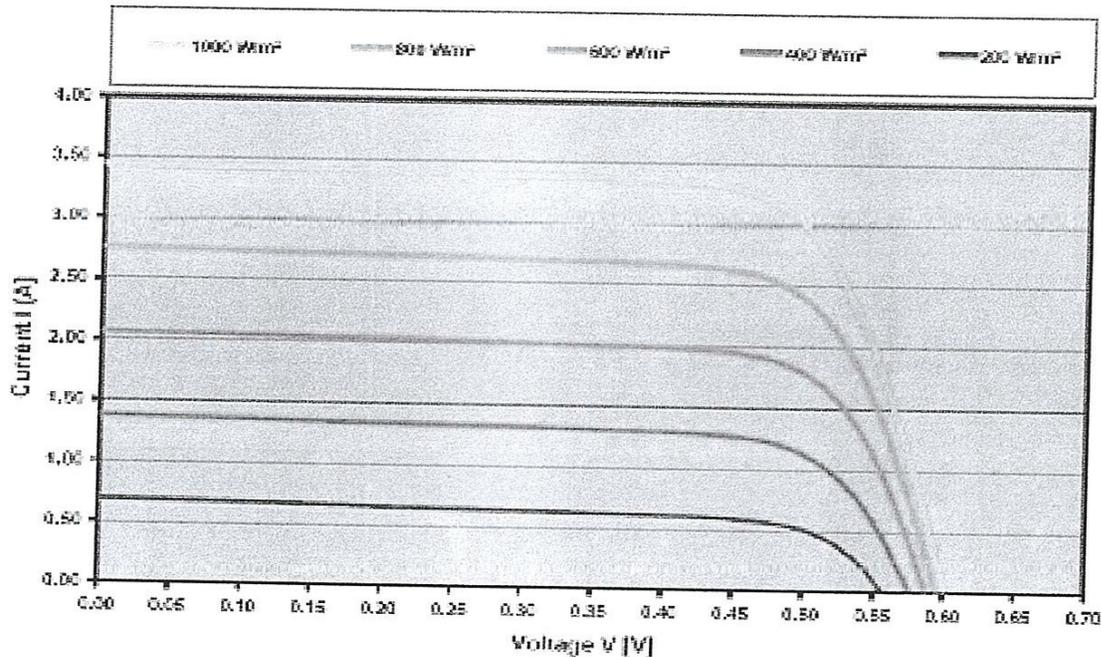


Fig.14 Caractéristique I/V pour différents niveaux de rayonnement

La figure.14 montre que l'augmentation de l'éclairement  $E (\text{w/m}^2)$  entraîne une augmentation l'intensité de courant électrique fournit par la cellule photovoltaïque, ce que montre la famille de courbes.

Dans une cellule monocristalline, la résistance parasite shunt reste assez élevée et la cellule peut fournir une tension correcte même à petits éclairages, pour une cellule polycristalline qui présente une plus faible résistance shunt, la tension peut parfois baisser de manière importante dès que la lumière est en dessous de 30 à 50  $\text{W/m}^2$  (3 à 5% du maximum). Au contraire si une cellule présente une résistance parasite série importante, c'est à lumière élevée que la tension au point de puissance maximale en souffrira le plus : dans ce cas, lorsque l'éclairement baisse, le facteur de remplissage augmente et la courbe devient plus carrée (cas habituel des cellules amorphes).

## 2.2. L'effet de la température

D'après l'équation.4 nous voyons que la tension électrique aux bornes de la cellule est inversement proportionnelle à la température. la figure ci-dessous montre l'effet de la température.

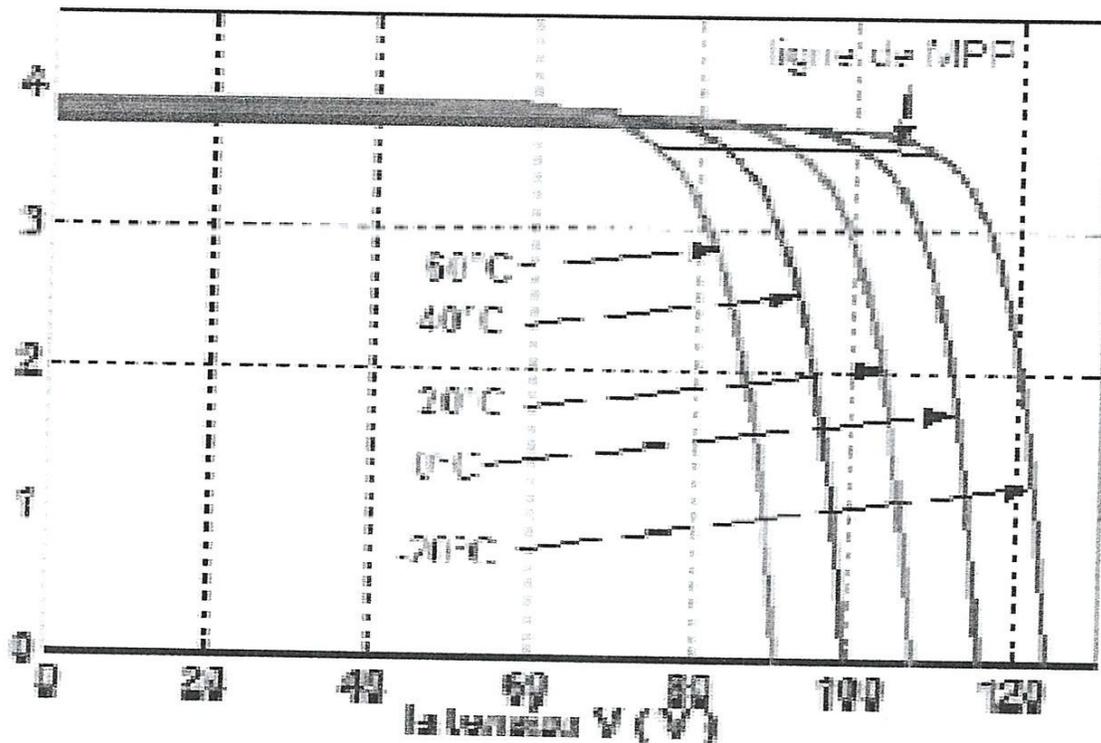


Fig.15 caractéristique I/V de différents niveaux de température

L'augmentation la température ambiante de la cellule photovoltaïque, diminue la tension aux bornes d'elle.

A partir de la courbe  $I=f(V)$  en peut constater que pour des valeurs augmentés de température ( $40^{\circ}$  à  $60^{\circ}$ ) la valeur de la puissance maximale diminue tell que  $MPP=3.5$  (W) mais au contraire pour des valeurs moyennes ( $25^{\circ}C$ ) en voir que la puissance maximale est élevée. On conclut que la température joue grand influence inversible sur la puissance.

### 2.3. La caractéristique de puissance $P=f(U)$

Dans des conditions standards (STD) ; éclairement, perpendiculaire à la surface de la cellule photovoltaïque,  $E=1000\text{w/m}^2$ , la température  $T=25^\circ$ , la courbe de la puissance électrique fournit en fonction de la tension aux bornes d'elle est donnée par la figure.16 ci-dessous.

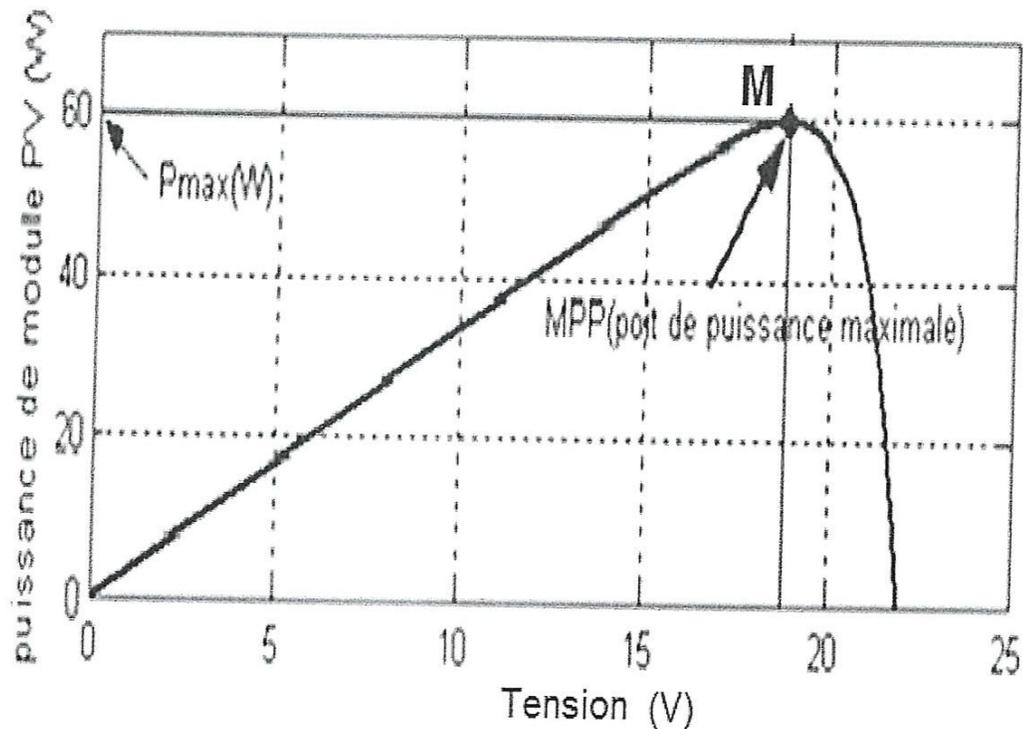


Fig.16 caractéristique puissance -Tension

Chaque point de la courbe  $P=f(U)$  représente une puissance quelconque, alors que le point M correspond à la puissance maximale que peut fournir la cellule, ce qui est préférable que le fonctionnement de la cellule soit au tour du point M.

### 3. Association de cellules :

Pour augmenter la tension électrique on associe en série un ensemble de cellules photovoltaïques.

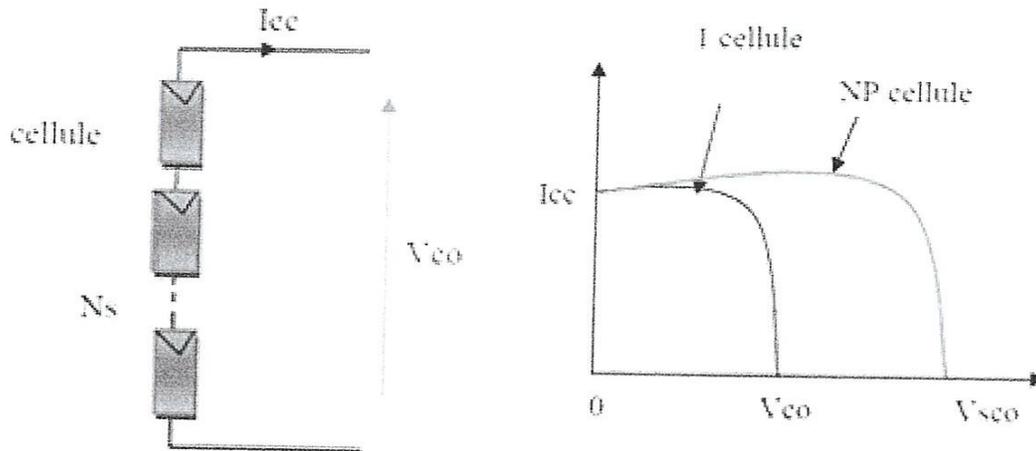


Fig.17 caractéristique courant tension de  $N_s$  cellule en série

Pour avoir une tension électrique de 6V, on associe en série 10 cellules photovoltaïques, et pour avoir 12V on associe 20 cellules photovoltaïques. L'ensemble de cellules photovoltaïques constituent ce qu'on appelle un module photovoltaïque.

Pour des systèmes autonomes chargeant des batteries, la tension nominale est le plus souvent un multiple de 12V, tension de charge prévue pour les panneaux ayant de 33 à 40 cellules. Le choix dans ce cas dépend de la température ambiante du site qui détermine le choix du module, les panneaux à grands nombres de cellules pour les pays chauds, à nombre de cellules plus faible pour les pays tempérés, ensuite on connecte en série le même nombre de panneaux que de batteries 12 V en série.

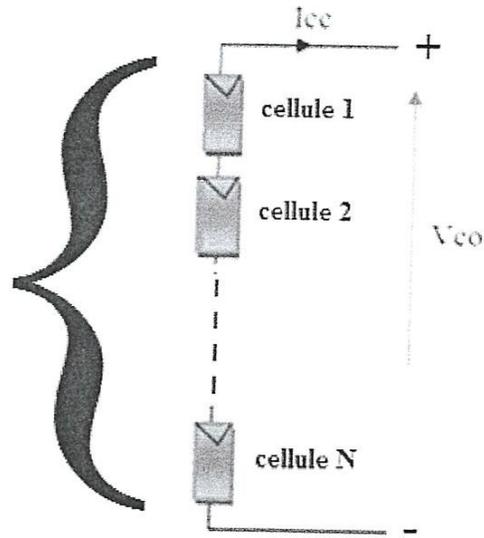


Fig.18 module de cellules photovoltaïques

Pour augmenter la tension électrique d'avantage on associe autant de modules électriques en série. L'association en parallèle de N modules forme ce qu'on appelle un panneau solaire. figure.19. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

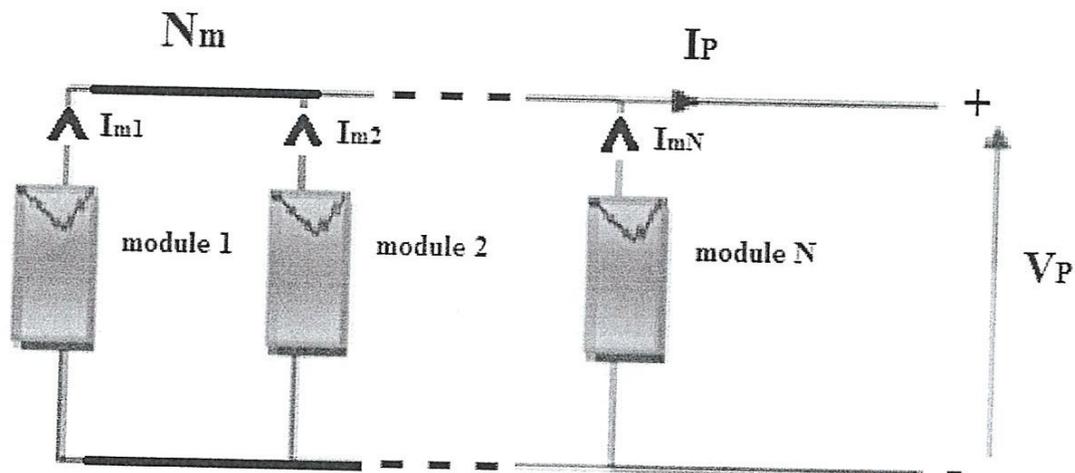


Fig.19 un panneau solaire formé par N modules.

Tel que :

$N_m$  : nombre de modules en parallèle

$I_{m1} \dots I_{mN}$  : le courant électrique de chaque modules

$I_p$  : le courant fournit par le panneau solaire

$V_p$  : la tension électrique aux bornes du panneau solaire.

Notons que le courant électrique fournit par le panneau solaire est égale :

$$I_p = I_{m1} + I_{m2} + I_{mN} \quad 5$$

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de  $N_s$  modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série et en parallèle pour former ce qu'on appelle un panneau solaire photovoltaïque.

Notons que les diodes sont montées en série et en parallèle pour la protection des modules et le panneau solaire contre les court circuits et les chutes de la tension, du aux diminutions de l'éclairement.

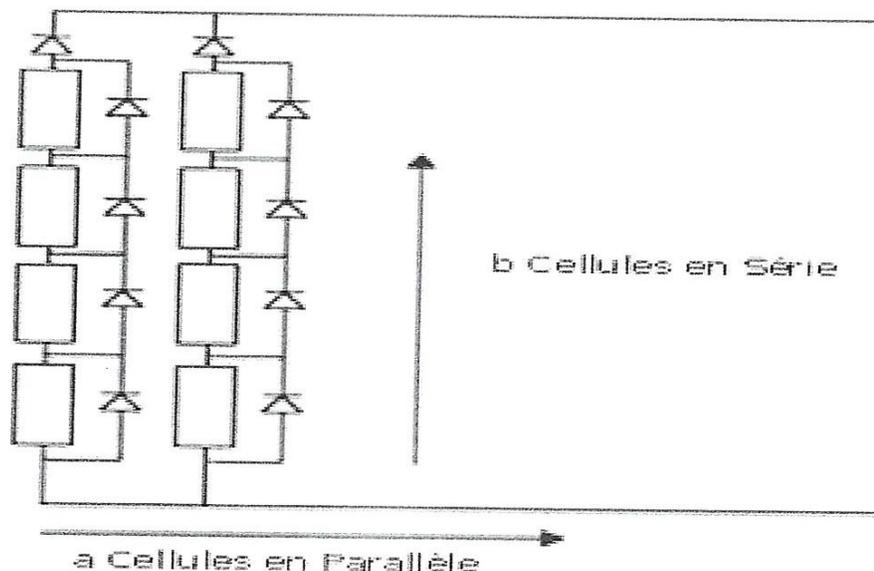


Fig.20 groupement de b cellules en série et a cellules en parallèle

# CHAPITRE 03

## 1. Introduction

La puissance délivrée par un GPV dépend fortement du niveau d'ensoleillement, de la température du milieu ambiant, et de la nature de la charge alimentée. Comme nous l'avons déjà vu dans les chapitres précédents, la courbe caractéristique de puissance,  $P(w)=f(V)$ , du GPV présente un point de puissance maximale MPP (Maximum Power Point) correspondant à un certain point de fonctionnement de coordonnées  $P_{MPP}$  et  $V_{MPP}$ . C'est pour ça qu'il faut concevoir un régulateur ; appelé MPPT qui doit veiller à garder la puissance fournie par le générateur maximale au tour du point MPP. Ce régulateur doit être monté entre le panneau solaire et la charge, voir figure.21 ci-dessous.

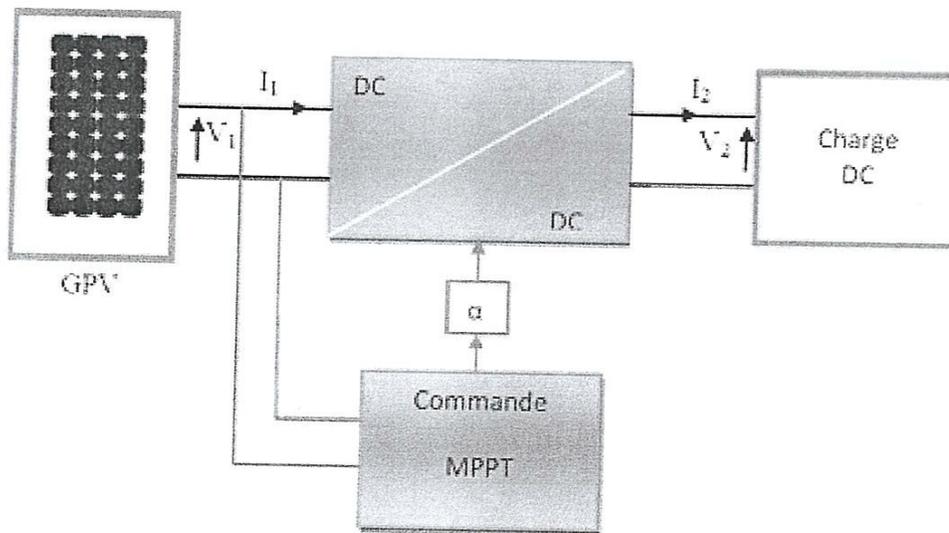


Fig.21 Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque

Un régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracker) doit suivre le maximum de puissance à fournir à la charge. Le MPPT n'est qu'un convertisseur DC-DC. Système de conversion de puissance muni d'un algorithme de contrôle approprié permettant d'extraire le maximum de puissance que le GPV peut fournir.

Les premières utilisations du MPPT remontent à 1968 dans le cadre d'applications spatiales ayant pour générateur électrique des panneaux photovoltaïques. Le développement du MPPT a constitué un thème techniquement attrayant, si bien que finalement, un grand nombre de procédures et techniques ont été développés. Elles varient en complexité, capteurs nécessaires, vitesse de convergence, coût, efficacité, matériel pour la réalisation, etc.

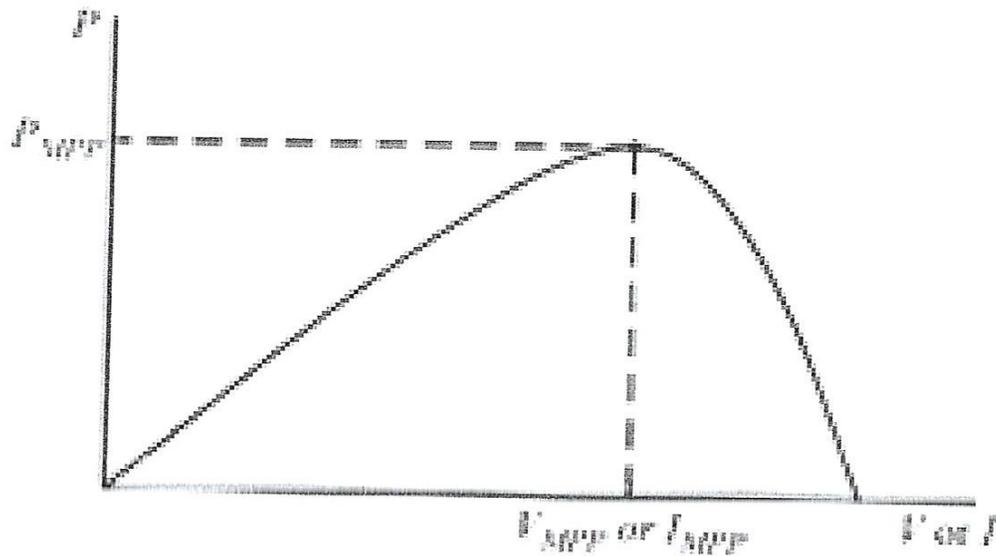


Fig.22 Courbe caractéristique de puissance d'un GPV

## 2. Les convertisseurs continu-continu

Les convertisseurs continu-continu DC/DC, ont pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension d'entrée peut être un réseau alternatif redressée et filtré, une batterie d'accumulateurs, une alimentation stabilisée.

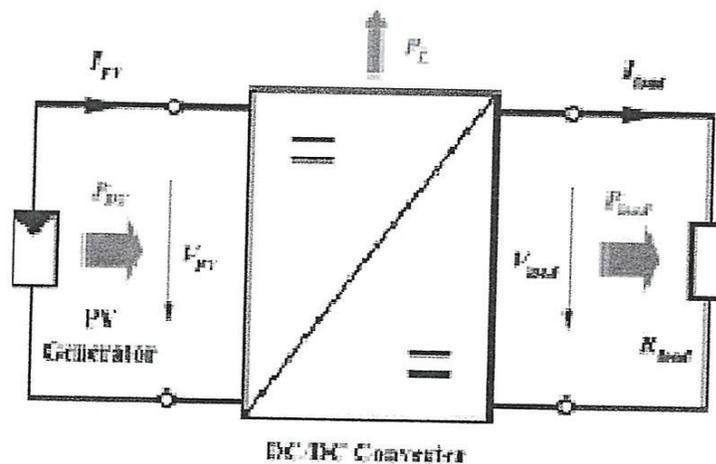


Fig.23 convertisseur DC/DC

On distingue deux types de convertisseurs DC/DC. Ceux qui sont non isolés, que l'on appelle hacheurs, et ce qui comportent un transformateur assurant l'isolation galvanique.

## 2.1. Analyse de fonctionnement du convertisseur DC/DC

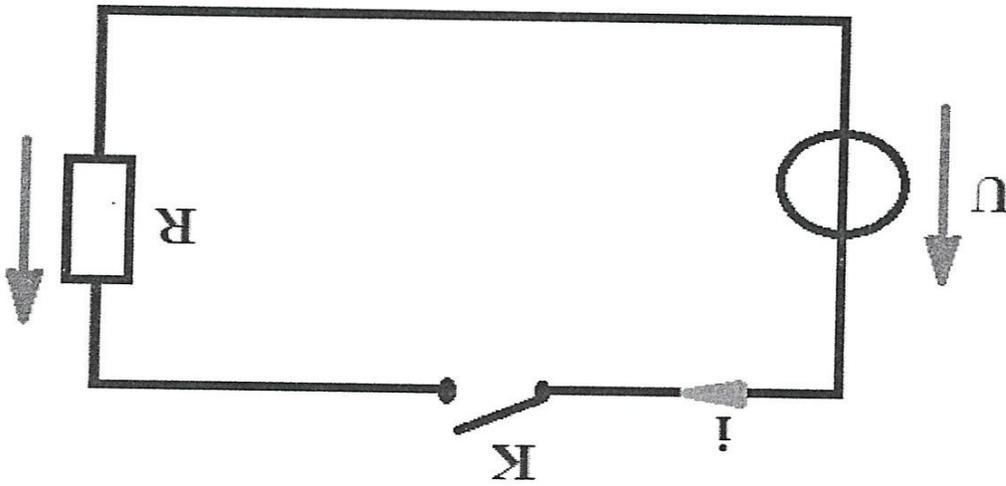


Fig.24 schéma électrique d'un convertisseur DC/DC.

Le fonctionnement du convertisseur DC/DC est représenté par l'allure suivante :

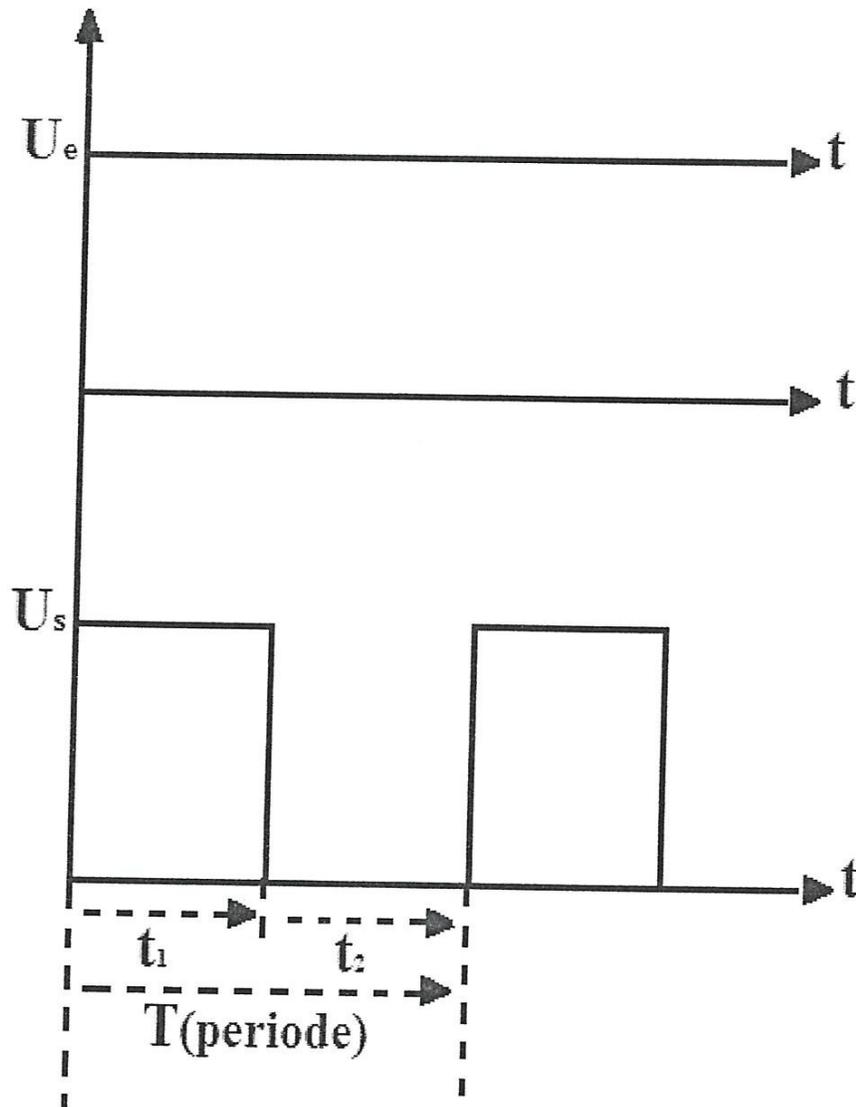


Fig.25 l'allure de fonctionnement d'un convertisseur DC/DC

Tel que :

$t_1$  : temps de conduction.

$t_2$  : temps de fermeture de l'interrupteur.

$T(s)$ : la période:

$$T = t_1 + t_2 \quad 6$$

$\alpha$  :le rapport cyclique :

$$\alpha = \frac{t_1}{T} \quad 7$$

Si  $t_1=t_2 \Rightarrow \alpha = \frac{1}{2}$

En réalité l'interrupteur (k) n'est qu'un transistor de puissance qui fonctionne en régime de commutation :

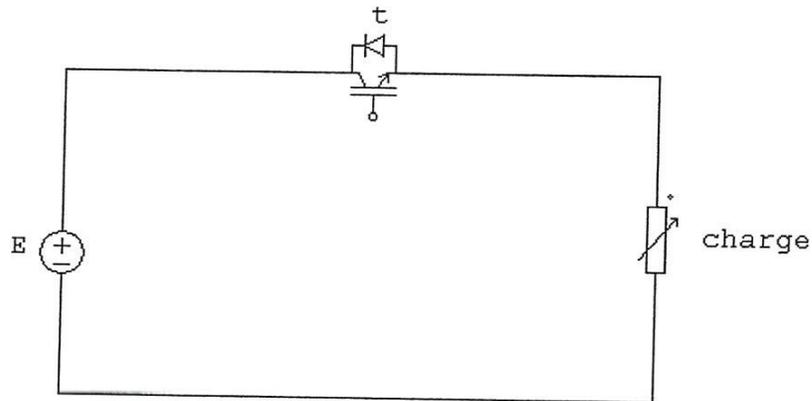


fig.26 schéma montre la présence du transistor comme un interrupteur.

On pratique on utilise une inductance  $L$  (mH) en série avec le transistor, appelée inductance de lissage pour assurer la continuité du courant électrique :

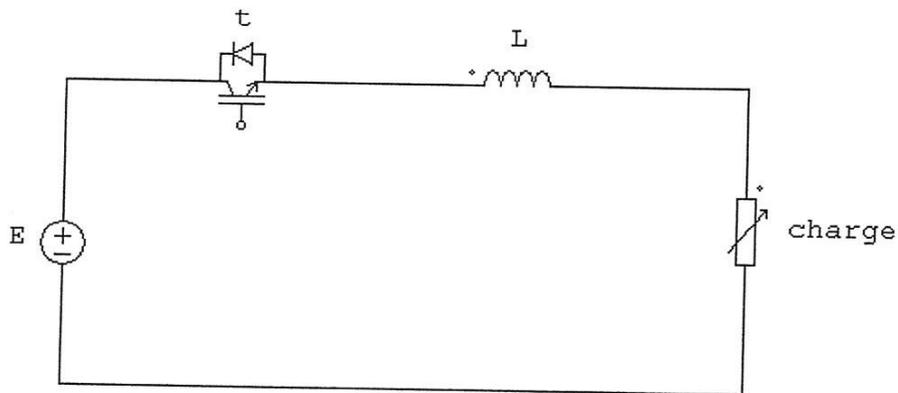


Fig.27 schéma montre la présence de l'inductance en série avec le transistor

Et de même on utilise une diode en parallèle appelée diode de roue libre pour protéger le transistor lors de la commutation.

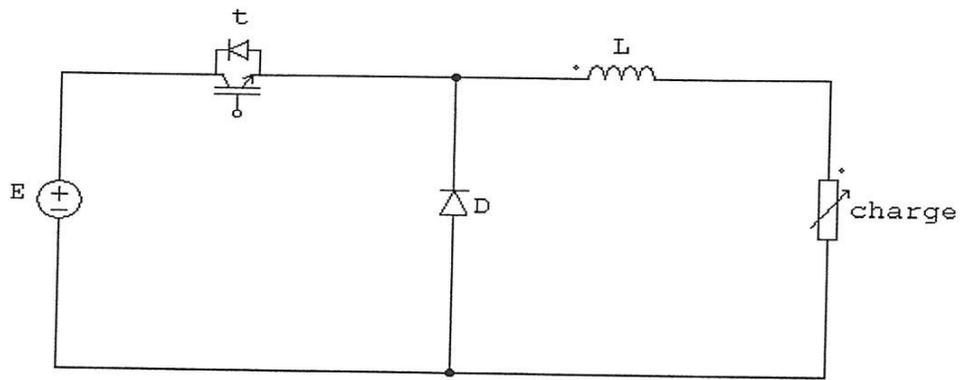


Fig.28 schéma électrique montre la présence d'une diode pour la protection.  
Et de plus il faut ajouter une capacité de filtrage, d'où le schéma électrique général.

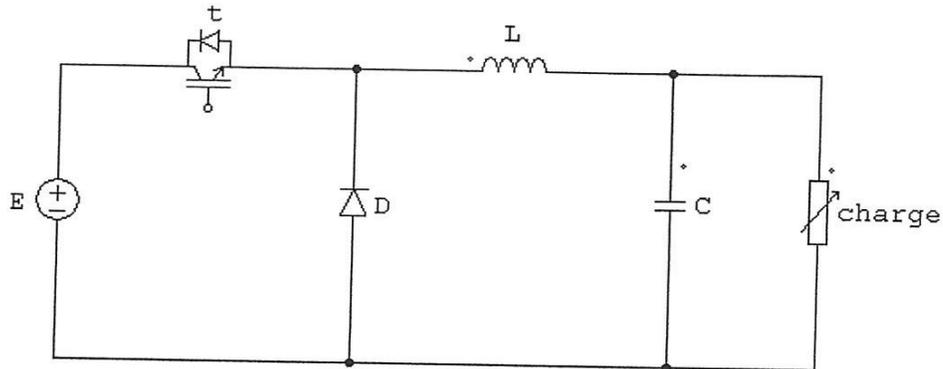


Fig.29 schéma électrique général du convertisseur DC/DC

**2.2 Convertisseur DC/DC abaisseur de tension appelé (Buck converter)**

Un convertisseur abaisseur de tension ou hacheur série, est une alimentation continue qui fournit une tension continue à la sortie qui est inférieure à la tension d'entrée avec un rapport bien déterminé, appelé rapport cyclique.

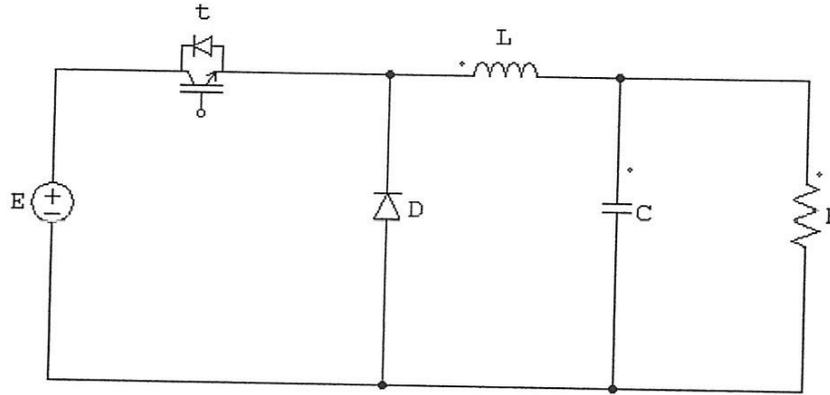


Fig.30 convertisseur DC/DC abaisseur de tension

**2.2.1 Principe de fonctionnement**

Le fonctionnement du convertisseur DC/DC abaisseur de tension est représenté dans l'allure suivante :

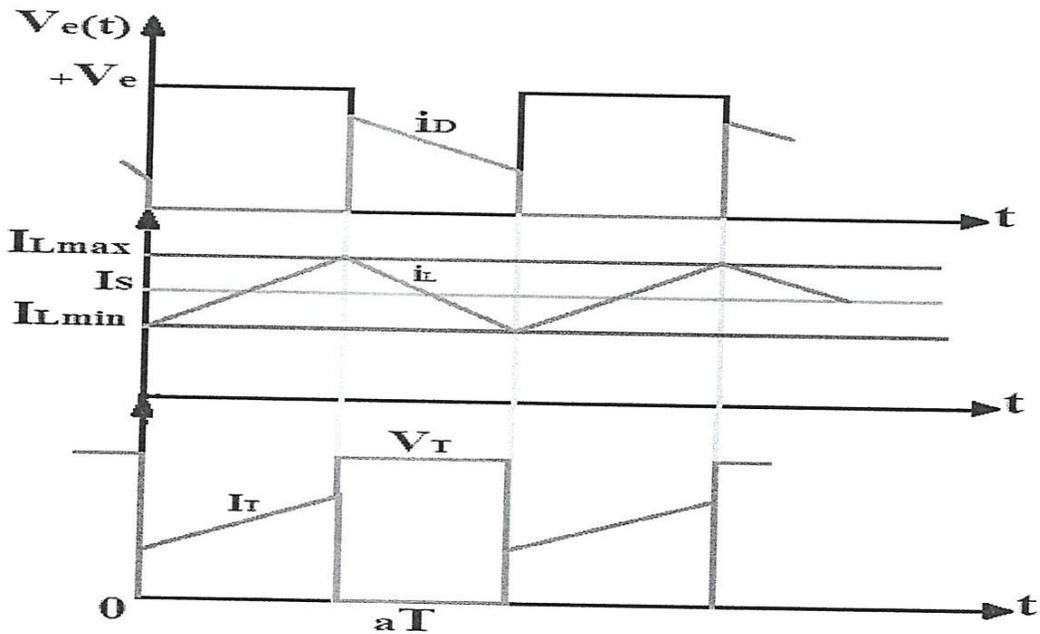


Fig.31 fonctionnement de convertisseur DC/DC abaisseur de tension

### 2.2.2 Simulation de convertisseur DC/DC dévolteur (abaisseur de tension)

Le circuit de simulation d'un convertisseur DC/DC sous Psim est donné par le schéma suivant :

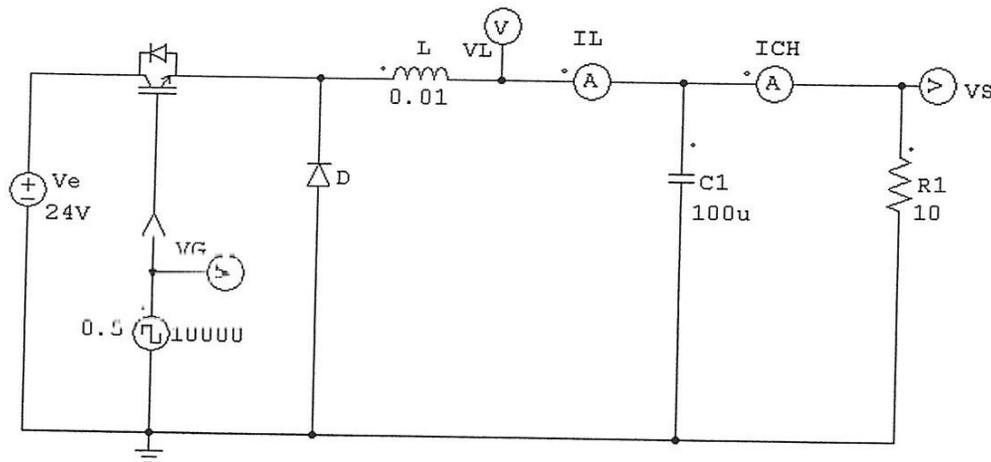


Fig.32 simulation d'un convertisseur DC/DC avec Psim

On fait la simulation de convertisseur DC/DC avec une fréquence  $f=1000$  Hz, et rapport cyclique  $\alpha = 0,5$ , alimente une charge une charge de  $R=10\Omega$  le schéma de la figure.10 dans la page suivante montre les formes d'onde de courant de charge  $I_{ch}$ , le courant de l'inductance  $I_L$ , la tension de générateur  $V_G$  et la tension de sortie.

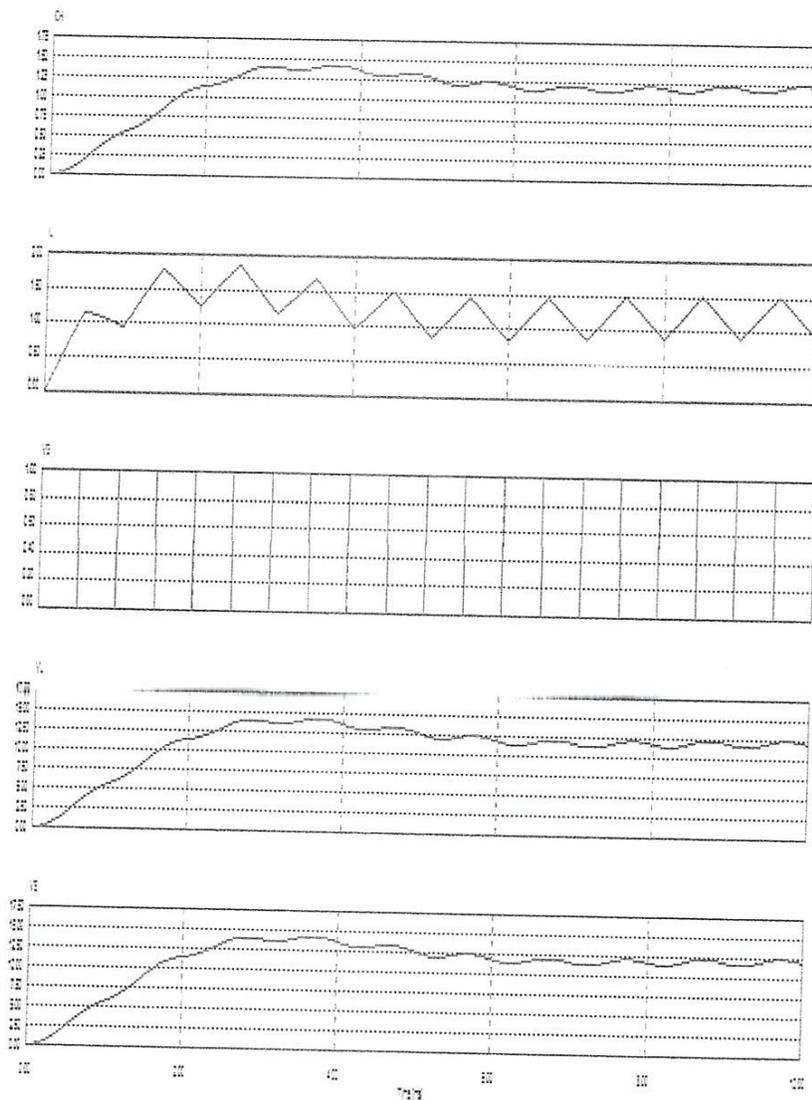


Fig.33 : simulation de fonctionnement d'un convertisseur DC/DC dévolteur avec psim.

On remarque à partir la forme d'onde de courant de l'inductance  $I_L$ , que  $\Delta L = L_{\max}$

- $L_{\min}$  est plus élevé et pour ça on fait la simulation de les mêmes.

Donnés précédents mais avec une fréquence  $f=10$  KHZ (figure11).

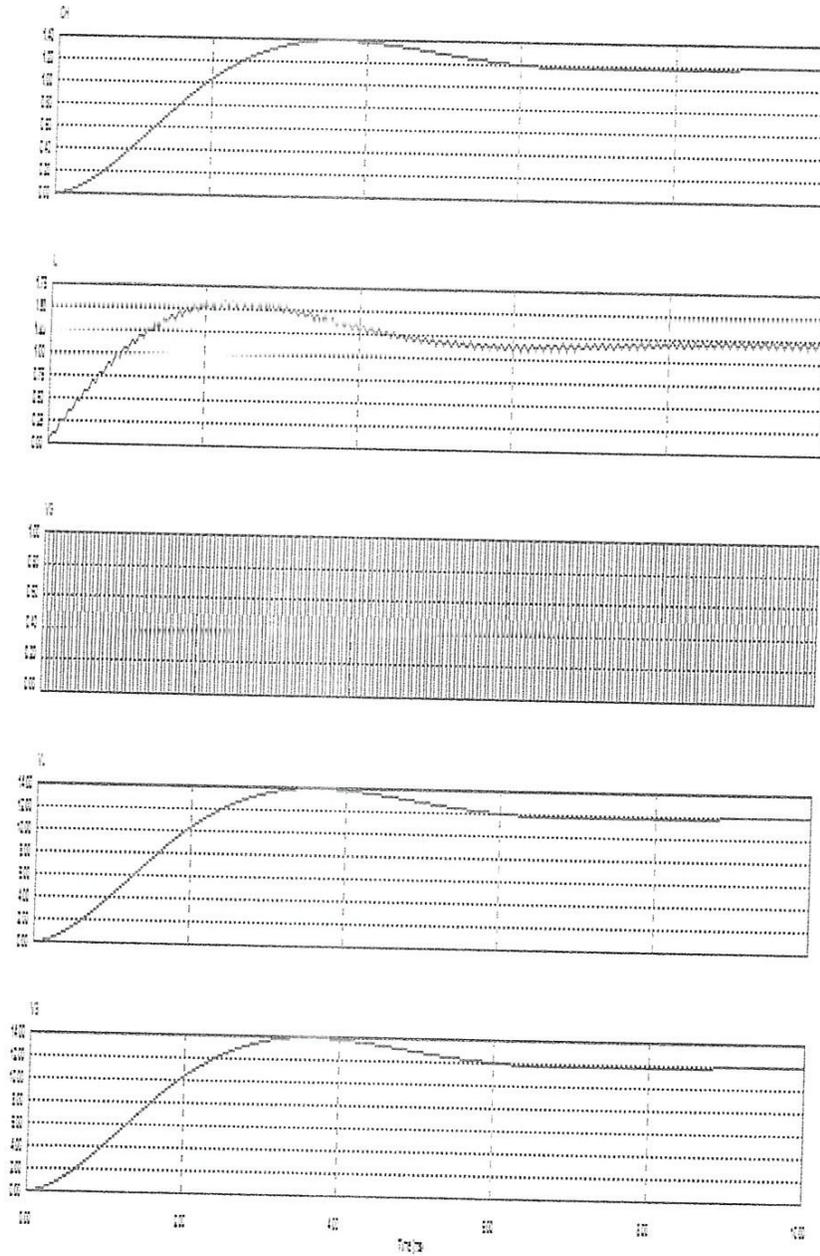


Fig.34 simulation de fonctionnement d'un convertisseur DC/DC dévolteur avec Psim F=10KHZ



En fin on distingue deux modes de fonctionnement selon que le courant dans l'inductance  $L$  ( $i_L(t)$ ) est continu ou discontinue ; on déduit les caractéristiques de la figure.36.

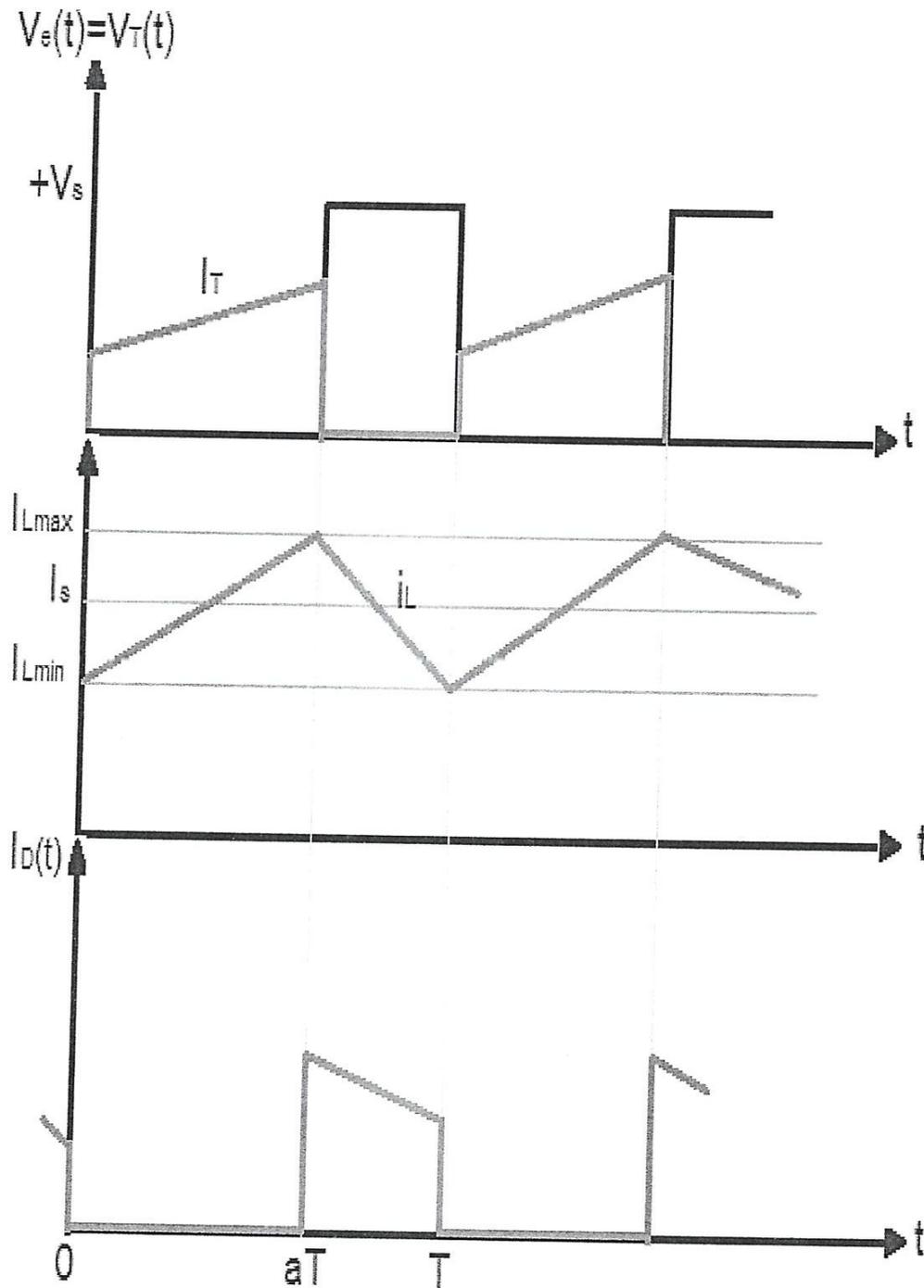


Fig.36 Les caractéristique de fonctionnement de convertisseur DC/DC survolteur

### 2.3.2 Simulation de convertisseur DC/DC survolteur de tension avec Psim

Le schéma de simulation d'un convertisseur DC/DC survolteur avec Psim est représenté dans la figure suivante :

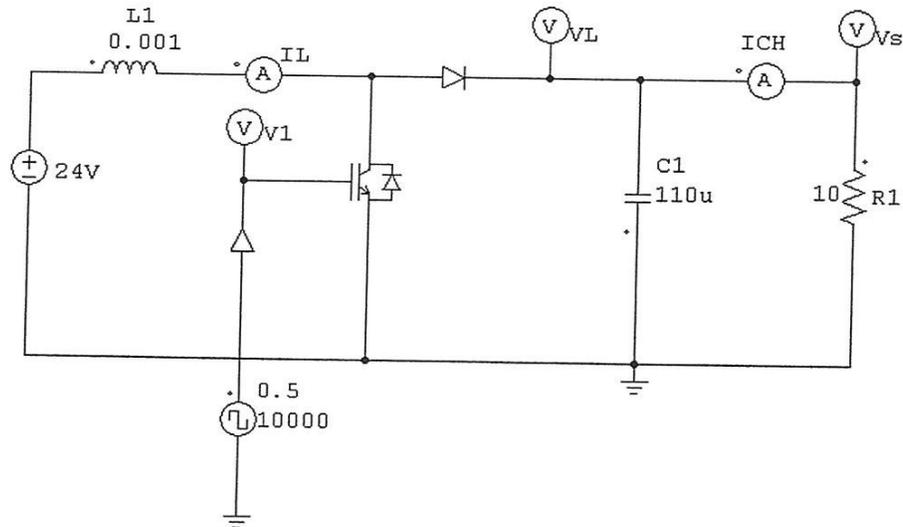


Fig.37 schéma électrique d'un convertisseur survolteur simulé avec psim

On a fait la simulation de convertisseur DC/DC survolteur avec une fréquence  $f=10\text{KHZ}$  et une tension d'entrée  $V_e=24\text{v}$  tel que l'inductance  $L=0.001\text{ H}$ , et la capacité  $C = 110\text{u}$ , une charge  $R=10\Omega$ , rapport cyclique  $\alpha = 0.5$  ; les formes d'ondes de courant de l'inductance  $I_L$ , le courant de charge  $I_{ch}$  et la tension aux bornes de l'inductance  $V_L$  et la tension de sortie  $V_s$

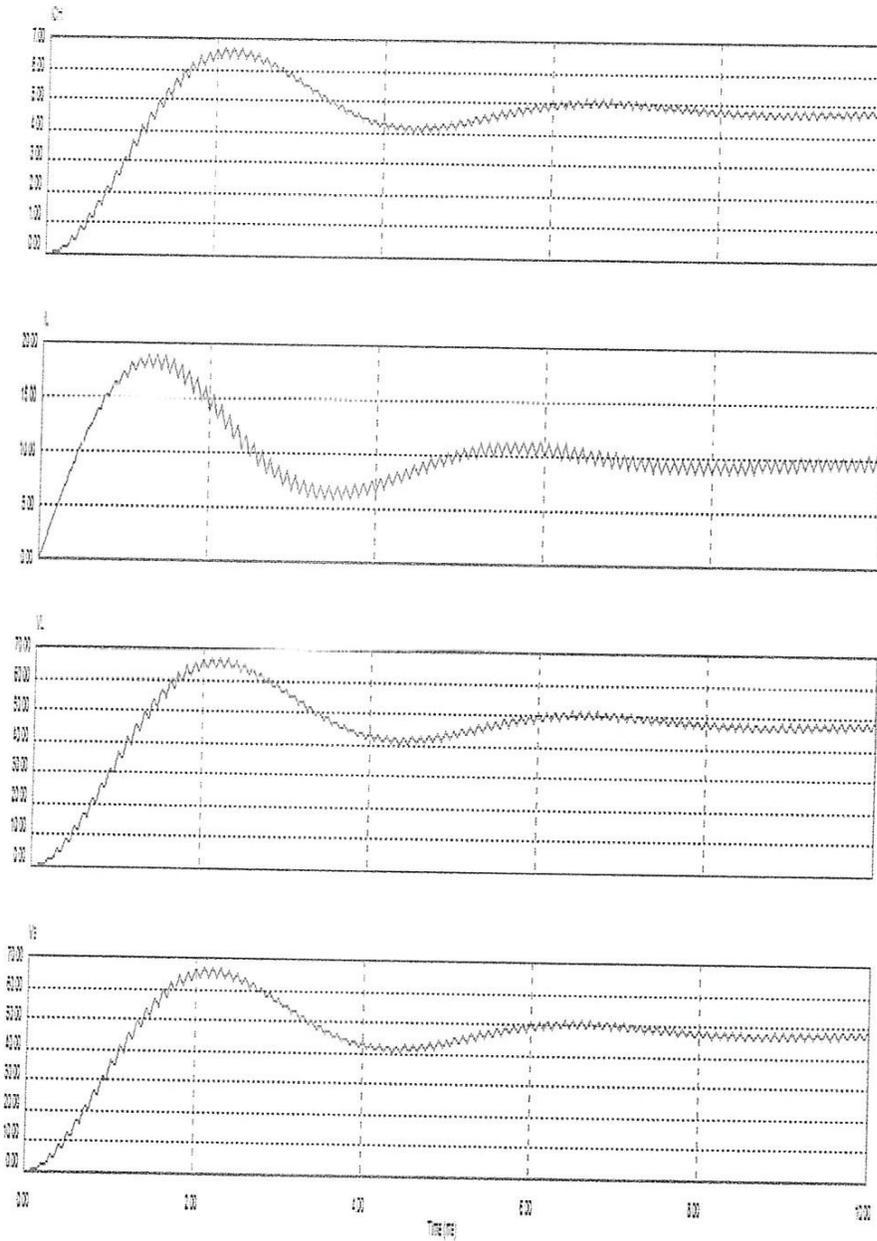


Fig.38 les formes d'ondes de la tension  $V_L$ ,  $V_S$  les courants  $I_{ch}$  d'un convertisseur DC/DC survolteur simulé avec psim.

### 3. Concept de MPPT

#### 3.1. Définition de la commande MPPT

Par définition, une commande MPPT c'est un régulateur, associé à un étage intermédiaire entre un système PV d'adaptation (figure.39), qui veille à suivre la puissance électrique fournie par le panneau PV au tour d'un point qui correspond au maximum de puissance.

Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques, température ( $T^\circ$ ) et l'éclairement  $E$  ( $w/m^2$ ) la commande du régulateur MPPT place le système au point de fonctionnement maximum.

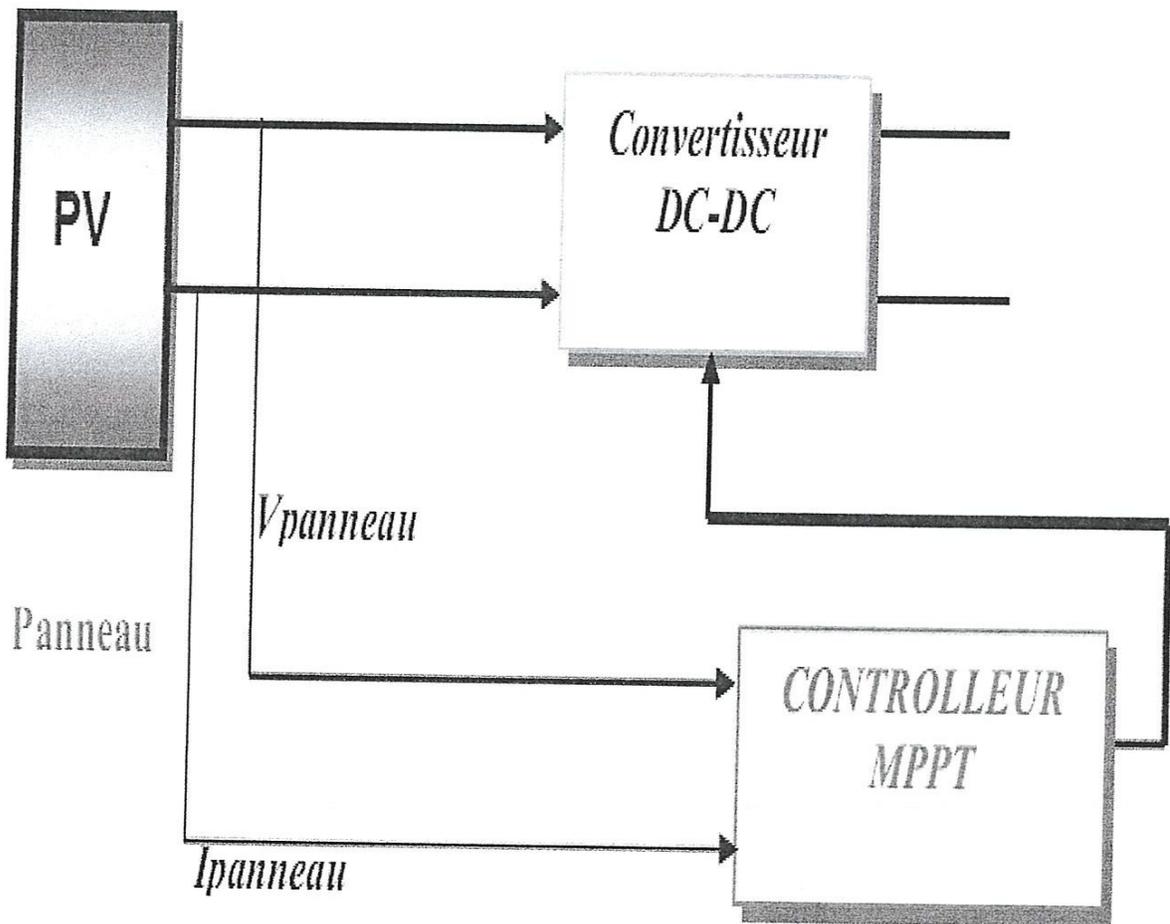


Fig.39 commande mppt associé à un convertisseur DC/DC

### 3.2. Principe de la recherche du point de puissance maximale(MPPT) :

La chaîne de puissance d'un GPV ou une charge DC est alimentée par un générateur à travers un convertisseur DC/DC commandé par une MPPT peut être représentée comme indiquée sur la figure.40 :

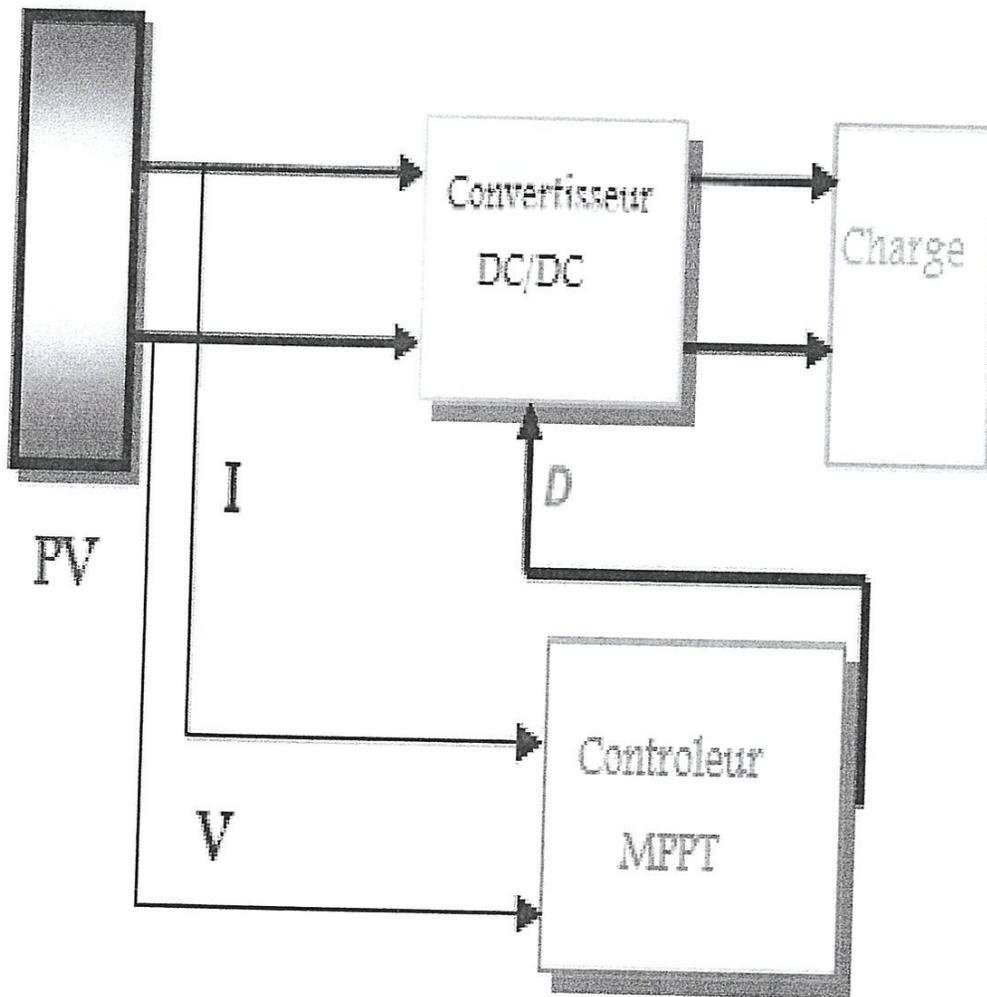


Fig.40 chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC contrôlé par une commande MPPT sur charge DC

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur DC/DC de telle sorte que la puissance fournie par le GPV soit  $P_{max}$  disponible à ses bornes. Le rapport cyclique est donné par :

$$\alpha = \frac{V_s}{V_e}$$

Tel que

$\alpha$  : Le rapport cyclique

$V_s$  : La tension de sortie du convertisseur DC/DC

$V_e$  : La tension d'entrée.

L'algorithme MPPT en général il est basé sur la variation du rapport cyclique ( $\alpha$ ) de la hacheur jusqu'à se placer le PPM en fonction des évolutions des paramètres d'entrée du convertisseur DC/DC ( $I_{pv}$  et  $V_{pv}$ ).

Un MPPT (Maximum Power Point Tracking) est un régulateur permettant de suivre, le point de puissance maximale d'un générateur PV. En conséquence, pour un même éclairage, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant.

Cette structure correspond à un système plus communément appelé système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie servant de stocke l'énergie pour une charge qui ne supporte pas les fluctuations de tension. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui lui permet de rechercher le PPM que peut fournir un panneau solaire photovoltaïque. L'algorithme de recherche MPPT peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implantation choisi et des performances recherchées. Cependant au final, tous les algorithmes performants doivent jouer sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé.

Pour assurer le fonctionnement d'un GPV a son point de puissance maximale (PPM),des contrôleur MPPT sont utilisés ,ces contrôleurs sont destinés a minimiser l'erreur entre la Puissance de fonctionnement et puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques baser sur des méthode optimale.

## 4. Les méthodes utilisées dans la réalisation de fonctionnement de la commande MPPT

Il existe deux méthodes principales de la réalisation de commande mppt :

- la méthode de perturber et observer
- la méthode de la conductance incrémentale.

### 4.1 La méthode perturber et observer

Elle consiste à perturber les grandeurs d'entrée ( $I_{pv}$ ,  $V_{pv}$ ), les mesure et les compare avec les grandeurs de référence ( $I_{OPT}$ ,  $V_{OPT}$ ), à fin de déterminer la loi de commande du convertisseur DC/DC qui permet d'avoir le maximum de puissance.

D'abord la tension  $V_i$  et le courant  $I_i$  sont mesurés pour calculer la puissance  $P_i(k)$ . Cette valeur  $P_i(k)$  est comparée à la valeur de la puissance obtenue durant la dernière mesure  $P_i(k-1)$ . Si la puissance fournie par le panneau a augmenté depuis la dernière mesure, l'incrémentalation ou les incrémentalations du rapport cyclique  $\alpha$  continuera dans le même sens que lors dernier cycle et ceci est fait par le test sur  $dV$ .

Si  $dV > 0$  cela veut dire qu'on a incrémenté  $V$  durant le dernier cycle c'est-à-dire :

$$D_{(k+1)} = D_k + \Delta D$$

Si  $dV < 0$  cela veut dire qu'on a décrémenté  $V$  durant le dernier cycle c'est-à-dire qu'on va mettre :

$$D_{(k+1)} = D_k - \Delta D$$

Donc on termine dans le chemin ou  $p$  continue à augmenter. Si la puissance fournie par le panneau a diminué depuis la dernière mesure, l'incrémentalation ou la des incrémentalations du rapport cyclique sera en sens inverse par rapport au dernier cycle et ceci est fait aussi par le test sur  $dV$ . Avec cet algorithme la tension de fonctionnement  $V$  est perturbée avec chaque cycle. Dès que le MPP sera atteint,  $V$  oscillera autour du point de fonctionnement idéal ( $V_{mp}$ ). Mais ceci cause des pertes de puissances qui dépendent de la largeur du pas d'une simple perturbation  $\Delta D$ .

Si la largeur du pas est grande, l'algorithme de MPPT répondra rapidement aux changements soudains et rapides des conditions de fonctionnement mais occasionnera des pertes des conditions changeantes lentement et dans les états stables.

Si la largeur du pas est très petite les pertes dans les états stables ou les conditions changeantes lentement seront réduites, mais le système aura une réponse lente aux changements rapides de la température ou d'insolation.

La valeur pour largeur idéale du pas du système ne peut être déterminée qu'expérimentalement ou par simulation, est ainsi satisfaisant un compromis entre la réponse rapide et la perte de puissance dans les états stables.

Si une augmentation brutale de l'ensoleillement est produite on aura une augmentation de la puissance du panneau, l'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui l'éloigne du vrai point de puissance maximale. Ce processus continu jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement ou il revient au vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance.

Ces changements atmosphériques sont souvent produits dans les véhicules solaires par le passage dans l'ombre des végétations et des bâtiments ainsi que le changement de l'angle de l'ensoleillement.

4.1.1 L'algorithme perturbation et observation

La méthode perturbation et observation peut être résumé dans un algorithme selon l'organigramme qui est dans la page suivante :

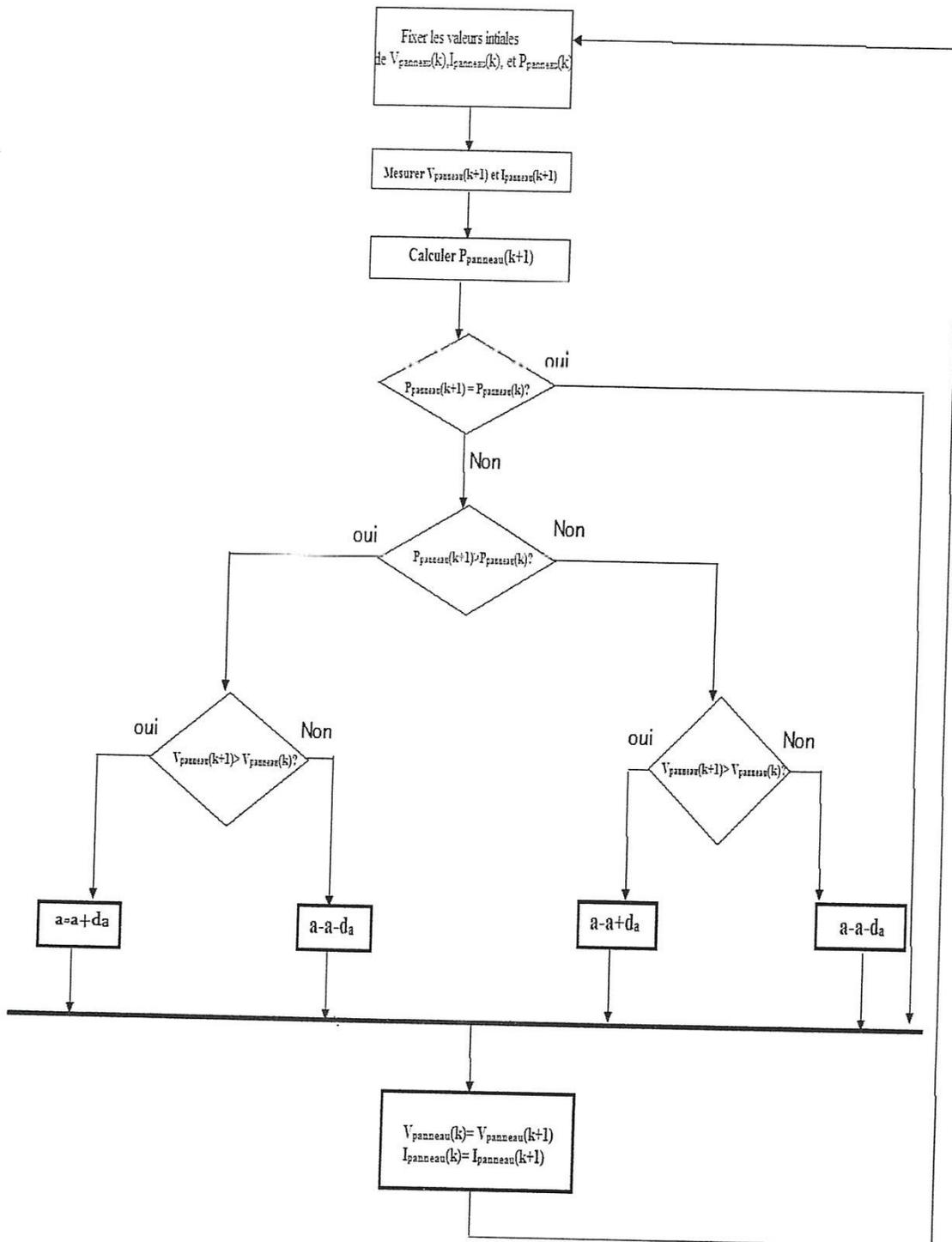


Fig.41 diagramme fonctionnel algorithme 'perturbation et observation'

#### 4.2 Méthode de la conductance incrémentale(INC):

Cette méthode est parmi les solutions proposées pour éviter les problèmes de la méthode *P&O*, elle consiste à établir une relation qui lie directement la variation de la puissance en fonction de la tension, de cette façon, la recherche du *PPM* sera établie indépendamment des caractéristiques du panneau solaire et des composants électroniques, ce qui confère à cette méthode une plus grande fiabilité.

La conductance  $G$  est une grandeur physique relativement connue, il s'agit du quotient de l'intensité par la tension. La conductance incrémentielle est beaucoup plus rarement définie, il s'agit du quotient de la variation, entre deux instants, de l'intensité par celle de la tension.

En comparant la conductance  $G$  à la conductance incrémentielle  $\Delta G$  nous allons chercher le maximum de la courbe (Figure.42) en employant les équations ci-dessus pour chercher le point d'annulation de la dérivée de la puissance.

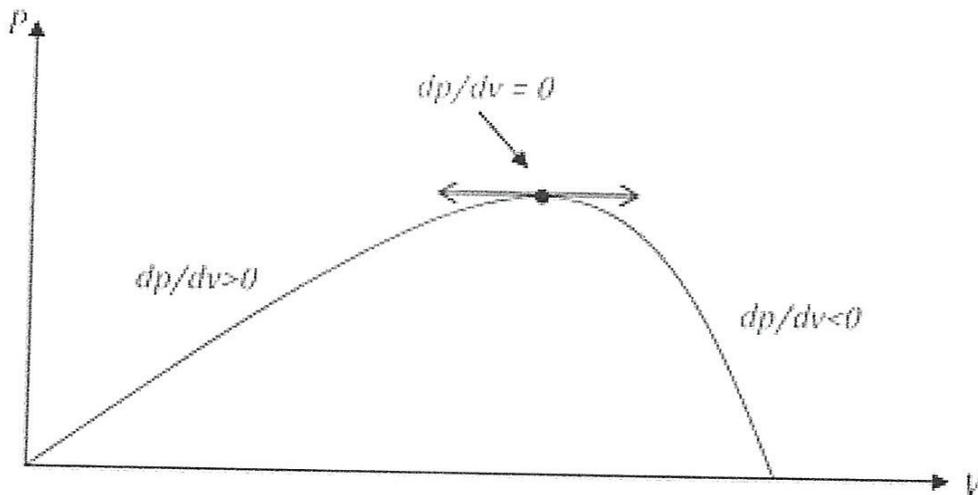


Fig.42 Evolution de la puissance en fonction de la tension.

Numériquement, il est possible de calculer  $G$  et  $\Delta G$  à partir des mesures de  $I_{pv}(k)$ ,  $I_{pv}(k-1)$ ,  $V_{pv}(k)$ ,  $V_{pv}(k-1)$  en supposant que  $dI_{pv} \approx \Delta I_{pv} = I_{pv}(k) - I_{pv}(k-1)$  et  $dV_{pv} \approx \Delta V_{pv} = V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1)$ ; et dans une moindre mesure de la distance au *PPM*, on déduit sa direction par rapport au point de fonctionnement présent. De cette façon, la direction de convergence sera donc toujours connue, ce qui est un avantage par rapport à la technique *P&O* présentée précédemment, en particulier lorsque l'ensoleillement varie rapidement.

Toutefois cette méthode pose un problème, et il peut être plus difficile de la mettre en application que les méthodes précédentes parce qu'elle implique des divisions dans lesquelles le dénominateur peut être égal à zéro, c'est dans le cas où le système est effectivement au *PPM*. Dans ce cas-là, le rapport cyclique n'a pas été modifié et donc la tension  $V$  est restée constante ( $dV_{pv} = 0$ ), et la conductance incrémentielle  $\Delta G = dI_{pv} / dV_{pv}$  n'est pas alors définie, on passe à l'observation des variations du courant  $I_{pv}$  et on déduit les variations de  $V_{pv}$  à provoquer pour maintenir le système à son *PPM*.

4.2.1 L'algorithme de la méthode de la conductance incrémentielle

On peut résumer le travail de la méthode de conductance incrémentielle dans l'organigramme de l'algorithme qui est dans la page suivante :

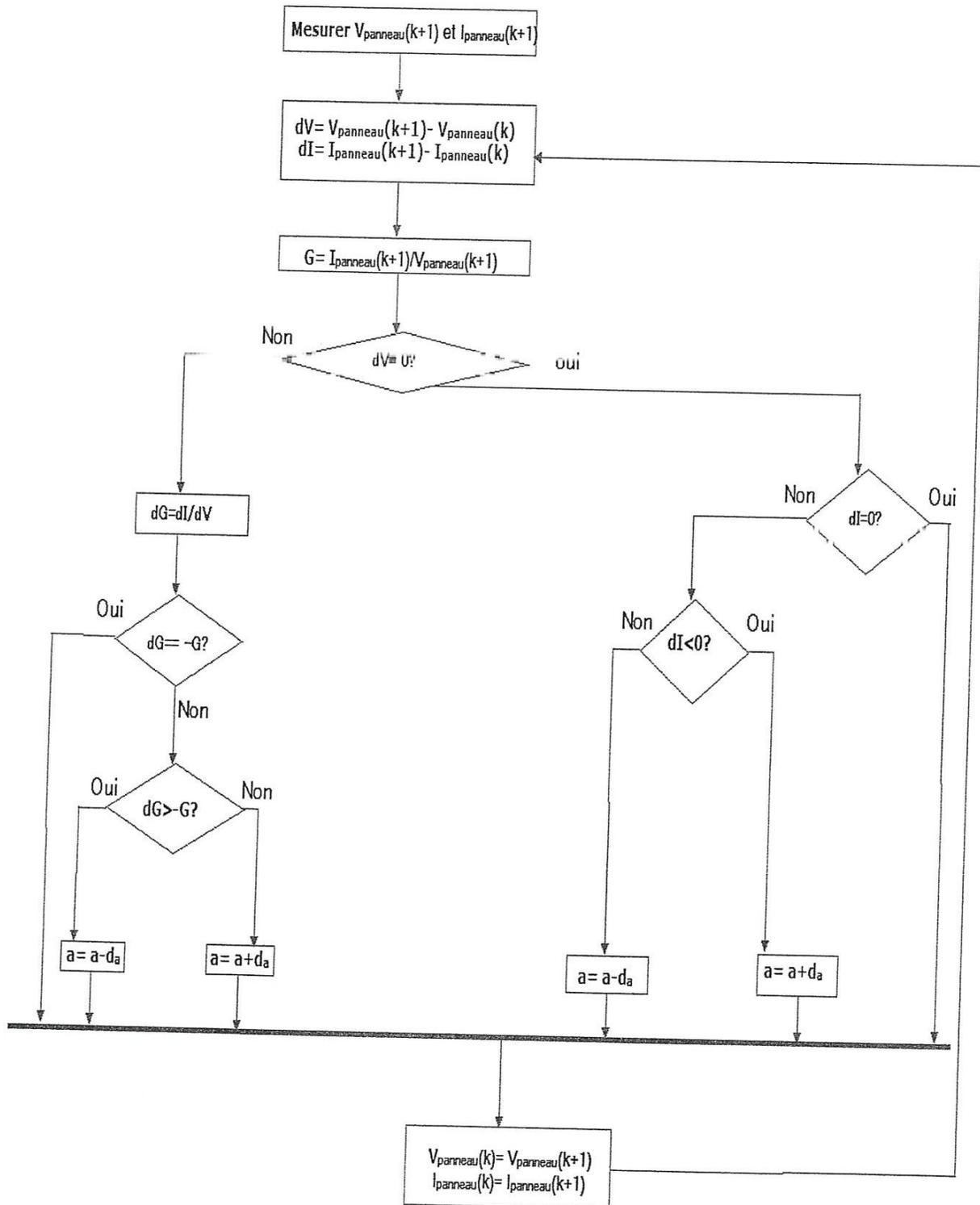


Fig.43 Diagramme fonctionnel algorithme 'conductance incrémentiales'

## 5. Comparaison des deux algorithmes

La méthode de la conductance incrémentielle est souvent considérée comme plus efficace car la méthode **P&Q** est jugée trop lente à retrouver le nouveau point de fonctionnement optimal. De plus, comme on applique continuellement de nouvelles perturbations, le point de fonctionnement du système oscille autour du point de puissance maximale (PPM).

En effet, de part le fonctionnement de l'algorithme, même lorsque le PPM est atteint, le système est sans cesse de nouveau perturbé. Ces oscillations ont pour principale conséquence une perte de puissance. Les pertes de puissance risquent d'être encore plus importantes en cas de conditions météorologiques qui fluctuent rapidement (comme une journée nuageuse avec éclaircies). De telles conditions météorologiques sont un problème pour la recherche du PPM quelque soit l'algorithme utilisé, en effet afin que celui-ci puisse être efficace, il est nécessaire que le convertisseur statique fonctionne en régime établi avant que de nouvelles perturbations soient effectuées.

En outre, la méthode de la conductance incrémentielle est indépendante des caractéristiques du panneau solaire, et ne dépend pas de composants électroniques, ce qui lui confère une plus grande fiabilité.

Cette méthode n'est néanmoins pas exempte d'inconvénients. Elle requiert par exemple un matériel plus complexe, et l'algorithme à implémenter est lui-même plus compliqué. Cependant, certaines critiques commencent à s'élever selon lesquelles il serait possible d'obtenir un aussi bon rendement (de puissance) à l'aide de la méthode **P&Q**, il s'agirait uniquement de savoir optimiser correctement cet algorithme. Malheureusement il n'existe à l'heure actuelle aucune règle pour déterminer les valeurs optimales des paramètres de la méthode **P&Q**.

## 6. Algorithme complet

Les différents algorithmes dont nous avons parlé jusqu'à présent ne tiennent compte que de la partie recherche du point de puissance maximale, mais ne traitent pas le problème de savoir s'il faut ou non charger la batterie, et donc du moment opportun pour la recherche du MPP.

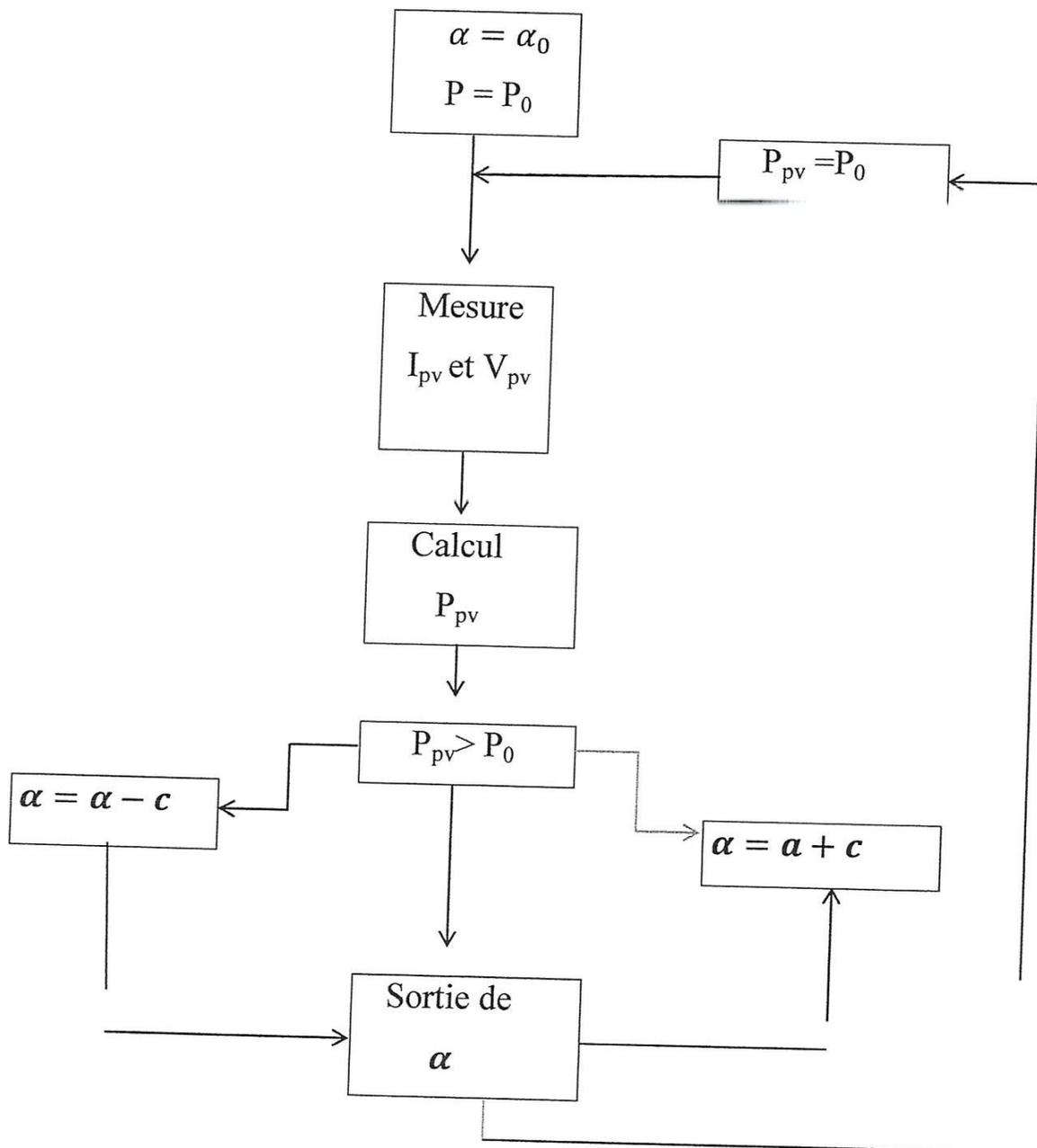


Fig.44 schéma fonctionnel de l'algorithme complet

### 6.1 Simulation de la commande MPPT avec psim

La figure suivante représente les formes d'onde du courant de charge  $I_S$  et la tension de sortie  $V_S$ , la tension de control  $V_{CONT}$  dans le régime permanent (de 0 jusqu'à 10 ms).

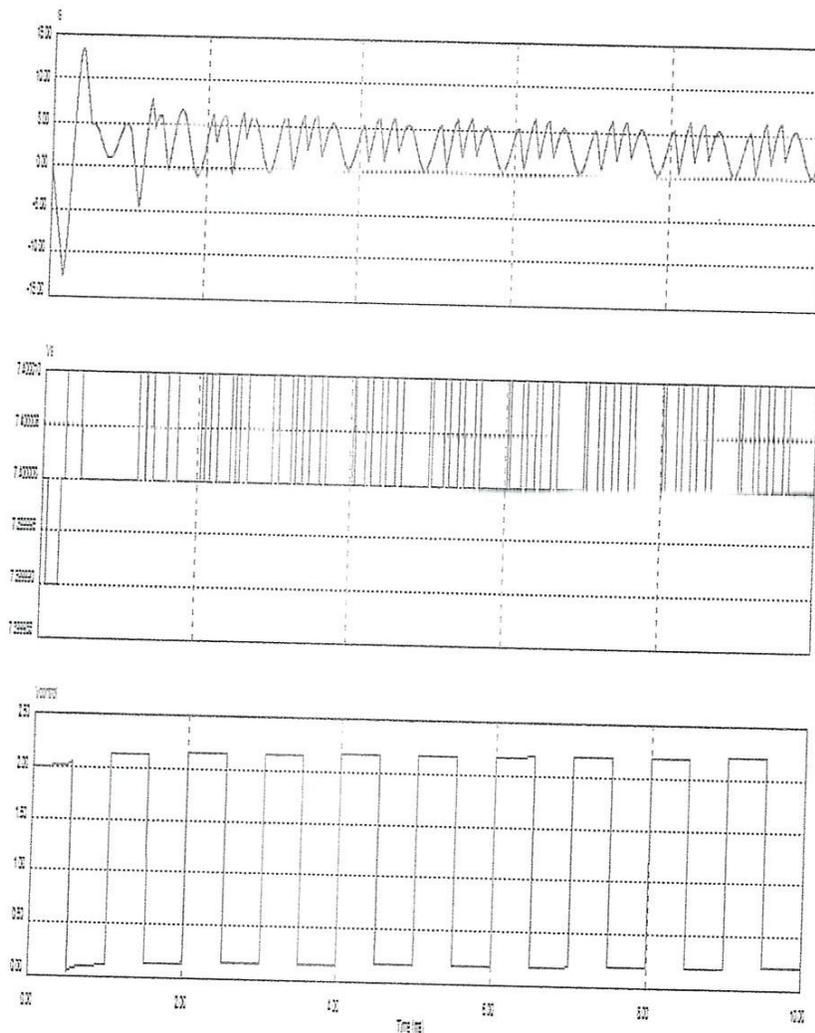


Fig.45 les formes d'ondes de  $I_S$ ,  $V_S$  et  $V_{CONT}$  en régime

## 7. Gestion de la MPPT

Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

Pour un éclairage différent (ensoleillement variable) et une température variable il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique ( $\alpha$ ) pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2. Dans le cas b pour une variation de charge on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande. Enfin dans le dernier cas c de variation de point de fonctionnement peut se produire lié aux variations de température de fonctionnement du GPV. Bien qu'il faut également agir au niveau de la commande.

## 8. Classification des Commandes MPPT

Il est possible de classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT. il existe deux classification sont :

- Classification des commandes MPPT selon le type de recherche
- Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

### 8.1 Classification des commandes MPPT selon le type de recherche

#### 8.1.1 MPPT Indirect

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées ( $I_{sc}$  ou  $V_{oc}$ ), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur.

Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques.

### 8.1.2 MPPT Direct

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV.

Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre des erreurs d'interprétations. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement.

La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables.

D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction.

## 8.2 Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée

### 8.2.1 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS

Ce type de commandes MPPT effectue une recherche du MPP selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. La commande nécessite alors la mesure du courant et de la tension en entrée du convertisseur.

D'autres types de commandes MPPT sont basées sur la régulation du courant du GPV, supposant que ce dernier soit une image proportionnelle à la puissance. Ceci permet de s'approcher le plus proche possible du courant optimal  $I_{opt}$ . Ce type de commande ayant besoin d'un seul capteur est plus facile à mettre en œuvre et a un coût bas.

### 8.2.2 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe des algorithmes basés sur les paramètres de sortie du CS. En effet, ce type utilise la tension et le courant de sortie du CS ou alors uniquement l'un des deux. Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de  $P_{max}$  est faite à travers le rendement du convertisseur. Plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, tous les systèmes avec un seul capteur sont imprécis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial.

## 9. Les différents types de commande MPPT :

La recherche du point de fonctionnement maximal du système nécessite un calcul instantané de la puissance réelle extraite du module *PV*. Ceci peut être réalisé en mesurant la tension  $V_{pv}$  et le courant  $I_{pv}$  à la sortie du panneau, et à partir de la relation : ( $P = V_{pv} * I_{pv}$ ), on pourra utiliser différents algorithmes de contrôle pour poursuivre le PPM du module *PV*. Trois implantations de commande *MPPT* sont possibles :

- Commande *MPPT* à implantation analogique : elle est simple dans la conception, nécessite, sans aucun calcul, que des composants analogiques avec une capacité de fonctionnement à des fréquences de découpages élevées ce qui permet donc de réduire considérablement la taille des composants passifs (capacités et inductances) constituant le convertisseur d'énergie.
- Commande *MPPT* à implantation mixte logique et analogique qui est basée sur l'addition d'un filtre nommé *LFR* (loss free resistor). Ce concept a été développé par *S.Singer* dans le cas général de source de puissance fortement non linéaire.
- Commandes *MPPT* à implantation numérique faisant intervenir que des composants digitaux. La pièce principale de ces commandes est un microcontrôleur. Elles sont souvent incluses avec diverses fonctions notamment des protections. L'algorithme implémenté est plus ou moins lourd selon la précision du système, la robustesse et la rapidité de la boucle de commande.

# **conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Nous avons vu pendant cette étude que le domaine de conversion d'énergie photovoltaïque peut être associé à une commande MPPT (Maximum Point Power Tracking) pour la poursuite du maximum d'énergie électrique fournit d'un panneau solaire ; par ce que les conditions de l'ensoleillement et de la température dépend du site et de la saison.

Cette commande elle permet d'ajuster la puissance électrique fournie par le panneau solaire dans les conditions d'ensoleillement et de température de l'instant considéré, pour réaliser cette commande il faut adapter la charge avec le panneau solaire, cette adaptation nécessite d'un étage de type convertisseur DC/DC qui faire de convertir la puissance de panneau solaire selon la puissance demandé par la charge ; ce convertisseur peut être devient survolteur ou dévolteur de tension selon la demande de charge.

Après l'adaptation de la charge, nous avons besoin d'une commande pour contrôler le convertisseur DC/DC de telle sorte que cette commande faire régler le rapport de cycle  $\alpha$  de convertisseur DC/DC selon le rapport de cycle de référence qui nous avons ajusté qui nous donne la tension optimale.

Pour contrôler cette commande MPPT, il y a deux méthodes c'est la méthode de perturber et observer et la méthode de la conductance incrémentielle ; les deux méthodes permet de prendre l'entrée à certain niveau d'énergie et d'être transformé au travers de convertisseur DC/DC énergie plus importante d'utiliser les systèmes photovoltaïque panneau solaire et le convertisseur DC/DC plus la charge ont simulé dans son ensemble sous le logiciel psim, cette simulation permettant notamment d'observer le rapport entre la tension de la charge étant fixé (ou lentement variable).

Une variation de rapport cyclique induit une variation de la tension du panneau et de son point de fonctionnement la variation du rapport cyclique permet également de faire varier le courant de la charge ; cette méthode a pour objectif de simuler différentes boucles de régulation du convertisseur DC/DC et notre objectif final est de charger la batterie avec un courant maximal en utilisant la panneau solaire au maximum de sa puissance.

## Bibliographies

- [1]: Ioanviorelbanu,marcellstrate « Modeling of Maximum Power Point Tracking Algorithm for photovoltaïque systems » “Gheorghe Asachi” Technical university of Iasi faculty of electrical engineering Iasi Romania .
- [2]: M.E.M- Brahimi « Situation des énergies renouvelables en Algérie » Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie. Mai 2001.
- [3]: MehimmedetsiBoudjemaa «Application du formalisme Bond Graph à une chaîne de conversion d'énergiephotovoltaïque » mémoire de magistère, université Mentouriconstantine 2007.
- [4]: M<sup>elle</sup>Brihmat Fouzia « L'étude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale Hybride PV/Eolien » mémoire de magistère, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2012.
- [5]: Mr. :SalhiAbdeslem « Filtrage actif et contrôle de puissance : application aux systèmes photovoltaïques interconnectés au réseau » mémoire de magistère, université Farhet Abbas Setif 2012.
- [6]: Saadi. A « Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque » mémoire de magistère, université Med Khider Biskra, juin 2001.
- [7]: Jean-Paul Braun, Benjamin Faraggi, Anne Labouret «Les cellules solaires » ETSF, paris, 1996
- [8]: M<sup>me</sup>. ZAAMTA SOUAD«Réalisation d'un régulateur solaire à base demicrocontrôleur pour le contrôle de l'état de charge etla protection des accumulateurs»mémoire de magistère, universitéLarbi Ben M'hidiOum El Bouaghi 2008.
- [9]: T. Mrabti , M. El Ouariachi , B. Tidhaf , El Chadli et K. Kassmi«Conception, simulation et réalisation d'un système photovoltaïque destiné au stockage d'énergie dans les batteries stationnaires (2V)»*Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°1 (2010)85-100*
- [10]: Hamza Azzedine «Modélisation et commande d'un système photovoltaïque»mémoire de magistère, universitéBadji Mokhtar Annaba 2003.
- [11]: Z. Ayache, A. Bendaoud, H. Slimani, B. Benazza, H. Miloudi, A. Bentaallah«Commande MPPT et Contrôle d'un Système Photovoltaïque par la Logique Floue»Laboratoire IRECOM, Université Djilali Liabès Sidi Bel Abbès 22000, Alegria.

[12] :Mohammed Faysal Yaden, RajaeGaamouche, Kamal Hirech, Mustapha Melhaoui, El Hadi Baghaz, Khalil Kassmi«Conception, réalisation et caractérisation d'un système photovoltaïque menu des commandes de contrôle et d'acquisition numériques»*Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences, dépt de Physique, laboratoire LETAS, Oujda, Maroc.04 Novembre 2012.*

[13] :M.F. Yaden, M. El Ouariachi, T. Mrabti ,Ka. Kassmi, B. Tidhaf, E. Chadli et K. Kassmi«Conception et réalisation d'un système photovoltaïquemuni d'une commande MPPT numérique»*Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 (2011) 171 – 186Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences, Laboratoire LEPAS, Oujda, Maroc 2011.*

[14] : HafdiAbdellatif,RehamniaRachid « Optimisation de la puissance électrique extraite d'un panneau solaire » mémoire fin d'étude Juin 2009 université 08 mai 1945 Guelma.

[15] : Abid Ahmed, Ould Salem Mohamed, « Extraction du maximum d'énergie électrique d'un panneau solaire », mémoire fin etude Juin 2009 université 08 mai 1945 Guelma