



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commande Electrique

Présentés par :
Hoggas Haroun - Bourouh Abdelghafour

THEME

***Réalisation d'un régulateur MPPT
solaire à base de l'Arduino pour le
contrôle d'un convertisseur DC-DC***

Soutenu le 20/06 /2018 devant la commission d'examen composée de :

<i>Mr. MENADI Abdelkarim</i>	<i>M.A.B à l'Université de Khenchela</i>	<i>Président</i>
<i>Mr. SAIDI Abdelkader</i>	<i>M.A.A à l'Université de Khenchela</i>	<i>Encadreur</i>
<i>Mr. BOUTABBA Tarek</i>	<i>M.A.A à l'Université de Khenchela</i>	<i>Examineur</i>

Promotion 2017/2018

Dédicace

Je tiens à la fin de ce travail à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là. Mes remerciements Mes très chers parents : Père, vous avez toute ma gratitude, car c'est grâce à toi

Que j'ai atteint mon but...

Ma très chère maman, je vous remercie pour votre

Soutien moral,

Et à ma fiancée

A mes frères et mes sœurs

A mes intimes et à toute personne qui me connaît

Je ne manquerais pas de souligner l'assistance sans faille

De mes amis

Haroun.

Dédicace

Je tiens à la fin de ce travail à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là. Mes remerciements vont également à mes parents de tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me permettre de suivre mes études dans les meilleures conditions possibles et n'avoir jamais cessé de m'encourager tout au long de mes années d'étude. Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail surtout mon amis Yassin, Je dédie ce mémoire à toute ma famille, à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent

Abdelghafour.

Remerciement

Nous remercions ALLAH le Tout-Puissant qui nous a donné le courage pour élaborer ce modeste travail.

Ce travail a été accompli à l'aide de plusieurs personnes que nous tenons à Remercier absolument.

Nous remercions tout d'abord notre encadreur

«Mr. ABD ELKADER SAIDI»

Nous remercions également les membres de jury de nous avoir fait l'honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi à tous Nos professeurs,

Enseignants et toutes les personnes qui

Nous aides jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de Nos

Donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé de prêt

Ou de loin dans l'élaboration de ce travail avec un conseil ou autre.

ملخص

في هذا العمل , قمنا بتحليل التصميم و محاكاة الاشتغال الكهربائي للنظام الكهروضوئي وفق الالية الرقمية " الاضطراب والملاحظة " لضمان متابعة الاستطاعة الاعظمية المفرغة عن طريق الكهروضوئي.

في هذا التحليل قمنا بأخذ النظام الكهربائي او المولد الكهروضوئي ذو الصنف WELION P-5W المنتج في الشروط التجريبية استطاعته القصوى 5 واط وتياره ذو قيمة 0.62 او مبير بجهد 11.1 فولط. نتائج المحاكاة المتحصل عليها تمت بواسطة نظام Arduino و باستعمال برنامجي Matlab و Proteus ومن خلال إجراء للتجربة في الواقع الذي دل علي المراقبة في السير الديناميكي للنظام الكهروضوئي **الكلمات المفتاحية :** نظام الكهروضوئي , المحول الخافض , آلية التحكم MPPT التصميم ، المحاكاة .

Résumé:

Dans ce travail, on a analysé la modélisation et la simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque (PV) adapté par une commande numérique « perturbation et observation » assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV. Dans notre analyse, on a conçu un système PV où le générateur PV est le module WELION P-5W produisant, dans les conditions standards de test, une puissance crête de 5W, un courant optimal de 0.62 A et une tension optimale de 11.1 V. Les résultats de simulation obtenus sous Proteus avec l'utilisation du programme d'Arduino et après faire l'expérimentale en réel qui montrent la performance du contrôle dans le comportement dynamique des systèmes photovoltaïques.

Mots clés:

Système PV – Convertisseur dévolteur - Commande MPPT –Modélisation – Simulation.

Abstract

In this work, we analyze the modelisation and the simulation of the electric operation of a photovoltaic (PV) system adapted by a numerical control « perturb and observe» ensuring the tracking of the maximum power provided by the PV generator. In our analysis, we conceived a PV system where the PV generator is the panel WELION P-5W, this panel gives under the test standard conditions, a power peak of 5W, an optimal current of 0.62A and an optimal voltage of 11.1V. The simulation results under Proteus with using Arduino program and after doing the test in reel show the control performance and dynamic behavior of photovoltaic System.

Keywords:

PV system, buck converter, MPPT command, Modelisation, Simulation.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Potentiel solaire en Algérie.....	8
Tableau 2.1 Exemple d'une table de vérité pour une commande logique floue	32
Tableau 2.2 Caractéristiques majeures des commandes MPPT.....	36
Tableau 3.1 : Classification des convertisseurs statiques.....	40
Tableau 4-1: caractéristique de panneau solaire a simulé.....	55
Tableau 5.1 : Les composants électriques du convertisseur abaisseur.....	71

LISTE DES FIGURE :

Figure 1.1: Schéma synoptique du système photovoltaïque	4
Figure 1.2: Schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome.....	5
Figure 1.3: Spectre de rayonnement solaire.....	7
Figure 1.4: Potentiel solaire en Algérie	8
Figure 1.5: cellule solaire	9
Figure 1.6: Eléments d'un système photovoltaïque	10
Figure 1.7: création de paire électron trou par photo excitation	10
Figure 1.8: Caractéristiques électrique d'une cellule élémentaire	12
Figure 1.9: schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode	13
Figure 1.10: schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes	15
Figure 2.1: Principe de la première commande MPPT numérique	18
Figure 2.2: Recherche du PPM par la méthode (P&O).....	19
Figure 2.3: Algorithme type de la méthode P&.....	20
Figure 2.4: Divergence de la commande P&O lors de variations d'irradiation	22
Figure 2.5: Relation entre la puissance du GPV et le rapport cyclique du Convertisseur statique	23
Figure 2.6: Algorithme type de la commande Hill Climbing	24
Figure 2.7: Schéma de principe de la commande Hill Climbing	25
Figure 2.8: Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de la dérivée de la conductance G.....	27
Figure 2.9: Algorithme d'une commande MPPT basée sur la méthode Incrément de Conductance	28
Figure 2.10: Fonctionnement d'une commande MPPT de type "IncCond" Illustré sur une chaîne élémentaire de conversion PV	28
Figure 2.11: Structure de base de la commande floue.....	32
Figure 2.12: Exemple d'un réseau de neurones.....	34
Figure 3.1: DC-DC Convertisseur.....	41
Figure 3.2: Schéma de principe d'un convertisseur dévolteur.....	41

Figure 3.3 : Schémas équivalents du hacheur dévolteur (a): K fermé, (b) ouvert.....	42
Figure 3.4: Schémas détaillée du hacheur dévolteur.....	42
Figure3.5: Convertisseur Buck durant l'état «ON».....	43
Figure 3.6: Tension aux bornes de la charge.....	44
Figure 3.7: Variation de la tension moyenne en fonction de α	45
Figure 3.8: Tension aux bornes de l'interrupteur.....	45
Figure 3.9: Convertisseur Buck durant l'état « OFF ».....	45
Figure 3.10: Formes d'ondes des tensions VPV et Vload dans le cas du convertisseur Buck.....	47
Figure 3.11: formes d'ondes des courants et tension de convertisseur Buck	48
Figure 3.12: Schéma du circuit électrique d'un convertisseur Boost	48
Figure 3.13: Schémas détaillée du hacheur dévolteur	49
Figure 3.14: Convertisseur Boost durant l'état on et off.....	49
Figure 3.15: formes d'ondes des courants et tension de convertisseur boost	53
Figure 3.16: Schéma du circuit électrique d'un convertisseur Buck-Boost.....	53
Figure 3.17 : Convertisseur Buck-Boost état on.....	53
Figure 3.18 : Convertisseur Buck-Boost état off.....	53
Figure 4.1: Schéma de principe du convertisseur MPPT	56
Figure 4.2: Modèle de simulation du convertisseur Buck	57
Figure 4.3: Résultats de la simulation du Convertisseur Buck (tension).....	57
Figure 4.4: Résultats de la simulation du Convertisseur Buck (courant).....	57
Figure 4.5: Schéma bloc du GPV sous Simulink.....	58
Figure 4.6 : Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque (modèle d'une seule diode)...	59
Figure 4.7: Schéma de GPV sous Simulink.....	60
Figure 4.8: Schéma de PV modèle subsysteme	61
Figure 4.9: Caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un générateur photovoltaïque	62
Figure 4.10: Courbes $I(V)$ et $P(V)$ d'un panneau à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}\text{C}$	63
Figure 4.11: Courbes $I(V)$ et $P(V)$ d'un panneau à divers ensoleillements à irradiance=1000 W/m^2 (avec température de 0C° et 25C° et 50C° et 75C°).....	64
Figure 4.12: Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT P&O	65

Figure 4.13: La variation du rapport cyclique en fonction du temps	66
Figure 4.14: La variation du rapport cyclique sur la puissance	66
Figure 4.15: La puissance générée par le système PV en fonction de temps.....	67
Figure 4.16: La tension générée par le système PV en fonction de temps	67
Figure 4.17: Le courant généré par le système PV en fonction de temps	68
Figure 5.1: Cartes Arduino UNO	70
Figure 5.2 : Description d'une carte Arduino UNO.....	72
Figure 5.3 : Schéma synoptique du système photovoltaïque.....	73
Figure 5.4 : Schéma du GPV sous Proteus.....	74
Figure 5.5 : courbe de caractéristique courant-tension I-V	75
Figure 5.6 : courbe de caractéristique puissance-tension P-V.....	75
Figure 5.7 : Schéma du convertisseur sous Proteus.....	76
Figure 5.8 : Réalisation du convertisseur.....	77
Figure 5.9 : Schéma de capteur de tension sous Proteus.....	78
Figure 5.10 : Capteur de courant ACS712.....	79
Figure 5.11 : Schéma du capteur de courant sous Proteus.....	80
Figure 5.12 : Schéma d'afficheur LCD sous Proteus.....	81
Figure 5.13 : Schéma de programme LCD sous Arduino.....	81
Figure 5.14 : Schéma électrique de la carte commande en Proteus.....	82
Figure 5.15 : programme de la carte commande en Arduino.....	83
Figure 5.16 : Schéma global du système photovoltaïque sous Proteus.....	84
Figure 5.17 : programme du système photovoltaïque sous Proteus.....	84

LISTE DES ABREVIATIONS

GPV : Générateur photovoltaïque.

LCD: Liquid Crystal Display.

PV : Photovoltaïque.

E : Niveau d'éclairement (ou d'irradiation) [W/m^2].

V_{oc} : Tension de circuit ouvert [V].

I_{sc} : Courant de court-circuit [A].

I_s : Courant de saturation de la diode [A].

n : Facteur de non idéalité de la jonction de la diode.

K : Constante de Boltzmann.

T : Température effective de la cellule [$^{\circ}\text{K}$].

q : Charge de l'électron [C].

R_{sh} : Résistance shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction.

R_s : Résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions

n_s : Nombre de cellules en série.

n_p : Nombre de cellules en parallèle.

DC : Courant continu (en anglais Direct Current).

G : Conductance du GPV.

DC : Rapport cyclique.

I_{op} : Courant Optimal.

V_{op} : Tension Optimale.

PID : Proportionnel Intégral Dérivé.

PPM : Point de Puissance Maximale.

MPPT : Maximum Power Point Tracking.

P&O : Perturbation et Observation.

IncCond : Incrementation de Conductance.

S : Durée d'insolation mesurée.

S_0 : Durée maximale d'insolation.

λ : Longueur d'onde.

h : Constante de planck.

C : Vitesse de propagation.

η : Rendement de la conversion.

FF : Facteur de forme.

V_{pv} : Tension du générateur PV [V].

I_{pv} : Courant du générateur PV [A].

P_{pv} : Puissance du générateur PV [W].

V_{ch} : Tension à la sortie du convertisseur statique [V].

I_{ch} : Courant à la sortie du convertisseur statique [A].

P_{ch} : Puissance à la sortie du convertisseur statique [W].

N : Nombre de spires.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I:	
l'énergie solaire et les systemes photovoltaïque	3
1. Introduction :	4
2. Les Différents Types de Systèmes Photovoltaïques :.....	5
2.1. Alimentations électriques faibles puissances :	5
2.2. Installations électriques photovoltaïques autonomes :	5
3. Avantage et limites de l'énergie solaire PV :	5
3.1. Avantages :	5
3.2. Limites :	6
4. Le rayonnement solaire :	6
5. Le Potentiel Solaire en Algérie:	7
6. La cellule photovoltaïque:	8
6.1. Les différents types de cellules solaires:	9
6.2. La prochaine génération de cellules solaires photovoltaïques:.....	9
6.3. Modélisation des cellules photovoltaïques:.....	9
6.4. Système photovoltaïque:	10
6.5. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	10
6.6. Les paramètres d'une cellule solaire	11
6.6.1 La tension à circuit ouvert Voc:	11
6.6.2 Le courant de court-circuit Isc:.....	11
6.6.3 La Puissance maximale Pmax:.....	11
6.6.4 Le facteur de qualité:.....	12
6.6.5 Le facteur de forme ff:.....	12
6.6.6 Rendement énergétique maximum η :.....	12
7. Modele photovoltaïque:.....	12
7.1. Modèle à une diode:	12
7.2. Modèle à deux diodes:.....	14
8. Conclusion:.....	14
CHAPITRE II:	
Les différentes méthodes de la commande MPPT	16
1. Introduction :	17
2. Les premiers types de commande MPPT :	17

3. Les commande MPPT les plus utilisées :	18
3.1. La commande “Perturb and Observ” (P&O) :	19
3.2. La commande “Hill Climbing”:	23
3.3. La commande “Incrément de conductance” :	26
4.Commandes MPPT basées sur des relations de Proportionnalité :	29
4.1.Mesure de VOC (Fraction de VOC):	29
4.2.Mesure d’Icc (Fraction d’Icc):	30
4.3.Les commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue:	31
4.4.Commande MPPT de réseaux de neurones artificiels:	33
4.5.MPPT RCC (Ripple Corrélation Control):	34
4.6.MPPT basé sur le balayage du courant (Current Sweep):	35
5.Synthèse des commandes MPPT :	35
5.1.Implémentation :	37
5.2.Coût :	37
5.3.Réponse dynamique :	37
5.4.Flexibilité :	37
6.Conclusion :	37

CHAPITRE III:

état d'art pour convertisseur DC-DC	38
1.Introduction:	39
2.Circuit d’adaptation DC-DC du type Buck(dévolteur) :	41
2.1.Définition :	41
2.2.Principe:	42
2.3.Rapport cyclique:	43
2.4.Relevés caractéristiques:	43
2.5.Valeur moyenne de la tension de la charge:	43
2.6.Variation de la tension moyenne en fonction de α :	43
2.7.Valeur efficace de la tension de la charge:	43
2.8.Tension aux bornes de l’interrupteur:	44
2.9.Courbes:	46
3.Convertisseur survolteur (Boost converter) :	46
3.1.Définition:	46
3.2.Principe:	47
3.3.Fonctionnement en régime permanent:	48
3.3.1.Conduction ininterrompue:	48

3.3.2.Courbes:.....	48
4.Convertisseur Buck-Boost:.....	48
4.1.Définition:	49
5. Conclusion :.....	49
CHAPITRE IV:	
Simulation du convertisseur MPPT.....	50
1.Introduction:.....	51
3.Principe de la Recherche du MPP :	52
4.Simulation du Convertisseur Statique:.....	53
5.Simulation du GPV :	54
5.1.Caractéristique électrique d’un générateur photovoltaïque :.....	54
5.2.La résistance série:	55
5.3.La résistance shunt:	56
5.4.Résultats de simulation de GPV:.....	58
5.5.Comportement D’un générateur photovoltaïque:.....	58
5.6.Influence de la température et l’ensoleillement sur le rendement:	58
5.7.Influence de l’ensoleillement:	58
5.8. Influence de la température:	59
6.Simulation de l’algorithme Perturbation et Observation (P&O):.....	60
5.1. L’objectif de la commande MPPT par la méthode P&O:.....	61
6.2.Remarques et interprétations:	61
7. Conclusion :.....	62
CHAPITRE V:	
Réalisation d’un système PV à base d’une carte Arduino UNO	63
1.Introduction:.....	64
2.Carte Arduino :.....	65
5.1.Présentation de la carte Arduino :	65
5.2.Histoire de la carte Arduino:	66
5.3.Description de la carte ARDUINO UNO:.....	66
5.4. Langage de programmation:.....	67
3. Système photovoltaïque proposé :.....	68
4. Simulation d’un GPV sous Proteus:.....	68
5. choix des composants du convertisseur :.....	70
6. Simulation du convertisseur abaisseur sous Proteus :	70
7. Réalisation du convertisseur abaisseur :.....	70

8. Simulation du diviseur de tension sous Proteus :	71
9. Capteur de courant :	72
10. Simulation du capteur du courant ACS712 sous Proteus:	73
11. Afficheur LCD :	73
12. Simulation d'afficheur LCD sous Proteus :	74
13. Simulation de la carte de commande sous Proteus :	75
14. Simulation du système PV sous Proteus:	75
15. Conclusion:	76
CONCLUSION GENERALE	78
BIBLIOGRAPHIE	80
ANNEX	85

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production électrique est produite à partir de ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources.

A partir de ce constat, il est nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie «verte», puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources Traditionnelles.

Les réseaux de distribution ne peuvent suffire à fournir de l'électricité à toute la population mondiale qu'ils soient en pleine montagne ou sur une île, dans les régions les moins habitées ou au milieu du désert, les sites difficiles d'accès ou très isolés ne peuvent pas toujours être raccordés au réseau, faute de solutions techniques ou de viabilité économique.

L'objectif de ce travail est l'étude et la réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino uno. Ce système PV commandé par une commande MPPT « perturbation et observation » assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le module PV pour le contrôle de convertisseur dc-dc.

Pour décrire cela, ce mémoire est présenté en cinq chapitres :

Le premier chapitre présenté L'Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques (GPV) nous effectuent un bref rappel sur les générateurs photovoltaïques des différentes puissances (cellules, modules et champs).

Le deuxième chapitre est une présentation des différentes méthodes du Convertisseur «MPPT.

Le troisième chapitre présente les différents hacheurs et Le choix et la conception du convertisseur et les différents modèles mathématiques utilisé pour l'analyse du fonctionnement d'un convertisseur DC-DC.

INTRODUCTION GENERALE

Le quatrième chapitre présente les résultats de simulation sous matlab obtenus par l'optimisation du système photovoltaïque à travers l'algorithme P&O sont présentés.

Le cinquième chapitre est consacré à la réalisation d'un système PV. Nous présentons les cartes Arduino utilisées pour commander les systèmes PV. Ensuite, les différents composants du système PV seront d'abord présentés, suivis des résultats de simulation sous Proteus et enfin le système PV sera réalisé.

A la fin, on termine ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I:

*L'Énergie Solaire et les
Systèmes Photovoltaïques (GPV)*

1. Introduction:

Dans les dernières années, la croissance du besoin en énergie ainsi que la pollution provenant de l'utilisation des énergies fossiles poussent le grand public à utiliser les énergies renouvelables.

Dans ce contexte, l'énergie photovoltaïque est l'un des importantes sources d'énergie renouvelable qui présente un dénouement à nos problèmes de production d'énergie. De plus, cette énergie semble la plus prometteuse, non polluante et inépuisable. Néanmoins, la production de cette énergie est non linéaire et elle varie en fonction de l'intensité lumineuse et de la température. Par conséquent, le point de fonctionnement du panneau photovoltaïque (PV) ne coïncide pas toujours avec le point à maximum de puissance. On utilise alors un mécanisme qui permet la recherche et la poursuite du point à maximum de puissance appelé «Maximum power point tracking» (MPPT) afin que la puissance maximale soit générée en permanence.

Par conséquent, plusieurs travaux ont porté sur les systèmes photovoltaïques. Ils ont essayé de développer des algorithmes Permettant d'extraire le maximum d'énergie convertie par le panneau et alors qui permet un fonctionnement optimal du système photovoltaïque.

Un système photovoltaïque est constitué de quatre blocs comme le montre la figure 1.1. Le premier bloc représente la source d'énergie (panneau photovoltaïque), le second bloc est un convertisseur statique DC-DC, le troisième bloc représente la charge et le quatrième bloc représente le système de commande. Le rôle principal du convertisseur statique est de faire une adaptation d'impédance de sorte que le panneau délivre le maximum d'énergie.

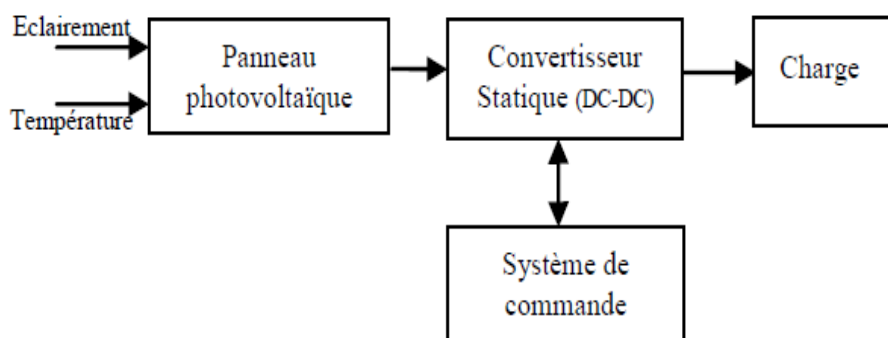


Figure 1.1: Schéma synoptique du système photovoltaïque [1]

2. Les Différents Types de Systèmes Photovoltaïques :

2.1. Alimentations électriques faibles puissances :

Il s'agit des alimentations électriques faibles telles que les calculatrices ou les chargeurs de piles. Des modules photovoltaïques (PV) peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.

2.2. Installations électriques photovoltaïques autonomes :

En site isolé, le champ photovoltaïque (1) **Figure 1.2** peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation (2) et une batterie (3) d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique qui sera ensuite utilisée en l'absence du Soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques. Le régulateur de charge (2) a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie. En site isolé, on peut aussi utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif (6). Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur (4). On peut citer quelques exemples de systèmes autonomes, comme les balises en mer, les lampadaires urbains, le pompage solaire et les maisons en sites isolés. [1]

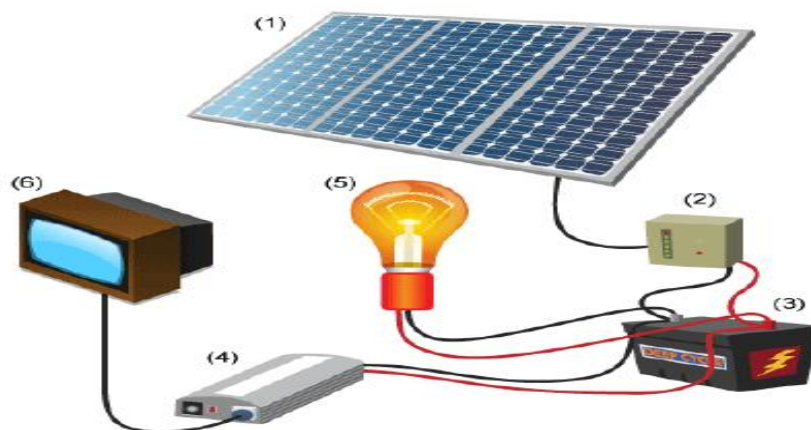


Figure 1.2 : Schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome. [1]

3. Avantage et limites de l'énergie solaire PV :

3.1. Avantages :

Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

CHAPITRE 1 : L'Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques (GPV)

- ils sont de fonctionnement sûr, non polluant et silencieux.
- ils sont très fiables.
- ils n'exigent presque aucun entretien.
- ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.
- ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité
- ils vous donnent une autonomie accrue – fonctionnement indépendant du réseau ou système de secours pendant les pannes d'électricité.

3.2. Limites :

Vous devriez être également conscient des limites pratiques des systèmes PV :

- Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. Si vous souhaitez utiliser l'énergie solaire à cette fin, considérez d'autres solutions de rechange comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.
- Les systèmes raccordés au réseau sont rarement économiques, surtout parce que le coût actuel de la technologie PV est beaucoup plus élevé que celui de l'énergie traditionnelle. Étant donné que ces systèmes peuvent être coûteux, le choix d'un système photovoltaïque dépend souvent d'une décision personnelle axée sur le style de vie – tout comme le type de maison ou de voiture que vous pourriez avoir. [1]

4. Le rayonnement solaire :

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètre, sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments. Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 4×10^{26} W. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ W. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère [2] [3].

CHAPITRE 1 : L'Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques (GPV)

A partir de soleil ils nous parviennent:

- Les Ultraviolets (UV), de 200 nm à 400 nm, invisibles, provoquent des dommages sur les cellules photovoltaïques
- La Lumière visible, de 400 à 800 nm, visibles, ils nous permettent de distinguer les formes et les couleurs
- Les Infrarouges (IR), de 800 à 1400 nm, invisibles, chauffent la matière solide ou gazeuse qu'ils rencontrent.

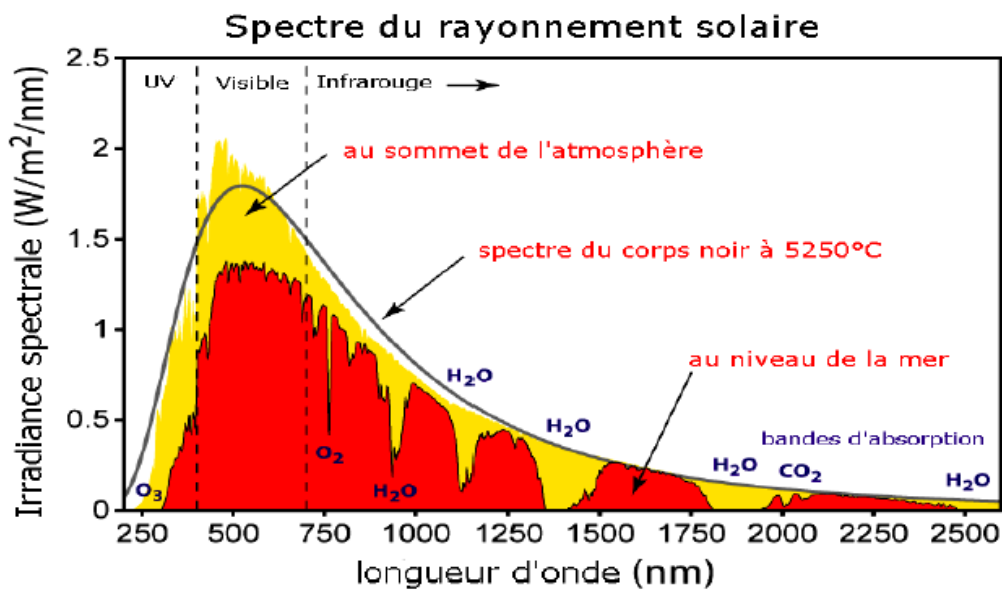


Figure 1.3: Spectre de rayonnement solaire. [2]

5. Le Potentiel Solaire en Algérie :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh=m²=an au nord et 2263kwh=m²=an au sud du pays. Au Sahara, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable s'il est exploité de manière économique. Le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie [4] [5].

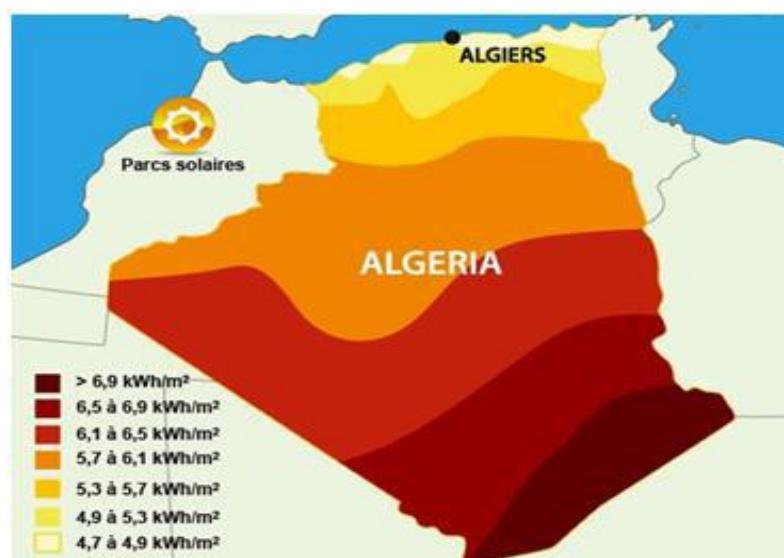


Figure 1.4: Potentiel solaire en Algérie. [4]

Regions	Regions cotières	Hautsplateaux	Sahara
Superficies	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m²/an)	1700	1900	2650

Tableau 1.1: Potentiel solaire en Algérie. [5]

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh/an. Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque, les autres volets solaire, thermique et thermodynamique, restent toujours au stade expérimental. Toutefois, la complexité des procédés de fabrication des modules photovoltaïques et les rendements de production faibles entraînent des coûts très élevés, ce qui freine son développement [4] [5] [6].

6. La cellule photovoltaïque :

C'est une plaquette cristalline ronde ou polygonale, le plus souvent en silicium. Lorsque la lumière atteint cette plaquette, des électrons sont libérés. Si les points de contact positif et négatif de la cellule sont raccordés à un consommateur, le courant circule. Ce courant est récolté par les électrodes en dessous et en dessus de la cellule. Ce phénomène est également appelé «effet photovoltaïque» c'est-à-dire production d'une tension (voltaïque) au moyen de photons (particules de lumière) [7].



Figure 1.5: cellule solaire. [7]

6.1. Les différents types de cellules solaires:

Il existe trois principaux types de cellules photovoltaïques :

- Les cellules au silicium monocristallin avec un très bon rendement (23% en théorie et environ 17% dans la pratique) mais son coût est élevé.
- Les cellules au silicium poly-cristallin qui ont un rendement de 11 à 15% mais leur coût est moins cher que celui des photovoltaïques monocristallins.
- Les cellules au silicium amorphe. leur rendement n'est que de 6 à 8% actuellement, mais sont moins chères que les autres. [7]

6.2. La prochaine génération de cellules solaires photovoltaïques :

Les cellules de l'avenir utilisent des approches très avancées pour arriver à des performances extrêmement intéressantes. Par exemple, la technologie « multi-jonctions » permet un rendement de 30 à 38% pour les cellules (soit environ 25% pour un module), s'approchant de l'efficacité du solaire thermique. Cette technologie, historiquement utilisé pour des applications spatiales, consiste à réaliser des structures ayant plusieurs couches, chaque couche captant une partie de l'énergie incidente et laissant passer l'énergie non captée pour la couche inférieure. Cette stratégie permet de profiter plus amplement du rayonnement solaire. Les applications terrestres utilisent cependant des concentrateurs solaires pour arriver à des performances très élevées.

Une autre approche consiste à capter la chaleur accumulée sur le panneau pour chauffer un fluide (air ou eau) et abaisser la température du panneau, augmentant ainsi sa performance. On profite donc ainsi de l'énergie électrique et thermique simultanément. On appelle cette technologie le collecteur solaire hybride photovoltaïque thermique. [8].

6.3. Modélisation des cellules photovoltaïques :

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Selon cette philosophie plusieurs modèles électriques ont été proposés pour représenter la cellule photovoltaïque.

6.4. Système photovoltaïque :

Tout système photovoltaïque peut se composer, comme il est montré sur la figure (1.6), en trois parties:

- Une partie de production d'énergie.
- Une partie de contrôle de cette énergie.
- Une partie d'utilisation de l'énergie produite.

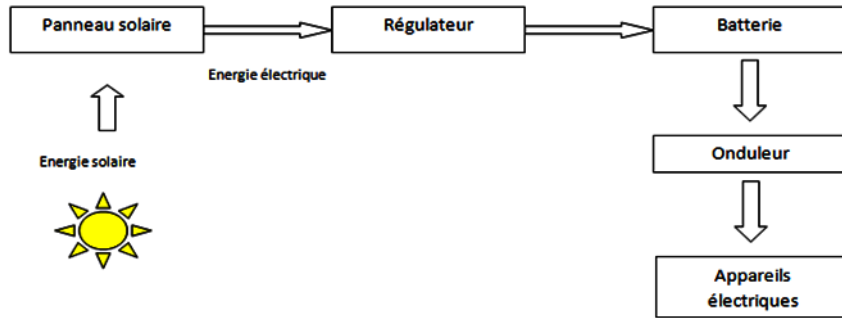


Figure1.6 : Eléments d'un système photovoltaïque. [1]

6.5. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

La figure présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairement. Il correspond à un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

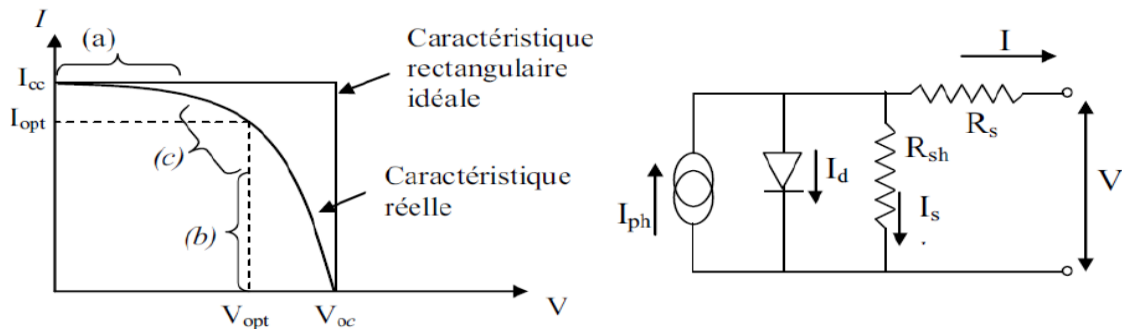


Figure 1.7: création de pair électron trou par photo excitation. [4]

Pour la cellule idéale :

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

I_{ph} : Le photo courant.

$$I_d = I \left(e^{\frac{qV}{akt}} - 1 \right) \quad (I.2)$$

$kT/q = 26 \text{ mV}$ à 300 °K (27°C) pour le silicium.

a : Coefficient d'idéalité de la diode.

CHAPITRE 1 : L'Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques (GPV)

La relation entre les trois grandeurs, I , I_{ph} et I_d (V) représente la caractéristique courant tension idéale permettant de déterminer quatre grandeurs caractéristiques principales du fonctionnement des cellules solaires :

- Le courant de court-circuit I_{cc} .
- La tension en circuit ouvert V_{co} .
- Le facteur de qualité A .
- Le facteur de forme ff .

La caractéristique $I(V)$ se divise en trois parties :

- La zone (a) où la cellule se comporte comme un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'éclairement.
- La zone (b) où la cellule se comporte comme un générateur de tension.
- La zone (c) où l'impédance interne du générateur varie rapidement.

6.6. Les paramètres d'une cellule solaire :

6.6.1. La tension à circuit ouvert V_{oc} :

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse

$$V_{co} (I = 0) = Vt \log 1 + \frac{I_{sc}}{I_0} \quad (I.3)$$

6.6.2. Le courant de court-circuit I_{sc} :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V = 0$ dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température. On peut écrire :

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (I.4)$$

6.6.3. La Puissance maximale P_{max} :

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale, correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{max} multipliée par le courant de court-circuit.

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max}$$

Le produit ($V_{max} \times I_{max}$) donne la puissance maximale qui représente 80% environ du produit ($V_{co} I_{sc}$).

6.6.4. Le facteur de qualité :

A est le facteur d'idéalité de la cellule qui dépend des mécanismes de recombinaison dans la zone de Charge d'espace (compris entre 1 et 2).

6.6.5. Le facteur de forme ff :

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale) :

$$ff = \frac{V_m \times I_m}{V_{co} \times I_{sc}} \quad (I.5)$$

6.6.6. Rendement énergétique maximum η :

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente :

$$\eta = \frac{V_m \times I_m}{P_{incidente}} = \frac{P_{max}}{E.S} \quad (I.6)$$

Où : S : Surface de cellule solaire.

E : Flux incident.

La droite passant par l'origine et le point de puissance maximale a une pente qui correspond à la charge optimale de la photopile comme le montre la figure ci-dessous.

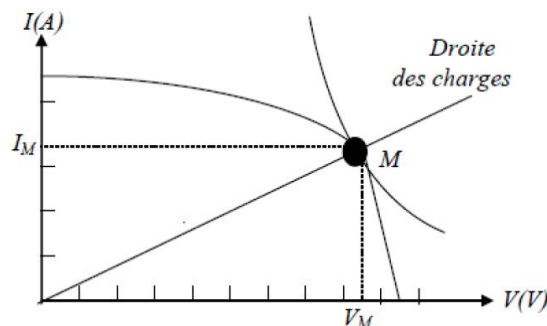


Figure 1.8 : Caractéristiques électriques d'une cellule élémentaire. [4]

7. Modèle photovoltaïque :

Pour trouver le modèle du générateur photovoltaïque, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source. De nombreux modèles mathématiques, ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire qui résulte de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations.

On présentera deux modèles du GPV:

- Modèle à une diode.
- Modèle à deux diodes.

7.1. Modèle à une diode :

CHAPITRE 1 : L'Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques (GPV)

Le fonctionnement d'un module photovoltaïque est décrit par le modèle « standard » à une diode, établi par Shokley pour une seule cellule PV, est généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou en parallèle. [4]

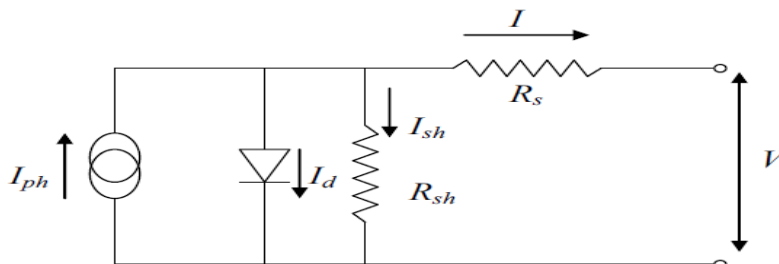


Figure 1.9 : schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode. [4]

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation (I.7)

$$I = -I_{ph} + \frac{V - R_s I}{R_{sh}} + I_s \left[\exp \left\{ \frac{q(V - R_s I)}{A k T} \right\} - 1 \right] \quad (I.7)$$

Où :

- I : Courant fourni par la cellule [A]
- V : Tension à la borne de la cellule [V]
- I_{ph} : Photocourant [A], proportionnel à l'irradiance Φ , avec correction selon T
- I_s : Courant de saturation de la diode [A], dépendant de la température [A]
- R_s : Résistance série [Ω].
- R_{sh} : Résistance shunt (ou parallèle) [Ω].
- q : Charge de l'électron = $1.602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb
- k : Constante de Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K
- A : Facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.
- T : Température effective de la cellule [Kelvin].

Il faut noter que ces deux résistances sont liées à la technologie d'élaboration des électrodes. Il faut minimiser R_s de telle sorte que R_{sh} soit très important. Le photocourant I_{ph} varie avec l'irradiance, il est déterminé par rapport à des valeurs données aux conditions de référence:

$$I_{ph} = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}} \cdot [I_{ph_{ref}} + u_{Ics} \cdot (T - T_{ref})] \quad (I.8)$$

Où :

- Φ et Φ_{ref} : Irradiance effective et de référence [W/m^2].
- T et T_{ref} : Température effective et de référence [K].
- u_{Ics} : coefficient de température du photocourant (ou courant de court-circuit), il est souvent donné par le fabricant, il est en général positif mais très faible.

CHAPITRE 1 : L'Énergie Solaire et les Systèmes Photovoltaïques (GPV)

Le courant de saturation de la diode est supposé variable avec la température selon l'expression :

$$I_s = I_{s_{ref}} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{A \cdot k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}}\right) - \left(\frac{1}{T}\right)\right] \quad (I.9)$$

Où :

E_g : Energie de Gap de la cellule. (Silicium cristallin $E_g = 1.12$ eV, Silicium amorphe $E_g = 1.7$ eV, CIS = 1.03 eV, CdTe = 1.5 eV).

Les conditions de référence F et F_{ref} sont les conditions extérieures pour lesquelles sont spécifiées les données de base utilisées pour l'établissement du modèle (V_{co} , I_{co} , V_{max} , I_{max}), se soit soit les spécifications du fabricant, toujours données aux STC (Standard Test Conditions, 1000 W/m², 25°C, spectre AM1, 5), soit des valeurs issues d'une mesure du module.

7.2. Modèle à deux diodes :

Nous avons, cette fois-ci, deux diodes pour représenter les phénomènes de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison des porteurs minoritaires, d'une part en surface du matériau et d'autre part dans le volume du matériau. Le schéma du générateur photovoltaïque devient dans le cas de la figure 1.10 [6]

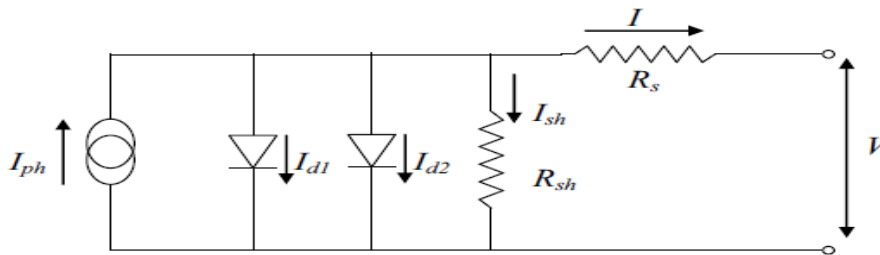


Figure 1.10: schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes. [4]

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation (I-10)

$$I = -I_{ph} + \frac{V - I \cdot R_s}{R_{sh}} + I_{s1} \left[\exp\left(\frac{q(V + I \cdot R_s)}{A k T}\right) - 1 \right] + I_{s2} \left[\exp\left(\frac{q(V + I \cdot R_s)}{A k T}\right) - 1 \right] \quad (I.10)$$

8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu des notions sur l'énergie solaire et ses caractéristiques ainsi que la cellule photovoltaïque avec sa modélisation.

Dans le chapitre prochain, nous présenterons une étude sur la différente technique MPPT pour chercher le point où la puissance du générateur Photovoltaïque est maximale.

CHAPITRE II:
Les Différentes Méthodes Du Commande
MPPT

1. Introduction :

La caractéristique de la cellule solaire V-I est non linéaire et varie avec l'irradiation et la température. En général, il existe un point unique sur la courbe V-I ou V-P, appelé Maximum Power Point (MPP), auquel tout le système PV (matrice, convertisseur, etc....) fonctionne avec une efficacité maximale et produit sa puissance de sortie maximale. L'emplacement du MPP n'est pas connu, mais peut être localisé, soit par des modèles de calcul, soit par des algorithmes de recherche. Par conséquent, les techniques MPPT (Maximum Power Point Tracking) sont nécessaires pour maintenir le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque au niveau de son MPP.

De nombreuses techniques MPPT ont été proposées dans la littérature, des exemples sont les méthodes :

- Perturbe et Observe (P & O).
- Hill Climbing.
- Incrément Conductance (IC).
- Artificiel Neural Network.
- Fuzzy Logic.

Ces techniques varient entre eux dans de nombreux aspects, y compris la simplicité, la vitesse de convergence, la mise en œuvre matérielle, les capteurs requis, le coût, la gamme d'efficacité et le besoin de paramétrage. Les techniques P&O et IC, ainsi que leurs variantes, sont les plus largement utilisées.

2. Les premiers types de commande MPPT :

L'algorithme mis en œuvre dans les premières commandes MPPT était relativement simple. En effet, les capacités des microcontrôleurs disponibles à l'époque étaient faibles et les applications, surtout destinées au spatial, avaient beaucoup moins de contraintes en variation de température et d'éclairement que les applications terrestres. Appliqué initialement au photovoltaïque. Cette commande est basée sur un algorithme de contrôle adaptatif, permettant de maintenir le système à son point de puissance maximum (PPM). Ce dernier est décrit en Figure 2.1 et peut être implanté entièrement en numérique. Cette première approche est destinée beaucoup plus à des applications spatial car le phénomène de changement aléatoire de l'éclairement et la température n'est pas pris en compte, ceci n'empêche pas que ce simple algorithme a été la base de tous les stratégies de la MPPT développées par la suite [9].

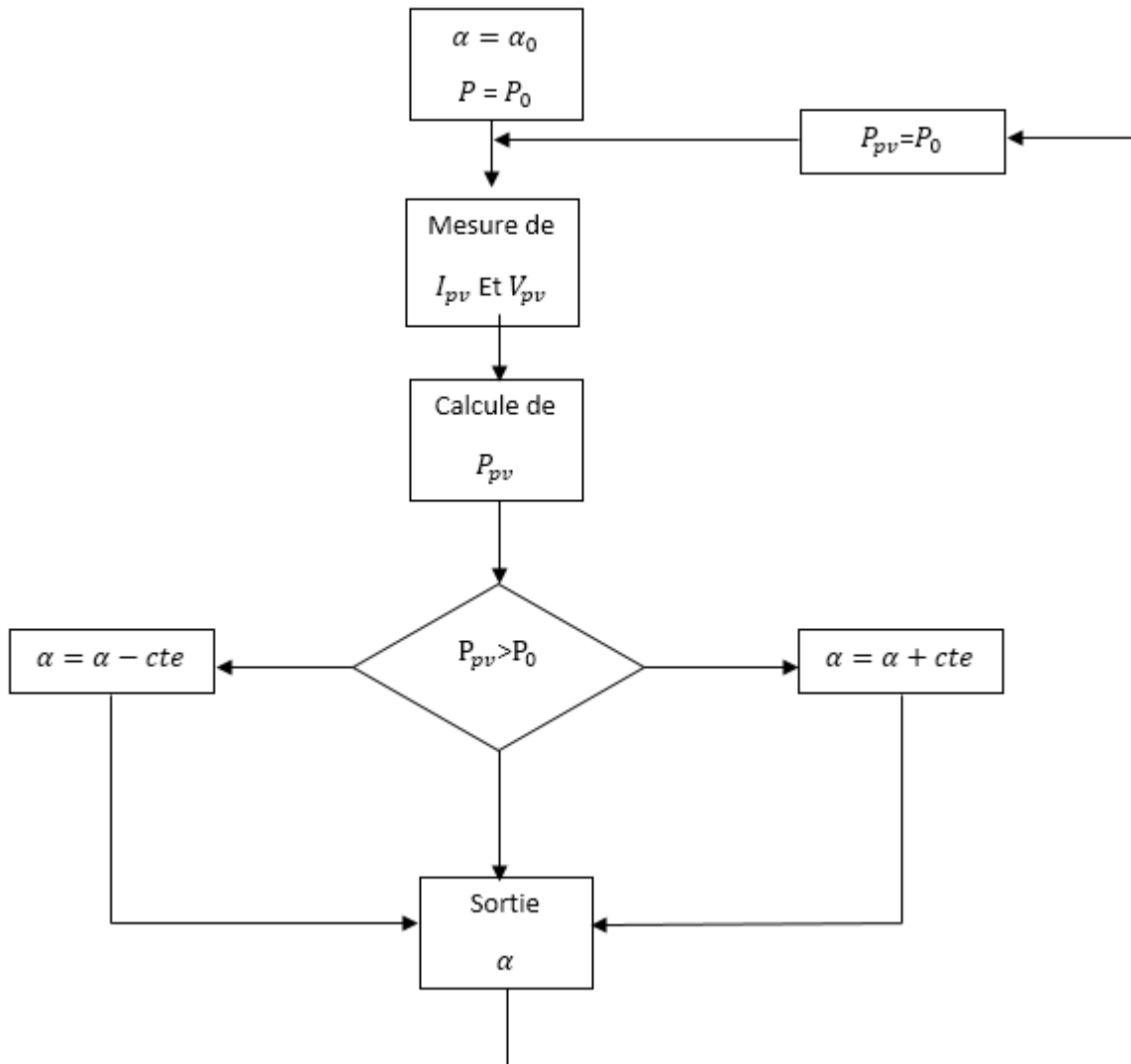


Figure 2.1: Principe de la première commande MPPT numérique. [9]

3. Les commandes MPPT les plus utilisées :

Dans la littérature, nous pouvons trouver différents types d'algorithmes effectuant la recherche du PPM. Les trois méthodes les plus couramment rencontrées sont communément appelées respectivement Hillclimbing, Perturb&Observ (P&O) et Incrément de conductance (IncConductance), Pour une meilleure compréhension des performances de ces commandes, nous rappelons brièvement leurs différents principes dans les paragraphes suivants. Nous illustrons chacun de ces modes par les publications majeures du domaine. [10][11]

3.1. La commande “Perturb and Observ” (P&O) :

Principe:

Le principe des commandes MPPT de type *P&O* consiste à perturber la tension v_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance p_{pv} qui en résulte. Ainsi, comme le montre la Figure 2.2, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension v_{pv} engendre un accroissement de la puissance p_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $p(v)$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. [12]

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM.

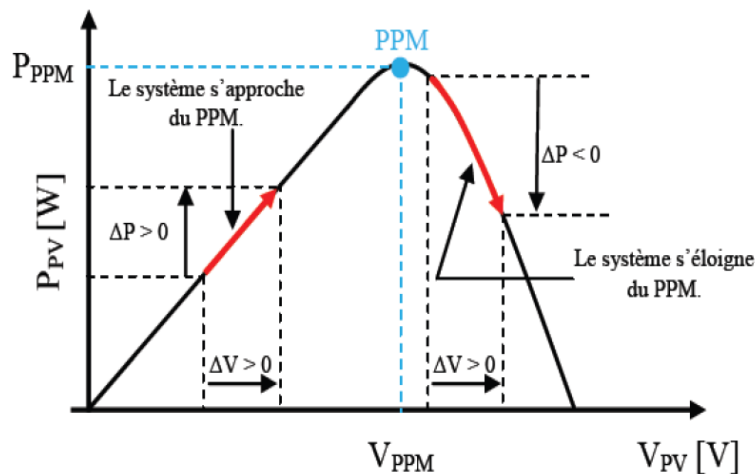


Figure 2.2: Recherche du PPM par la méthode (P&O). [14]

La Figure 2.2 représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant.

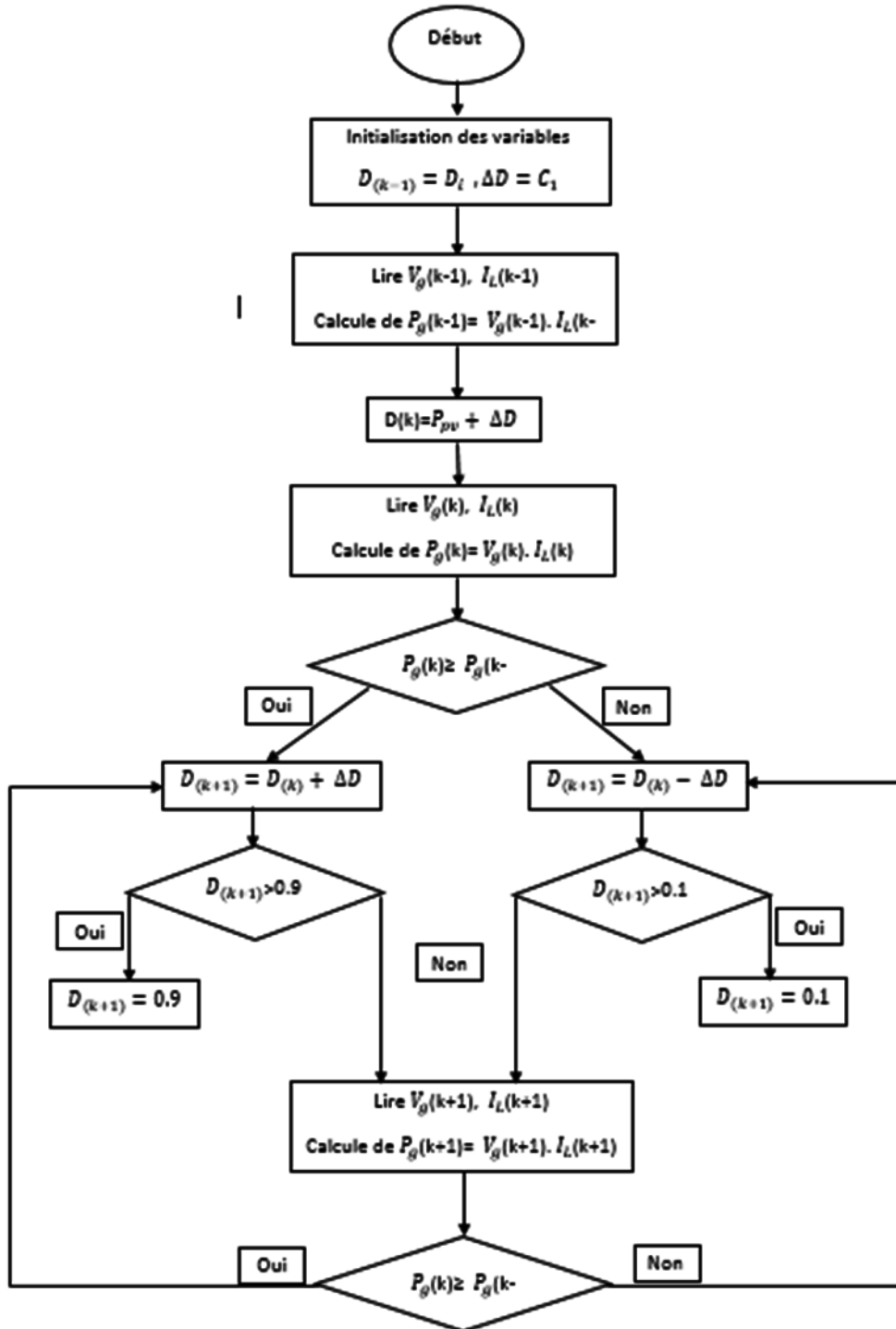


Figure 2.3: Algorithme type de la méthode P&O. [14]

La méthode P&O est aujourd’hui largement utilisée de par sa facilité d’implémentation, cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu’elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations peuvent

CHAPITRE 2:Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Néanmoins, une faible valeur d'incrément ralenti la recherche du PPM, il faut donc trouver un compromis entre précision et rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser. [14]

Ce problème a été mis en évidence, où la recherche du PPM est effectuée avec deux valeurs fixes d'incrément (le deuxième incrément est le double du premier), à partir des oscillogrammes proposés, le temps mis pour atteindre le nouveau PPM lors d'une variation de puissance de l'ordre de 8 W est de 200 ms pour le premier l'incrément, alors que celui-ci est divisé par deux pour l'incrément de forte valeur. En contrepartie, les oscillations autour du PPM sont maintenues pour ce dernier. Malheureusement, la qualité des relevés ne permet pas d'évaluer la précision statique de la MPPT (voir la notion de rendement MPPT au chapitre 1), obtenue avec ces deux incréments proposés par l'auteur ni le choix d'autres incréments si la technologie du panneau change. Par contre, une étude comparative entre différents algorithmes de recherche a été effectuée par D. P. Hohm en 2000. Dans cet article, l'auteur a développé un banc de mesure et une procédure de tests qui permettent d'évaluer différentes commandes MPPT sous les mêmes conditions climatiques durant une journée de fonctionnement. Les principes de recherche analysés sont, outre la méthode P&O, l'incrément de conductance et une méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert (VOC), détaillées toutes deux dans la suite du document. [13]

Il ressort de cette étude que la commande MPPT testée, basée sur le principe P&O, affiche un rendement MPPT de l'ordre de 96,5 %. Cependant, aucune indication n'est fournie par l'auteur sur la valeur de la variable d'incrément et si cette valeur est une valeur moyenne ou une valeur liée aux conditions climatiques. En effet, il est connu que ce type de commande permet d'obtenir un rendement plus important durant une journée relativement ensoleillée, où le PPM évolue lentement et proportionnellement au soleil. Par contre pour une journée présentant de forts changements d'irradiations très fréquents, cette commande présente plus de pertes, engendrées par le temps de réponse de la commande pour atteindre le nouveau PPM. [13]

En effet, si on analyse en détail ce mode de recherche, il présente des erreurs d'interprétation au niveau de la direction à suivre pour atteindre le PPM lorsque des variations brusques des conditions climatiques ou/et de charge apparaissent, comme cela est décrit sur la Figure 2.4.

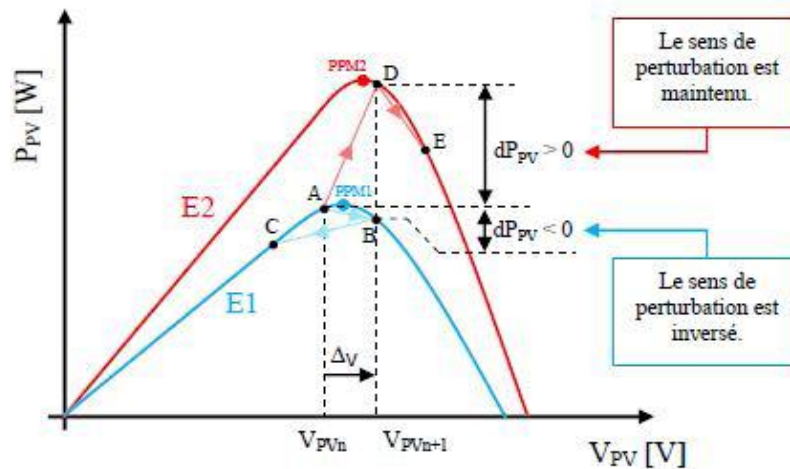


Figure 2.4: Divergence de la commande P&O lors de variations d'irradiation [13]

Pour plus de clarté, prenons l'exemple d'un éclaircissement donné, noté E1, avec un point de fonctionnement se situant en A. Suite à une perturbation de tension de valeur ΔV , ce dernier bascule en B, impliquant, dans un fonctionnement sans variation d'éclaircissement, une inversion du signe de la perturbation due à la détection d'une dérivée de la puissance négative entraînant en régime d'équilibre, des oscillations autour du PPM causées par la trajectoire du point de fonctionnement entre les points B et C. On peut noter que des pertes de transfert de la puissance seront plus ou moins importantes en fonction des positions respectives des points B et C par rapport à A. Lors d'un changement d'irradiation (évolution des caractéristiques $P(V)$ d'E1 à E2), le point de fonctionnement se déplace alors de A vers D, qui est interprété dans ce cas-là, par une variation positive de la puissance. Le système n'ayant pas la possibilité de corriger l'erreur de trajectoire lié au changement de caractéristique, le signe de la perturbation ne change pas et le système s'éloigne momentanément du PPM en direction du point E. Au mieux, ceci occasionne une non-optimisation de la puissance momentanée. Cependant, dans le pire des cas, le système de recherche peut se perdre et se retrouver en butée, soit en circuit ouvert soit en court-circuit entraînant une perte définitive du PPM. Ceci entraînant, en cas de conditions météorologiques défavorables, de fortes lacunes au niveau de la commande. [15]

Ce cas de Figure est d'ailleurs illustré par D. SERA, à l'aide de simulations. Pour mettre en évidence ce désagrément, il analyse le comportement de la commande P&O lorsqu'une variation d'ensoleillement, correspondant à une évolution linéaire de l'irradiation de 125 W/m^2 à 800 W/m^2 , se produit sur une durée de 25 secondes.

CHAPITRE 2: Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

Contrairement à la perturbation, la recherche du PPM ne se fait pas linéairement, la commande a tendance à s'éloigner momentanément du PPM, pour converger par la suite vers ce dernier. Dans cet essai, le temps de recouvrement de la commande MPPT s'effectue au bout de 40 secondes, soit 15 secondes après que l'éclairement se soit stabilisé. Durant cet essai, le rendement de la commande MPPT est estimé à 94,5% pour une durée de fonctionnement de 100 secondes. Ici, comme précédemment, aucune indication n'est formulée sur la valeur de la variable d'incrément utilisée ; il est donc difficile d'évaluer les performances réelles de cette commande. Pour remédier aux différents problèmes liés à la commande P&O, on a introduit d'autres types de commandes. [16]

3.2. La commande "Hill Climbing":

Principe :

La technique de contrôle nommée Hill Climbing est basée sur la caractéristique $p(\alpha)$ qui présente un maximum à $\frac{dp}{d\alpha} = 0$ comme le montre la Figure 2.5.

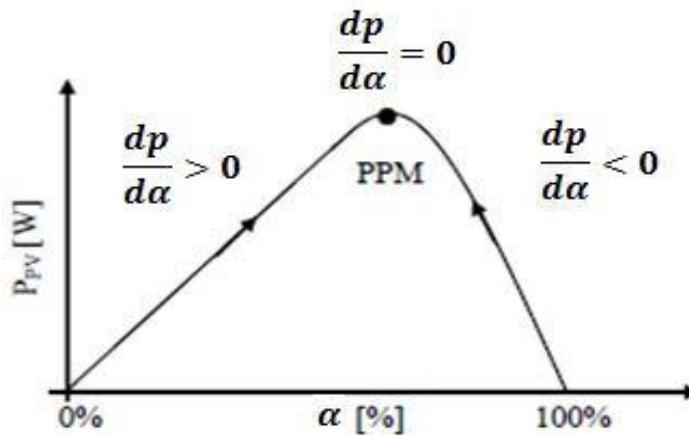


Figure 2.5: Relation entre la puissance du GPV et le rapport cyclique du Convertisseur statique. [16]

L'algorithme de cette méthode est illustré sur la Figure 2.6. La variable $Slope$ correspond à une variable qui prend le signe « 1 » ou « -1 » suivant la direction que l'on doit donner à la recherche pour augmenter la puissance en sortie du panneau, symbolise la variable d'incrément du rapport cyclique. Périodiquement, la puissance P_{pv} est comparée à la valeur déterminée précédemment P_{pvn-1} . En fonction du résultat de la comparaison, le signe de la valeur $Slope$ change ou reste identique. [16]

Ce qui a pour effet d'incrémenter ou de décrémenter la valeur du rapport cyclique. Une fois le PPM atteint, le système oscille autour de ce dernier indéfiniment rejoignant alors les compromis à

CHAPITRE 2: Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

faire entre rapidité et précision comme la méthode précédente et les pertes liées à ces oscillations. [17]

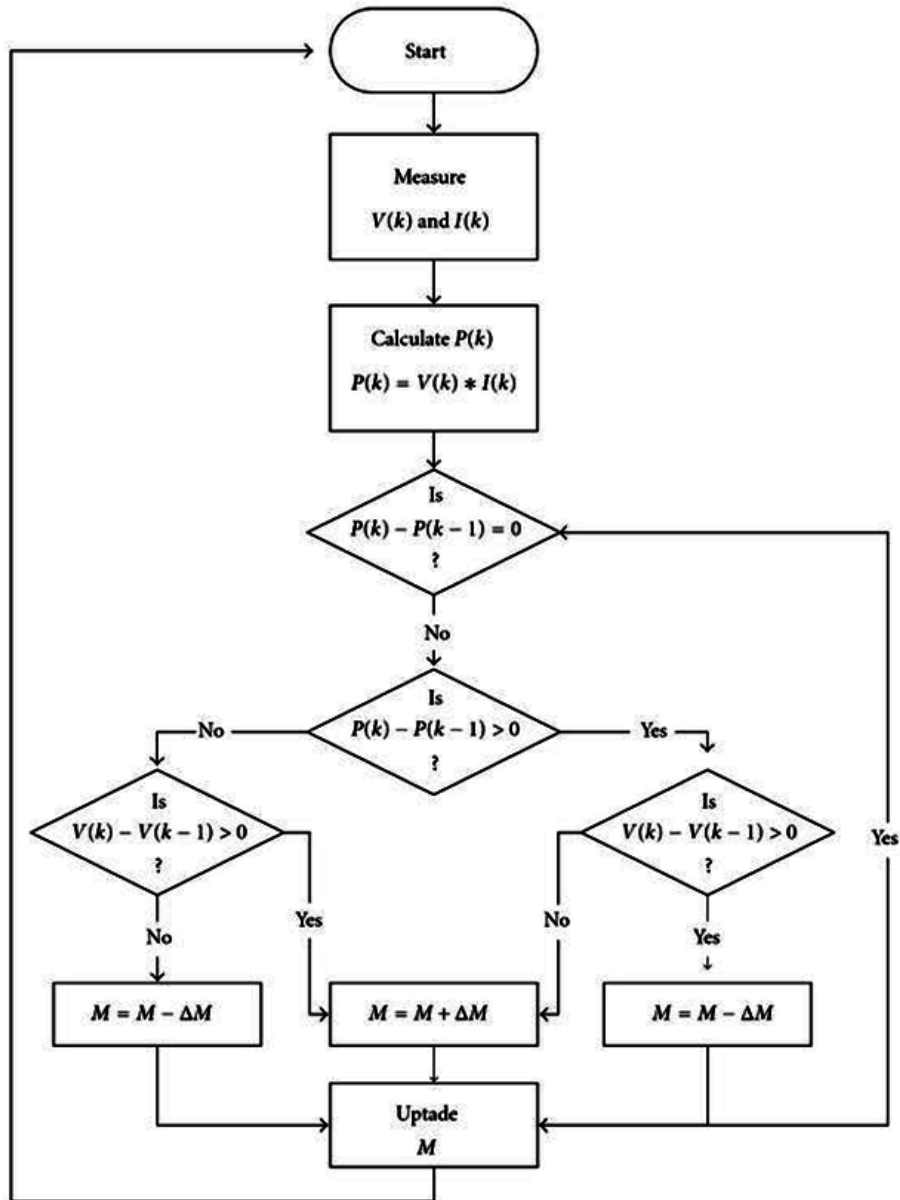


Figure 2.6: Algorithme type de la commande Hill Climbing. [17]

Le schéma synoptique est illustré sur la Figure 2.7. L'avantage de cette dernière technique est qu'elle est simple à mettre en œuvre. Par contre, elle possède les mêmes inconvénients que la méthode

CHAPITRE 2: Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

P&O concernant des oscillations autour du PPM en régime établi et une perte occasionnelle de la recherche du PPM lors de changement rapide des conditions climatiques. [18]

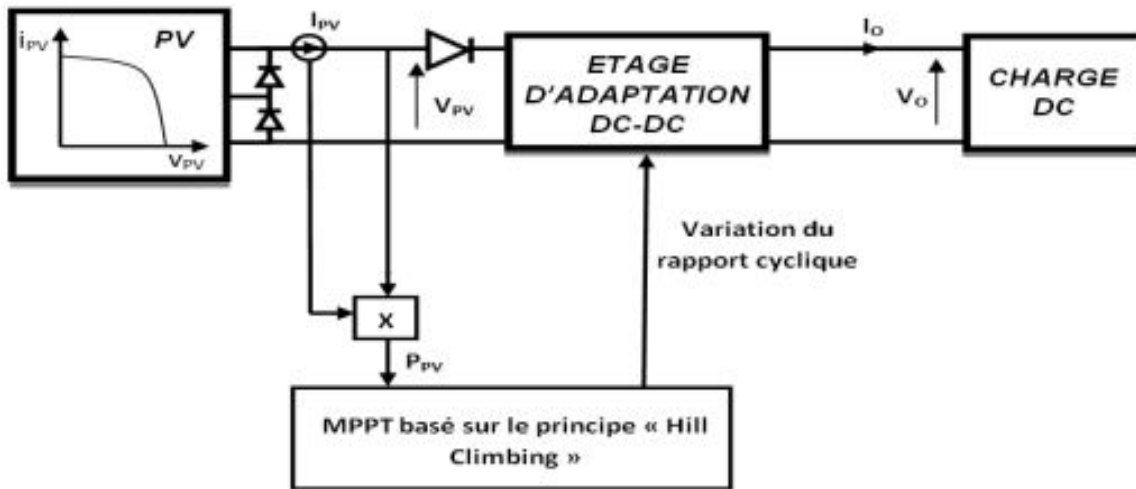


Figure 2.7: Schéma de principe de la commande Hill Climbing.

Ces imperfections sont mises en évidence, à l'aide d'un tableau évaluant les performances de cette commande, en termes de temps de réponse et de puissance extraite en sortie du GPV, pour différentes valeurs de la variable a . Par exemple, pour une variation d'ensoleillement de 990 W/m^2 à 510 W/m^2 , une incrémentation (a) de 1,5 % du rapport cyclique affiche un temps de réponse de 6 s pour une puissance en sortie du GPV de 1920,6 W. Tandis que pour une incrémentation de 0,4 %, la puissance extraite est de 1931,35W avec un temps de réponse quasi trois fois plus long (16,5 s). Ici, il est à noter qu'une incrémentation faible du rapport cyclique démontre de très bonnes performances lorsque l'ensoleillement varie très lentement (journée de très beau temps) mais une réponse dynamique relativement faible lors de changements d'éclairéments brusques.

Malheureusement, il est encore une fois impossible de déterminer le rendement MPPT et d'avoir une idée de l'évolution de ce dernier en fonction des différentes valeurs de la variable d'incrément, car l'auteur indique seulement la puissance extraite en sortie du GPV en fonction d'un niveau d'irradiation sans indiquer la puissance maximale potentielle qu'aurait pu produire le GPV durant l'essai ayant servi d'évaluation. [19]

Par contre, des informations concernant le rendement de cette commande sont fournies par le même auteur en. Dans ce nouvel article, les tests d'évaluations sont effectués à l'aide d'une lumière artificielle, afin de contrôler le taux d'ensoleillement. La puissance maximale en sortie du GPV est de

5.83 Wc. Comme précédemment, l'incrément de la variable a varié de 0.8 % à 2 %. Le temps de recouvrement est alors compris respectivement entre 3.9 s et 1.2 s, avec des rendements variant entre 99.13 % et 95.52 %. Ici, ces rendements correspondent aux points de fonctionnement stables. Il est donc difficile d'évaluer concrètement les performances de cette commande lors d'un fonctionnement en condition réelle où le PPM peut varier à tout instant avec des amplitudes relativement importantes.

Il est à signaler qu'un gain intéressant de l'ordre de 15 % en termes de puissance extraite en sortie du PV a été démontré par l'utilisation de ce type de commande comparé au même convertisseur piloté à partir d'un rapport cyclique fixe, dont la valeur correspond à la position du PPM d'un GPV pour une température et une puissance d'ensoleillement données.[20]

3.3. La commande "Incrément de conductance":

Principe :

Cette technique est basée sur la connaissance de la variation de conductance du GPV et des conséquences sur la position du point de fonctionnement par rapport à un PPM. Ainsi, la conductance du module photovoltaïque est définie par le rapport entre le courant et la tension du GPV comme indiqué ci-dessous :

$$G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (\text{II.1})$$

Donc une variation élémentaire (incrément) de conductance peut être définie par :

$$dG = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (\text{II.2})$$

D'autre part, l'évolution de la puissance du GPV par rapport à la tension donne la position du point de fonctionnement par rapport au PPM. Lorsque la dérivée de puissance est nulle, cela signifie que l'on est sur le PPM, si elle est positive le point d'opération se trouve à gauche du maximum, lorsqu'elle est négative, on se situe à droite. La Figure 2.8 permet d'écrire les conditions suivantes :

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0$, le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0$, le point de fonctionnement est sur la droite du PPM.

Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0$, le point de fonctionnement est sur le PPM.

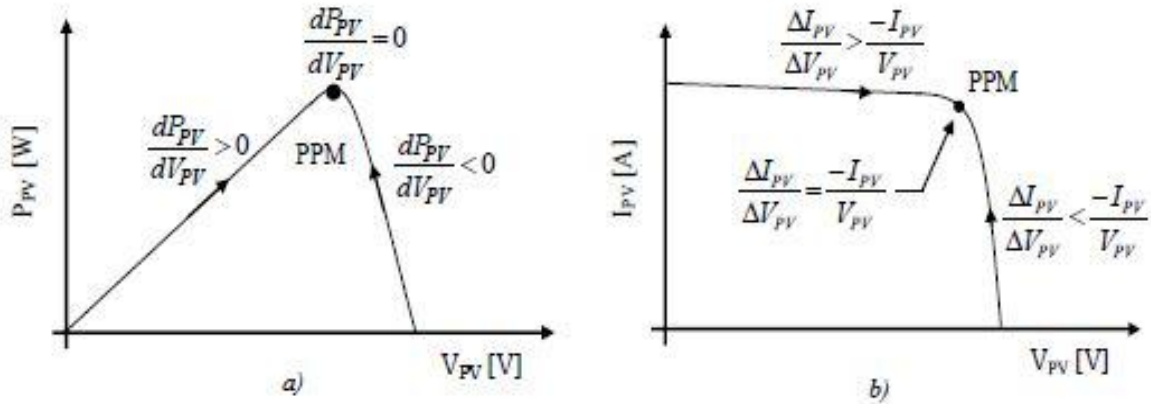


Figure 2.8: Positionnement du point de fonctionnement suivant le signe de ΔG

Le lien entre la conductance donnée par l'équation (2.1) et la dérivée de la puissance $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}}$ peut-être décrit par l'équation suivante :

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \cdot \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \cong I_{pv} + V_{pv} \cdot \frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}}$$

D'où, on peut alors écrire de nouvelles conditions sur la variation de conductance.

Si $\frac{\Delta P_{pv}}{\Delta V_{pv}} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ le point de fonctionnement est à gauche du PPM.

Si $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ le point de fonctionnement est sur la droite du PPM.

Si $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$ le point de fonctionnement est sur le PPM.

Le maximum de puissance peut être alors traqué en effectuant des comparaisons à chaque instant de la valeur de la conductance $(\frac{I_{pv}}{V_{pv}})$, avec celle de l'incrément de conductance $\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}}$, comme l'illustre l'algorithme de la Figure 2.9. V_r correspond à la tension de référence et force le GPV à fonctionner à cette valeur. Si on est au PPM, alors la tension V_r correspond bien à la tension optimale V_{ppm} . Une fois le PPM atteint, le point de fonctionnement peut être maintenu sur cette position jusqu'à la détection d'une variation de ΔI_{pv} . Cela indique alors un changement de conditions climatiques, donc un nouveau PPM à rechercher. Pour cela, l'algorithme incrémente ou décrément la

CHAPITRE 2: Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

valeur de V_r jusqu'à atteindre le PPM. Le schéma de principe de cette méthode est illustré sur la Figure 2.9. [22] [21].

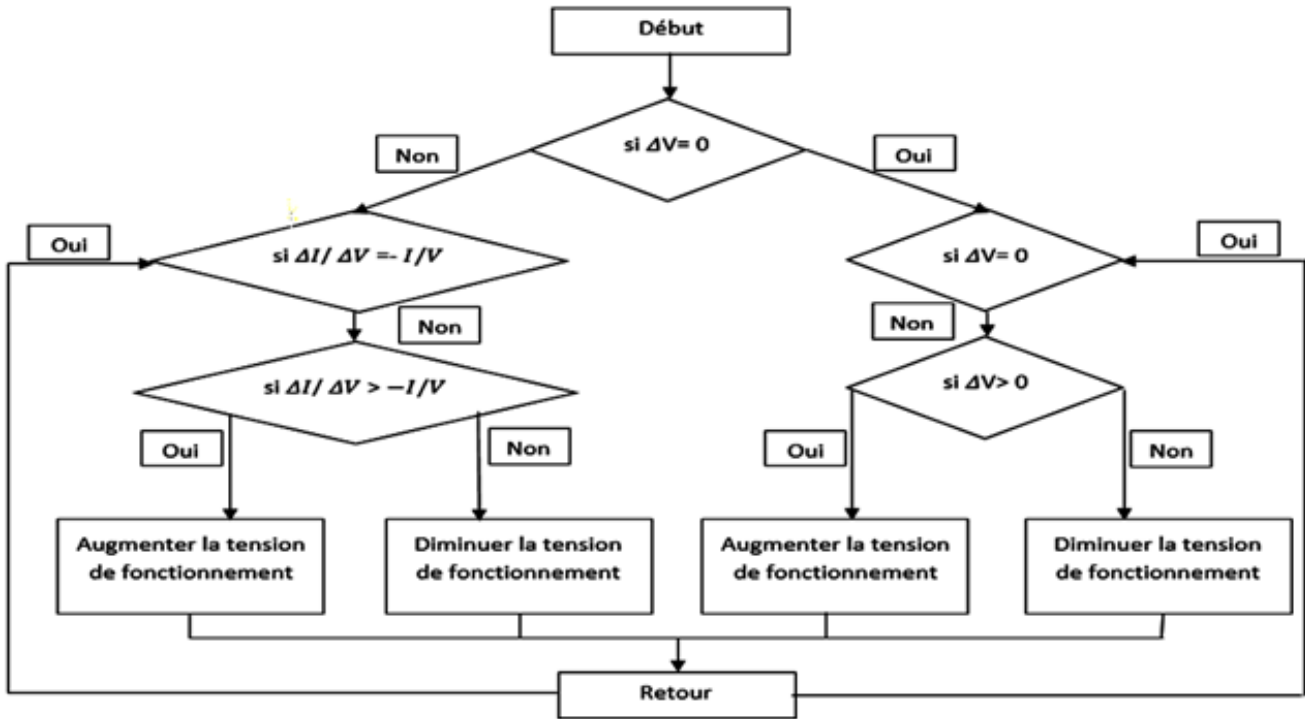


Figure 2.9: Algorithme d'une commande MPPT basée sur la méthode
Incrément de Conductance. [24]

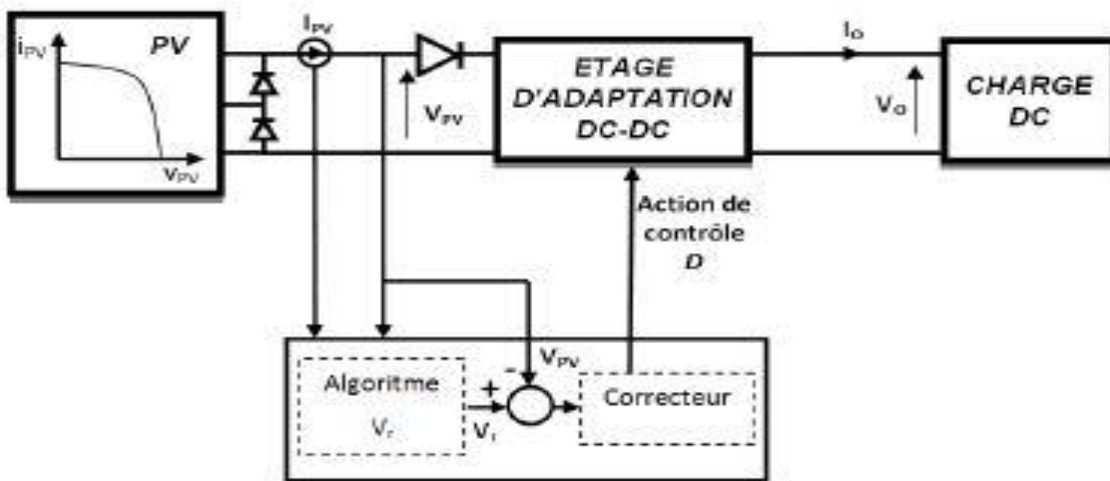


Figure 2.10: Fonctionnement d'une commande MPPT de type "IncCond"
Illustré sur une chaîne élémentaire de conversion PV. [24]

Théoriquement, avec la méthode de contrôle de type "IncCond", il est possible de trouver un PPM et de le fixer en stoppant la perturbation. Dans ce cas-là, ΔV_{pv} est nul et c'est le contrôle de l'apparition de ΔI_{pv} qui permet de réactiver l'ajustement de la valeur de V_r pour atteindre un nouveau PPM. Ceci se produit par exemple lors de variations d'ensoleillement. Ceci constitue en soi une propriété intéressante par rapport aux deux types de MPPT précédents car en régime établi, il n'y a pas de pertes par rapport au PPM. De plus, cette méthode ne présente pas de risques de divergence par rapport au PPM. En pratique, le système présente une oscillation comme la commande P&O autour du PPM, à cause du bruit aux niveaux des acquisitions des paramètres d'entrée V_{pv} , I_{pv} et de la difficulté au système de bien analyser si la relation (2-3) est bien remplie ou non. Ainsi, en réalité, cette condition n'étant jamais obtenue, le système est toujours en train de la rechercher. [24]

Par rapport à la commande P&O, le temps d'exécution de l'algorithme est plus long car ce dernier est plus complexe. De ce fait, l'intervalle de temps entre deux échantillons de tension et de courant est augmenté engendrant un retard sur la détection des variations climatiques.

Une étude comparative en termes de rendement MPPT est également réalisée par H.Hussein entre la commande "IncCond" et "P&O". Lors de cette étude, le rendement affiché par la commande "IncCond" est de 89,9 % par rapport au 81,5 % de la commande "P&O". Cette différence est principalement due aux variations relativement faibles autour du PPM engendré par la commande "IncCond". [25]

Le mode de fonctionnement de ces commandes est basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (V_{ppm} , I_{ppm}) et les paramètres caractéristiques du GPV (V_{co} , I_{cc}). Suivant le paramètre contrôlé, on parle alors de commande en régulation de courant ou de tension. [23]

4. Commandes MPPT basées sur des relations de Proportionnalité :

Le mode de fonctionnement de ces commandes est basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal (V_{ppm} , I_{ppm}) et les paramètres caractéristiques du GPV (V_{co} , I_{cc}). Suivant le paramètre contrôlé, on parle alors de commande en régulation de courant ou de tension.

4.1. Mesure de VOC (Fraction de VOC):

Cette technique de recherche du PPM est très simple. Elle consiste à comparer la tension du panneau (V_{pv}) avec une tension de référence qui correspond à la tension optimale (V_{ppm}). L'erreur

sur la tension est alors utilisée pour ajuster le rapport cyclique du convertisseur statique, afin de faire coïncider les deux tensions. [26]

La tension de référence est obtenue à partir de la connaissance de la relation linéaire existante entre V_{ppm} et V_{co} d'un module GPV :

$$V_{ppm} = k.V_{co}$$

Avec k correspondant à un facteur de tension dont sa valeur dépend du GPV utilisé et de la température de fonctionnement. Généralement, pour des GPV en silicium, il est compris entre 0.71 et 0.78. [27]

A partir de (II.4) et connaissant k , il faut cependant mesurer la tension de circuit ouvert V_{co} afin d'en déduire la tension de référence V_{ppm} à appliquer au GPV. L'inconvénient majeur de cette technique réside dans la nécessité d'effectuer la mesure de V_{co} de temps en temps et l'obligation de déconnecter la charge du GPV durant cette mesure, impliquant une perte de transfert de puissance à chaque mesure. Un autre inconvénient est l'hypothèse faite sur l'évolution de k dans un GPV suivant les différents points de fonctionnement des caractéristiques de puissance. Beaucoup d'auteurs font l'hypothèse que ce coefficient est constant pour un générateur donné. Ceci est loin d'être vrai pour la plupart des GPV en silicium qui affichent une variation d'au moins 10 % de ce facteur en fonction de la température de fonctionnement. Ces commandes sont très simples et très robustes mais aujourd'hui ne présentent pas assez de précisions essentielles à leur principe même de fonctionnement pour être retenues dans des systèmes de conversion récents. [28]

4.2. Mesure d'I_{cc} (Fraction d'I_{cc}) :

Cette nouvelle méthode est basée sur la connaissance de la relation linéaire en première approche entre I_{cc} et I_{ppm} comme le montre l'équation (II.5) :

$$I_{ppm} = k.I_{cc} \text{ (II.5)}$$

Avec k correspondant à un facteur de courant qui dépend là aussi du GPV utilisé et est généralement compris entre 0.78 et 0.92. [26]

L'équation (II.5) montre que le courant optimal peut être déterminé par une mesure du courant du court-circuit et que le PPM peut être atteinte en appliquant un courant de référence égal à I_{ppm} à la régulation en courant du convertisseur. La mesure du courant de court-circuit implique une perte de transfert de puissance due à la mise en court-circuit du GPV. Toutefois, cette méthode peut s'avérer plus précise que la précédente car la température n'influence pas trop ce coefficient. [28]

Ces types de commandes ayant besoin uniquement d'un seul capteur, elles ont été très utilisées dans les années 80. Elles s'avéraient alors plus faciles à mettre en œuvre et un peu moins coûteuses que les commandes extrémales citées au début de ce document. Par contre, la précision de ces commandes est faible notamment à cause des procédés d'estimation des paramètres caractéristiques du module (I_{cc} , v_{co}) qui ne peuvent pas se faire trop souvent. [24]

L'échelle temporelle de réaction est en effet de la minute. De plus, à chaque fois qu'une mesure de courant ou de tension est faite, cela entraîne un arrêt obligatoire de transfert de puissance et donc des pertes énergétiques qui ne sont pas négligeables au cours d'une journée.

Comme le montre l'étude comparative ou le rendement MPPT de la méthode VOC est de 88,1 %, soit 8 et 10 % inférieur à la commande "P&O" et "IncCond" respectivement. [29]

5. Les commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue :

Les commandes basées sur la logique floue (dans la littérature anglo-saxonne FuzzyLogic Control) sont de plus en plus populaires grâce à l'évolution des microcontrôleurs. L'avantage de ces techniques est qu'elles peuvent fonctionner avec des valeurs d'entrées peu précises et qu'elles n'ont pas besoin de modèle mathématique de grande précision. De plus, elles peuvent traiter des non linéarités. Le principe d'une commande floue se base sur deux variables d'entrées qui sont l'erreur ER et le changement d'erreur ΔER et une variable de sortie $\Delta\alpha$ (variation du rapport cyclique).

La valeur de la variable de sortie, qui pilote le convertisseur statique pour rechercher le PPM, est déterminée à l'aide d'une table de vérité et de l'évolution des paramètres d'entrée.

En général, la commande logique floue comprend donc trois étapes communément nommées dans la littérature :

- **la fuzzification.**
- **la lecture de la table de vérité.**
- **la défuzzification.**

Durant la fuzzification, les variables d'entrées numériques sont converties en variable linguistique pouvant prendre les cinq valeurs suivantes :

- NB: Negative Big,
- NS: Negative Small,
- ZE: Zero,
- PS: Positive Small,
- PB : Positive Big.

CHAPITRE 2: Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

Comme le montre la structure de base de la commande logique floue illustrée en Figure 2.11 :

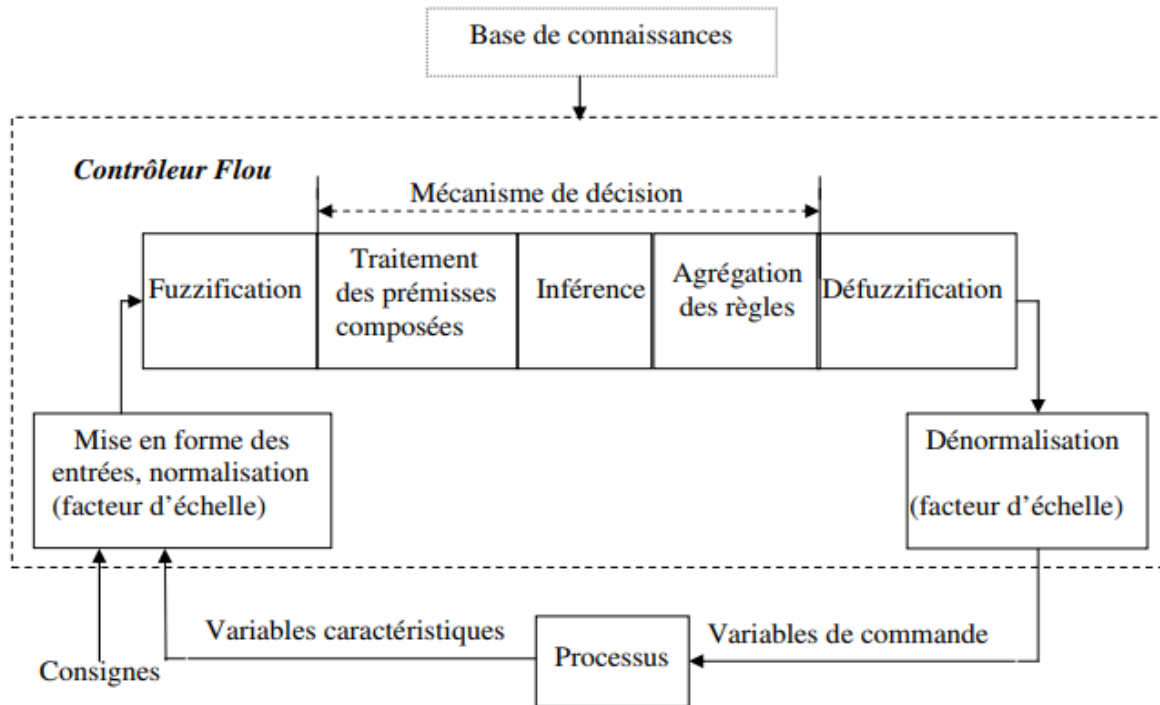


Figure 2.11: Structure de base de la commande floue. [30]

Les paramètres d'entrées E_R et ΔE_R sont liées aux équations suivantes :

$$E_R(n) = \frac{Ppv(n) - Ppv(n-1)}{Vpv(n) - Vpv(n-1)} \quad (II.6)$$

$$\Delta E_R(n) = E_R(n) - E_R(n-1) \quad (II.7)$$

En fonction de leurs évolutions et d'une table de vérité comme indiquée dans le tableau 2.1, une valeur est attribuée au paramètre de sortie $\Delta\alpha$.

ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
E					
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	NS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

Tableau 2.1 Exemple d'une table de vérité pour une commande logique floue.

La variable linguistique assignée à $\Delta\alpha$ dépend des différentes combinaisons entre ER et ΔER . Par exemple, si les variables d'entrée (E et ΔE), ont comme valeur PB et ZE correspondant à un point de fonctionnement très éloigné du PPM, d'après la table de vérité la valeur donnée à la variable de sortie ΔD est PB, ce qui implique une forte variation positive du rapport cyclique pour atteindre le PPM.

En résumé, les variations du rapport cyclique dépendent de la différence de position entre le point de fonctionnement et un PPM. Ainsi, dès que ce dernier s'approche du PPM, les incréments appliqués à $\Delta\alpha$ s'affinent jusqu'à atteindre le PPM.

En résumé, cette méthode s'avère être très performante lors de changement des conditions climatiques, cependant sa précision en statique est fortement liée à la complexité de la table de vérité employée entraînant la nécessité du choix obligatoire d'un microcontrôleur ayant une grande capacité de calculs tenant compte des nombreuses disparités des paramètres électriques du panneau. Ici, typiquement, cette commande peut présenter les meilleures performances en termes de précision et de rapidité de recouvrement de PPM mais elle entraîne obligatoirement une consommation énergétique non négligeable liée au microprocesseur ainsi qu'un surcoût. [29] [30].

5.1. Commande MPPT de réseaux de neurones artificiels :

La technique de réseaux de neurones elle est aussi, de plus en plus utilisée, car elle offre une grande alternative pour résoudre des problèmes complexes. Ces dernières années, l'utilisation de cette méthode dans divers domaines d'application ne cesse d'augmenter car elle fonctionne à partir d'une boîte noire qui n'exige pas d'informations détaillées sur le fonctionnement du système. Elle établit des relations entre les variables d'entrée et de sortie en analysant les précédentes données mémorisées. Un autre avantage est qu'elle peut traiter des problèmes d'une grande complexité grâce à des paramètres interdépendants.

Les réseaux de neurones sont composés généralement de trois couches différenciées, de dénominations :

- Couche d'entrée (Input layer).
- Couche cachée (Hidden layer).
- Couche de sortie (Output layer).

Comme le montre la Figure 2.12.

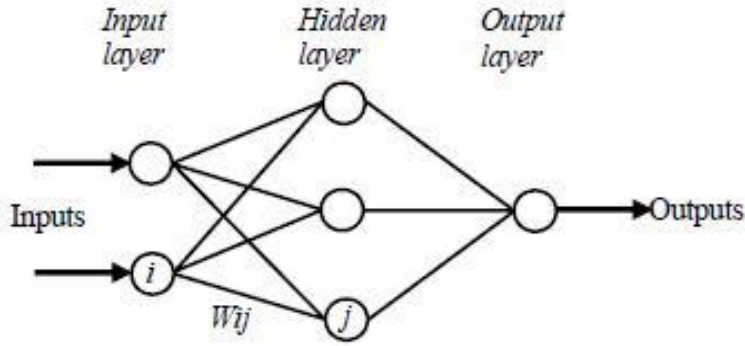


Figure 2.12: Exemple d'un réseau de neurones. [31]

Le nombre de nœuds au niveau des différentes couches est variable en fonction du degré d'apprentissage souhaité et de la précision de la commande souhaitée. Pour une commande MPPT, les variables d'entrées peuvent donc être les paramètres caractéristiques d'un GPV (I_{cc} , V_{co}) associées ou non à des données atmosphériques comme la température ou l'irradiation ou bien une combinaison de ces dernières. La sortie est généralement un ou plusieurs signaux de référence comprenant au moins le rapport cyclique permettant de commander le convertisseur statique (CS) pour fonctionner le plus souvent possible au PPM. La qualité de la recherche du PPM dépend essentiellement de l'algorithme utilisé dans la couche cachée et de la construction proprement dite du réseau. Ainsi, l'importance entre deux nœuds de la valeur du poids choisi W_{ij} est à prendre en compte. Pour identifier avec précision les différents PPM éventuels, les poids W_{ij} doivent être initialement déterminés avec le plus de soin possible à travers des procédures d'apprentissage pénibles et spécifiques à chaque GPV, chaque site d'implantation et chaque type de charge. De plus, cet apprentissage doit être révisé régulièrement (typiquement chaque mois) pour mettre à jour les relations entre les entrées et les sorties du réseau. Ce qui rend cette commande fastidieuse en entretien et en maintenance. [31] [32].

5.2. MPPT RCC (Ripple Corrélation Control):

C'est une technique qui utilise les ondulations engendrées par le convertisseur statique dans les grandeurs mesurées du GPV (courant – tension et puissance).

Le principe est basé sur la dérivée de puissance par rapport au temps $\left(\frac{dp}{dt}\right)$ au lieu de $\left(\frac{dp}{dv}\right)$. Le point maximum est obtenu directement par la relation analytique du rapport cyclique $\alpha(t)$, où :

$$\alpha(t) = k \int \dot{p} \dot{v} dt \quad (\text{II.8})$$

La relation montre que cette technique est facile à l'implantation analogique, la constante K dépend du gain du circuit de commande du convertisseur statique.

La réponse dynamique dépend aussi de la fréquence de hachage. Seule la perturbation du point de fonctionnement engendrée par les ondulations de courant ou de tension présente un inconvénient dans cette MPPT. [33]

5.3. MPPT basé sur le balayage du courant (Current Sweep):

Cette méthode utilise le balayage du courant I_{pv} pour tracer la caractéristique (I, V) dans un intervalle fixe du temps, donc le V_{ppm} sera calculé à travers le tracé de cette courbe. La fonction de balayage est choisie de façon que :

$$f(t) = k \frac{df(t)}{dt} \quad (\text{II.9})$$

La puissance du GPV est donnée par :

$$p(t) = v(t).i(t) = v(t).f(t) \quad (\text{II.10})$$

Au PPM, $\frac{dp}{dt} = 0$ et, en substituant (2.9) on obtient l'équation suivante :

$$\frac{dp}{dt} = \left[v(t) + k \frac{dv}{dt} \right] \frac{df}{dt} = 0 \quad (\text{II.11})$$

Or la solution de l'équation différentielle (2.9) est :

$$f(t) = C. \exp\left(\frac{-t}{k}\right) \quad (\text{II.12})$$

Pour avoir une exponentielle décroissante qui tend vers I_{max} en fait le choix ($C=I_{max}$), l'équation (II.12) peut s'implanter facilement avec un circuit capacitif en décharge.

Le seul inconvénient de cette méthode est le temps de balayage du courant qui peut prendre 50 ms. Ce temps de réponse provoque un taux de pertes très élevés. [34]

6. Synthèse des commandes MPPT :

Le tableau II-2 résume les caractères majeurs des différentes techniques MPPT dont nous avons rappelé les principes ci-dessus.

Ce tableau résume les différents MPPT connus dans la littérature selon :

- La connaissance nécessaire des paramètres du GPV.
- La nécessité d'une mise à jour périodique.
- Le type d'implantation lors d'une réalisation pratique et le degré de complexité.
- Le temps de réponse du traqueur (vitesse de recouvrement du PPM).
- Le nombre des capteurs nécessaires.
- Le rendement qui caractérise les pertes dues à l'adaptation maximale de la charge.

CHAPITRE 2: Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

Donc, avec autant de méthodes MPPT disponibles, il n'est pas évident de faire un choix selon les besoins désirés.

Dans le tableau suivant sont résumés les différents principaux aspects du MPPT à prendre en considération.

Méthode de MPPT	Connaissance des paramètres du GPV	Nécessité d'une mise à jour périodique	Mode d'implantation	Complexité d'implantation	Vitesse de recouvrement du PPM	Type et nombre de capteur	Type et nombre de capteur
P&O	non	non	Analogique ou numérique	basse	Variable	1 capteur Courant. 1 capteur tension.	81-96
Inc-cond	non	non	numérique	moyenne	Variable	1 capteur courant. 1 capteur tension.	90-98
hillclimbing	non	non	Analogique ou numérique	basse	Variable	1 capteur courant. 1 capteur tension.	95-99
Fonction de VCO	oui	oui	Analogique ou numérique	moyenne	moyenne	1 capteur tension	88
Fraction Icc	oui	oui	Analogique ou numérique	moyenne	moyenne	1 capteur tension	
Logique Floue	oui	oui	numérique	haute	rapide	variable	
Réseau de Nuerons	oui	oui	numérique	haute	rapide	variable	
RCC	non		analogique	basse	rapide	1 capteur courant. 1 capteur tension	
Balayage du courant	oui	oui	numérique	haute	lentement	1 capteur courant. 1 capteur tension	

Tableau 2.2 Caractéristiques majeures des commandes MPPT.

6.1. Implémentation :

La facilité de mise en œuvre est un facteur important pour le choix d'une MPPT, Comme indiqué sur le tableau récapitulatif ci-dessus, certaines méthodes de MPPT peuvent être implantées en analogique et d'autres en numérique ou en même temps. Cela a une influence directe sur la simplicité de l'implantation de l'algorithme et donc, sur le coût de la commande MPPT et son rendement [35].

6.2. Coût :

Dans la littérature, la notion coût MPPT revient toujours au type d'implantation (analogique ou numérique) ; il est souvent cité que l'implantation analogique est la moins chère, car les implantations numériques nécessitent des microcontrôleurs programmables. Ainsi, l'élimination de certains capteurs peut diminuer largement le coût d'une méthode MPPT, surtout les capteurs de courant [35].

6.3. Réponse dynamique :

Une commande MPPT doit avoir un bon comportement en dynamique afin de pouvoir piloter l'étage d'adaptation et assurer que la recherche du nouveau PPM, suite aux changements d'éclairage ou de température, soit faite le plus rapidement possible[35] .

6.4. Flexibilité :

Une commande MPPT doit être précise et stable quelles que soient ses conditions d'utilisation. C'est-à-dire qu'elle ne doit pas être conçue pour fonctionner pour un seul type d'applications (exemple : spatial ou domestique...). Elle doit être la plus universelle possible, capable de fonctionner avec des panneaux de différentes technologies sans trop de modifications, tout en gardant le même taux de précision et de robustesse[35] .

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les différentes méthodes MPPT rencontrées le plus souvent dans la littérature. L'existence de plusieurs types de commandes MPPT montre que ce domaine de recherche est en perpétuel évolution et qu'il est difficile de trouver une ou plusieurs solutions universelles.

Pour cela, nous avons présenté les principes des techniques les plus populaires et couramment utilisées dans les travaux de recherche ou dans l'industrie, en mettant en évidence un tableau comparatif des différentes méthodes en fonction de plusieurs critères.

CHAPITRE 2:Les Différentes Méthodes Du Commande MPPT

Dans le chapitre prochain, on va étudier quelque type des convertisseurs de type dc-dc.

CHAPITRE III:
Etat D'Arte Pour Convertisseur
DC-DC

1. Introduction :

Nous avons détaillé dans les deux chapitres précédents que les systèmes électriques utilisant les GPV comme source d'énergie sont conçus pour fonctionner dans les limites des puissances maximales. Pour dépister ce point de fonctionnement qui varie fortement avec les conditions météorologiques, un traqueur du point optimal est utilisé. Il est basé sur des convertisseurs statiques qui sont l'élément de base pour l'optimisation de la puissance et l'adaptation de la charge. Une interface à travers un convertisseur DC-DC (transformateur DC) entre la source et la charge avec une action de contrôle (MPPT) est nécessaire pour assurer à chaque instant le transfert de la puissance maximale. Le point de fonctionnement sera perturbé tous le temps sous l'influence de l'action de recherche MPPT et les conditions météorologiques.

Dans ce chapitre, nous présentons quelques types des convertisseurs statiques DC-DC utilisés dans les systèmes PV. Comme le convertisseur dévolteur, le convertisseur survolteur et le convertisseur mixte (dévolteur-survolteur). [36].

Convertisseur	Rapport de transformation	Isolation galvanique
Buck	α	Non
Boost	$\frac{1}{1-\alpha}$	Non
Buck-Boost	$\frac{-\alpha}{1-\alpha}$	Non

Tableau 3.1 : Classification des convertisseurs statiques [39]

Dans notre travail nous allons utiliser le hacheur buck parce que ce type de convertisseur est destiné à diminuer la tension et augmenter le courant.

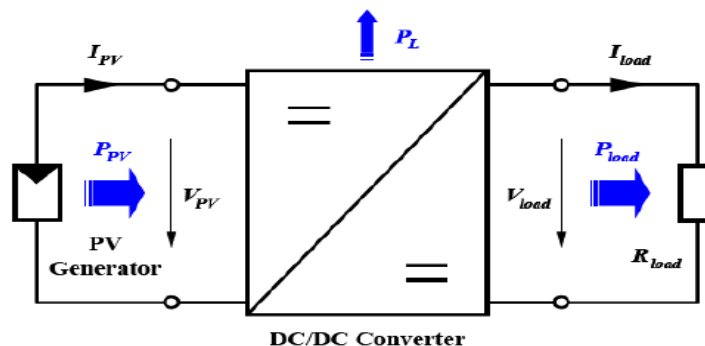


Figure 3.1: DC-DC Convertisseur

2. Circuit d'adaptation DC-DC du type Buck (dévolteur)

2.1. Définition :

Le convertisseur dévolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom de hacheur Buck ou hacheur série. La figure (3.2) présente le schéma de principe du convertisseur dévolteur.

Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure, où le rapport de conversion $M = \frac{v_o}{v_i}$ change avec le rapport cyclique du commutateur.

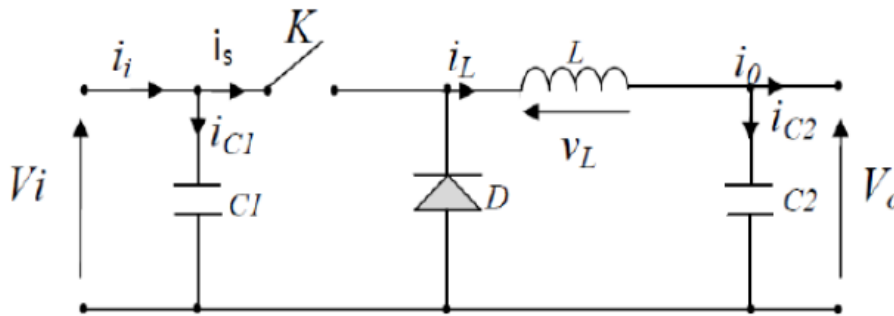


Figure 3.2: Schéma de principe d'un convertisseur dévolteur [36].

Savoir le comportement réel de ce convertisseur, nécessite de connaître en détail son modèle mathématique. Pour cela nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée/sortie. La figure (3.3) montre les schémas des circuits équivalents d'un convertisseur dévolteur dans les deux cas : l'interrupteur fermé pendant dT_s et l'interrupteur ouvert pendant $(1-d)T_s$ [37].

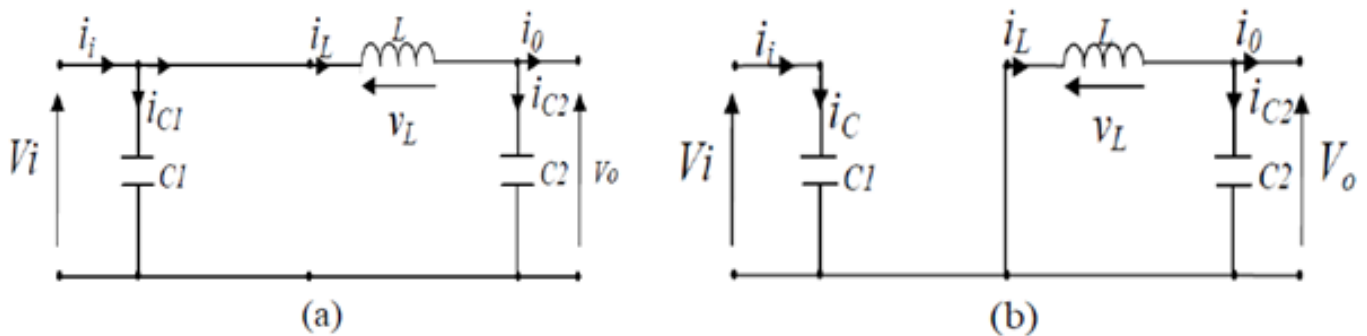


Figure 3.3 : Schémas équivalents du hacheur dévolteur [38].

(a): K fermé, (b) : ouvert

2.2. Principe :

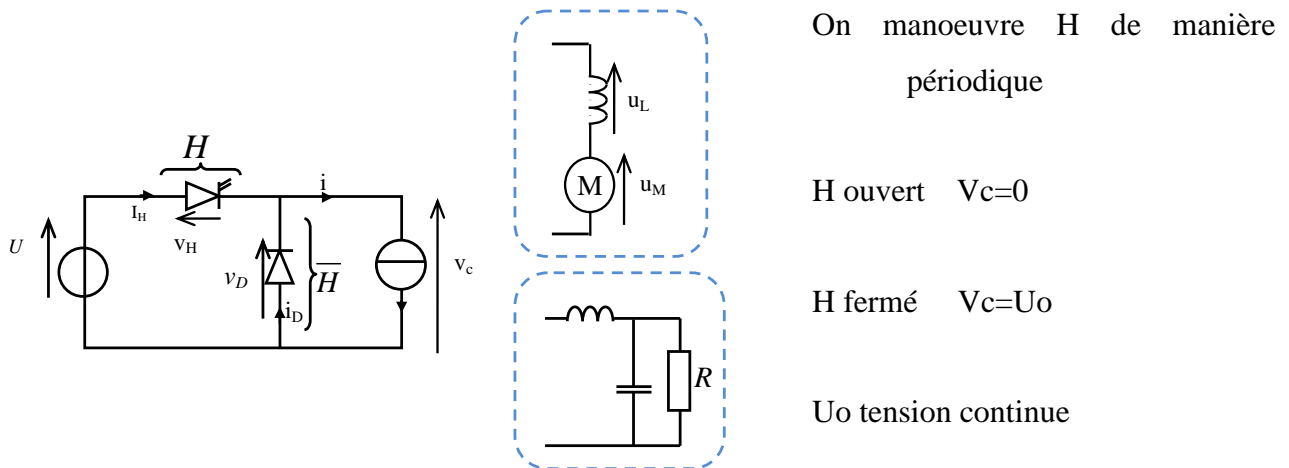


Figure 3.4: Schémas détaillée du hacheur dévolteur [39].

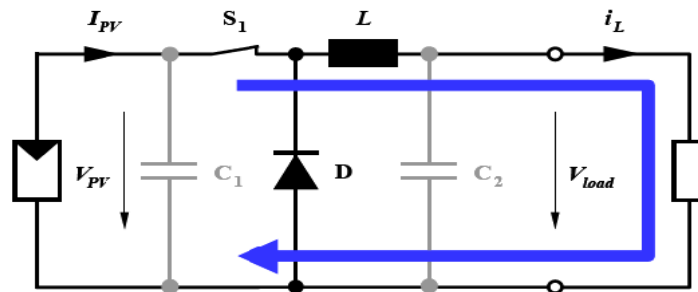


Figure 3.5: Convertisseur Buck durant l'état «ON» [36].

Si S1 est désactivé après $t = t_1$, la charge est déconnectée de son alimentation. Le courant est toutefois maintenu par l'énergie stockée dans l'inductance L et circule à travers la diode D appelée « diode de roue libre ». Cette dernière permet d'évacuer l'énergie emmagasinée dans l'inductance à l'ouverture du commutateur sans créer de surtension [39].

Selon l'équation, le courant décroît, puisque:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{v_{load}}{L}$$

H ouvert de αT à T:

$v_c = 0 = E + Ri + L \frac{di}{dt}$ Donne l'équation différentielle :

$$i + \frac{L}{R} \frac{di}{dt} = \frac{-E}{R}$$

Si la constante de temps du système $= \frac{L}{R}$, T à la période de hachage les équations de l'évolution du courant dans la charge sont des portions de droites au lieu des exponentielles.

2.3. Rapport cyclique :

$$\alpha = \frac{\text{durée } t_1 \text{ de la fermeture de H}}{\text{la période de hachage } T}$$

2.3. Relevés caractéristiques :

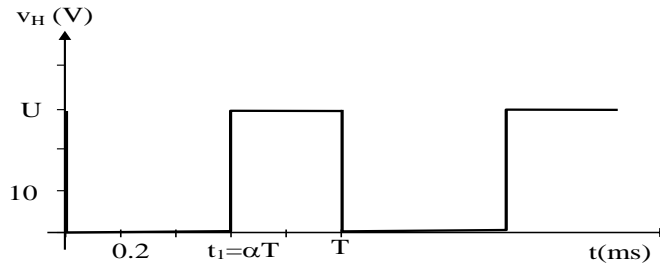


Figure 3.6: Tension aux bornes de la charge

En manœuvrant H, on donne à v les valeurs alternées 0 et U. On fait varier la tension moyenne V_C moy.

2.4. Valeur moyenne de la tension de la charge :

La valeur moyenne peut être calculée soit à l'aide d'une intégrale soit dans les cas simples en utilisant les formules de géométrie.

$$\langle v_C \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v(t).dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U.dt = \frac{S}{T} = \frac{U \cdot \alpha \cdot T}{T} = \alpha \cdot U$$

$$\overline{v_C} = \alpha U$$

2.5. Variation de la tension moyenne en fonction de α

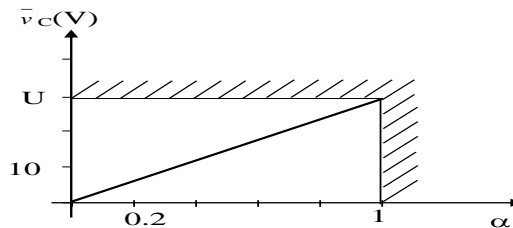


Figure 3.7: Variation de la tension moyenne en fonction de α

En réglant le rapport cyclique α du hacheur, on règle la tension moyenne aux bornes de la charge alimentée par le hacheur.

2.6. Valeur efficace de la tension de la charge :

Comme V est la racine de la valeur moyenne de $v^2(t)$ on obtient:

$$V^2 = \frac{\alpha T \cdot U^2}{T}$$

$$V_c = \sqrt{\alpha} \cdot U$$

2.7. Tension aux bornes de l'interrupteur :

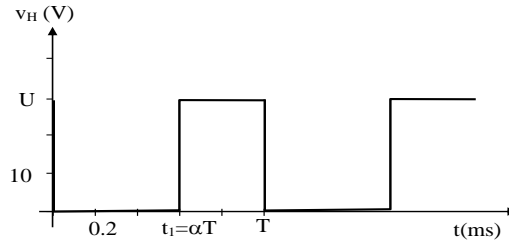


Figure 3.8: Tension aux bornes de l'interrupteur [36].

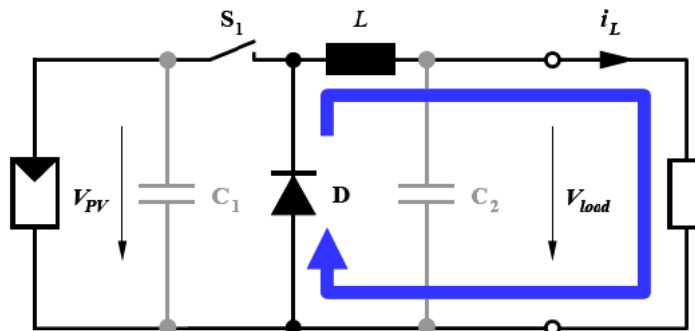


Figure 3.9: Convertisseur Buck durant l'état « OFF » [36].

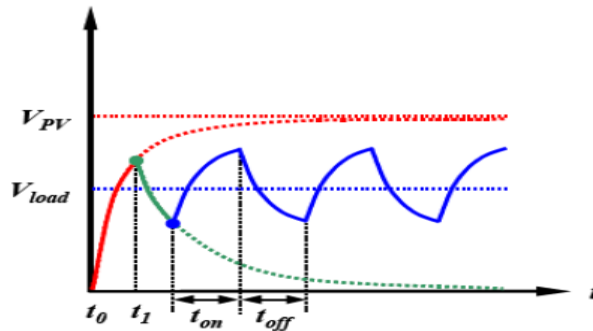


Figure 3.10: Formes d'ondes des tensions VPV et Vload dans le cas du convertisseur Buck [36].

Le condensateur C1 permet de réduire les pics du courant tiré du GPV, de soutenir la tension d'alimentation V_{pv} et d'atténuer les bruits. Le commutateur S1 est activé et désactivé avec une fréquence de commutation $f = 1/T$ [36].

Comme l'illustre la figure, la tension aux bornes de la charge présente une ondulation qui peut être lissée par l'ajout d'un condensateur C2. Quoiqu'il en soit, la valeur moyenne V_{load} est inférieure à V_{PV} . Dans le cas où la fréquence est augmentée, par exemple jusqu'au kHz,

CHAPITRE 3 : Etat d'Art Pour Convertisseur DC-DC

l'inductance nécessaire peut être réduite considérablement. La tension aux bornes de la charge est donnée par :

$$v_{load} = \frac{t_{on}}{T} V_{PV} = D \cdot V_{PV} \quad (3-3)$$

Avec :

$T = t_{on} + t_{of}$; est la période de commutation .

$D = \frac{t_{on}}{T}$; est le rapport cyclique ($0 < d < 1$)

En appliquant les lois de Kirchhoff sur les deux circuits de la figure (2.1), on obtient les systèmes d'équations suivants.

Pour la première période dT_s :

$$\begin{aligned} i_{c1}(t) &= c \frac{dv_i}{dt} = i_i(t) \\ i_{c2}(t) &= L \frac{di_l}{dt} = i_l(t) - i_0(t) \\ v_l(t) &= L \frac{di_l}{dt} = -v_0(t) \end{aligned}$$

Pour trouver une représentation dynamique valable pour tout la période T_s , on utilise généralement l'expression suivante [39] :

$$\frac{dx}{dt} T_s = \frac{dx}{dt_{DT_s}} + \frac{dx}{dt_{(1-D)T_s}}$$

En appliquant la relation (II. 3) sur les systèmes d'équations (II.1) et (II.2), on obtient les équations qui régissent le système sur une période entière :

$$\begin{aligned} C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} T_s &= dT_s(i_l - i_L) + (1-d)T_s i_l \\ C_2 \frac{dv_0(t)}{dt} T_s &= dT_s(i_l - i_0) + (1-d)T_s(i_L - i_0) \\ L \frac{di_L}{dt} &= dT_s(V_i - v_0) + (1-d)T_s(v_0) \end{aligned}$$

Après arrangement, on obtient :

$$\begin{aligned} i_0(t) &= i_l(t) - c \frac{dv_0(t)}{dt} \\ i_L(t) &= \frac{1}{d} (i_l(t) - c \frac{dv_i(t)}{dt}) \\ v_i(t) &= \frac{1}{d} (L \frac{di_L}{dt} + v_0(t)) \end{aligned}$$

2.8. Courbes :

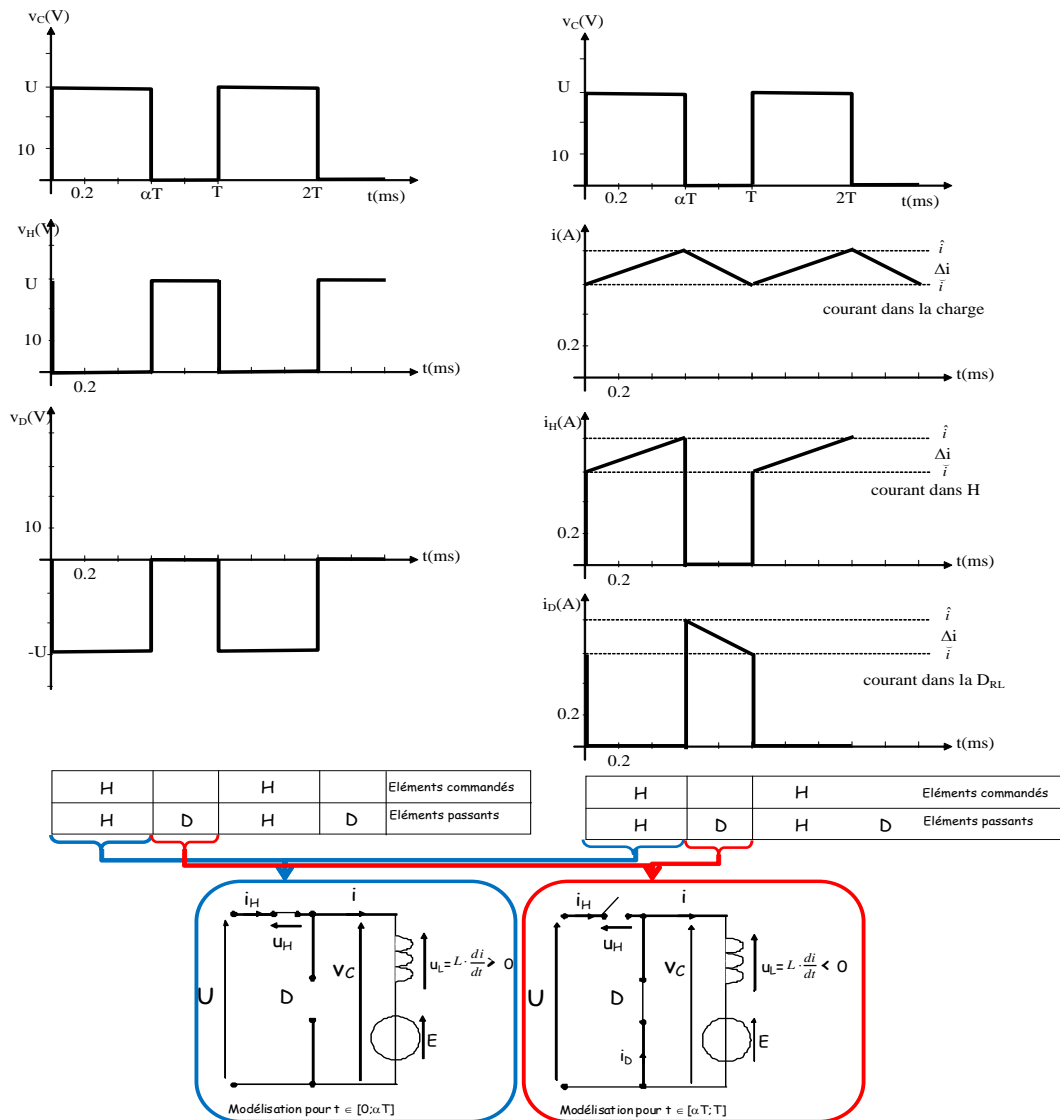


Figure 3.11: formes d'ondes des courants et tension de convertisseur Buck [37].

3. Convertisseur survolteur (Boost converter) :

3.1. Définition :

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à droite du MPP. [36].

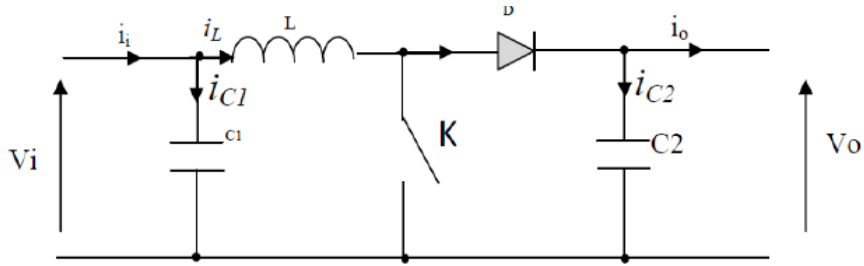


Figure 3.12: Schéma du circuit électrique d'un convertisseur Boost [38].

3.2. Principe :

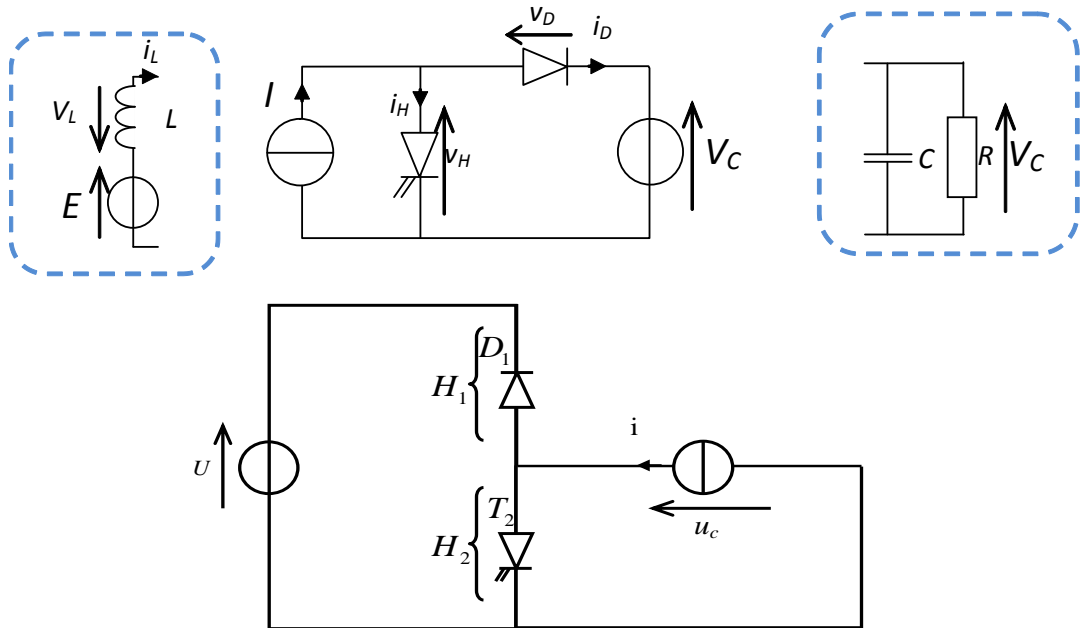


Figure 3.13: Schémas détaillée du hacheur dévolteur [39].

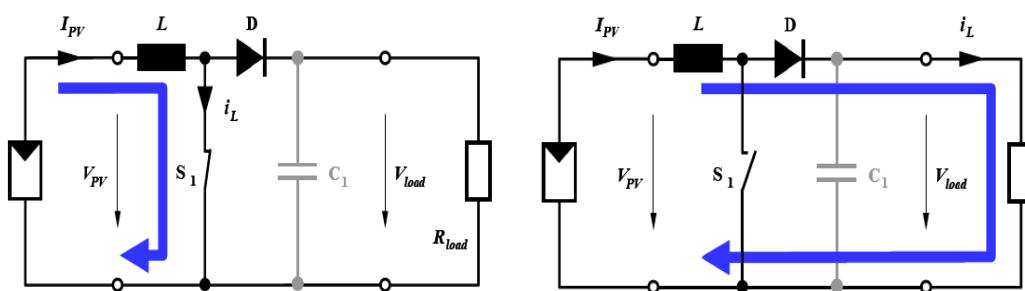


Figure 3.14: Convertisseur Boost durant l'état on et off [39].

Si le commutateur S1 est désactivé à t_0 et si la chute de tension aux bornes de la diode est négligée, alors V_{load} est égale à V_{pv}

Lorsque le commutateur est activé (figure 3.13), la tension de la charge chute immédiatement à zéro si le condensateur C1 est omis. Le courant du circuit i_L circule à travers l'inductance L et augmente suivant l'équation ;

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{PV}}{L}$$

Lorsque S1 est désactivé, l'inductance se trouve en série avec le générateur et sa f. e.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant i_L traversant l'inductance traverse ensuite D (la diode), le condensateur C_1 et la charge. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers le condensateur. Le courant décroît ensuite progressivement, car :

$$V_{pv} < V_{load}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{pv} - V_{load}}{L}$$

3.3. Fonctionnement en régime permanent :

3.4. Conduction ininterrompue :

H ouvert :

$$\alpha T < t < \alpha T$$

La diode D est passante :

$$V_D = 0 \text{ et } I_D = I$$

L'interrupteur H est ouvert : $V_H = V_C$.

$$E - v_L - V_C = 0$$

$$E - L \frac{di_L}{dt} - V_C = 0$$

$$\Rightarrow i_L = \frac{E - V_C}{L} \cdot t' + C^{te}$$

$$\Rightarrow i_L(t') = I_{\max} + \underbrace{\frac{E - V_C}{L}}_{<0} \cdot t' \text{ Ou si l'on reprend le temps } t :$$

$$\Rightarrow i_L(t) = I_{\max} + \underbrace{\frac{E - V_C}{L}}_{<0} \cdot (t - \alpha T)$$

I_c diminue d' I_{\max} à I_{\min} .

$0 < t < \alpha T$; H fermé :

L'interrupteur H est fermé pendant αT : $V_H = 0$

La diode D est bloquée : $D = -V_C$ et $I_H = I$

L'énergie est stockée dans L.

CHAPITRE 3 : Etat d'Art Pour Convertisseur DC-DC

$$E = v_L + v_H = L \frac{di_L}{dt} + 0$$

$$\Rightarrow i_L = \frac{E}{L} \cdot t + C^{te}$$

t=0 : $I_L(0) = I_{min}$ Donc :

$$i_L = \frac{E}{L} \cdot t + I_{min}$$

Donc le courant croît linéairement.

3.5. Courbes :

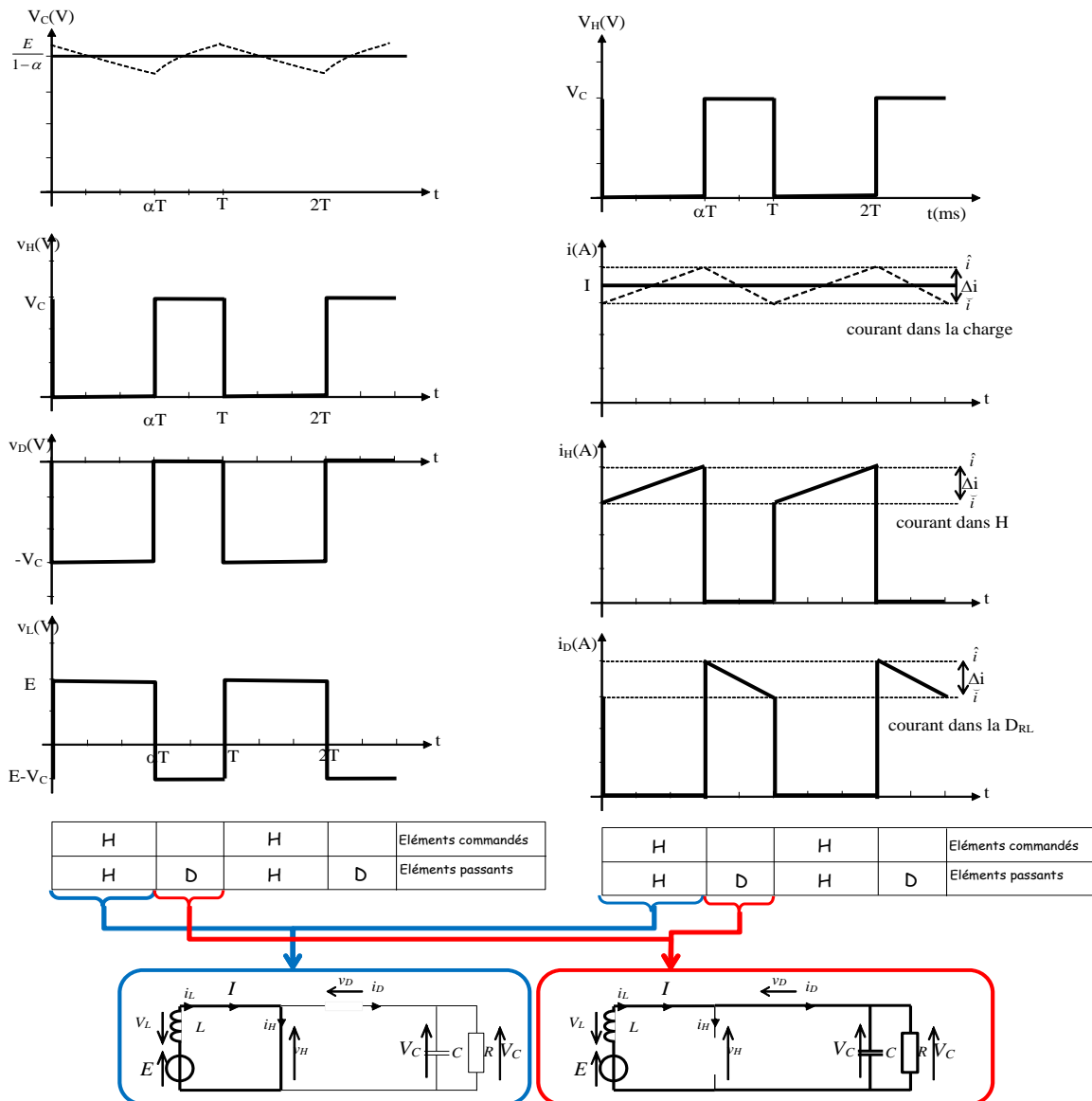


Figure 3.15:formes d'ondes des courants et tension de convertisseur Boost

4. Convertisseur Buck-Boost :

4.1. Définition :

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse.

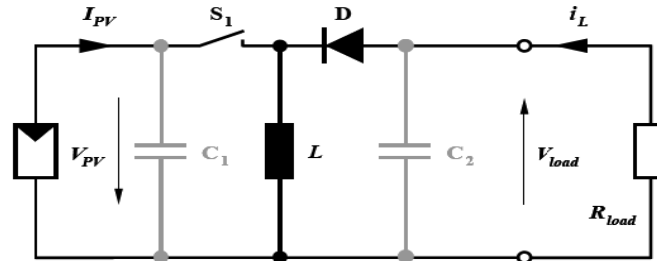


Figure 3.16: Schéma du circuit électrique d'un convertisseur Buck-Boost [39].

Durant l'état «ON», l'énergie apportée par la source (générateur PV) est stockée dans l'inductance L (**figure 3.3**). L'énergie stockée dans l'inductance L est livrée ensuite à la charge pendant l'état «ON». En raison de la présence de la diode D , le courant circule à travers l'inductance

Dans les trois cas cités en haut, l'adaptation entre la source et la charge est réalisée en choisissant des valeurs adéquates du rapport cyclique.

Généralement, pour les convertisseurs DC/DC, l'interrupteur est commandé par un signal PWM (Pulse Width Modulation) ou MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion). Un signal PWM est un signal rectangulaire de fréquence fixe, mais dont le rapport cyclique D est variable. La valeur du rapport cyclique permet de contrôler la quantité d'énergie transmise. [(36.37.38.39)]

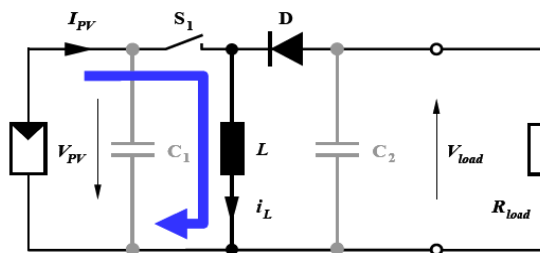


Figure 3.17 : Convertisseur Buck-Boost état on

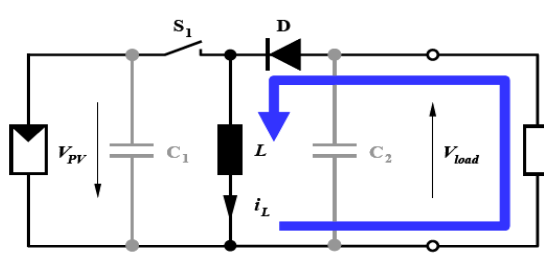


Figure 3.18: Convertisseur Buck-Boost état off

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté et analysé quelques types de convertisseurs statiques continu-continu utilisés dans les systèmes PV. Comme le convertisseur dévolteur, le convertisseur survolteur et le convertisseur mixte (dévolteur-survolteur).

Nous intéressons plus au convertisseur de type dévolteur pour notre travail.

Dans le chapitre prochain, nous présenterons une simulation des différents éléments de notre système PV, ainsi que le système globale.

CHAPITRE IV:
Simulation du convertisseur MPPT

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

1. Introduction :

La simulation est un outil puissant pour l'évaluation des performances théoriques d'un système. En effet, ce dernier peut être testé sous des conditions facilement contrôlables et ses performances peuvent être aisément surveillées. La procédure de simulation lie les deux principales parties de la conception d'un système, à savoir, l'étude théorique et la réalisation d'un prototype. Vu que des changements dans la conception peuvent facilement être faits à l'étape de la simulation, il est possible d'expérimenter avec un large ensemble de variations des conditions de fonctionnement afin d'aboutir à une solution optimale.

On s'intéresse dans notre travail uniquement aux méthodes MPPT numériques, car elles permettent un meilleur contrôle (plus flexible) que les méthodes analogiques. Le challenge de la conception d'un contrôleur MPPT numérique est l'inclusion d'un dispositif à temps discret dans un environnement à temps continu. Ceci rend difficile l'obtention d'une fonction de transfert pour une analyse conventionnelle de la stabilité du système et des performances dynamiques.

Le logiciel MATLAB de Math Works. Et son extension graphique associée SIMULINK, présentent la possibilité de simuler des systèmes mixtes continus et discrets. Il est donc bien adapté pour mettre en œuvre, tester et évaluer les systèmes MPPT numériques.

Dans ce qui suit, la simulation d'un convertisseur MPPT de type Buck est présentée. Elle est réalisée sous Simulink en utilisant les modèles bloc conçus précédemment.

2. Principe de la Recherche du MPP :

La figure 4.1 représente le schéma de principe d'un convertisseur MPPT classique. La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP.

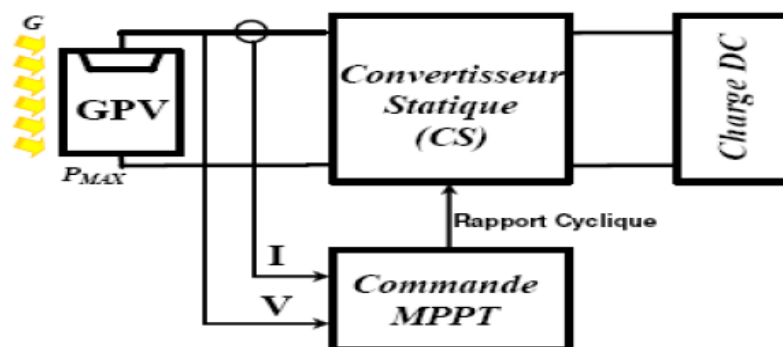


Figure 4.1 : Schéma de principe du convertisseur MPPT

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

3. Simulation du Convertisseur Statique :

Pour simuler le comportement du convertisseur statique, nous avons utilisé Simulink et le package SimPowerSystems. Le modèle de simulation du convertisseur Buck est illustré sur la figure 4.2. Les composants utilisés dans ce modèle sont idéaux (chute de tension aux bornes de la diode nulle, résistance série équivalente ESR de l'inductance et du condensateur nulles, pas de pertes par commutation dans les semi-conducteurs). Le bloc mesure du courant permet de visualiser le courant à travers l'inductance.

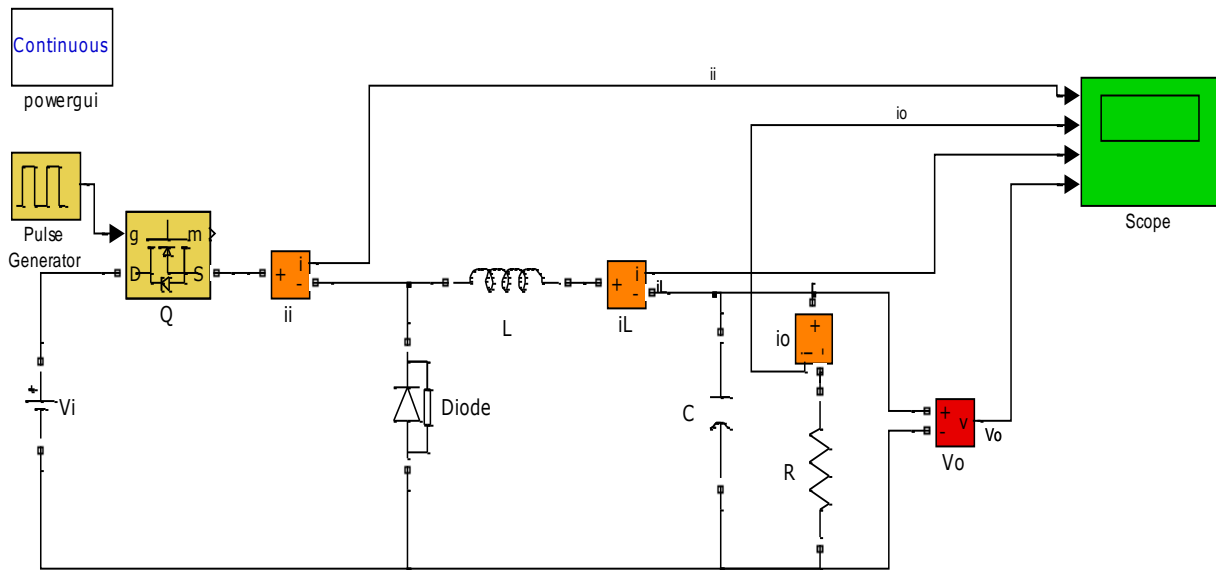


Figure 4.2 : Modèle de simulation du convertisseur Buck

Les résultats de la simulation sont présentés ci-dessous. Les valeurs des composants du CS sont ($L = 120\mu\text{H}$; $C = 55\mu\text{F}$; $R = 1.8\Omega$).

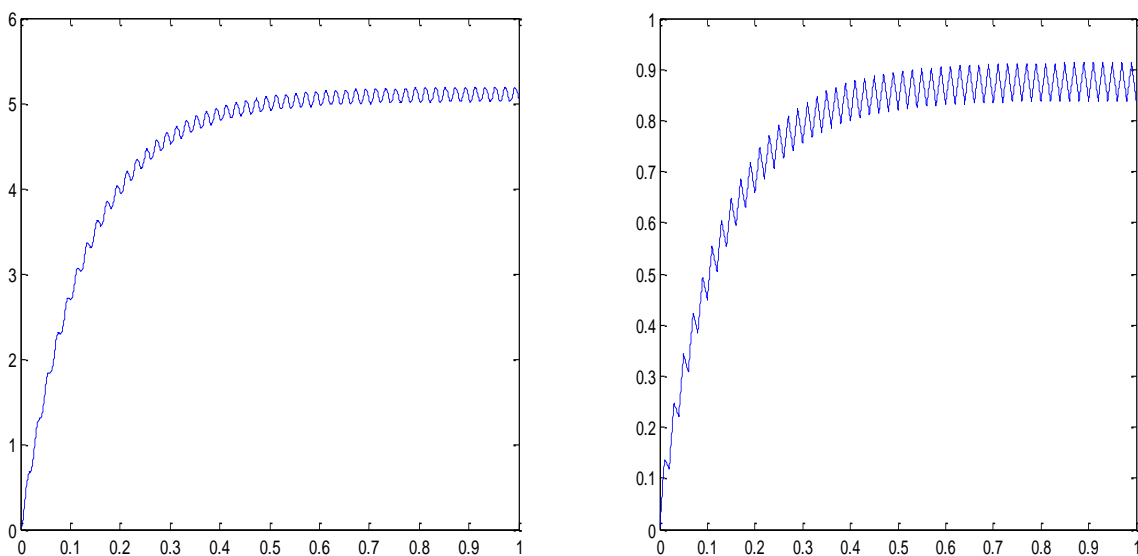


Figure 4.3 : Allures de la tension et courant du convertisseur Buck

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

4. Simulation du GPV :

Simulink est un logiciel de simulation, qui fournit une interface graphique permettant de construire des modèles sous forme de diagrammes blocs. Il offre l'avantage de construire des modèles hiérarchisés qui offrent la possibilité de voir le système à différents niveaux. Simulink offre également la possibilité de construire des modèles modulaires, qui ont l'avantage d'être facilement reliés entre eux afin de simuler un certain système. Ces modèles permettent également aux concepteurs de systèmes d'optimiser la taille des composants du système PV.

L'implémentation sous Simulink du modèle mathématique du GPV est illustrée sur la figure ci-dessous.

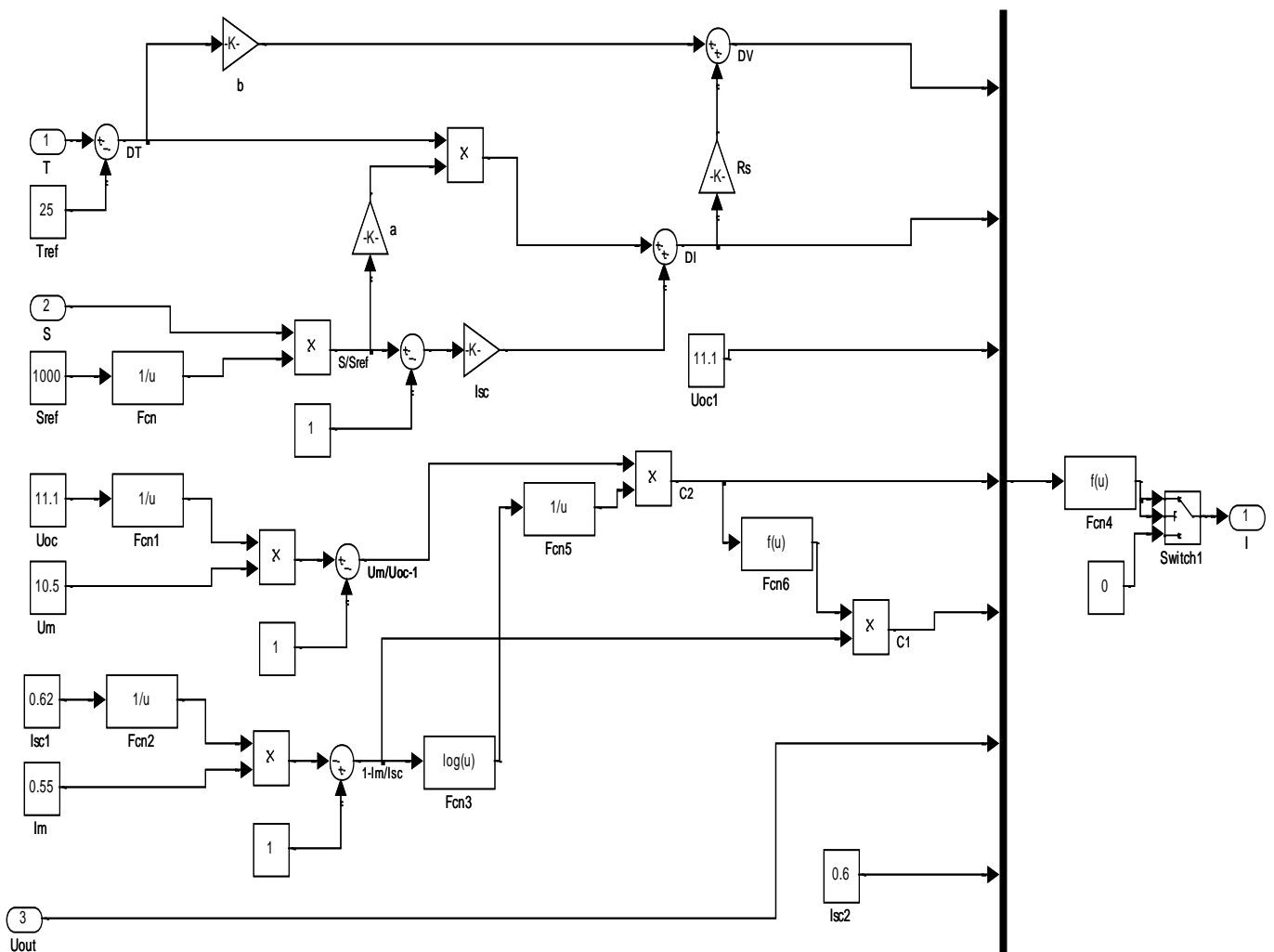


Figure 4.5 : Schéma bloc du GPV sous Simulink

4.1. Caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque :

La caractéristique sont comptée sous l'influence des conditions météorologiques standards (niveau d'éclairement $G=1000 \text{ W/m}^2$ et température ambiante $T=25^\circ\text{C}$).

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

Tension de circuit-ouvert (V_{co})	11.1V
Courant de court-circuit (I_{cc})	0.62A
Tension de puissance max (V_{pm})	9V
Courant de puissance max (I_{pm})	0.56A
Nombre des cellules (ncell)	18
Coefficient de Température de V_{co}	-0.35
Coefficient de Température d' I_{cc}	0.05
Puissance max	5W

Tableau 4-1: caractéristique de panneau solaire a simulé

Dans notre cas on a choisrai le modèle d'une seule diode.

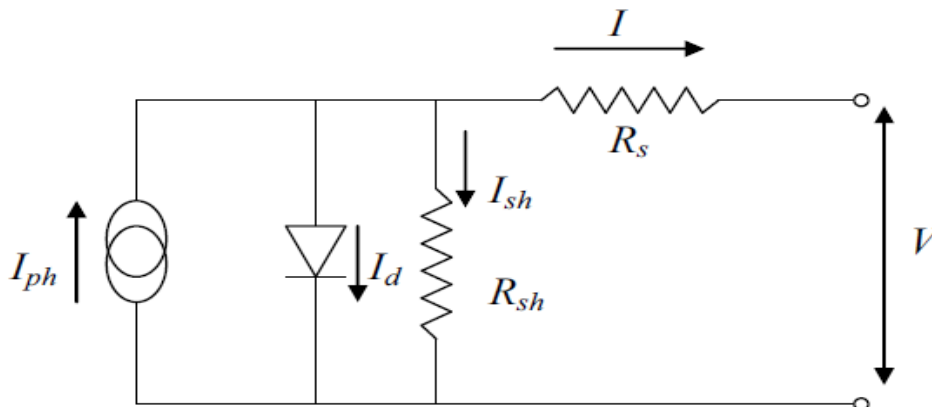


Figure 4.6 : Schéma électrique d'une cellule Photovoltaïque (modèle d'une seule diode)

4.2. La résistance série :

Caractérise les pertes par effets Joule de la résistance propre aux contacts entre les différentes régions constitutives de la cellule, à savoir l'émetteur, la base, les contacts métalliques, les grilles de collectes. L'influence de R_s sur les caractéristiques d'une cellule est très importante.

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

4.3. La résistance shunt :

La résistance parallèle (ou shunt) caractérise les pertes par recombinaison dues aux épaisseurs des régions N et P et de la zone de charge et d'espace. R_{sh} est donc liée directement au processus de fabrication, l'existence de défaut de structures et aux états de surface.

Elle traduit l'existence de shunts à travers l'émetteur également, connue sous le nom de résistance de court-circuit.

$$I = I_l - I_0 \exp \left[\frac{q(V+IR_s)}{nKT} \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}}$$

$$R_{sh}=142.6$$

$$R_{sh} > V+IR_s$$

Donc la partie $\frac{V+IR_s}{R_{sh}}$ est négligeable

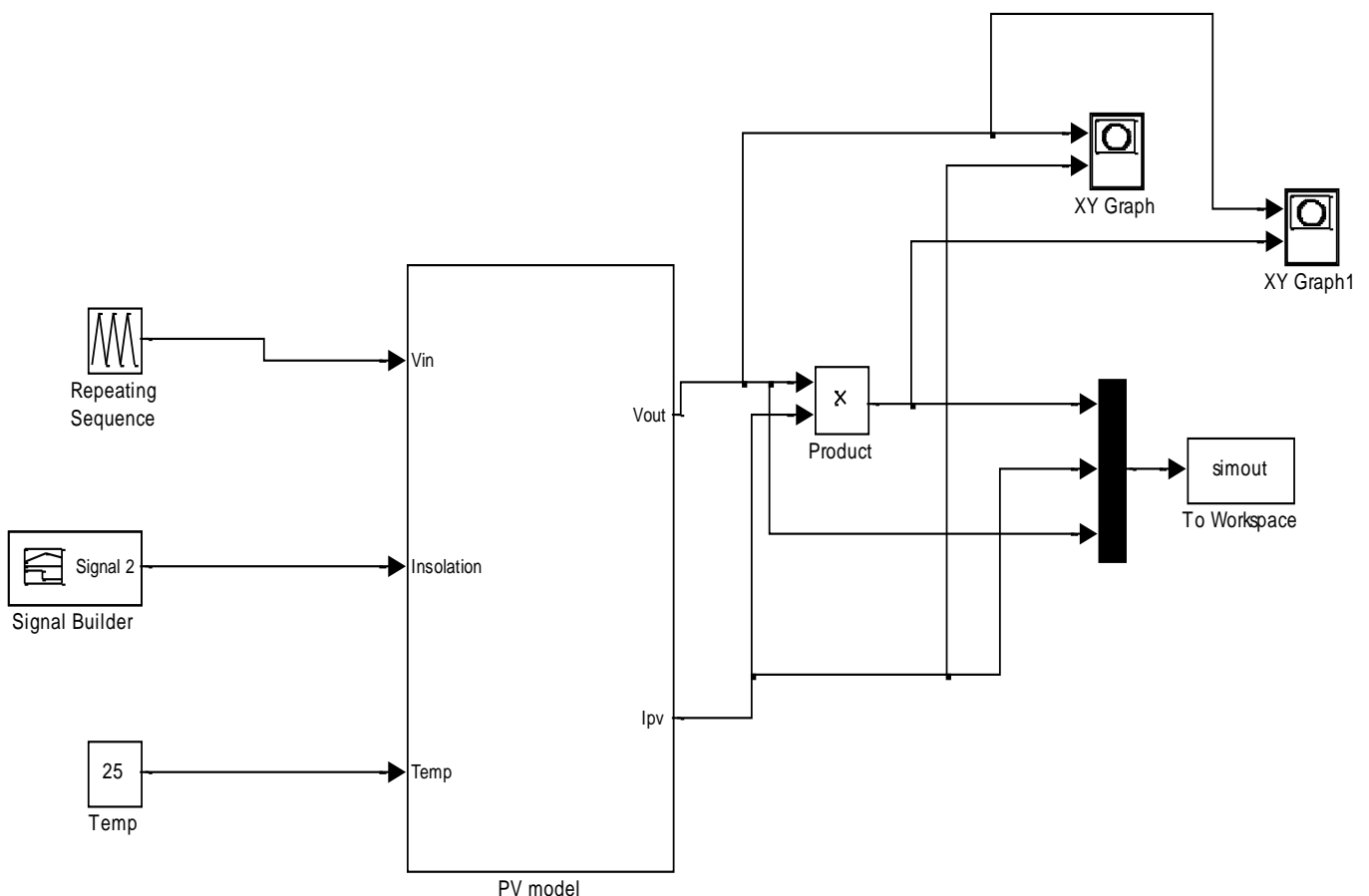


Figure 4.7 : Schéma de GPV sous Simulink

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

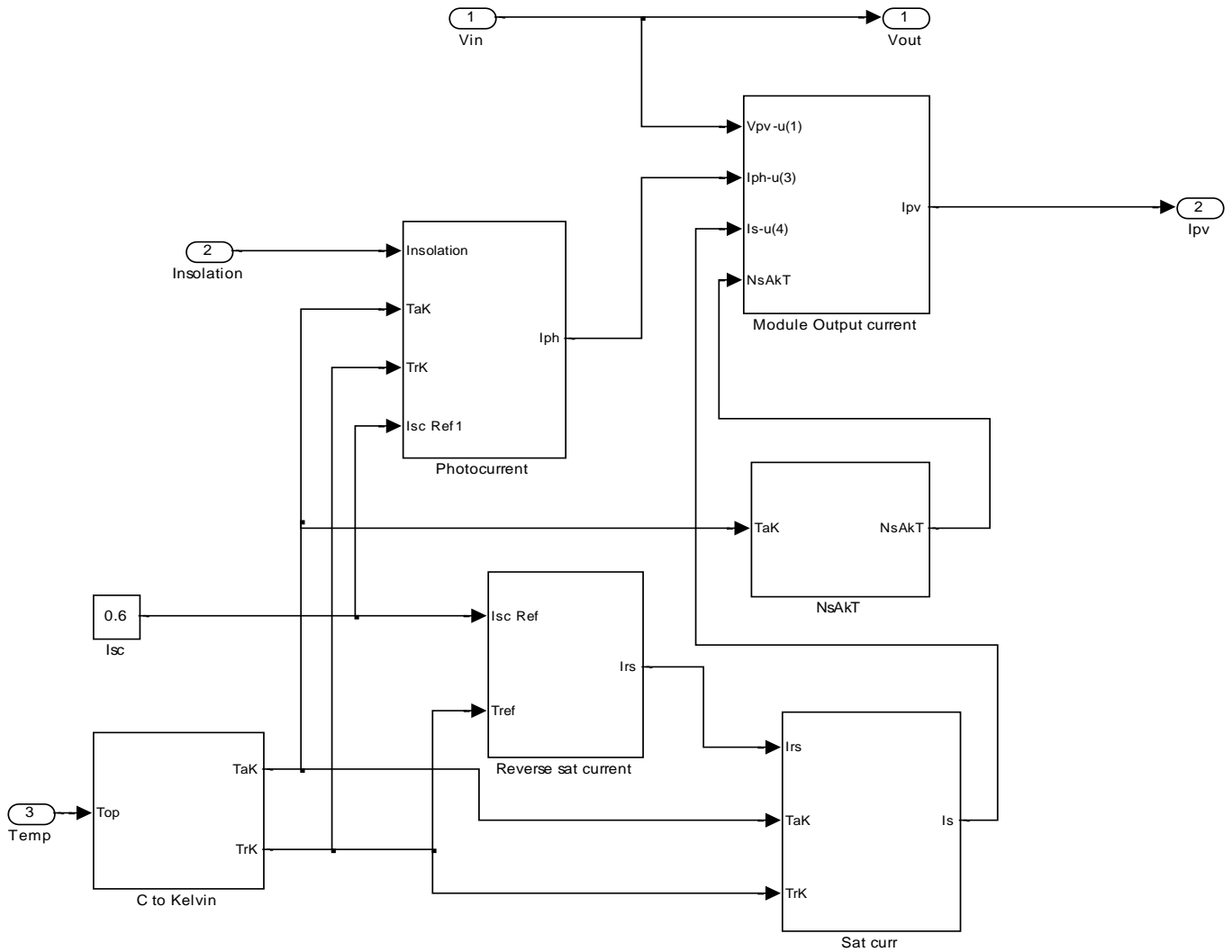


Figure 4.8 : Schéma de PV modèle subsysteme

4.4. Résultats de simulation de GPV :

La caractéristique de panneaux illustrée dans les tableaux (4.1) décrit le comportement du générateur photovoltaïque sous l'influence des conditions météorologiques standards (niveau d'éclairement $G=1000 \text{ W/m}^2$ et température ambiante $T=25^\circ\text{C}$).

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un générateur photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Par conséquent, le générateur photovoltaïque est considéré comme une source de puissance avec un point P_{max} où la puissance se trouve maximale. Il est donc intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée. Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point P_{max} .

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

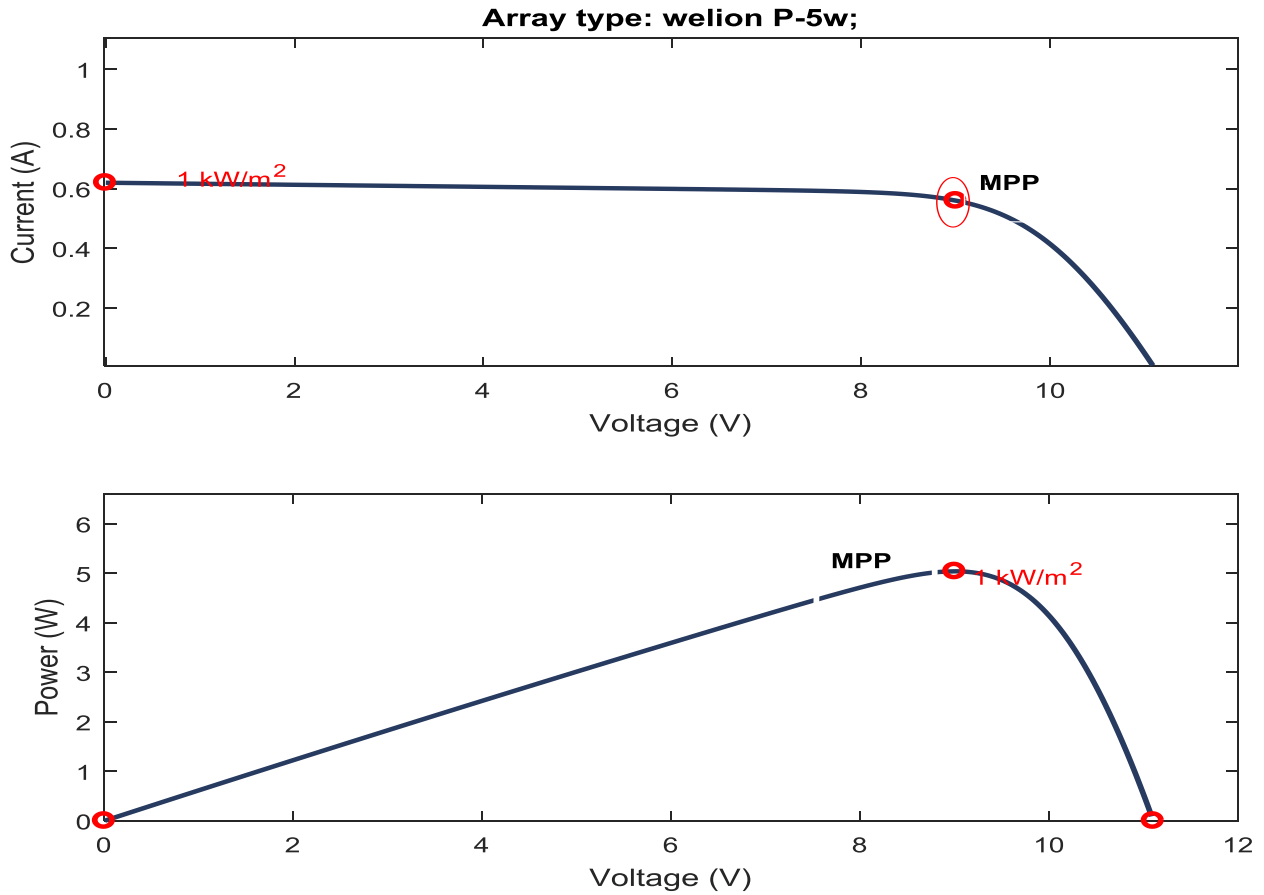


Figure 4.9: Caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un générateur photovoltaïque

4.5. Comportement D'un générateur photovoltaïque :

De par sa constitution, un générateur PV aura un comportement plus ou moins optimisé et pourra ainsi produire plus ou moins de puissance.

4.6. Influence de la température et l'ensoleillement sur le rendement :

On peut remarquer que la caractéristique (I, V) d'un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'insolation et de la température. Ceci devient très évident en évaluant l'équation précédente pour des valeurs choisies de la température et de l'insolation et en traçant les résultats.

4.7. Influence de l'ensoleillement :

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant changé à l'obscurité. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire ICCM proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension V_{com} et donc un décalage du point P_{max} du panneau solaire vers les puissances inférieures.

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

Les graphes suivants représentent les caractéristiques $P(V)$ et $I(V)$ respectivement d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^{\circ}\text{C}$) et un ensoleillement variable.

L'augmentation d'ensoleillement (flux lumineux) se traduit par un déplacement de la caractéristique $I=f(V)$ suivant l'axe des courants. L'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que celui de la tension à circuit ouvert étant donné que le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement, alors que celle de la tension à circuit ouvert est logarithmique.

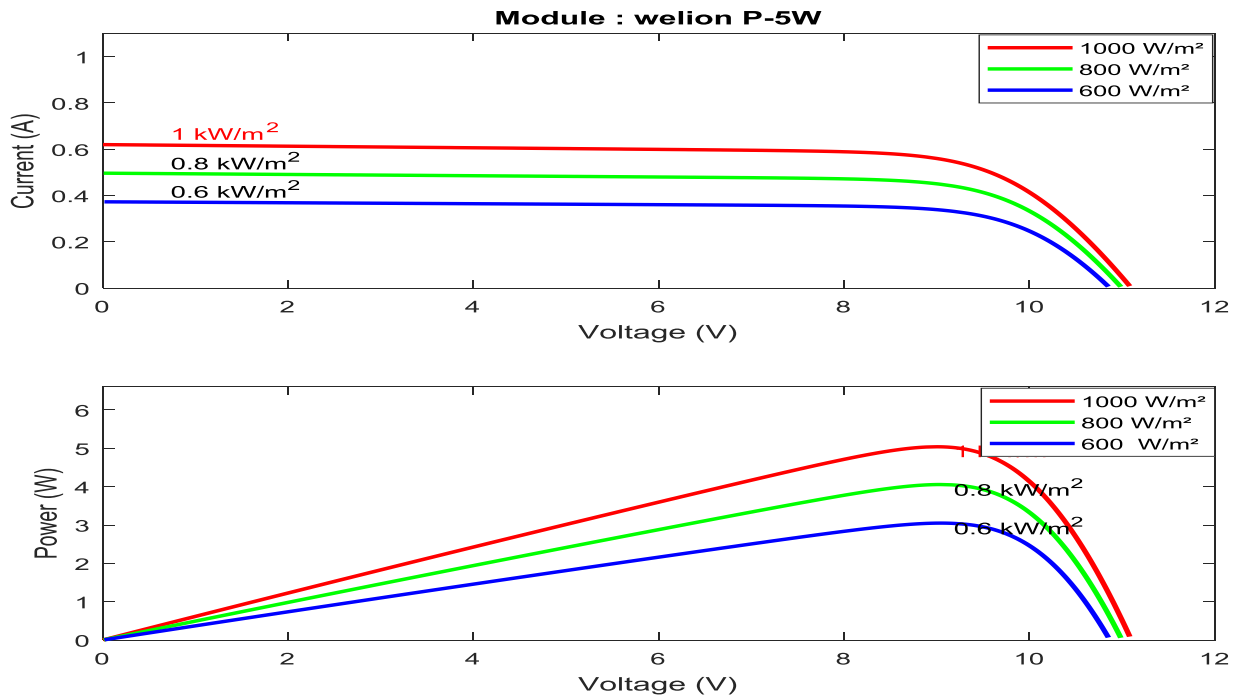


Figure 4.10: Courbes $I(V)$ et $P(V)$ d'un panneau à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}\text{C}$

Il est clair que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, mais reste quasiment identique même à faible éclairement. Ceci implique donc que :

- La puissance optimale de la cellule (P_{max}) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension.

5.8. Influence de la température :

Si la température de la cellule augmente, le photo-courant I_{Ph} augmente également due principalement à la diminution de la largeur de la bande interdite du matériau. Cette augmentation est de l'ordre de 0.01% degré C° . Le courant direct de la jonction augmente aussi, mais beaucoup

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

plus vite entraînant une diminution de la tension de circuit ouvert de l'ordre de 2mV par cellule .La diminution de la puissance fournie est estimée environ de 0.5 % par degré pour un module.

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. On en déduit donc que le panneau peut fournir une tension correcte, même à faible éclairage, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement prise en compte. Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue environ de 0,5% par chaque degré d'augmentation de la température de la cellule au-dessus de 25 °C.

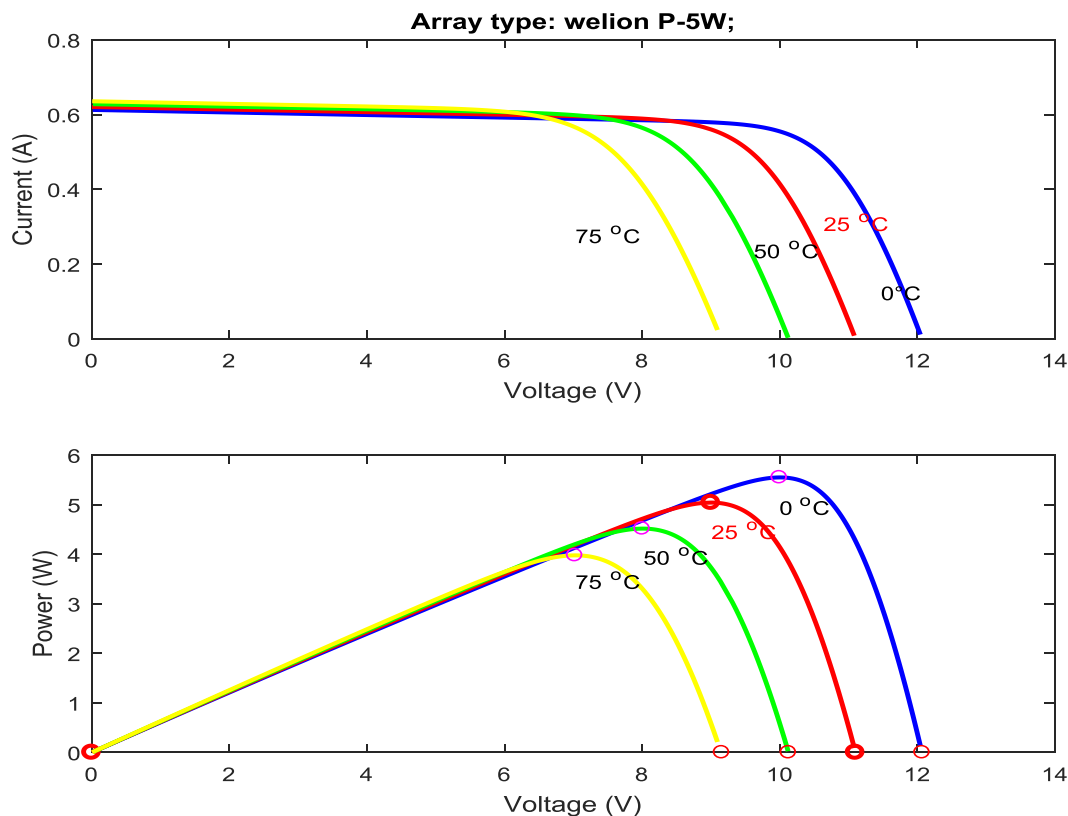


Figure 4.11: Courbes I(V) et P(V) d'un panneau à divers ensoleillements à irradiance=1000 W/m² (avec température de 0C° et 25C° et 50C° et 75C°)

5. Simulation de l'algorithme Perturbation et Observation (P&O) :

Nous avons réalisé le modèle de simulation de l'algorithme P&O (figure 6.1), en nous basant sur l'organigramme illustré sur la figure 4.5.

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

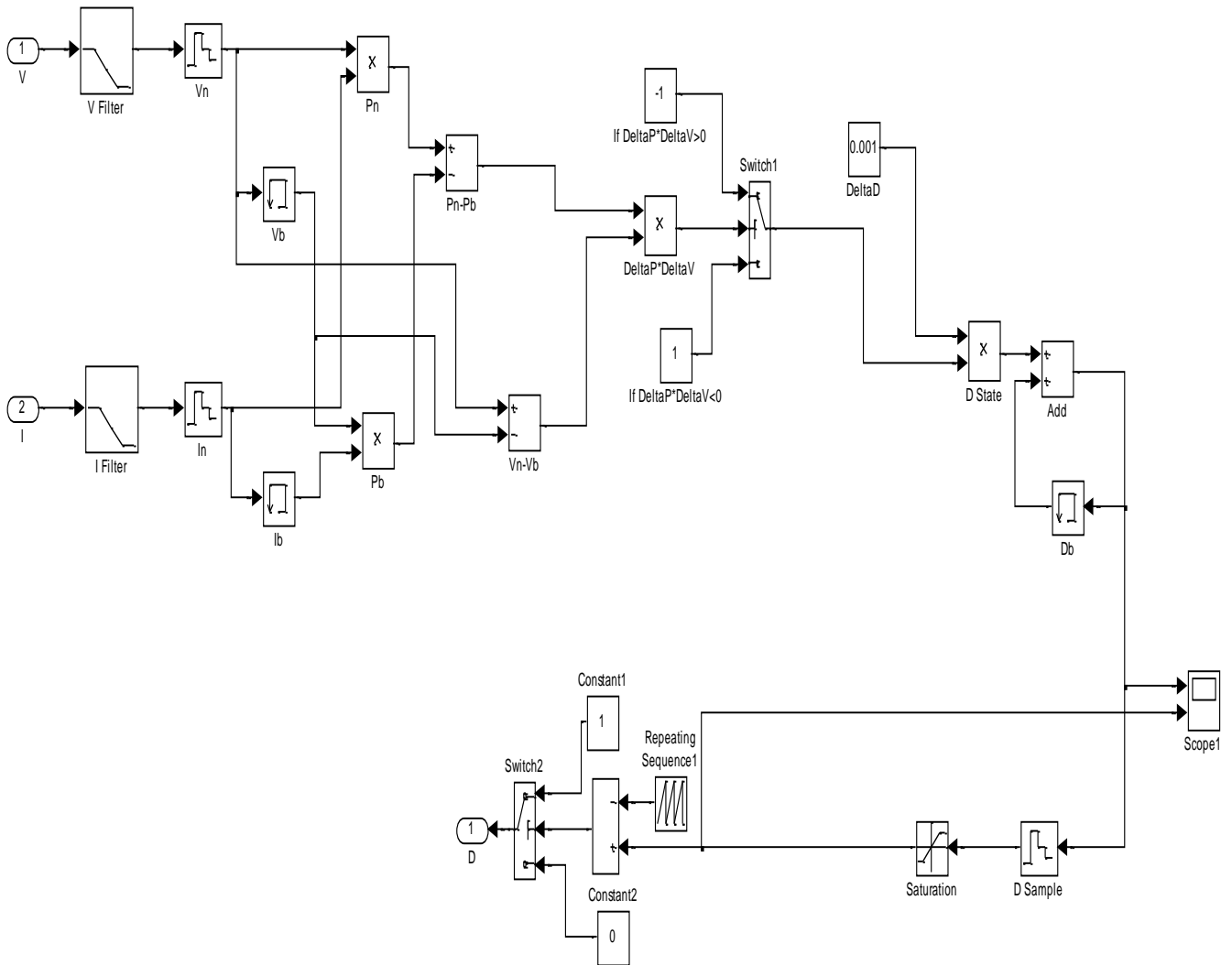


Figure 4.12 : Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT P&O

5.1. L'objectif de la commande MPPT par la méthode P&O :

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir.

En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP.

Dans ce test, la température et l'ensoleillement sont maintenus constants. On prend les valeurs des conditions standards : la température égale 25°C et l'ensoleillement égale 1000W/m². Le but de ces simulations est de visualiser les différentes allures délivrant du panneau photovoltaïque via un hacheur buck et avec la méthode de P&O.

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

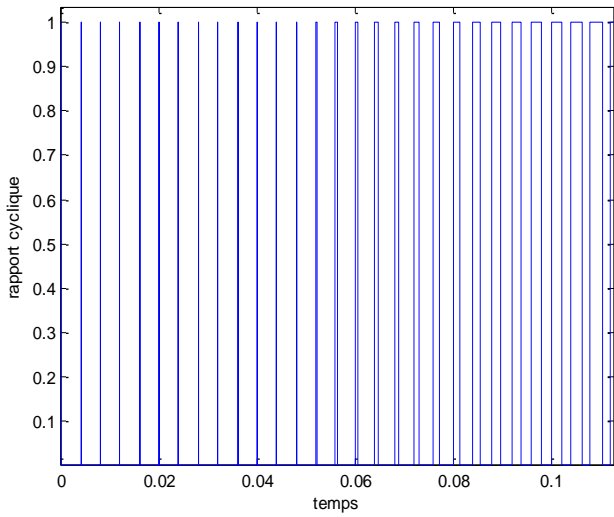


Figure 4-13 : La variation du rapport cyclique en fonction du temps.

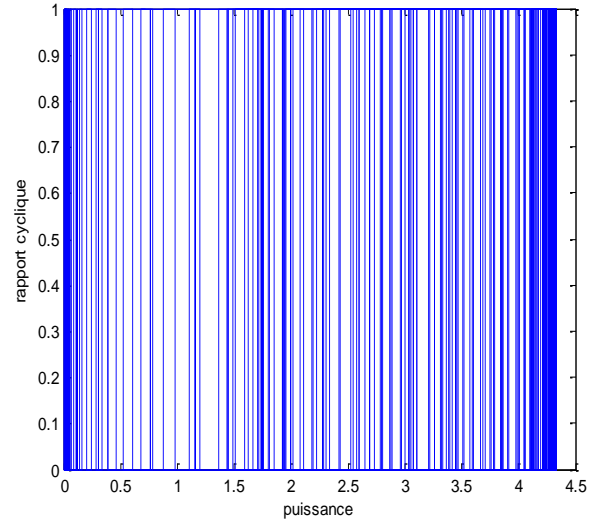


Figure 4-14 : La variation du rapport cyclique sur la puissance.

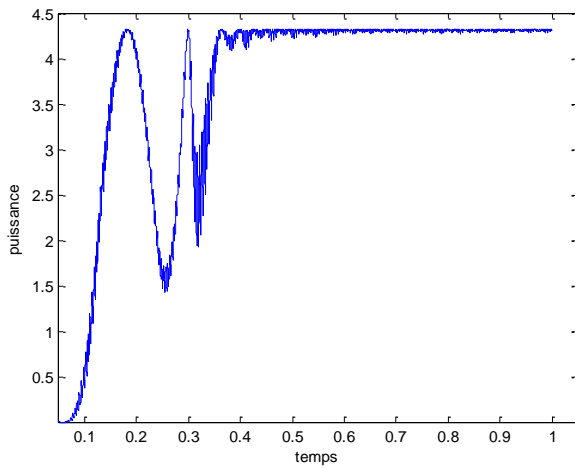


Figure 4-15 : La puissance générée par le système PV en fonction de temps

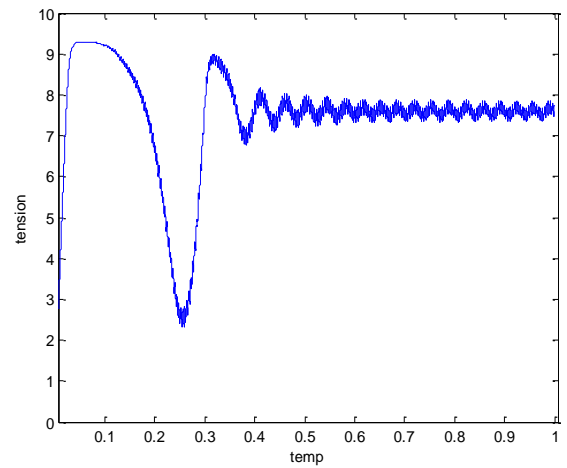


Figure 4-16 : La tension générée par le système PV en fonction de temps

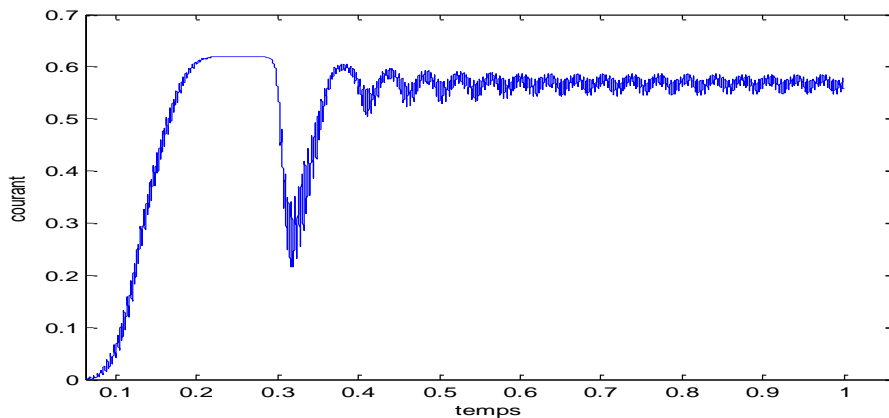


Figure 4-17: Le courant généré par le système PV en fonction de temps

CHAPITRE 4 : Simulation Du Convertisseur MPPT

5.2. Remarques et interprétations :

Pour un éclairement maximale $E=1000 \text{ W/m}^2$ La puissance fournie par le générateur PV se stabilise autour de 5W et celle fournie à la charge autour de 4.4 W, à la sortie du panneau, la tension et le courant se stabilisent respectivement autour de 8V et 0.6A.

6. Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons présentés les différentes simulations des composants du système photovoltaïque tel que le générateur PV et le convertisseur DC/DC type buck.

Ensuite on a fait une simulation du système complet (GPV, convertisseur DC/DC-buck) avec la commande MPPT (Méthode P&O) en fonction de l'influence du changement de l'éclairement et la température sur les caractéristiques électriques de générateur photovoltaïque.

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent que l'utilisation de cette commande permet d'améliorer le rendement de l'installation photovoltaïque.

CHAPITRE V:
Réalisation d'un système PV à base d'une
carte Arduino UNO

1. Introduction :

Ce dernier chapitre sera consacré à la réalisation d'un système photovoltaïque. Nous présentons en premier temps les cartes Arduino utilisées pour commander les systèmes PV.

Ensuite, on présente les différents composants du système, tel que le module PV, le convertisseur abaisseur, le capteur de courant, le capteur de tension, la carte Arduino UNO, l'afficheur LCD et la commande MPPT perturbation et observation. Enfin, nous faisons dissimulations et des tests pratiques du système PV ainsi de ses composants.

2. Carte Arduino :

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes Descartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu couteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet. Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée par sa simplicité. En effet, beaucoup de bibliothèques étude fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité.

2.1. Présentation de la carte Arduino :

L'Arduino est une carte électronique en matériel libre pour la création artistique interactive, elle peut servir : pour des dispositifs interactifs autonomes simple, comme interface entre capteurs/actionneurs et ordinateur et comme programmeur de certains microcontrôleurs.

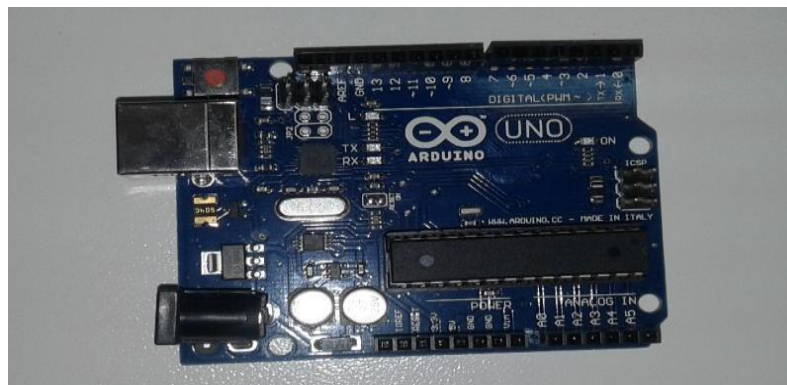


Figure 5.1 : Cartes Arduino UNO

Une carte Arduino, comme toutes les cartes à microcontrôleur, permet de piloter un système de manière interactive à partir du programme que l'on aura défini et mis dans sa mémoire. Par exemple gérer automatiquement l'ouverture d'une porte de garage, envoyer un SMS quand le jardin est trop sec et gérer le système d'arrosage à distance, piloter un nouveau robot. Il faut pour cela associer à la carte Arduino des capteurs comme capteur de lumière, de température et de position. Et des actionneurs comme moteurs et pompe, ainsi des organes de sortie comme lampe et chauffage. On peut associer aussi des circuits de puissance, une alimentation (piles, panneaux solaire, ...), des interfaces de dialogue (boutons, leds, écran,...), des interfaces de communication (réseau filaire, réseau sans fil, ...) [40].

2.2. Histoire de la carte Arduino :

Le projet Arduino est né en hiver 2005. Massimo Banzi enseigne dans une école de design à Ivrea en Italie, et souvent ses étudiants se plaignent de ne pas avoir accès à des solutions bas prix pour accomplir leurs projets de robotique. Banzi en discute avec David Cuatrecasas, un ingénieur Espagnol spécialisé sur les microcontrôleurs.

Ils décident de créer leur propre carte en embarquant dans leur histoire un des étudiants de Banzi, David Mellis qui sera chargé de créer le langage de programmation allant avec la carte. En deux jours David écrira le code, trois jours de plus et la carte était créée. Tout le monde arrive à en faire quelque chose très rapidement sans même avoir de connaissances particulières ni en électronique ni en informatique : réponse à des capteurs, faire clignoter des leds, contrôler des moteurs ... etc. ils publient les schémas, investissent 3000 euros pour créer les premiers lots de cartes [40].

2.3. Description de la carte ARDUINO UNO :

L'Arduino est une famille de cartes électronique à microcontrôleur open-source née en Italie en 2005. Ces cartes basées sur une interface entrée/sortie simple et sur un environnement de développement proche du langage C [40].

La carte Arduino UNO est la première version stable de carte Arduino. Elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation. Elle utilise une puce ATmega328P cadencée à 16 Mhz. Elle possède 32ko de mémoire flash destinée à recevoir le programme, 2ko de SRAM (mémoire vive) et 1 ko d'EEPROM (mémoire morte destinée aux données) [40].

Elle offre 14 pins (broches) d'entrée/sortie numérique (donnée acceptée 0 et 1) dont 6

Pouvant générer des PWM. Elle permet aussi de mesurer des grandeurs analogiques grâce à ces 6 entrées analogiques. Chaque broche est capable de délivrer un courant de 40 mA pour une tension de 5V. Cette carte Arduino peut aussi s'alimenter et communiquer avec un ordinateur grâce à son port USB. On peut aussi l'alimenter avec une alimentation comprise en 7V et 12V grâce à son connecteur Power Jack [40].

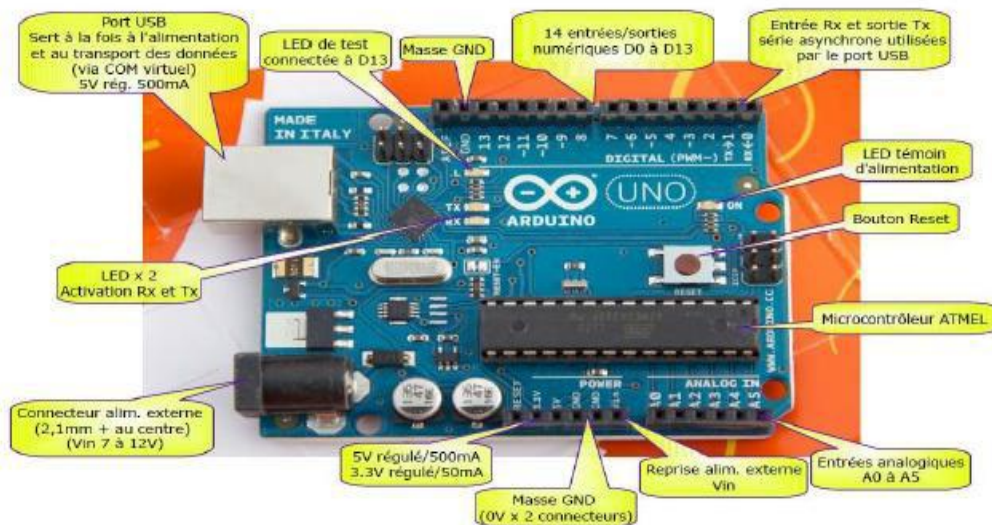


Figure 5.2 : Description d'une carte Arduino UNO

2.4. Langage de programmation :

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. La fonction `setup` contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.). La fonction `loop` est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction `setup`. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on omettait cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire [40].

3. Système photovoltaïque proposé :

La figure (5.3) représente le schéma synoptique du système PV alimente une charge résistive qui aura réalisé. Ce système PV est composé d'un module photovoltaïque et de deux circuits. Le circuit de puissance est composé d'un convertisseur survolteur à base d'un MOSFET et d'une charge résistive. Ainsi pour le circuit de commande, une carte Arduino UNO, un capteur de tension, un capteur de courant ACS712 et leurs alimentations.

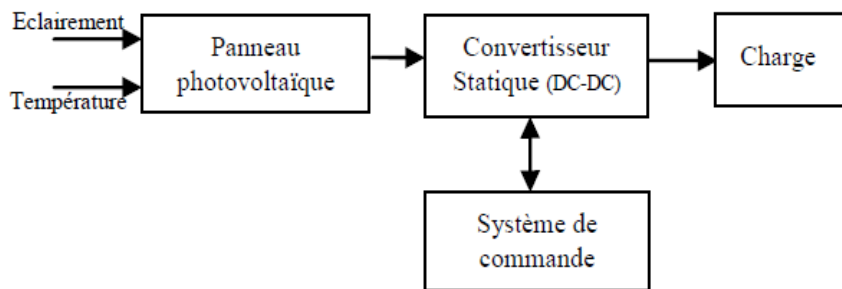


Figure 5.3 : Schéma synoptique du système photovoltaïque

Dans cette partie, nous présentons l'étude des différents composants du système PV, tel que le module PV, le convertisseur survolteur, le capteur de courant et le capteur de tension. Dans ce mémoire, on a choisi une carte d'entrée/sorties de type Arduino UNO utilisée comme interface entre le bloc de commande et un PC. Nous présentons aussi un afficheur LCD pour présenter les résultats de la simulation et des tests pratiques.

Le développement sur Arduino est très simple. On code l'application, avec des fonctions et des bibliothèques spécifiques à Arduino (gestions des E/S), on relie la carte Arduino PC et on transfère le programme sur la carte et on finit par utiliser le circuit.

La commande MPPT perturbation et observation est utilisée dans ce mémoire. Cet algorithme est conçu de sorte qu'il fonctionne sur un ordinateur et donc à chaque cycle de l'algorithme, la tension et le courant du module sont mesurés pour calculer la puissance. Cette valeur de puissance est comparée avec celle déjà calculée à l'itération précédente. Si maintenant la puissance de sortie à augmenter depuis la dernière mesure, la perturbation du rapport cyclique dans la même direction que celle qui a été prise au dernier cycle.

4. Simulation d'un GPV sous Proteus :

La figure ci-dessous représente le schéma du GPV sous Proteus.

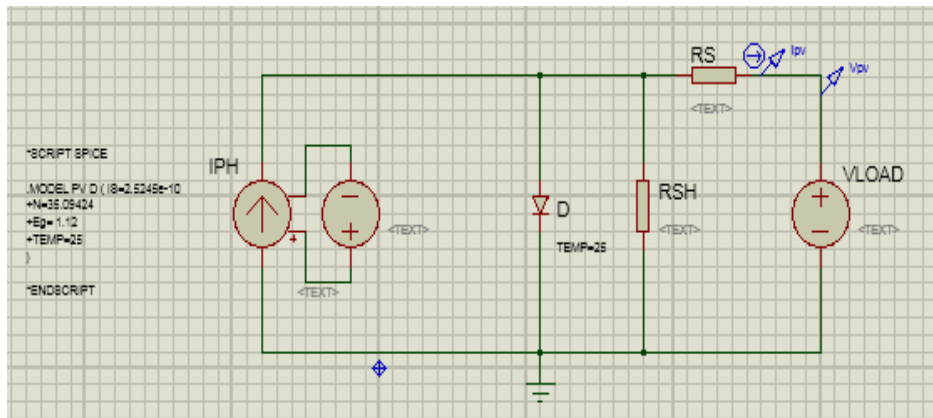


Figure 5.4 : Schéma du GPV sous Proteus

Le programme script pour le GPV est :

```

*SCRIPT SPICE
.MODEL PV D (IS=2.5245e-10
+N=35.09424
+Eg= 1.12
+TEMP=25
)
*ENDSCRIPT
    
```

Après la simulation Nous obtenons les courbes ci-dessous :

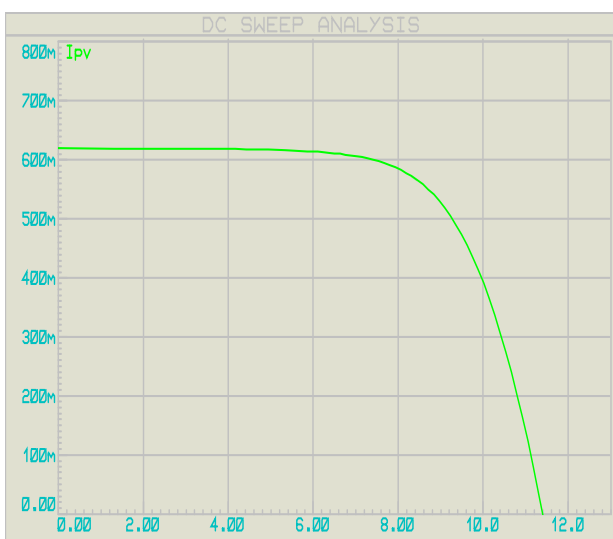


Figure 5.5 : courbe de caractéristique courant-tension I-V

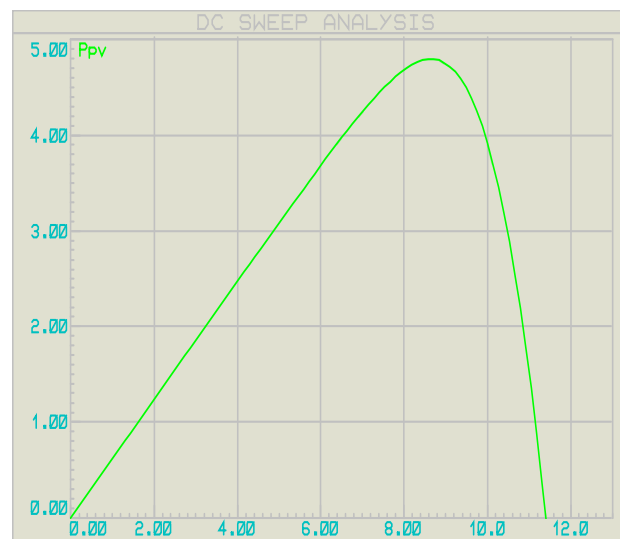


Figure 5.6 : courbe de caractéristique puissance-tension P-V

5. choix des composants du convertisseur :

Dans cette partie, nous allons dimensionner les différents composants constituant le circuit de puissance à savoir, l'inductance de lissage, le transistor de commutation, les capacités et la diode. La détermination de ces caractéristiques est une étape critique dans l'implémentation du MPPT. Certes, tout composant inadapté peut logiquement empêcher un fonctionnement optimal de la carte, mais surtout risque-t-il d'occasionner des pertes bien plus importantes que les économies réalisées.

6. Simulation du convertisseur abaisseur sous Proteus :

Le convertisseur Buck assure le transfert et la conversion de la puissance entre les deux côtés, source et charge grâce à un système de commande cette commande est à base du microcontrôleur Arduino UNO alimenté par une tension de 5 V à travers le circuit de protection.

La figure ci-dessous représente le schéma du convertisseur abaisseur sous Proteus. On fait des tests sur le fonctionnement du convertisseur abaisseur et la réduction de sa tension. Le convertisseur est bien joué son rôle, l'augmentation du rapport cyclique réduire la tension de sortie et vice versa.

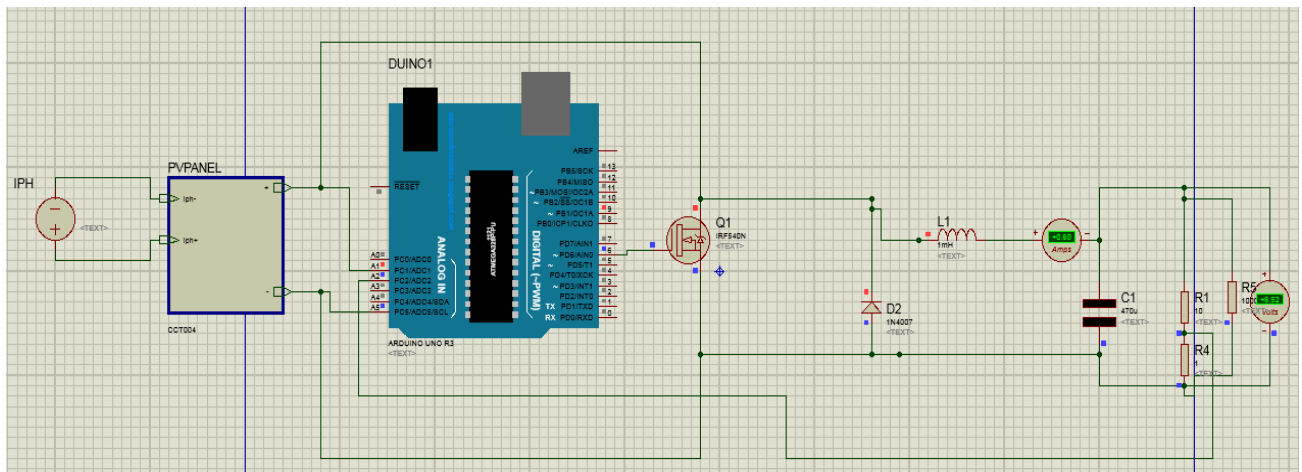


Figure 5.7 : Schéma du convertisseur sous Proteus

7. Réalisation du convertisseur abaisseur :

La figure (3.6) représente le schéma du convertisseur abaisseur réalisé. Ses composants électriques sont donnés dans le tableau (3.2). Les tests faits sur ce convertisseur donnent l'efficacité de ce circuit pour jouer son rôle dans le système PV qu'aura réalisé.

Désignation	Valeur ou Référence	Observation
Transistor	IRF540N	Mosfet de puissance
Diode	1N4148	Diode de puissance
Inductance	1mH et 2.2mH	
Capacité	100 μ F et 100uF	Electrochimique
résistance	50K Ω et 10 K Ω et 100 Ω et 100K Ω et 1 Ω	

Tableau 5.1 : Les composants électriques du convertisseur abaisseur

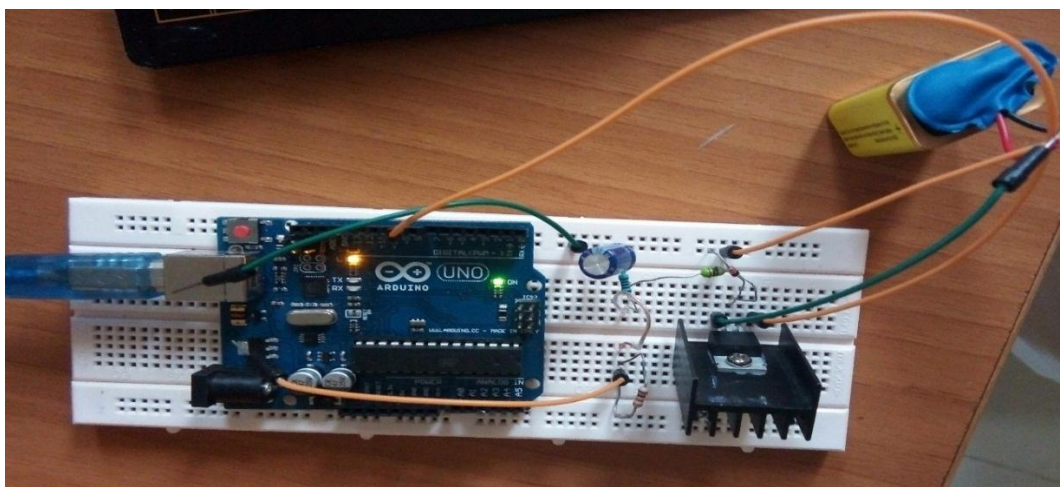


Figure 5.8 : Réalisation du convertisseur

8. Simulation du diviseur de tension sous Proteus :

La figure ci-dessous montre la simulation du diviseur de tension. Cette simulation est effectuée sous Proteus, elle montre l'efficacité de ce capteur pour mesurer une Tension continue à partir d'une tension continue. Ce diviseur joue un rôle d'un capteur de tension.

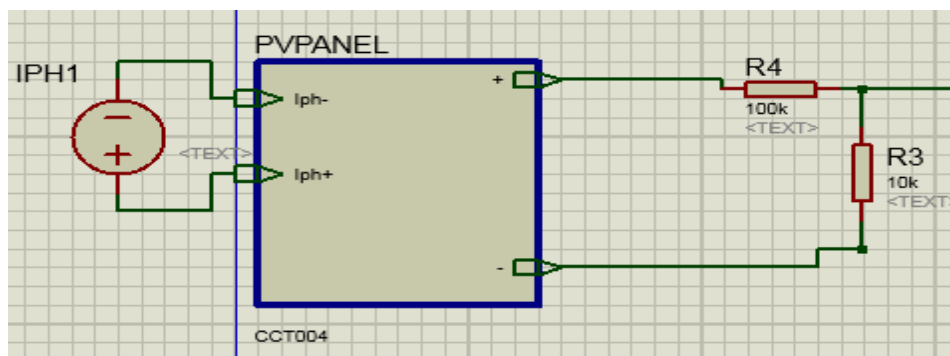


Figure 5.9 : Schéma de capteur de tension sous Proteus

La mesure de la tension est effectuée à partir d'un diviseur de tension pour avoir une Tension comprise entre 0 et 10V.

$$V_s = \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_e$$

$$R_4 = 100K\Omega$$

$$R_3 = 10K\Omega$$

A.N :

$$V_s = \frac{100000}{10000 + 100000} = 0.90$$

$$V_s = 0.90 * 11.1 = 9.99V$$

Nous avons multipliées la tension en 0.90 dans le programme.

Comme la tension d'entrée analogique Arduino est à 5V et si nous admettons que la Tension maximale délivrée par le générateur photovoltaïque est de 10V (marge de sécurité).

Alors, le rapport entre les deux tensions est de 10. Dans ce travail, On a choisi $R_2=100k\Omega$, $R_1=10k\Omega$.

9. Capteur de courant :

Le dispositif ACS712 Allegro offre un moyen économique et précis de détection de courants AC et DC. Ce capteur de courant Allegro ACS712 est basée sur le principe de l'effet Hall, qui a été découvert par le Dr Edwin Hall en 1879 selon ce principe, quand un conducteur de courant est placé dans un champ magnétique déposé, une tension est générée sur ses bords perpendiculaires à la direction à la fois du courant et du champ magnétique [40]. La figure ci-dessous représente le schéma d'un capteur de courant ACS712 utilisé dans notre travail.



Figure 5.10 : Capteur de courant ACS712

La sortie du dispositif a une pente positive lorsqu'un courant augmentant circule à travers le chemin de conduction de cuivre. Le ACS712-30B peut mesurer le courant jusqu'à $\pm 20A$ et fournit

la sensibilité de sortie de 66 mV/A (a +5V), qui signifie que pour chaque augmentation de 1A dans le courant à travers les bornes de conduction dans le sens positif, la tension de sortie augmente aussi par 66 mV. Au zéro de courant, la tension de sortie est la moitié de la tension d'alimentation ($V_{cc} / 2$). Il est à noter que la sortie fournit ACS712 ratiométrique, ce qui signifie que le courant de sortie de zéro et la sensibilité de l'appareil sont à la fois proportionnel à la tension d'alimentation VCC. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour l'utilisation de la ACS712 avec un convertisseur analogique-numérique.

10.Simulation du capteur du courant ACS712 sous Proteus :

La figure ci-dessous représente le schéma du capteur du courant ACS712 sous Proteus. On effectue une simulation sous Proteus pour mesurer un courant continu. Cette simulation montre la sensibilité de ce capteur pour mesurer le courant.

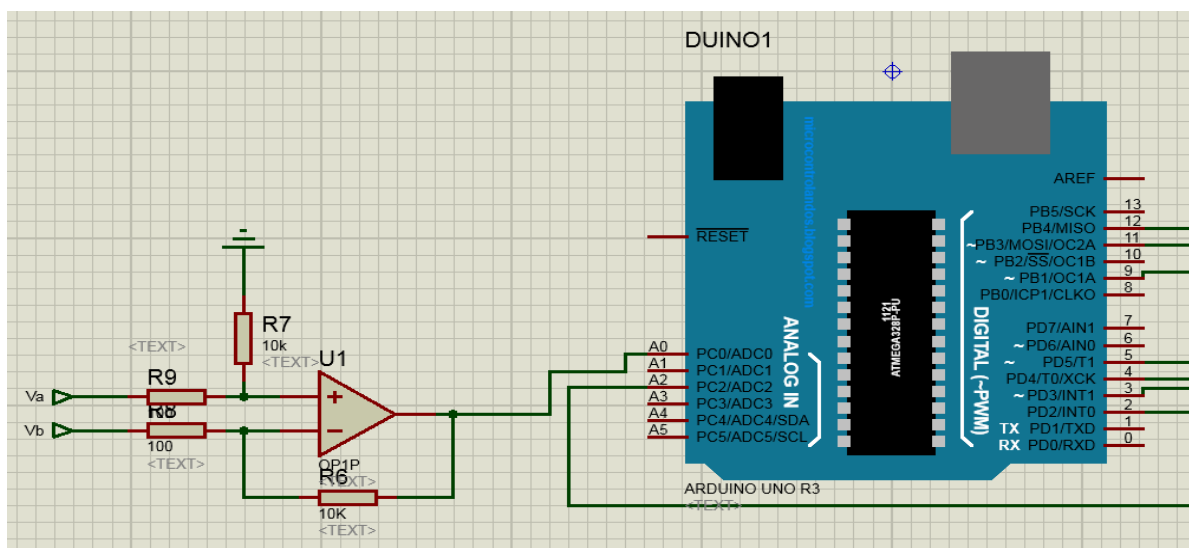


Figure 5.11 : Schéma du capteur de courant sous Proteus

11.Afficheur LCD :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service.

12.Simulation d'afficheur LCD sous Proteus :

CHAPITRE 5 : Réalisation d'un système PV à base d'une carte Arduino UNO

Le schéma d'un afficheur LCD sous Proteus et le programme sous Arduino sont représentés par les deux figures ci-dessous.

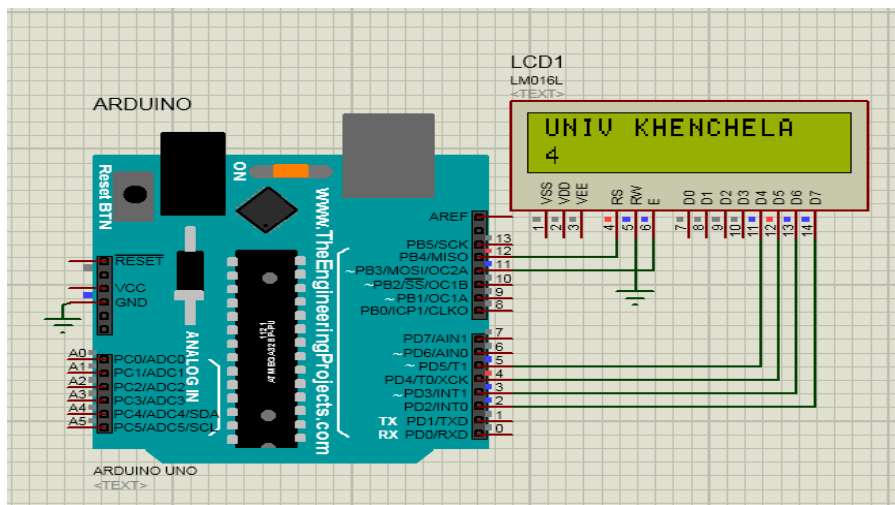


Figure 5.12 : Schéma d'afficheur LCD sous Proteus

```
Icdmcha | Arduino 1.8.5
Fichier Édition Croquis Outils Aide

Icdmcha $
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("UNIV KHENCHELA");
}

void loop()
{
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(millis() / 1000);
}

7 Arduino/Genuino Uno sur COM5
```

Figure 5.13 : Schéma de programme LCD sous Arduino

13.Simulation de la carte de commande sous Proteus :

CHAPITRE 5 : Réalisation d'un système PV à base d'une carte Arduino UNO

La carte de commande (capteur de courant, capteur de tension et carte Arduino) sous Proteus est représenté sur la figure (3.13). Les tests de simulation dans le bon fonctionnement de la carte de commande.

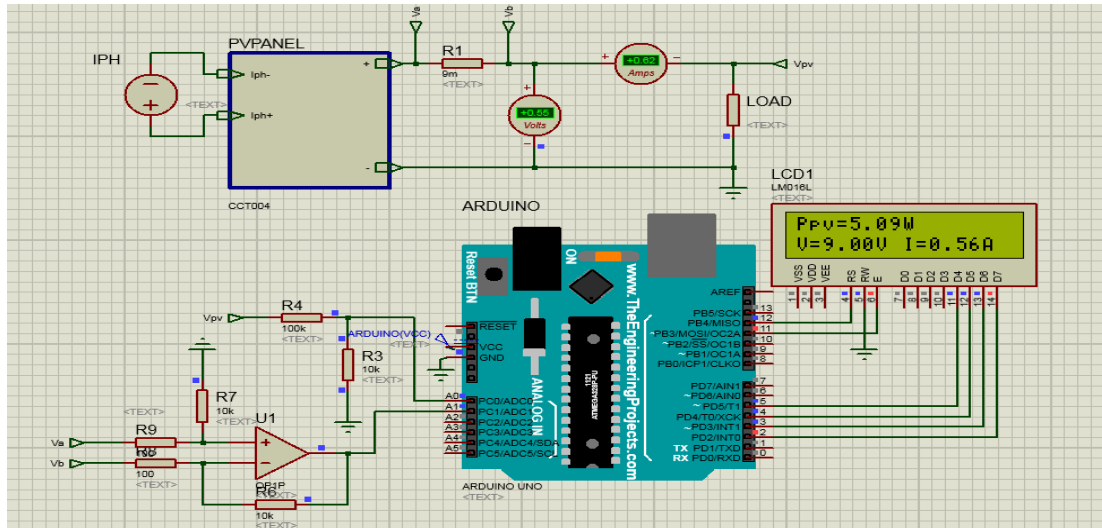


Figure 3.14 : Schéma électrique de la carte de commande en Proteus

```
float sensorValue1 = 0;
float sensorValue2 = 0;
float voltageValue = 0;
float currentValue = 0;
float Power_now = 0;
void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop()
{
  sensorValue1 = analogRead(A0);
  sensorValue2 = analogRead(A1);
  voltageValue= (sensorValue1*0.90) ;
  currentValue= (sensorValue2*5/1000);
  lcd.setCursor(0, 0);
  Power_now = voltageValue * currentValue;

  lcd.print("Ppv=");
  lcd.print(Power_now);
  lcd.print("W");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("V=");
  lcd.print(voltageValue);
  lcd.print("V I=");
  lcd.print(currentValue);
  lcd.print("A");
}
```

Figure 3.15 : programme de la carte de commande en Arduino

14.Simulation du système PV sous Proteus :

La simulation du système photovoltaïque sous l'environnement Proteus est Représentée par la figure (3.15). Les résultats de simulations montrent que le convertisseur DC-DC et la commande MPPT effectuent correctement leurs rôles. Le convertisseur fournit dans les conditions optimales une tension à sa sortie inférieure à celle fournie par le GPV. La commande MPPT adapte le générateur PV à la charge par le transfert de la puissance maximale fournie par le générateur PV.

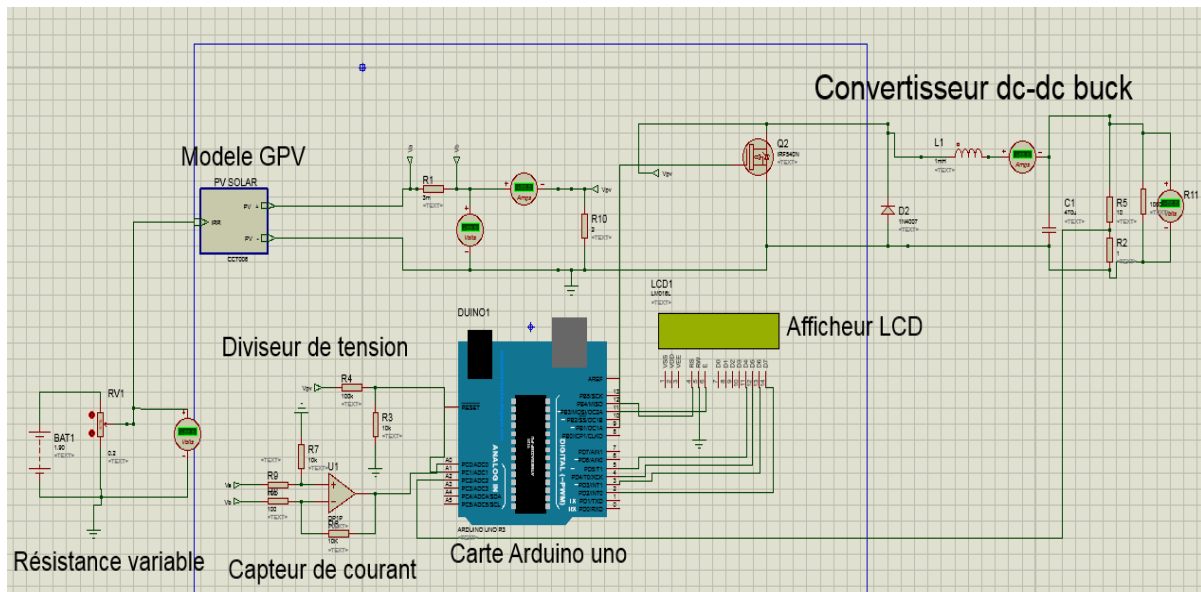


Figure 3.16 : Schéma global du système photovoltaïque sous Proteus

```

programme | Arduino 1.8.5
Fichier Édition Croquis Outils Aide

programme $
lcd.println(VOLT_PV);
lcd.print("V");
lcd.print("I=");
lcd.print(cour_pv);
lcd.print("A");
}

if (puissance_pv == puissance_pv_old) {
    volt_pv_old = volt_pv;
    cour_pv_old = cour_pv;
} else {
    if (puissance_pv > puissance_pv_old) {
        if (volt_pv > volt_pv_old) {
            d = d + 3;
        } else {
            d = d - 3;
        }
    } else {
        if (volt_pv < volt_pv_old) {
            d = d + 3;
        } else {
            d = d - 3;
        }
    }
}
if (d > 250) { d = 250; }
if (d < 3) { d = 3; }
volt_pv_old = volt_pv;
cour_pv_old = cour_pv;

Compilation terminée.
ld_90351/programme.ino.elf" "C:\Users\HAROUN~1\AppData\Local\Temp\
amme.ino.hex"
    
```

Figure 3.17 : programme du système photovoltaïque sous Proteus

15. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réalisé un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino UNO. Nous avons présenté la carte Arduino utilisée pour commander le système PV. Ensuite, nous avons fait un bref aperçu sur les différents composants du système PV, tel que le module PV monocrystallin p-5W, le convertisseur abaisseur, le capteur de courant, le capteur de tension, la carte Arduino UNO, l'afficheur LCD et la commande MPPT perturbation et observation.

D'après les résultats obtenus de la simulation sous Proteus et des tests pratiques, on remarque que le système PV transfère la puissance maximale fournie par le module PV à la charge.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Notre travail présenté porte sur l'analyse d'une étude et réalisation d'un système PV Adapté par une commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par Le module PV à base d'une carte Arduino.

Dans le premier chapitre, nous avons donnée des notions sur les systèmes PV (Types, avantages et limites,) ainsi que la cellule photovoltaïque avec sa modélisation.

Dans le second chapitre, nous avons présenté les principes des techniques MPPT les plus populaires et couramment utilisées dans les travaux de recherche ou dans l'industrie, en mettant en évidence leurs avantages et leurs inconvénients. Un tableau comparatif des différentes méthodes en fonction de plusieurs critères.

Pour le troisième chapitre nous avons faire une étude sur les différents convertisseurs statique de type dc-dc (hacheur), on intéresse sur le convertisseur abaisseur qui est utilisé dans ce travail.

Ensuite, le quatrième chapitre qui nous donne les résultats des différentes simulations sous mathworks matlab de GPV, convertisseur statique (type abaisseur), l'algorithme qui nous base sur dans ce travail (perturbe and observe), et le schéma globale qui comporte les précédents éléments.

Enfin, le cinquième chapitre qui est une combinaison de simulation sous Proteus-Arduino avec la réalisation à base d'une carte Arduino UNO des différents éléments de notre travail (convertisseur, LCD, schéma globale).

D'après les résultats obtenus de la simulation sous Proteus et des tests pratiques, nous remarquons que le système PV transfère la puissance maximale fournie par le module PV à la charge. Ainsi, la commande perturbation et observation est ajusté la puissance du système PV à son état stable. Ces résultats montrent aussi que l'utilisation de la carte Arduino UNO comme interface entre le système PV et le PC permet de simplifier et de faciliter la commande de ces systèmes PV.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] An Introduction to Photovoltaic Systems. Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2001
Numéro d'inventaire : M27-01-1592F
- [2] J.M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod,1984.
- [3] R. Bernard ;G. Menguy ; M. Schwartz, Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ; Technique et documentation Lavoisier, 2èmeédition1980.
- [4] Liu Xuejun —An improved perturbation and observation maximum power point tracking algorithm for PV panels, thesis Presented for the Degree of Master of Applied Science at Concordia University Montreal, Quebec, Canada, June 2004
- [5] A.Pradeep Kumar Yadav, S.Thirumaliah, G.Haritha “Comparison of MPPT Algorithms for DC-DC Converters Based PV Systems, IJAREEIE, Vol. 1, Issue 1, July 2012
- [6] Mohamed Azab —*A New Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems*, International Journal of Electrical and Electronics Engineering 3:11 2009
- [7] Hairul Nissah Zainudin, Saad Mekhilef, —*Comparison Study of Maximum Power Point Tracker Techniques for PV Systems*, MEPCON'10, Cairo University, Egypt, December 2010
- [8] Site internet:<http://www.ecohabitation.com/guide/fiches/lumiere-se-transformer-electricite>.
- [9] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, F. Blaadbjerg, “Improved MPPT Algorithms for rapidly Changing Environmental Conditions”, Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, EPEPMC 2006. 12th International, pp. 1614-1619, Aug. 2006.
- [10] T. ESRAM, P. L. Chapman, “Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques”, IEEE Transactions On, Energy Conversion, Vol. 22, pp. 439-449, Jun. 2007.
- [11] D. P. Hohm, M. E. Ropp, “Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental programmable, maximum power point tracking test bed”, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, PVSC 2000 pp. 1699-1702, Sept. 2000.
- [12] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli, “Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method”, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.20, No. 4, pp. 16-19, Mar. 2004.
- [13] K. Noppadol, W. Theerayod, S. Phaophak, “FPGA Implementation of MPPT using variable stepsize P&O algorithm for PV applications”, Communication and Information Technologies, ISCIT'06, IEEE International Symposium On, pp. 212-215, Sept. 2006.

- [14] D. P. Hohm, M. E. Ropp, "Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental programmable, maximum power point tracking test bed", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, PVSC 2000 pp. 1699-1702, Sept 2000.
- [15] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, F. Blaadbjerg, "Improved MPPT Algorithms for rapidly Changing Environmental Conditions", Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, EPEPEMC 2006. 12th International, pp. 1614-1619, Aug. 2006.
- [16] W. J. A. Teulings, J. C. Marpinard, A. Capel, and D. O'Sullivan, "A new maximum power point tracking system", IEEE Power Electronics Specialists Conference 1993, PESC'93, pp. 833-838, Jun.1993.
- [17] W. Xiao, W. G. Dunford, "Evaluating maximum power point tracking performance by using artificial lights", Industrial Electronics Society, IEEE IECON'04, Vol. 3, pp. 2883-2887, Nov. 2004.
- [18] W. Xiao, W. G. Dunford, "A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems", IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC'04, Vol. 3, pp. 1957-1963, Jun. 2004.
- [19] N. kasa, Takahiko Iida, and Gourab Majumdar, "Robust Control for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Power System", IEEE -PCC Osaka, pp. 827-832, Jun. 2002.
- [20] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, N. C. Voulgaris, "Development of a microcontroller based photovoltaic maximum power point tracking control system", Power Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 16, pp. 46-54, Jan. 2001.
- [21] J. H. Lee, H. B. Bo, H. Cho, "Advanced incremental conductance MPPT algorithm with a variable step size", Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, EPE-PEMC 2006. 12th International, pp. 603-607, Aug. 2006.
- [22] T. Y. Kim, H. G. Ahn, S. K. Park, Y. K. Le, "A novel maximum power point tracking control for photovoltaic power system under rapidly changing solar radiation", IEEE International Symposium on, Vol. 2, pp. 1011-1014, Jun. 2001.
- [23] K. H. Hussein, I. Muta, T. Hshino, and M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", Proc. Inst. Elect. Eng. Vol. 142, No.1, pp. 59-64, Jan. 1995.
- [24] D. P. Hohm, M. E. Ropp, "Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental programmable, maximum power point tracking test bed", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, PVSC 2000 pp. 1699-1702, Sept 2000.
- [25] M. A. S. Masoum, H. Dehbonei and E. F. Fuchs, "Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with voltage-and Current-based Maximum Power-point Tracking", IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 17, No. 4, December 2002.

- [26] J. Ghaisari, M. Habibi, A. Bakhshai, “An MPPT controller design for photovoltaic PV) system based on the optimal voltage factor tracking”, IEEE Electrical Power Conference, EPC 2007, pp. 359-362, Oct. 2007.
- [27] B. Bekker and H. J. Beukes, “Finding an optimal PV panel maximum power point tracking method,” in Proc. 7th AFRICON Conf. Africa, 2004, pp. 1125–1129.
- [28] D. Shmilovitz, ‘On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters’, IEE Proceedings Electric Power Applications, Vol. 152, No. 2, pp 239-248, March 2005.
- [29] K.K. Tse, M.T. Ho, H.S. Chung and S.Y. Ron Hui “A comparative study of Maximum-Power-Point Trackers for photovoltaic panels using switching-frequency modulation scheme”, IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 51, No. 2, April 2004.
- [30] Hussein, K.H.; Muta, I.; Hoshino, T.; Osakada, M.; “Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions” Generation, IEE Proceedings Transmission and Distribution. Vol. 142, No. 1, Jan. 1995 pp:59 – 64.
- [31] M. Veerachary, T.Senju and K. Uezato, “Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV systems using fuzzy controller”, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol 38, No. 3, July 2002, pp: 969-981.
- [32] B.M. Wilamowski and X. Li, “Fuzzy system based maximum power point tracking for PV system” 28th Annual Conf. of the Industrial Electronics Society, IECON 2002, Vol. 4, 5-8 nov. 2002, pp 3280-3284.
- [33] N.Femia, G. Lisi, G. Petrone, and M.Vitelli “Distributed Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays: Novel Approach and System Analysis”. IEEE transaction on industrial electronics, vol. 55, No. 7. 2008.
- [34] M. Bodur and M. Ermis, “Maximum power point tracking for low power photovoltaic solar panels,” in Proc. 7th Mediterranean Electrotechnical Conf., 1994, pp. 758–761.
- [35] K. Irisawa, T. Saito, I. Takano, and Y. Sawada, “Maximum power point tracking control of photovoltaic generation system under non-uniform insolation by means of monitoring cells,” in Conf. Record Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Spec. Conf., 2000, pp. 1707–1710.
- [36] S. M. Ait-Cheikh, «Etude, Investigation et conception d’algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques», Thèse de Doctorat d’état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [37] S. Issaadi, « Commande d’une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones », Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2006.
- [38] N. Abouchabana, « Etude d’une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT », Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.

[39] M. Moulay-Amar et M. Loghouini, «Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné a une installation photovoltaïque », Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, Algérie, 2005.

[40] A. Ahmed Azi, « Contribution au développement d'un outil d'aide au diagnostic de performances des MPPT dans la chaîne de conversion photovoltaïque », Mémoire magister, Université de M'sila, Algérie, 2014.

Annexe

IRF540N CHARACTERISTICS :



IRF540N

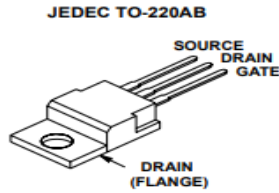
Data Sheet

March 2000

File Number 4842

33A, 100V, 0.040 Ohm, N-Channel Power MOSFET

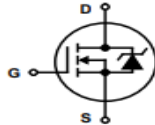
Packaging



Features

- Ultra Low On-Resistance
 - $r_{DS(ON)} = 0.040\Omega$, $V_{GS} = 10V$
- Simulation Models
 - Temperature Compensated PSPICE™ and SABER® Electrical Models
 - Spice and SABER® Thermal Impedance Models
 - www.intersil.com
- Peak Current vs Pulse Width Curve
- UIS Rating Curve

Symbol



Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF540N	TO-220AB	IRF540N

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
OFF STATE SPECIFICATIONS							
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu A$, $V_{GS} = 0V$ (Figure 11)	100	-	-	V	
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95V$, $V_{GS} = 0V$	-	-	1	μA	
		$V_{DS} = 90V$, $V_{GS} = 0V$, $T_C = 150^\circ C$	-	-	250	μA	
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA	
ON STATE SPECIFICATIONS							
Gate to Source Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu A$ (Figure 10)	2	-	4	V	
Drain to Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 33A$, $V_{GS} = 10V$ (Figure 9)	-	0.033	0.040	Ω	
THERMAL SPECIFICATIONS							
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	TO-220	-	-	1.25	$^\circ C/W$	
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		-	-	62	$^\circ C/W$	
SWITCHING SPECIFICATIONS ($V_{GS} = 10V$)							
Turn-On Time	t_{ON}	$V_{DD} = 50V$, $I_D = 33A$ $V_{GS} = 10V$, $R_{GS} = 9.1\Omega$ (Figures 18, 19)	-	-	100	ns	
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$		-	9.5	-	ns	
Rise Time	t_r		-	57	-	ns	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	40	-	ns	
Fall Time	t_f		-	55	-	ns	
Turn-Off Time	t_{OFF}		-	-	145	ns	
GATE CHARGE SPECIFICATIONS							
Total Gate Charge	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 0V$ to $20V$	$V_{DD} = 50V$, $I_D = 33A$, $I_{g(REF)} = 1.0mA$ (Figures 13, 16, 17)	-	66	79	nC
Gate Charge at 10V	$Q_{g(10)}$	$V_{GS} = 0V$ to $10V$		-	35	42	nC
Threshold Gate Charge	$Q_{g(TH)}$	$V_{GS} = 0V$ to $2V$		-	2.4	2.9	nC
Gate to Source Gate Charge	Q_{gs}			-	5.4	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}			-	13	-	nC
CAPACITANCE SPECIFICATIONS							
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25V$, $V_{GS} = 0V$, $f = 1MHz$ (Figure 12)	-	1220	-	pF	
Output Capacitance	C_{OSS}		-	295	-	pF	
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	100	-	pF	

LCD DISPLAY DATASHEET:

1. Features

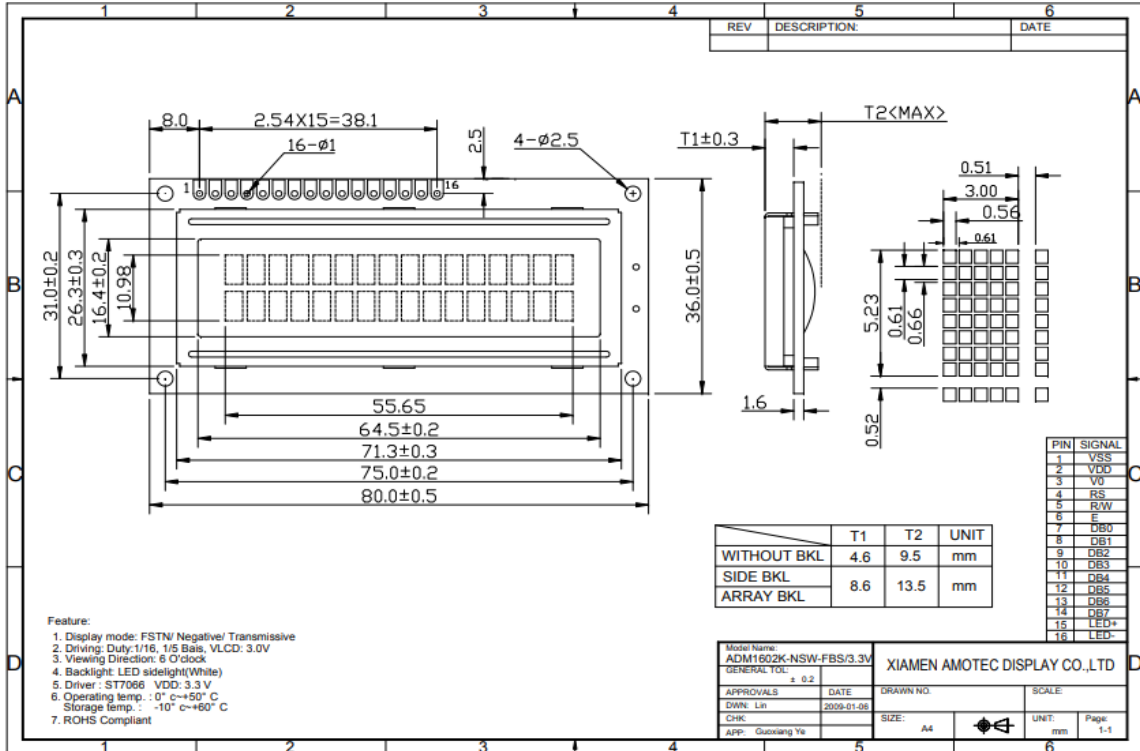
1. 5x8 dots with cursor
2. 16characters *2lines display
3. 4-bit or 8-bit MPU interfaces
4. Built-in controller (ST7066 or equivalent)
5. Display Mode & Backlight Variations
6. ROHS Compliant

LCD type	<input type="checkbox"/> TN			
	<input type="checkbox"/> FSTN	<input checked="" type="checkbox"/> FSTN Negative		
	<input type="checkbox"/> STN Yellow Green	<input type="checkbox"/> STN Gray	<input type="checkbox"/> STN Blue Negative	
View direction	<input checked="" type="checkbox"/> 6 O'clock		<input type="checkbox"/> 12 O'clock	
Rear Polarizer	<input type="checkbox"/> Reflective		<input type="checkbox"/> Transflective	<input checked="" type="checkbox"/> Transmissive
Backlight Type	<input checked="" type="checkbox"/> LED	<input type="checkbox"/> EL	<input type="checkbox"/> Internal Power	<input checked="" type="checkbox"/> 3.3V Input
		<input type="checkbox"/> CCFL	<input checked="" type="checkbox"/> External Power	<input type="checkbox"/> 5.0V Input
Backlight Color	<input checked="" type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> Blue	<input type="checkbox"/> Amber	<input type="checkbox"/> Yellow-Green
Temperature Range	<input checked="" type="checkbox"/> Normal		<input type="checkbox"/> Wide	<input type="checkbox"/> Super Wide
DC to DC circuit	<input type="checkbox"/> Build-in		<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in	
Touch screen	<input type="checkbox"/> With		<input checked="" type="checkbox"/> Without	
Font type	<input checked="" type="checkbox"/> English-Japanese	<input type="checkbox"/> English-Europen	<input type="checkbox"/> English-Russian	<input type="checkbox"/> Other

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

Module size	80.0mm(L)*36.0mm(W)* Max13.5(H)mm
Viewing area	64.5mm(L)*16.4mm(W)
Character size	3.00mm(L)*5.23mm(W)
Character pitch	3.51mm(L)*5.75mm(W)
Weight	Approx.

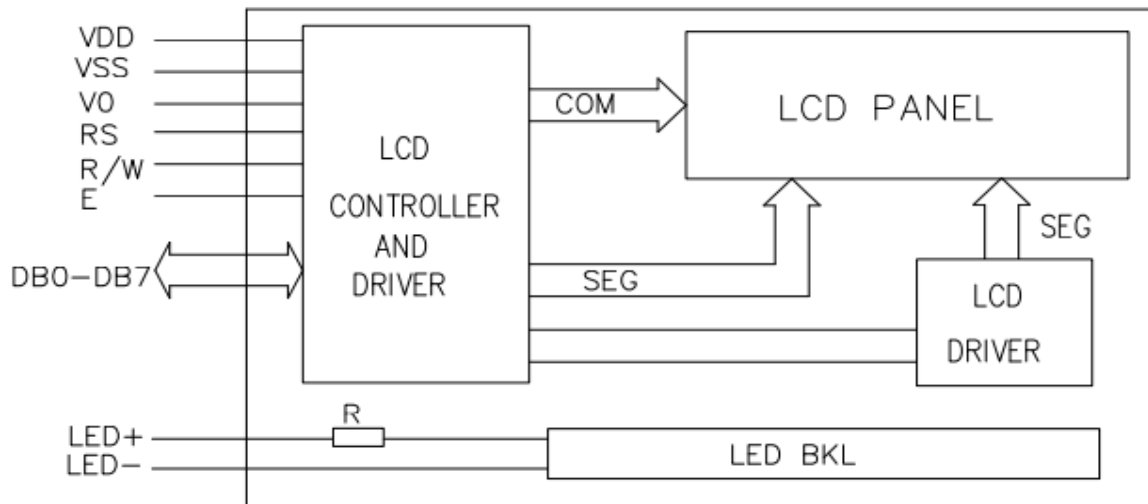
3. Outline dimension



4. Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	V_{DD-VSS}	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	VSS	-	VDD	
Operating temperature range	V_{OP}	0	-	+50	°C
Storage temperature range	V_{ST}	-10	-	+60	

5. Block diagram



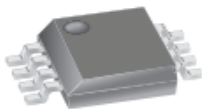
ACS712 current sensor characteristics:


Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

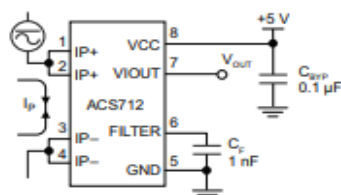
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_P , within the range specified. C_{FBP} is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Selection Guide

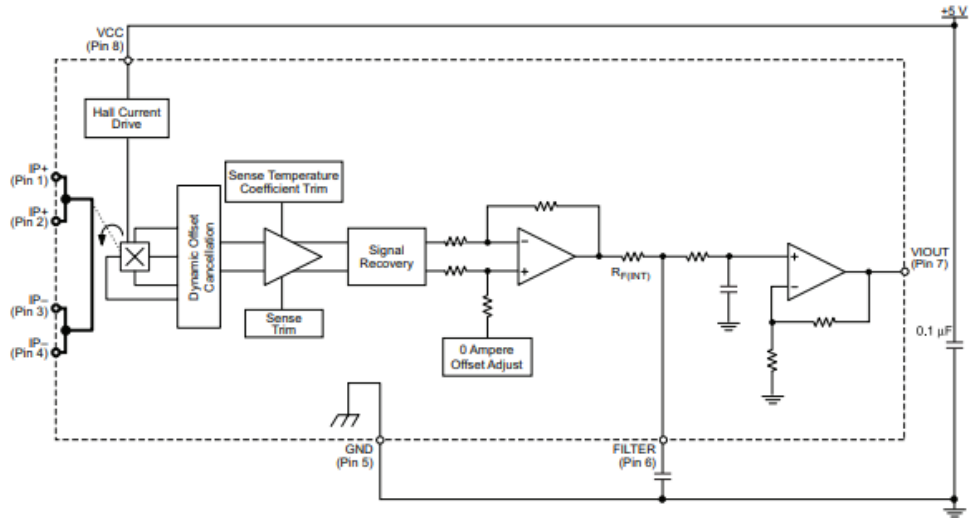
Part Number	Packing*	T_{OP} (°C)	Optimized Range, I_P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

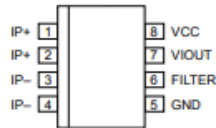
Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V_{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	$I_{IOUT(SOURCE)}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{IOUT(SINK)}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_P	100 total pulses, 250 ms duration each, applied at a rate of 1 pulse every 100 seconds.	60	A
Maximum Transient Sensed Current	$I_R(max)$	Junction Temperature, $T_J < T_{J(max)}$	60	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction	$T_{J(max)}$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	°C

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

SOLAR PANEL MODEL WELION P-5W:

