REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : **E**lectrotechnique.

Spécialité : **E**nergie **R**enouvelable en **E**lectrotechnique.

Etude et implémentation d'un Contrôleur MPPT-Photovoltaïque à base de Circuit Programmable FPGA

Présentés par :

Belli Amina Hiba

Ouldterki Wessam

Proposés et Dirigés par :

Dr. MORSLI Abed el Kader

Dr. AMOKRANE Zouhir

Promotion 2022-2023

Remerciements

Tout d'abord ,on remercie "ALLAH" le tout puissant, qui nous adonné de la santé, de moyens et de volonté ardente dans la quête du savoir. Nos remerciements s'adressent aussi et en particulier à Dr A.MORSLI et Dr Z. AMOKRANE , qui en tant que Promoteur de mémoire, s'est toujours montré très disponible tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi que pour l'aide compétente qu'il nous a apporté, pour sa patience et son encouragement. Aussi, c'est avec un profond bonheur qu'on saisit l'occasion pour adresser nos plus sincères remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail : On adresse les plus sincères remerciements à tous les professeurs de la spécialité ENERGIE RENOUVELABLES, pour leurs aides et leurs encouragements Enfin, nos remerciements, mais pas les moindres, vont à toute personne ayant participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Dédicace

“

Je dédie cet événement marquant de ma vie de mon père disparu Ali . qui m’a toujours poussé et motivé dans mes études. J’espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d’un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l’avoir en sa sainte miséricorde A ma Chère mére pour ses encouragements continue et son soutien moral.

À mon adorable frére Ahmed Salah.

À ma chère sœur Noor Elhouda.

À toute mafamille.

À mon future mars

À tous mes PROCHES, Et

tous mes amies.

Merci.

”

- Amina Hiba

Dédicace

“

Je dédie ce mémoire :

A Mes parents Dahmen et Nadjia , mon mari Sofien et mes chères filles pour leur amour inestimable, leur confiance , leur soutien , leurs sacrifices et toutes les valeurs qu’ils ont su m’inculquer .

A Mes sœurs Hadjer , Asmaa , Chahinaz ainsi qu’à mes frères Oussama ,Mohamed Ali pour leur tendresse ,leur complicité et leur présence

A tous ma famille (ma tante maternelle Fatima Zohra et ma cousine Lamia ,ma tente paternelle Fatima Zohra …)

A ma chère binôme Amina Hiba

En fin mais pas les moindres vont a tout personne ayant participé de prés ou de loin a l’accomplissement de ce travail .

”

- Wessam

ملخص

يواجه توليد الطاقة الكهروضوئية مشكلتين رئيسيتين: كفاءة التحويل للوحدات الكهروضوئية الحالية أقل وكمية الطاقة المتولدة من النظام الكهروضوئي تتغير مع الظروف الجوية. أيضًا ، تكون خصائص الخلية الكهروضوئية I-V غير خطية بسبب العلاقة المعقدة للجهد والتيار وتتنوع مع تغير درجة الحرارة أو أشعة الشمس. هناك نقطة واحدة فقط على منحنى PV أو IV تسمى Point Power Maximum حيث يعمل النظام الكهروضوئي بأقصى قدر من الكفاءة وينتج أقصى طاقة خرج. يؤدي الفشل في تتبع MPP إلى فقد كبير في الطاقة.

في هذا العمل ، تم تصميم خوارزميات تتبع نقطة الطاقة القصوى باستخدام لغة وصف أجهزة الدوائر المتكاملة العالية. خوارزمية MPPT المستخدمة هي طريقة Perturb Observe المصممة ومقارنتها بمخططات استخدام الجهاز في ISE Xilinx. 14.5 باستخدام المعادلة الرياضية ، يتم نمذجة الخلية الكهروضوئية ومحاكاتها في كتل SIMULINK-MATLAB. يتم استخدام أدوات المحاكاة مثل MPPT خوارزميات نا النتائج تثبت .SIMULINK-MATLAB و ISE Xilinx 14.5 و SE 10.5 ModelSimيمكن تنفيذها بسهولة باستخدام مصفوفة البوابة القابلة للبرمجة الميدانية (FPGA) في الوقت الفعلي .

كلمات مفتاحية : النظام الكهروضوئي ، MPPT، خوارزمية PO ، محول DC-DC ، لغة برمجة "VHDL" ، دارة رقمية قابلة للبرمجة الحلقية FPGA

Résumé

La production d'énergie photovoltaïque présente deux problèmes majeurs :l'efficacité de conversion des modules PV existants est moindre et la quantité d'énergie générée par le système PV change avec les conditions météorologiques. De plus, les caractéristiques I-V de la cellule PV ne sont pas linéaires en raison de la relation complexe entre la tension et le courant et varient avec les changements de température ou d'insolation. Il n'y a qu'un seul point sur la courbe P-V ou I-V appelé point de puissance maximale auquel le système PV fonctionne à son efficacité maximale et produit une puissance de sortie maximale. Le fait de ne pas suivre le MPP entraîne une perte de puissance importante.

Dans ce travail, les algorithmes de suivi de point de puissance maximum sont conçus en utilisant le Langage de description de matériel de circuit intégré à haute vi tesse. L'algorithme utilisé (perturbation et observation - P&O) est conçu et comparé avec les diagrammes

d'utilisation des appareils dans Xilinx ISE 14.5. Avec l'équation mathématique ,la cellule PV est modélisée et simulée dans les blocs MATLAB . Les outils de simulation comme ModelSim SE 10.5, Xilinx ISE 14.5 et SIMULINK-MATLAB sont utilisés. Les résultats prouvent que les algorithmes MPPT pourraient être facilement mis en œuvre à l'aide de Réseau Prédiffusé Programmable par l'utilisateur (FPGA) en temps réel.
Mots clés : Système photovoltaïque, MPPT, algorithme P&O, convertisseur DC-DC, FPGA, codage VHDL.

Abstract

Photovoltaic power generation has two major problems : the conversion efficiency of existing PV modules is less and amount of power generated by PV system changes with weather conditions. Also, the PV cell I-V characteristics are non-linear due to complex relationship of voltage and current and varies with change in temperature or insolation. There is only one point on P-V or I-V curve called Maximum Power Point at which PV system operates at maximum efficiency and produces maximum output power. Failure to track MPP causes significant power loss.

In this work, the maximum power point tracking algorithms are designed using High Integrated Circuit Hardware Description Language. The MPPT algorithm used is Perturb & Observe method designed and compared with device usage diagrams in Xilinx ISE 14.5. With the mathematical equation the PV cell is
modeled and simulated in SIMULINK-MATLAB blocks. Simulation tools like ModelSim ISE 10.5, Xilinx ISE 14.5 and SIMULINK-MATLAB are used. The results prove that MPPT algorithms could be easily implemented using Field Programmable Gate Array (FPGA) in real time.
Keywords : Photovoltaic System, MPPT, P&O Algorithm, DC-DC Converter, FPGA,VHDL coding.

Tables de matières

Remerciements I
Dédicace II
Résumé III
Introduction générale XI

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

I.1. Introduction 3
I.2. Le gisement solaire 3
I .2.1. Définitions 3
I .2.2. Le gisement solaire en Algérie 3
I.3.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque 5
I.3.2 Differentes types des cellules photovoltaïque 6
I.3.2.1 Les cellules monocrystalline 6
I.3.2.2 Les cellules polycristallines 6
I.3.2.3 Les cellules amorphes 7
I.3.3 Les paramètres importants des cellules PV 7
I.3.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque 8
I.3.4.1 Modèle à deux diodes 8
I.4 Le champ photovoltaïque : 10
I.4.1. Le générateur photovoltaïque 11
I.4.2. Influence de l'éclairement et de la température 11
I.4.2.1. L'influence de l'éclairement 11
I.4.2.2. Influence de la température 12
I. 4.3 Association des cellules photovoltaïques 13
I.4.3.1 Association série des cellules photovoltaïque 13
I.4.3.2 Association parallèle des cellules PV 13
I.5 Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque (13) 14
I.6 Les convertisseurs DC-DC (hacheurs) 16
I.7. 1 Fonctionnement 17
I.7. 2 Modèle mathématique équivalent 17

I.8 Conculsion 18

Chapitre II : Techniques de commande de poursuivre du point de puissance maximum

II .1 Introduction 20
II.2 Commandes MPPT 20
II.3 Principe de la recherche du PPM 21
II.4 Techniques de commande MPPT 23
II. 5 Les Algorithmes MPPT 23
II.6 Les commandes MPPT basées sur des relations de proportionnalité 24
II.6.1 Commande en régulation de tension 24
II.6.2 Commande en régulation de courant 25
II.6.3 Commande en régulation de puissance 25
II.6.4 Les MPPT à implantation analogique 26
II.7 Algorithme Perturbation et Observation (P&O) 27
II.7.1 Organigramme Perturber et Observer (P&O) 27
II.8 Autres méthodes 28
II.9 Conclusion 29

Chapitre III : Présentation des circuits FPGA

III .1 Introduction : 30
III.2 Les circuits logiques : 30
III.3 Les FPGA: 30
III.2.1.1.Technologie à base de SRAM 31
III.2.1.1.Technologie à base d'EEPROM ou FLASH 31
III.2.1.3. Technologie à base d'ANTI-FUSIBLE 31
III .2.2. L'architecture des circuits FPGA 32
III.2.2.1 les blocs logiques CLBs: 32
3.2.2.2. Les blocs d'entrée/sortie: 33
III.2.2.3. le réseau d'interconnexions dans un circuit FPGA: (29) 33
III.3.les langages HDL: 35
III.3.1. historique : 35
III.3.2.Définition : 35
III.3.3 Structure d'une description VHDL simple (30) 36

III.5 Applications des circuits FPGA 39
III.6 Avantages et inconvénients de FPGA : 39
avantages 39
Inconvénients 39
III .7 Conclusion : 39

Chapitre IV :simulation de système et l'implémentation

IV.1 Présentation de notre système: 40
MPPT à base de l'algorithme P&O: 42
IV .3 Simulation du système sous des conditions standards (STC): 43
IV .4 Résultats de simulation du MPPT P&O 43
IV .5 Réalisation et implémentation de PandO dans un circuit FPGA 46
IV .5.1 Logiciels et outils utilises 46
IV -6 implémentation de l'algorithmeP&O 46
IV.7 Résultats de simulation 48
IV-8 RESULTATS ET DISCUSSION 50
Conclusion générale 54
ANNEX

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

Figure I.1 Carte du monde de l'ensoleillent moyen annuel. 4
Figure I.2: Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu. 5
Figure I. 3 : Modèle d'une cellule photovoltaïque à deux diodes. 8
Figure I. 4 : Le champ photovoltaïque. 11
Figure I. 5 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V. 12
Figure I. 6 :L'influence de l'éclairement sur la caractéristique P-V. 12
Figure I. 7 : L'influence de la température sur la caractéristique I-V. 12
Figure I. 8 : L'influence de la température sur la caractéristique P-V. 13
Figure I. 9 Association en série. 13
Figure I. 10 : Association en parallèle. 14
Figure I. 11 : Association mixte Ns x Np modules solaires. 14
Figure I. 12 : Schéma de principe d'un convertisseur Boost. 17
Figure I. 13 : Schémas équivalents d'un hacheur survolteur 17

Chapitre II : Techniques de commande de poursuivre du point de puissance maximum

Figure II . 1: schéma de principe du convertisseur MPPT. 21
Figure II . 2 : fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairement (a) et la charge (b). 22
Figure II . 3 : fluctuation du PPM avec l'intensité de la température (c). 22
Figure II . 4 : Présentation de l'organigramme amenant le système à un fonctionnement à son PPM. 23
Figure II . 5 : Organigramme de la première commande MPPT. 24
Figure II . 6 : Commande MPPT simple implantée en analogique. 27
Figure II . 7 : Algorithme de la méthode P&O (CP est la largeur du pas de perturbation). 28

Chapitre III : Présentation des circuits FPGA

Figure III . 1 : Architecture des circuits FPGAs. (26) 32
Figure III . 2 : Schéma d'un bloc d'entrée/sortie (IOB) (28) 33
Figure III . 3 : interconnexion interne d'un FPGA. 34
Figure III . 4 :Différent parties d'une description(31) 36
Figure III . 5 : Organisation fonctionnelle de développement d'un projet sur circuit FPGA. 38

Figure IV. 1 : Modèle Simulink d'un système photovoltaïque général composé d'un hacheur 40
Figure IV. 2 : Le modèle Simulink du module photovoltaïque. 41
Figure IV. 3 :Le modèle Simulink du convertisseur survolteur (boost) 42
Figure IV. 4 : le schéma fonctionnel sous Simulink du contrôleur MPPT. 42
Figure IV. 5 :Allure de la puissance en fonction de temps pour (T=25°C,G=1000W/m²). 43
Figure IV. 6 :Allure de courant en fonction de la tension 44

Figure IV. 7 : Allure de la puissance générée par le panneau photovoltaïque Pour (T=25°C, G=1000 W/m²)..... 44
Figure IV. 8 : Tensions d'entrée et de sortie du convertisseur..... 45
Figure IV. 9 : courbe du Rapport cyclique 45
Figure IV. 10 :Synoptique de l'application MPPT P&O. 47
Figure IV. 11 : l'entité d'une description VHDl. 47
Figure IV. 12 : architecture d'une description VHDl 48
Figure IV. 13 : Partie d'une description VHDl. 48
Figure IV. 14 :Vue de la synthèse de l'architecture (Schéma RTL détaillée de MPPT P&O) 49
Figure IV. 15 : Schéma RTL de MPPT P&O 50
Figure IV. 16 :la réalisation des circuits avec l'hacheur..... 51
Figure IV. 17 : signal MLI..... 51
Figure IV. 18 :implémentation expérimentale du convertisseur boost 52

Liste des sigles et acronymes

PV	photovoltaïque.
α	rapport cyclique des impulsion qui commandent l'interrupteur.
W	Watt
PN	la jonction.
I_{pv}	Le photo-courant.
Vd	la tension aux bornes de la diode.
I_s	le courant inverse de saturation.
q	la charge de l'électron.
K	la constante de Boltzmann.
K	le facteur d'idéalité.
R_s	la résistance série de la cellule.
R_p	la résistance parallèle de la cellule (la résistance shunt).
T_c	la température de la cellule I(V) courant (tension).
$P(V)$	puissance (tension).
FF	Le facteur de forme.
η	le rendement de la cellule PV.
V_{co}	Tension de circuit ouvert.
I_{cc}	Courant de court-circuit.
N_s	Nombre des cellules en série
N_p	Nombre des cellules en parallèle GPV n Générateur Solaire Photovoltaïque.
PPM	Points de Puissance Maximale.
$MPPT$	Poursuite du Point de Puissance Maximale (Maximum Power Point Tracking).

$\boldsymbol{DC-DC}$	Continue-Continue.
$\boldsymbol{FPGA}$	Field Programmable Gates Arrays.
$\boldsymbol{VHDL}$	Very high speed integrated circuit Hardware Description Language.
$\boldsymbol{CLB_s}$	Configurable Logic Bloc.
$\boldsymbol{IOB}$	Input Output Bloc LUT Look-Up Table.
P&O	Algorithme Perturber et Observer.
μ	coefficient de sensibilité de l'intensité à la température.
$\mathbf{P_m}$	la puissance maximal .
Pin	La puissance d'entrée qui est l'éclairement incident sur le capteur par unité de surface.
FPDs	Field Programmable Devices .

Introduction générale

Introduction générale

La consommation mondiale d'électricité observée au cours des dernières décennies est étroitement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens communication. 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 entraînera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources. D'autant plus que la demande continue de grimper à des niveaux supérieurs à l'offre, entraînant par exemple de fortes fluctuations des prix du pétrole.

En revanche, ce type de consommation énergétique n'est pas neutre sur l'impact environnemental. Par exemple, pour les hydrocarbures et le charbon, des quantités importantes de gaz à effet de serre sont générées quotidiennement, qui jouent un rôle majeur dans le changement climatique et l'augmentation de la pollution. Ce constat a poussé à rechercher des solutions de plus en plus créatives pour pallier les pénuries énergétiques et limiter l'impact sur l'environnement.

Dans ce contexte, les énergies renouvelables sont choisies comme solution pour résoudre le problème de l'épuisement des combustibles fossiles. Pour les endroits isolés où il n'y a pas de réseau électrique, les énergies renouvelables offrent une excellente solution, avec des ressources énergétiques abondantes (rayonnement solaire et vent). De plus, avec le bon accompagnement, les énergies renouvelables peuvent répondre à une grande partie des besoins en énergie conventionnelle à moindre coût (au milieu du 21éme siècle, les sourcesd'énergies renouvelables pourraient représenter trois cinquièmes du marché mondial de l'électricité). De plus, l'électricité peut être produite à proximité de son lieu de consommation et ne produit aucun gaz à effet de serre. De plus, étant donné, le soutien adéquat,les énergies renouvelables peuvent répondre à une grande partie de la demande croissante d'énergie conventionnelle des prix inférieurs. De plus, l'électricité peut être produite près du lieu de consommation et sans produire de gaz à effet de serre. Par conséquent, des installations autonomes basées sur les énergies renouvelables sont utilisées pour différentes applications dans des endroits isolés.

Les systèmes photovoltaïques se développent rapidement et jouent un rôle croissant dans les technologies énergétiques qui fournissent des sources d'énergie plus sûres et non polluantes. Les panneaux solaires sont des sources d'énergie dans des applications photovoltaïques. Mais malheureusement, ils ont un coût de production élevé et une faible efficacité de conversion énergétique. Étant donné que le photovoltaïque est plus cher que l'électricité du réseau, il est essentiel d'utiliser toute la puissance de sortie des panneaux solaires accessible. Par conséquent, les systèmes photovoltaïques doivent être conçus pour fonctionner à leurs puissances de sortie maximales dans toutes les conditions environnementales.

D'autre part, les circuits FPGA, qui sont programmables en standard et adaptables à de nombreux types, deviennent indispensables dans les applications où des temps de développement rapides et une modularité garantie sont requis. Ils sont principalement utilisés dans les systèmes embarqués et ont gagné en popularité dans le domaine des applications on chip.

l'objet de ce projet de fin d'études consiste à implementation de la méthode MPPT suscité sur circuit FPGA . Ce travail nécessite plusieurs étapes , il commence par la conception du contrôleur , l'étude de comportement de ce dernier sous Matlab / Simulink enfin une description en langage VHDL est nécessaire afin de charger le programme

Introduction générale

CHAPITRE (I)

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

I.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux en électricité.

Il utilise pour ces modules photovoltaïques qui comprennent des cellules solaires ou des cellules solaires qui font cette conversion d'énergie. L'utilisation des modules photovoltaïques comme source d'énergie électrique.

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

Ce chapitre est consacré à la présentation des cellules photovoltaïques et de leurs propriétés électriques. Nous y présentons également une modélisation d'une cellule photovoltaïque.

I.2. Le gisement solaire

I .2.1. Définitions

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire[1].

I .2.2. Le gisement solaire en Algérie

La géolocalisation de l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme indiqué la Figure (I.1 (2).

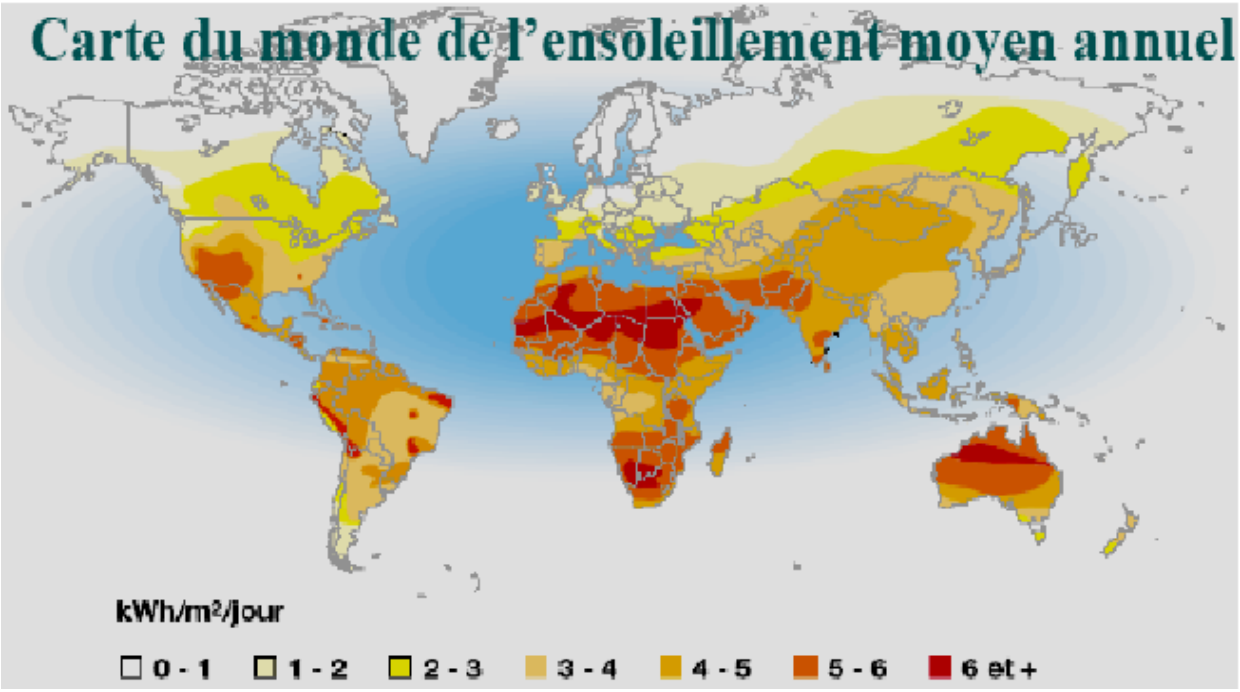


Figure I.1 Carte du monde de l'ensoleillent moyen annuel.

L'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque.

Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel.

La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le Tableau (I.1) selon l'ensoleillement reçu annuellement [3]:

Régions	**Régions côtières**	**Hauts plateaux**	**Sahara**
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m^2/an)	1700	1900	2650

Tableau (I.1): Potentiel solaire en Algérie.

Le sud de l'Algérie est exceptionnellement ensoleillé et considère le plus grand potentiel de toute l'Algérie[1].

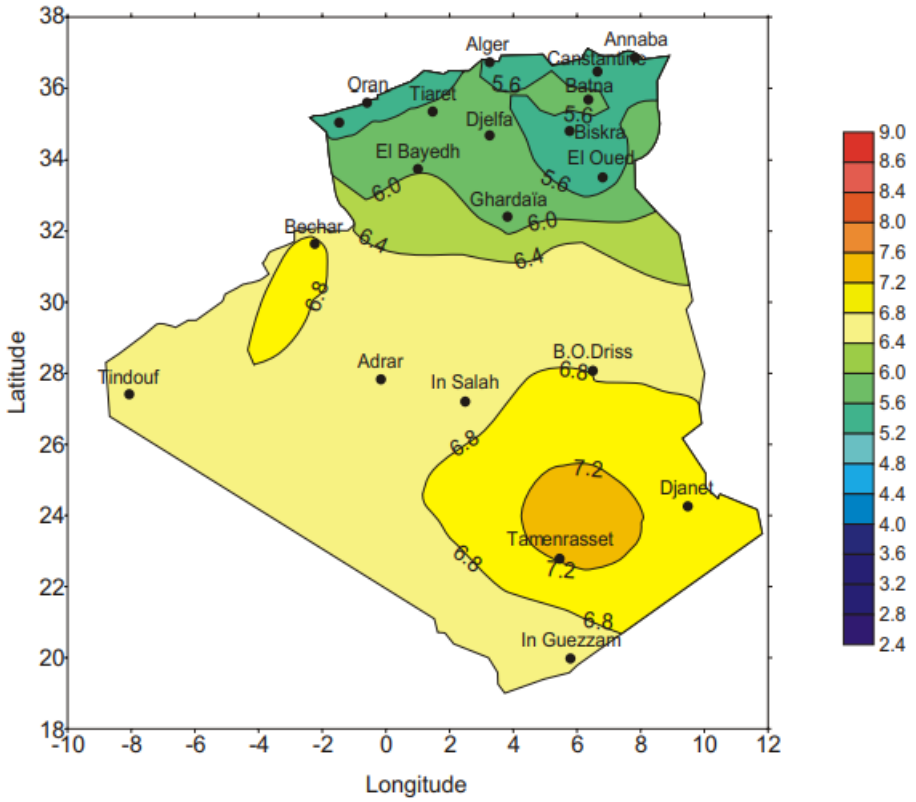


Figure I.2: Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.

I.3 Cellule photovoltaïque

I.3.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque exploite les propriétés électriques spécifiques de la cellule qui lui permettent de fonctionner à la fois comme isolant et comme conducteur. Des plaquettes de silicium spécialement traitées séparent ou forcent les électrons à être dépouillés par l'énergie solaire à travers un courant électrique généré à travers la cellule pour générer un potentiel électrique. D'autres matériaux sont utilisés, mais les cellules photovoltaïques sont, pour la plupart, en silicium.

L'abonnement solaire Est constitue de particles énergétiques subatomiques appelées photons. Chaque photon transporte une certaine quantité d'énergie, et certains transportent plus

d'énergie que d'autres. Lorsqu'un photon d'énergie suffisante rencontre un atome de silicium dans une cellule photovoltaïque, il se sépare d'un électron, qui traverse le champ électrique de la cellule, également appelé jonction p-n. Après avoir traversé le champ, les électrons ne peuvent pas revenir. Au fur et à mesure que de plus en plus d'électrons traversent le champ de la cellule, sa face arrière développe une charge négative.

Si une charge Est connectée entre la cathode et l'anode de la cellule, le flux induira du courant. Ainsi, l'énergie solaire tire constamment des électrons hors de leur orbite et crée une tension qui pousse les électrons dans le conducteur sous la forme d'un courant électrique. Plus la lumière du soleil Est forte, plus l'intensité Est forte. Dès que la cellule réceptrice n'a plus de lumière, le courant s'arrête [4].

I.3.2 Differentes types des cellules photovoltaïque

Il existe plusieurs types des cellules photovoltaïques , Elles peuvent être classées comme suite:

I.3.2.1 Les cellules monocristalline

Les panneaux PV avec des cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération, ces cellules sont généralement bleues, intenses et brillantes.

Ils ont le meilleur rendement (de 12 à 18 % voir jusqu'à 23 % en laboratoire) cependant, ils sont chers du fait de la méthode de fabrication laborieuse et difficile, il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur [5].

I.3.2.2 Les cellules poly-cristallines

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins que les cellules mono-cristallines importantes. Cependant leur rendement est plus faible (de 11% à 15% voir jusqu'à 18en laboratoire).

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui largement imposées.

I.3.2.3 Les cellules amorphes

Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres etc. L'avantage de ce dernier type est le fonctionnent avec un éclairement faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

Elles ont un faible rendement (de 8% à 10% voir jusqu'13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé [5].

I.3.3 Les paramètres importants des cellules PV

- Courant de court-circuit I_{cc}

L'intensité est maximale lorsque les deux extrémités du circuit sont connectées différemment et que la différence de potentiel Est nulle .Le courant dans ce cas est appelé courant de "court-circuit ". Le courant de court-circuit Est causé par la collection de porteurs de charge produits par la lumière.

- La tension en circuit ouvert V_{co}

Lorsque la cellule n'est connectée à aucune charge, aucun courant ne circule et la tension à travers la cellule PV atteint son maximum. C'est ce qu'on appelle la "tension en circuit ouvert". Quand la charge est connectée à la cellule PV le courant circule dans le circuit et la tension diminue.

- Puissance maximale P_m

Nous obtenons l'alimentation CC de la cellule solaire. La puissance de la cellule solaire augmente avec la tension, atteins son maximum (P_m) et diminue à nouveau.

$$P_m = V_{mpp} \times I_{mpp} \qquad \text{(I-1)}$$

- Facteur de Forme FF

C'est le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule sur le produit du courant de court-circuit et de la tension à vide (I_{cc} x V_{co}). Il est essential de vérifier la qualité de la cellule. Pour un bon panneau FF est compris entre 0,7 et 0,8 alors que pour un mauvais panneau, il peut être de 0,4.

$$FF = \frac{P_m}{V_{co} \times I_{cc}} \qquad \text{(I- 2)}$$

- Rendement η

L'efficacité Est définie comme le rapport entre la production d'énergie de la cellule solaire et l'énergie d'entrée du soleil.

$$\eta = \frac{\textbf{Puissance maximale des cellules}}{\textbf{Intensité de la lumière incidente}} = \frac{V_{co}.I_{cc}.FF}{P_{in}} \qquad \text{(I -3)}$$

L'efficacité est le paramètre le plus couramment utilisé pour comparer les performances d'une cellule solaire à une autre. L'efficacité dépend du spectre solaire, de l'intensité de la lumière solaire et de la température de la cellule solaire.

I.3.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

I.3.4.1 Modèle à deux diodes

Les modèles à diode unique étaient basés sur l'hypothèse que la perte de recombinaison dans la région d'appauvrissement est absente [6]. Dans une cellule solaire réelle, la recombinaison représente une partie importante qui ne peut pas être modélisée à l'aide d'une diode. La prise en compte de cette perte conduit à un modèle plus précis appelé modèle à deux diodes . Cependant, ce modèle nécessite le calcul de sept paramètres inconnus au lieu de cinq dans le modèle R_p. [7].

Le modèle à deux diodes Est représenté sur la Figure (I.3) [8].

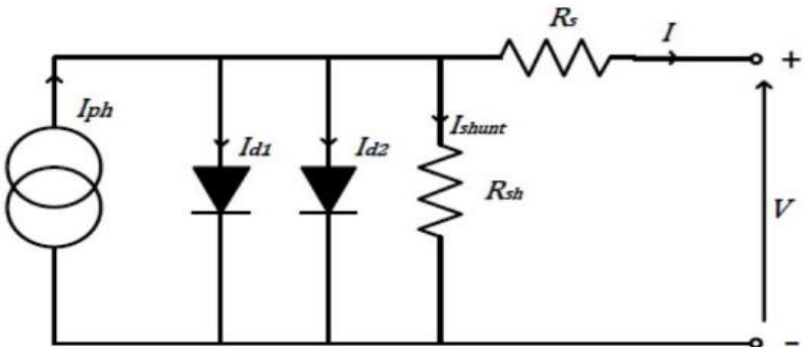


Figure I. 3 : Modèle d'une cellule photovoltaïque à deux diodes.

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff:

$$I = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_{sh} \qquad \text{(I-4)}$$

Avec:

I_{ph} : Courant photo-généré ou photo-courant (A) ;

I_{s1} , I_{s2}: sont respectivement les courants de saturation de la diode 1 et la diode 2 et leurs expressions sont comme suit [12]:

$$I_{D1} = I_{s1}\left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{n_1 K T_c}\right)\right] \qquad \text{(I-5)}$$

$$I_{D2} = I_{s2}\left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{n_2 K T_c}\right)\right] \qquad \text{(I-5)}$$

I_{sh}: est le courant de la résistance shunt :

$$I_{sh} = \left(\frac{V+IR_s}{R_{sh}}\right) \qquad \text{(I-6)}$$

Où :

V : Tension de sortie de la cellule (V);

q : Charge d'életron (q=1,6 x 10^{-19} C) ;

k: Constant de Boltzmann (K=1,3854 x 10^{-23} j/K) ;

T_C: Température absolue de fonctionnement de la jonction (K°) ;

n_1 et n_2: les facteurs de pureté de la diode ;

R_s : Résistance série ' Résistance des bornes et contactes (Ω) '

R_{sh}: Résistance parallèle (shunte) (Ω) 'résistance interne de cellule'.

Le courant électrique produit par la cellule est alors donné par l'expression suivante [9]:

$$I = I_{pv} - I_{s1}\left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{n_1 K T_c}\right)\right] - I_{s2}\left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{n_2 K T_c}\right)\right] - \left(\frac{V+IR_s}{R_{sh}}\right) \qquad \text{(I -7)}$$

Le courant photonique lié à l'éclairement, à la température et au courant photonique mesuré aux conditions de référence est donné par [9]:

$$\mathrm{I_{ph}} = \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{G_{ref}}}\left(\mathrm{I_{ph_ref}} - \mu\left(\mathrm{T_c} - \mathrm{T_{c_ref}}\right)\right) \qquad \text{(I-8)}$$

Avec:

I_{ph}: le courant photonique sous condition de référence$[A]$;

μ : coefficient de sensibilité de l'intensité à la température [A/K];

G , G_{ref}: : l'éclairement réels et à la condition de référence [W/m²];

T_c , T_{ref}: la température de cellule, réelle et à la condition de reference;

I_{s1} , I_{s2}: Les courants de saturation sont donnés par les relations suivantes:

$$I_{s1} = C_{s1}.T_c^3.\exp\left(\frac{-eg.q}{n_1.T.K}\right) \qquad \text{(I-9)}$$

$$I_{s2} = C_{s2}.T_c^3.\exp\left(\frac{-eg.q}{n_2.T.K}\right) \qquad \text{(I-10)}$$

I.4 Le champ photovoltaïque :

Une association de plusieurs panneaux photovoltaïques forme ce qu'on appelle e champ photovoltaïque.

- La localisation du champ photoélectrique doit respecter les contraintes suivantes.
- Exposition au abonnement solaire toute la journée pendant la saison.
- Les panneaux doivent faire face au sud dans le nord et au nord dans l'hémisphère sud, et placés régulièrement perpendiculaires aux rayons lumineux.
- Accès facile pour le nettoyage.
- A proximité de la réglementation, du stockage .
- Barres de fixation solides pour résister au vent : généralement fixées au sol, ou au toit, à la façade.



Figure I. 4 : Le champ photovoltaïque.

I.4.1. Le générateur photovoltaïque

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur [10].

La considération de circuit équivalent du modèle (Figure II.3 précédente) mène à l'équation pour un générateur photovoltaïque (généralement appelée un module solaire ou un générateur photovoltaïque) avec z cellules en série.

I.4.2. Influence de l'éclairement et de la température

I.4.2.1. L'influence de l'éclairement

L'éclairement est le paramètre le plus influant sur le module photovoltaïques (Figure I.5 et I.6) a une température constante, le courant subit une variation importante, par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique [11], [8].

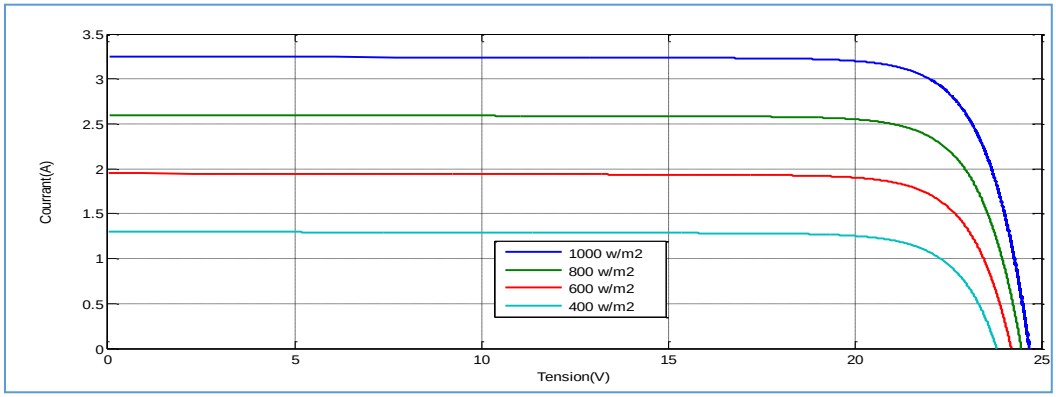


Figure I. 5 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V.

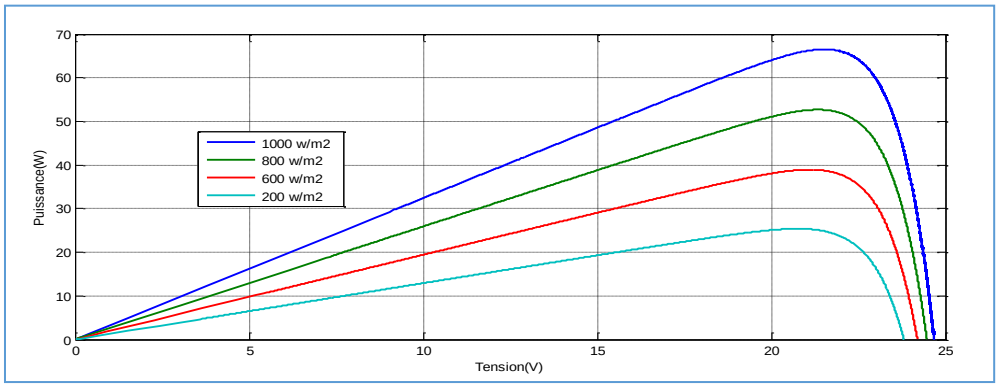


Figure I. 6 :L'influence de l'éclairement sur la caractéristique P-V.

I.4.2.2. Influence de la température

La température est le second paramètre le plus important dans le comportement du module photovoltaïque.

Les figures (I.7 et I.8) illustrent respectivement les caractéristiques I-V et P-V du module PV simulée sous un éclairement de 1000 W/m^2 et différentes températures. Nous remarquons que le courant du court-circuit reste très peu sensible à la variation de la température mais la tension du circuit ouvert diminue en augmentant la température ce qui cause une diminution de la puissance à la sortie du module [12].

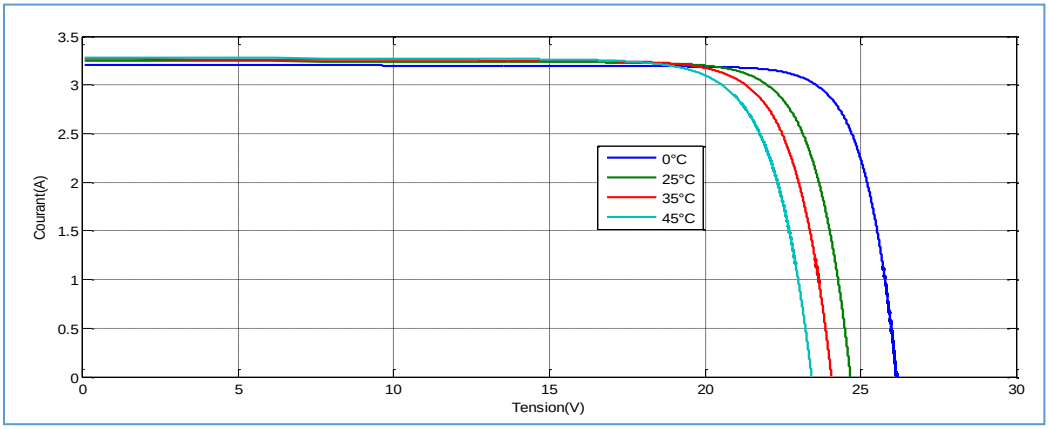


Figure I. 7 : L'influence de la température sur la caractéristique I-V.

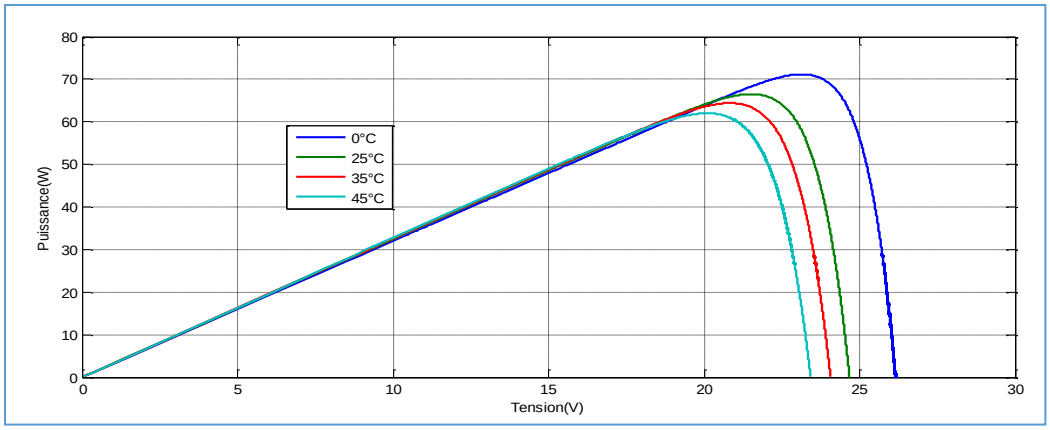


Figure I. 8 : L'influence de la température sur la caractéristique P-V.

I. 4.3 Association des cellules photovoltaïques

I.4.3.1 Association série des cellules photovoltaïque

Dans un groupe en série, les cellules reçoivent le même courant et la caractéristique résultante est obtenue par l'addition des tensions à un courant donné (Figure I.9) [13].

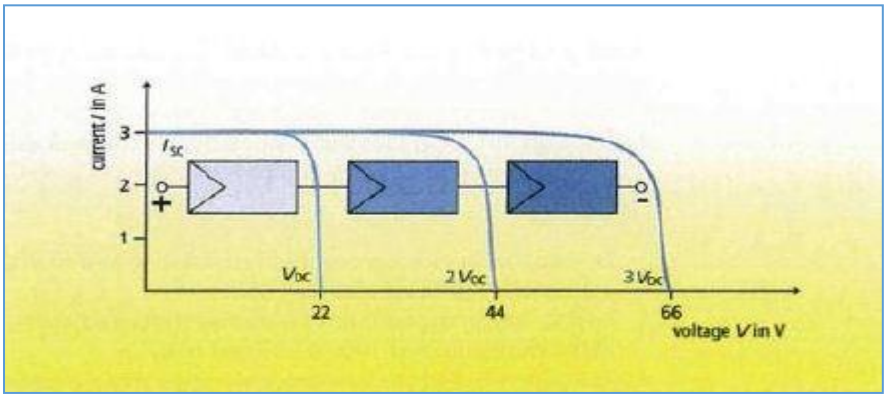


Figure I. 9 Association en série.

I.4.3.2 Association parallèle des cellules PV

La combinaison parallèle de cellules solaires fournit un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à la tension d'une seule cellule (Figure I.10).

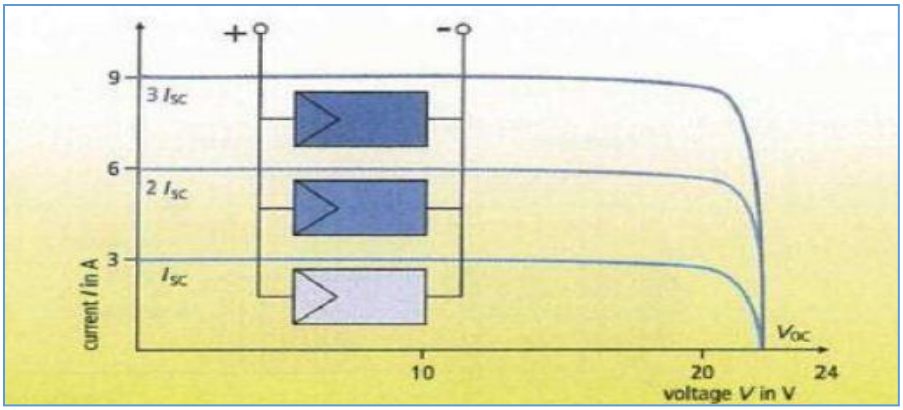


Figure I. 10 : Association en parallèle.

I.4.3.3. Association série-parallèle

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est-à-dire Série-Parallèle donné (Figure I.11).

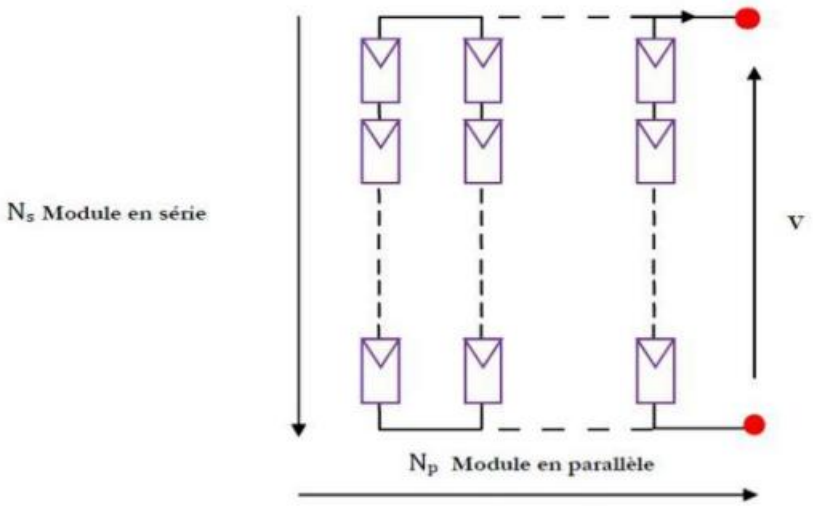


Figure I. 11 : Association mixte Ns x Np modules solaires.

I.5 Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque [13]

I.5.1 Avantages

- Absence de bruit, de pollution et d'émissions.

- Maintenance réduite (pas de pièces en mouvement ; durée de vie des modules est très longue = 20 ans.
- Conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité.
- Rentabilité assurée pour les applications de faible puissance (moins de 3-5 kWh / jour).
- Possibilité d'adaptation de la taille de l'installation aux besoins existants, avec possibilité d'extension à la demande, au fur et à mesure que le besoin énergétique augmente.
- Sécurité absolue si l'installation est conforme. Le risque de choc électrique est réduit en 12 ou 24 Vcc.
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.
- Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle).

I.5.2 Inconvenient

- Faible rendement de conversion.
- La capacité est réduite dans des conditions météorologiques défavorables.
- Même si l'électricité produite par les installations photovoltaïques n'est pas polluante, la production des panneaux a un impact sur l'environnement.
- Le coût initial des systèmes PV est élevé, même si la rentabilité à long terme est assurée.
- Ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus.
- Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries .
- Or, les batteries requièrent une maintenance régulière, doivent être remplacées périodiquement et peuvent avoir un impact sur la performance du système.

Malgré ces limitations, le marché du photovoltaïque continue de trouver des applications et de se développer . De plus, la technologie photovoltaïque est en cours de maturation, où les inconvénients peuvent être minimisés, notamment en termes de coûts de production.

I.6 Les convertisseurs DC-DC (hacheurs)

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu permettant de générer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. Ceux-ci incluent des condensateurs, des inducteurs et des commutateurs. Idéalement, tous ces appareils ne consomment pas d'énergie, c'est pourquoi les hacheurs sont si productifs. (donnant bons rendements) [20].

Le commutateur est réalisé avec un dispositif semi-conducteur à mode commuté, généralement un MOSFET. Si le dispositif semi-conducteur est à l'état bloqué, son courant est nul et donc sa dissipation de puissance est nulle. Si l'appareil est à l'état passant, la chute de tension à ses bornes sera proche de zéro et donc la puissance perdue sera très faible [14].

On distingue trois types de convertisseurs DC-DC [15]:

- ✓ Les abaisseurs (BUCK) dans lesquels $V_i > V_0$;
- ✓ Les élévateurs (BOOST) dans lesquels $V_0 > V_i$;
- ✓ Il y a aussi un type (BUCK-BOOST), mélange entre les deux précédents.

La topologie buck est employée pour les faibles tensions. Dans les applications PV, le convertisseur buck est habituellement employé come chargeur de batteries et dans des systèmes de pompage de l'eau. La topologie boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur boost pour augmenter la tension de sortie au niveau de service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension tel que le buck-boost.

I.7 Hacheur (Boost)

Le convertisseur Boost est connu par le nom d'élévateur de tension, la source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive).

L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor car le courant est toujours positif et l'interrupteur doit être commandées (au blocage et à l'amorçage) .

I.7. 1 Fonctionnement

Durant le temps DTs, le transistor S est fermé, le courant dans l'inductance croit progressivement, au fur et à mesure elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin du premier intervalle. Le transistor **S** s'ouvre et l'inductance L délivre le courant I_L et ainsi génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge Z à travers la diode D.

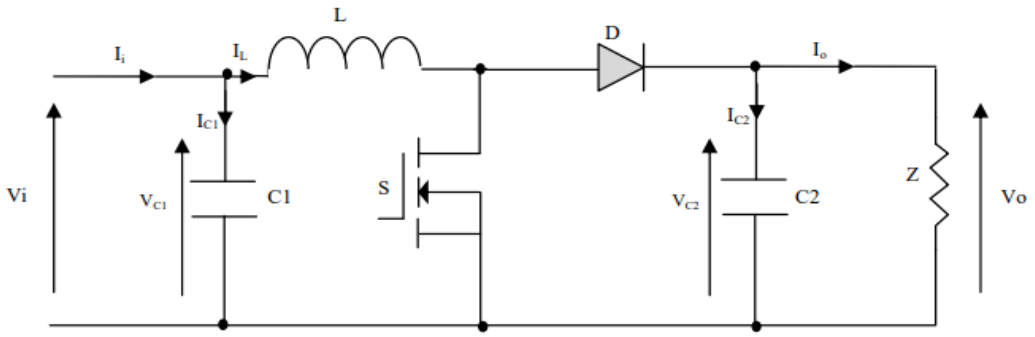
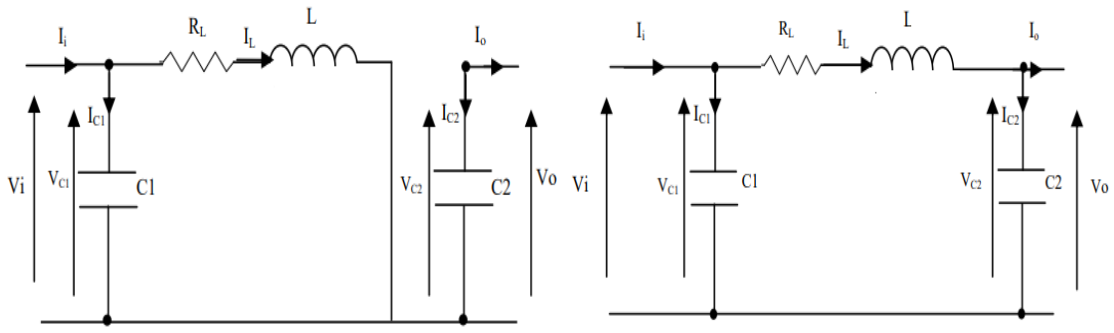


Figure I. 12 : Schéma de principe d'un convertisseur Boost.

I.7. 2 Modèle mathématique équivalent

Pour obtenir le modèle mathématique du convertisseur, il faut l'étudier dans les deux phases de fonctionnement (S fermé, et S ouvert) voir la Figure (I.13). Puis, faire un modèle « moyen » qui relie les différentes grandeurs moyennes d'entrée et de sortie du convertisseur.

En appliquant les lois de Kirchhoff sur les deux circuits, on obtient les systèmes d'équations suivants :



(a) Interrupteur *S* fermé (b) Interrupteur *S* ouvert

Figure I. 13 : Schémas équivalents d'un hacheur survolteur

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = c_1.\frac{dv_{i(t)}}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = c_2.\frac{dv_0(t)}{dt} = -i_0(T) \\ v_L(t) = L.\frac{dL(t)}{dt} = -v_i(t) \end{cases} \qquad (I.11)$$

Quand le commutateur est ouvert durant le temps t $\in$[$\boldsymbol{\alpha}$ Ts, Ts] On a les équations suivantes:

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = c_1.\frac{dv_{i(t)}}{dt} = i_i(t) - i_L(t) \\ i_{c2}(t) = c_2.\frac{dv_0(t)}{dt} = i_L(t) - i_0(t) \\ v_L(t) = L.\frac{di_L(t)}{dt} = v_i(t) - v_0(t) \end{cases} \qquad (I.12)$$

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

$$\langle\frac{dx}{dt}\rangle T_s = \frac{dx}{dt_{\boldsymbol{\alpha} Ts}}\boldsymbol{\alpha}\, T_s + \frac{dx}{dt_{(1-\boldsymbol{\alpha})Ts}}(1-\boldsymbol{\alpha})T_s \qquad (I.13)$$

En appliquant la relation (III.3) sur les systèmes d'équations (I.11) et (I.12), on trouve le modèle approximé du convertisseur survolteur :

$$\begin{cases} i_L(t) = i_i(t) - c_1.\frac{dv_{i(t)}}{dt} \\ i_0(t) = (1-\boldsymbol{\alpha})i_L(t) - c_2.\frac{dv_i(t)}{dt} \\ v_L(t) = L.\frac{di_L(t)}{dt} + (1-\boldsymbol{\alpha})v_0(t) \end{cases} \qquad (I.14)$$

I.8 Conculsion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques concepts liés au système photovoltaïque, à la modélisation des cellules photovoltaïques, au générateur solaire avec son efficacité.

En effet, compte tenu du regain d'intérêt pour les énergies renouvelables, si l'on veut qu'elles atteignent la croissance attendue dans le futur, il est nécessaire d'améliorer et de sécuriser le type de transition énergétique. Le développement de cette énergie à grande échelle nécessite toute une amélioration de ces systèmes de telle sorte que capables de fonctionner, à tout instant, à leur puissance maximale, et c'est ce dont nous parlons dans le chapitre.

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative. Aujourd'hui, la grande majorité des convertisseurs est électronique mais on peut encore trouver des génératrices fournissant du 230 VAC entraînées par des moteurs à courant continu.

CHAPITRE (II)

TECHNIQUES DE COMMANDE DE POURSUIVRE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM (MPPT)

II .1 Introduction

Sur les régulateur de charge ou les onduleurs, deux tendance apparaissent selon les apparaissent selon les applications visées , on peut minimiser l'électronique de commande pour augmenter la robustesse (chargeur de batterie à partir de panneau photovoltaïque pour les PVD-chargeur STECA (16)) ou privilégier un contrôle plus fin mais plus complexe (chargeur Solaire Boost 2000 (17), onduleur connecté au réseau avec fonction MPPT incluse (18)).

Dans le cas ou l'on souhaite maximiser l'énergie produite (onduleur connecté au réseau , chargeur de batterie lorsque la batterie est déchargée) , il est intéressant d'inclure une recherche du point de puissance maximum (Maximum Power Point Tracking -MPPT-) dans les convertisseurs .

Après un rappel sur les différentes méthodes utilisées pour rechercher le point de puissance maximum d'un générateur photovoltaïque , on présentera différents résultats expérimentaux et/ou de simulation pour valider les algorithmes utilisés , puis on établira le cadre d'utilisation de tels algorithmes et leurs limites de fonctionnement .

II.2 Commandes MPPT

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, un suiveur du point de puissance maximum (MPPT : Maximum Power Point Tracking) est utilisé pour la commande du hacheur [15].

La technique de suivi du point de puissance maximal (MPPT : Maximum Power Point Tracking) a été développé depuis 1968, cette commande est essentielle pour un fonctionnement optimal du système photovoltaïque [16].

Le principe de cette commande est basé sur la variation automatique du rapport cyclique en l'amenant à la valeur optimale de manière à maximiser la puissance délivrée par le panneau photovoltaïque.(Figure II.1)

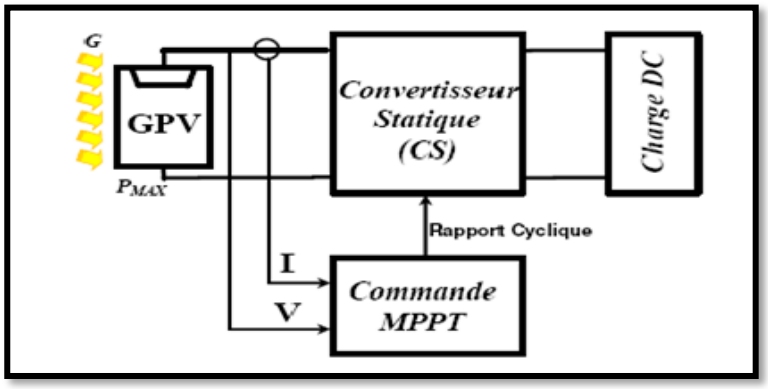


Figure II . 1: schéma de principe du convertisseur MPPT.

II.3 Principe de la recherche du PPM

Ce principe assure que le système sera toujours amené à son optimum de puissance est décrit schématiquement par la (figure II.2 et figure II.3).

Les (figure II.2 et II.3) illustre trois cas de perturbation. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

Dans ces cas, pour une variation d'ensoleillement il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2.

Dans le cas II.2(a) pour une variation de charge on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimal grâce à l'action d'une commande. Enfin dans le dernier cas II.3 la variation du point de fonctionnement peut se produire lié à la variation de température de fonctionnement du GPV, bien qu'il faut également agir au niveau de la commande.

Dans le cas réel, cette variation est due aux trois cas précédents en même temps.

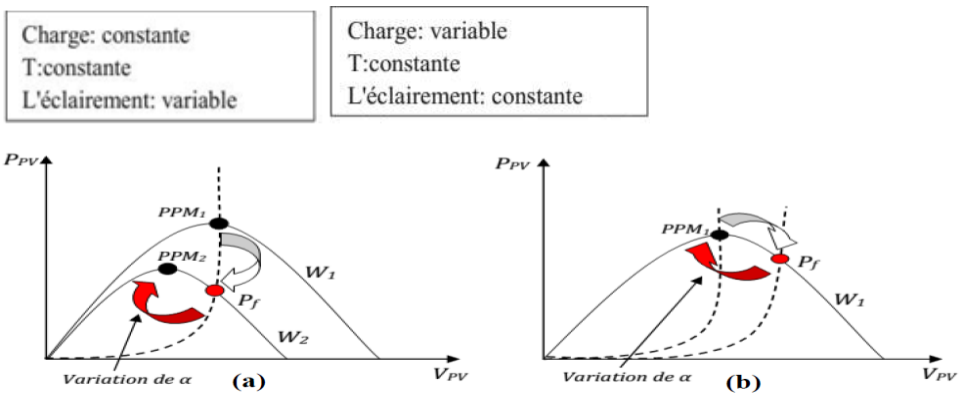


Figure II . 2 : fluctuation du PPM avec l'intensité d'éclairement (a) et la charge (b).

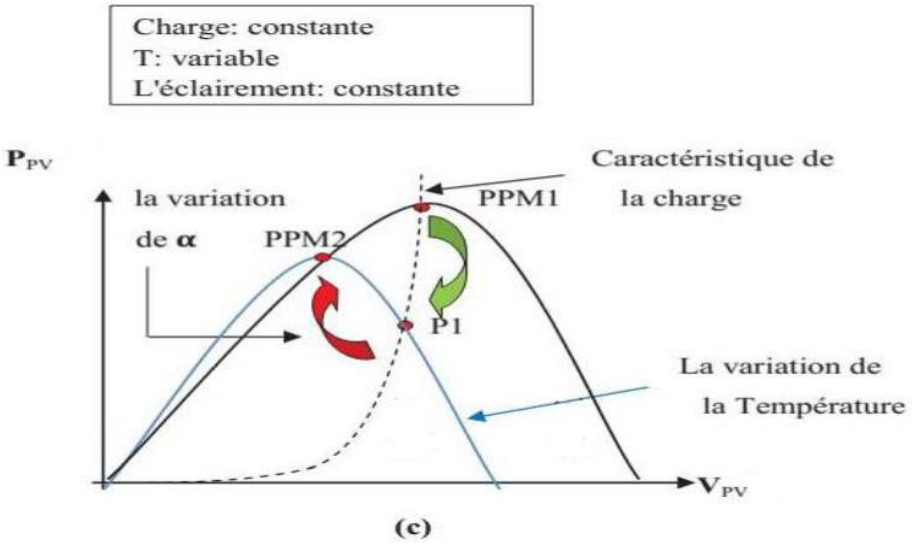


Figure II . 3 : fluctuation du PPM avec l'intensité de la température (c).

La comparaison des P_a et P_b mesurées respectivement aux instants(t-1) et (t) permet de chercher le point de la puissance maximale, (figure II.4) en incrémentant ou décrémentant le rapport cyclique α. Si la dérivée est positive ($P_a<P_b$), cela signifie que nous nous rapprochons du PPM en incrémentant α, et si la dérivée de la puissance est négative ($P_a>P_b$), cela veut dire que nous l'avons dépassé PPM nous devons décrémenté α. Une fois α modifié, on prend sa valeur et on effectue une nouvelle mesure de I_{pv}, V_{pv} pour calculer la nouvelle puissance.

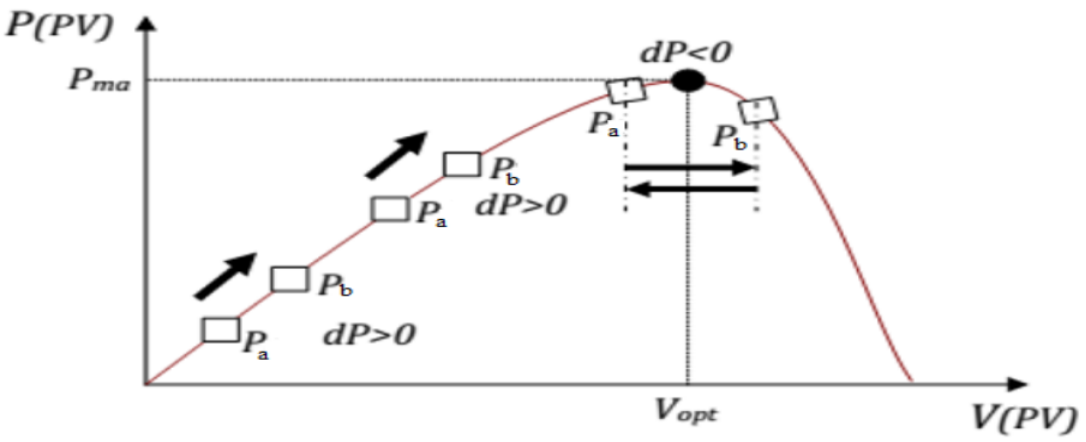


Figure II . 4 : Présentation de l'organigramme amenant le système à un fonctionnement à son PPM.

II.4 Techniques de commande MPPT

Au cours des dernières décennies, de nombreuses méthodes pour trouver le MPPT ont été développées. Ces techniques diffèrent dans de nombreux aspects tels que les capteurs nécessaires, la complexité, le coût, la portée de l'efficacité, la vitesse de convergence, le suivi correct lors de l'irradiation ou le changement de température, le matériel nécessaire pour la mise en œuvre, entre autres[19].

La classification des algorithmes du suiveur peut être basée sur la fonction des techniques ou des stratégies de commande utilisées. Ainsi, deux catégories peuvent être présentées: méthodes directes et indirectes .

II. 5 Les Algorithmes MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV [20]**.**

BOEHRINGER a appliqué la première commande MPPT au PV en 1968. C'est un algorithme simple pouvant être implanté numériquement Figure.III.3. Il est destiné aux applications spatiales qui aient beaucoup moins de contraintes en variation de température et d'éclairement que les applications terrestres [20]**.**

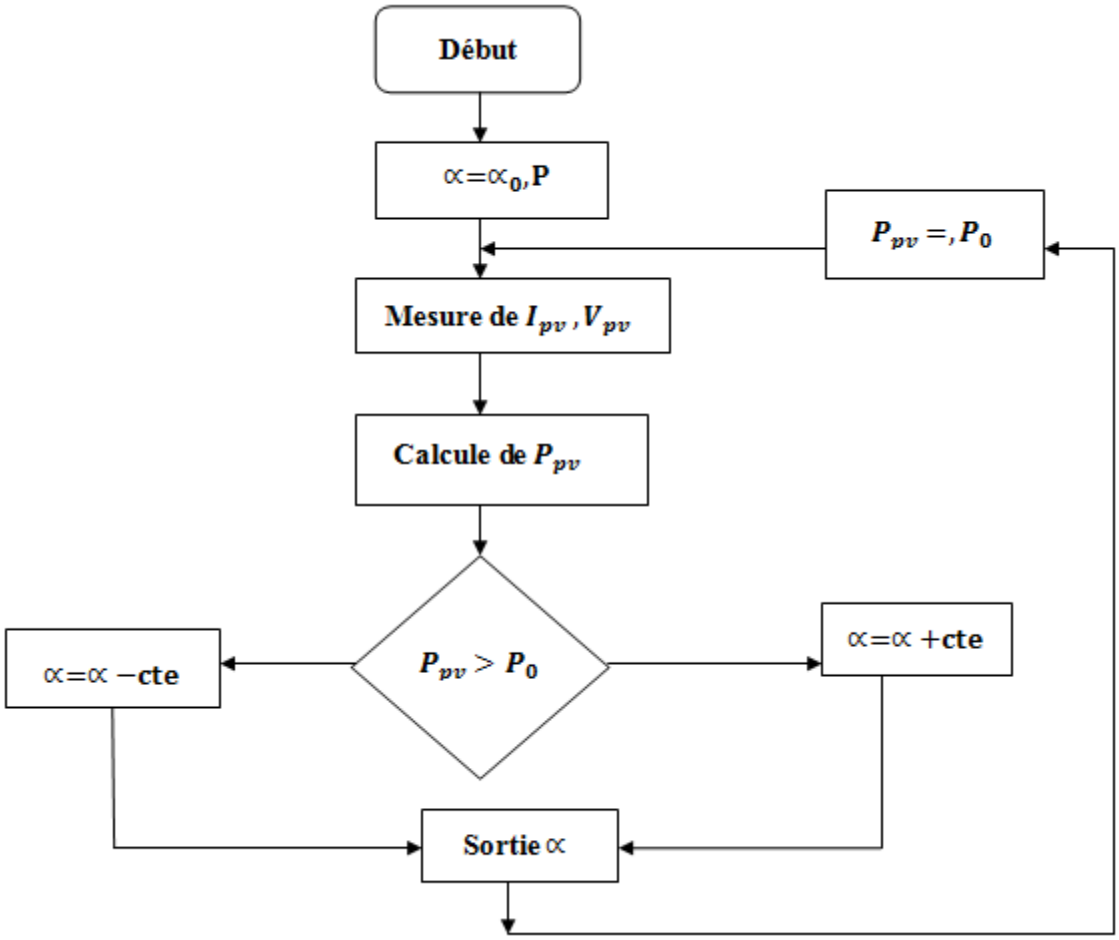


Figure II . 5 : Organigramme de la première commande MPPT.

II.6 Les commandes MPPT basées sur des relations de proportionnalité

Ces commandes sont basées sur des relations de proportionnalité entre les valeurs optimales du point de puissance maximale (V_{opt} et I_{opt}) et les paramètres à vide et en court-circuit du module PV (V_{co}et I_{cc}). Suivant le paramètre contrôlé, on parle alors de commande en régulation de courant ou de tension.

II.6.1 Commande en régulation de tension

Cette méthode consiste à comparer la tension délivrée par le panneau V_{PV} avec la tension optimale V_{OPT} considérée comme référence. L'erreur entre les deux tensions est alors utilisée pour ajuster le rapport cyclique du convertisseur statique dans le but d'avoir une tension égale à

celle de référence. La tension de référence est obtenue à partir de la relation linéaire entre $\mathbf{V_{OPT}}$ et $\mathbf{V_{co}}$ du module PV :

$$\mathbf{V_{OPT}} = \mathbf{KV}.\mathbf{V_{co}} \qquad \text{(II. 1)}$$

Où Kv est un facteur de tension qui dépend du GPV utilisé, généralement compris entre 0.71 et 0.78 [21].

L'inconvénient de cette technique, elle nécessite d'effectuer la mesure de Voc de temps en temps. La charge doit être donc déconnectée pendant cette mesure, ce qui provoque une perte de puissance. Cette méthode est simple et robuste mais ne présente pas assez de précisions.

II.6.2 Commande en régulation de courant

Concernant cette méthode, le PPM peut être atteinte en comparant le courant de court-circuit $\mathbf{I_{cc}}$ mesuré à un courant de référence égale $\mathbf{I_{OPT}}$. Ce courant est calculé par la relation suivante :

$$\mathbf{I_{OPT}} = \mathbf{Ki}.\mathbf{I_{cc}} \qquad \text{(II.2)}$$

Or, KI Étant le facteur de courant qui dépend du GPV utilisé, généralement compris entre 0.78 et 0.92 [9].

Pendant la mesure du courant Icc, il est nécessaire de court-circuiter le GPV, ce qui implique une perte de transfert de puissance.

Ces types de commandes nécessitent un seul capteur, ce qui les rend faciles à mettre en œuvre. Par contre, leur précision est faible à cause des procédés d'estimation des paramètres Icc et Vco. De plus, à chaque mesure de courant ou de tension, un arrêt de transfert de puissance est obligatoire.

II.6.3 Commande en régulation de puissance

Le principe de cette méthode est de mesurée les deux composantes principales, le courant I_{pv} et la tension V_{pv} de sortie du panneau. L'évaluation de la puissance instantanée de ce dernier est élaborée par une simple multiplication de ces deux composants $P_{pv} = I_{pv}.V_{pv}$ par un algorithme de recherche itératif qui se charge de trouver et de corriger en temps réel la position du PPM, en effectuant la recherche dans un sens [22].

L'algorithme maintien ce sens si la puissance de sortie augmente constamment et dans le cas contraire il change le sens de recherche, étant donné que l'opération toute entière est numérisée. On peut dire que le PPM à une certaine précision qui n'est jamais atteint, ce qui est dû d'une part aux valeurs arrondies par la carte d'acquisitions, des grandeurs mesurées à la sortie du panneau PV, et d'autre part, au calcul de la dérivée (dp) qui est toujours approchée avec une certaine précision.

$$dp \approx \Delta p(k) = p(k) - p(k-1) \qquad \text{(II.3)}$$

II.6.4 Les MPPT à implantation analogique

L'implantation de ce type de commande est effectuée avec des composants logiques et analogiques sans aucun calcul ne soit nécessaire, ceci permet aux commandes d'avoir une grande dynamique et donc d'être très rapides vis à vis des diverses perturbations, les temps de réponse étant limités uniquement par les temps de retard des différents éléments analogiques. De plus, leur principe est souvent moins complexe que l'équivalent en numérique. Ainsi, ce type de commande présente l'avantage de pouvoir fonctionner à des fréquences de découpage plus élevées que dans un circuit numérique classique. Elles peuvent notamment dépasser le MHz. Cela permet de réduire d'autant la taille des composants passifs des convertisseurs statiques assurant la conversion de puissance [22].

Les premiers travaux relatant une implantation analogique performante ont été décrits en 1988 par SALAMEH (figure II.6). Malgré un algorithme performant permettant l'oscillation du système autour du point de puissance maximum dans des conditions de variations lentes d'éclairement, cette commande nécessite d'effectuer un compromis entre rapidité et précision (faible taux d'oscillations et bonne dynamique en cas de changement d'éclairement ou de charge). À cause de cela, l'implantation analogique de ce type de commandes longtemps été exclue.

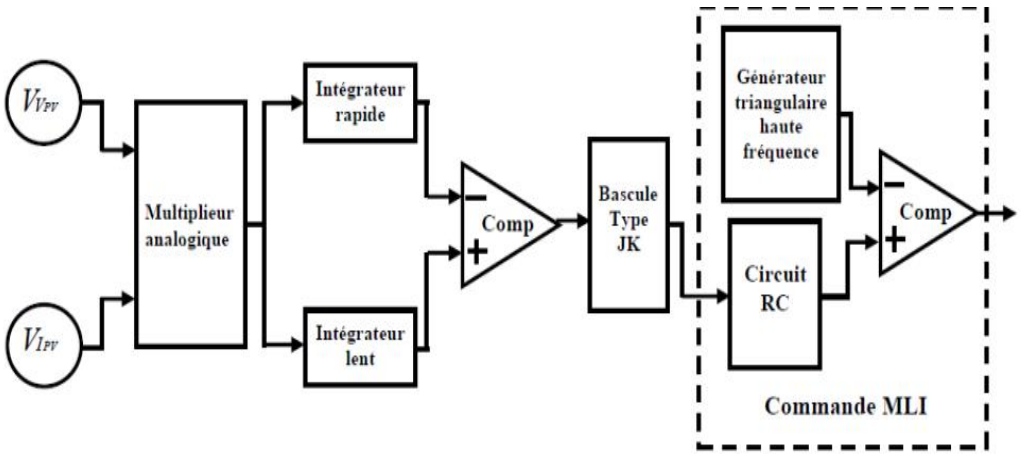


Figure II . 6 : Commande MPPT simple implantée en analogique.

II.7 Algorithme Perturbation et Observation (P&O)

L'algorithme P&O est largement utilisé parce qu'il a la particularité d'avoir une structure simple, et peu de paramètre de mesure, pour l'utiliser on considère que le PV fonctionne à un point qui n'est pas obligatoirement le MPP.

La méthode P&O fonctionne en perturbant périodiquement la tension du panneau V_{PV} avec un ΔV et on observe la variation de l'énergie électrique délivrée à la sortie du PV.

- ✓ Si $\Delta P > 0$ alors la perturbation de la tension déplace le point de fonctionnement vers un point plus proche du MPP et on continu à perturber la tension dans la même direction cela va déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP.
- ✓ Si $\Delta P < 0$ le point de fonctionnement s'éloigne du MPP alors on perturbe la tension avec un signe algébrique contraire au signe précèdent pour déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP.

II.7.1 Organigramme Perturber et Observer (P&O)

La figure II.7.illustre l'organigramme de la commande MPPT de type P&O. Pour déterminer la puissance à chaque instant, deux capteurs sont nécessaires pour mesurer les valeurs de la tension et du courant [23].

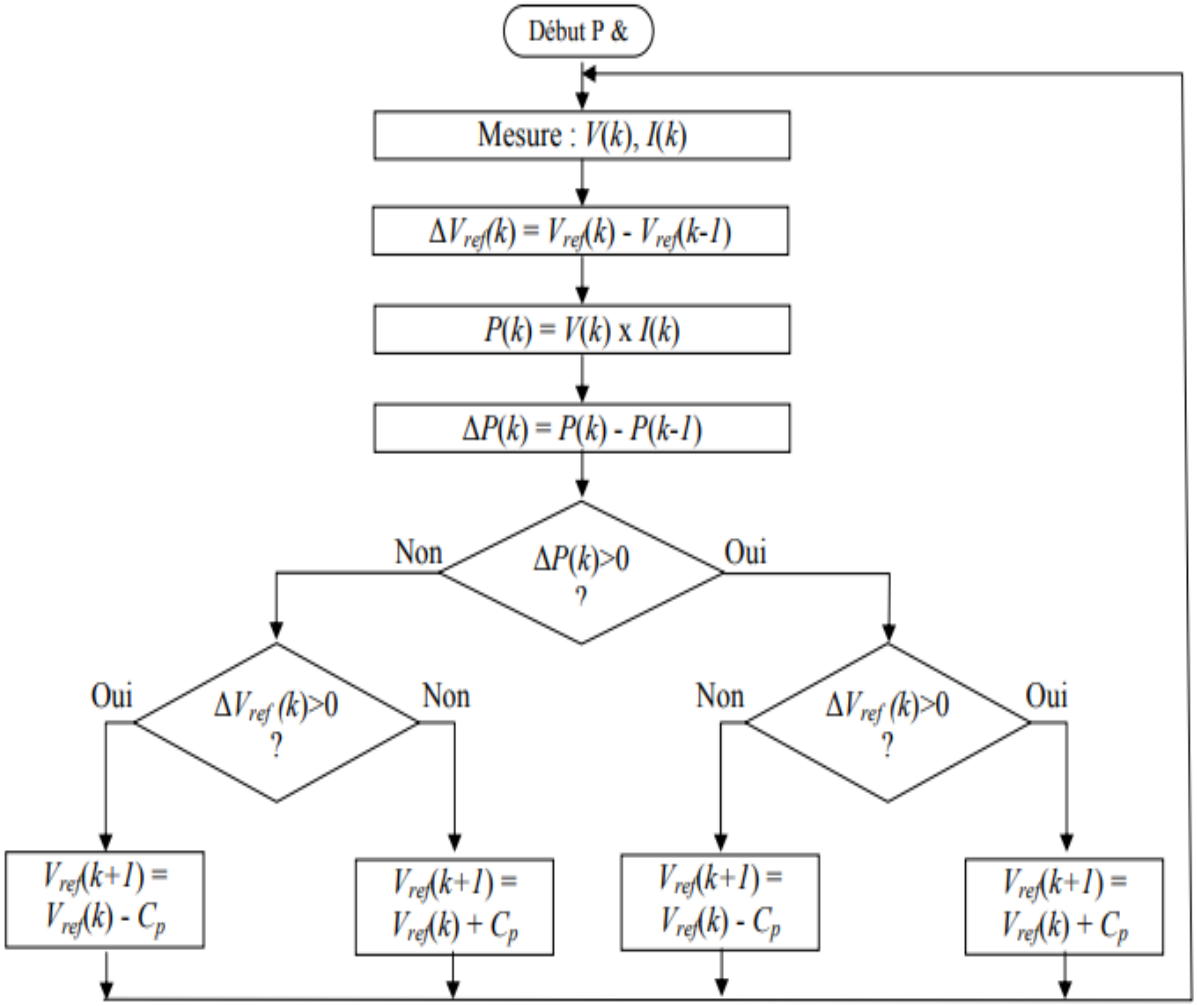


Figure II . 7 : Algorithme de la méthode P&O (CP est la largeur du pas de perturbation).

En raison de la facilité de sa mise en œuvre, la méthode P&O est souvent utilisée mais il y a des oscillations autour du PPM parce que la recherche doit être Elle est répétée périodiquement pour forcer le système à osciller autour du PPM. En outre, et pour des variations brusques des conditions climatiques et/ou de la charge, cette méthode présente Il y a parfois des erreurs d'interprétation dans la direction à suivre pour atteindre le PPM**.**

II.8 Autres méthodes

Il existe dans la littérature d'autres algorithmes MPPT plus complexes qui font parfois appel à des techniques nouvelles, On peut citer [24]:

- ✓ les algorithmes d'identification en temps réel du MPP.

- ✓ l'algorithme de la capacité parasite .
- ✓ la méthode de l'oscillation forcée.

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté plusieurs méthodes de commandes MPPT Contre-réaction de puissance, comme la méthode de perturbation et d'observation (P&O). Cette commande MPPT utilise directement la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour rechercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance du maximum.

Nous avons constaté que l'algorithme P&O est mieux utilisé en raison de son efficacité de rapprocher le point de fonctionnement du générateur PV le plus près possible du PPM et Sa simplicité d'implantation.

Nous sommes basés sur la commande MPPT de type perturbation et observation (P&O) ce qui sera utilisé lors de notre travail.

CHAPITRE (III)

PRÉSENTATION DES CICUITS FPGA

III .1 Introduction :

Depuis quelques années, les FPGA suscitent un intérêt croissant. Ce dispositif est particulièrement avantageux pour applications basées sur la commande numérique. Le marché mondial des FPGA se développe à un niveau extrêmement élevé et jour après jour, la popularité des FPGA est également en croissance. La puce FPGA est motivée par sa flexibilité, sa vitesse et sa fiabilité synchronisées par le matériel, et le parallélisme. Compte tenu de leur architecture particulière, les FPGA sont pratiques pour les applications et la mise en œuvre d'algorithmes présentés par le traitement parallèle.

Les contrôleurs de systèmes basés sur FPGA offrent de nombreux avantages qui apportent des performances élevées en temps réel systèmes . Les avantages très importants sont la vitesse et la faible consommation d'énergie. En effet, les systèmes utilisant Le FPGA permet moins de temps d'exécution grâce à son architecture matérielle. Outre ces avantages, le FPGA est un petit.

L'objet de notre étude a été d'implémenter les méthodes MPPT déjà cités dans le chapitre II sur un circuit FPGA. La programmation a été faite en utilisant le langage de description VHDL. Nous allons d'abord faire une description des circuits FPGA, ensuite on va introduire le langage VHDL, et on terminera par donner les étapes nécessaires au développement d'un projet sur un circuit FPGA, de la programmation jusqu'au chargement sur la carte.

III.2 Les circuits logiques :

Les circuits logiques programmables sont des circuits intégrés qui permettent la réalisation de circuits logiques à grand nombre de variables d'entrée et de sortie, selon la spécification de l'utilisateur et en utilisant un même support matériel.

Dans la littérature anglo-saxonne, il existe deux noms différents pour de tels circuits intégrés : Programmable Logic Devices – et Field Programmable Devices – FPDs.

La différence entre ces deux désignations est liée à la quantité et à la complexité de la logique qui peut être réalisée dans ces circuits, qui est généralement beaucoup plus grande dans le cas des circuits FPD.

III.3 Les FPGA:

Les FPGA, sigle anglais qui signifie " Field Programmable Gates Arrays " traduit en français par réseau de portes programmables, les FPGA sont des composants entièrement reconfigurables même après fabrication ,ce qui permet de les reprogrammer à volonté afin d'accélérer notablement certaines phases de

calculs. L'avantage de ce type de circuit est qu'il est très frais, ce qui permet de les réutiliser à volonté en très peu de temps.

L'avancement de ces technologies permet une intégration plus rapide et plus élevée, aidant à programmer des applications critiques. Cette technologie permet un grand nombre d'applications et des solutions de déploiement matériel à faible coût pour une petite taille où le coût de développement de circuits intégrés spécifiques nécessite trop d'investissement. [25]

III.2.1.Technologie de programmation des circuits FPGA :

Il existe trois types de programmation d'FPGA, ces trois principales technologies sont

Technologie de programmation « SRAM ».

Technologie de programmation «EEPROM ou FLASH ».

Technologie de programmation « ANTI -FUSIBLE».

III.2.1.1.Technologie à base de SRAM

La technologie à base de SRAM permet d'avoir un Fast FPGA. Les points de connexions sont des ensembles de transistors commandés. Le principal inconvénient de cette technologie est qu'elle nécessite beaucoup d'espace et qu'il est nécessaire de stocker la conception du FPGA dans une autre mémoire Flash. La figure montre la structure d'une cellule de SRAM.

III.2.1.1.Technologie à base d'EEPROM ou FLASH

le circuit garde sa configuration mais on a besoin d'un dispositif spécial pour la programmation du circuit. Un autre inconvénient, c'est le nombre limité de configurations avec un temps de configuration important.

III.2.1.3. Technologie à base d'ANTI-FUSIBLE

La technique de l'anti-fusible consiste à isoler deux lignes de connexions par une fine couche d'oxyde. Si une impulsion de haute tension (une vingtaine de volts) est appliquée à cet anti-fusible, la couche d'oxyde est trouée et les deux lignes sont reliées. La programmation permet d'établir la connexion mais dans cette technologie est irréversible. Par déduction cette technique est non reprogrammable.

III .2.2. L'architecture des circuits FPGA

Les circuits Field Programmable Gate Arrays - FPGAs sont des circuits FPD, construits autour d'une matrice régulière constituée d'un grand nombre des cellules logiques élémentaires programmables appelées CLB, et les cellules d'entrées/sorties appelées IOB [26],ces différentes cellules sont reliées entre elles par un réseau d'interconnexions configurable Donc les trois blocs principaux sont les blocs logiques configurables, les blocs d'entrées/sorties et les ressources de communications.

La disposition des différents éléments qui composent un circuit est illustrée schématiquement à la figure 3.1

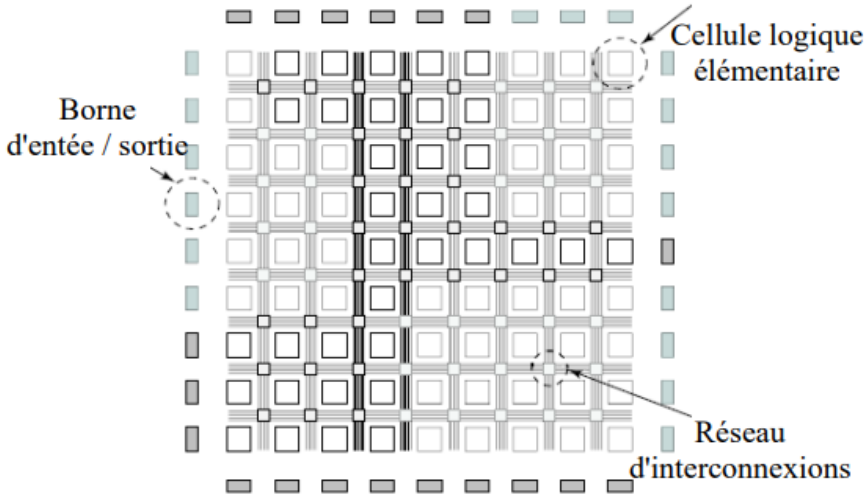


Figure III . 1 : Architecture des circuits FPGAs. [26]

III.2.2.1 les blocs logiques CLBs:

Une cellule logique de base se compose toujours de quelques mots d'un bit, généralement quelques bits d'adresse.

Ces mémoires sont destinées à stocker la différence réelle des fonctions logiques définies par le circuit à générer. Chaque cellule logique est également équipée de stabilisateurs bidirectionnels programmables pour réaliser des circuits synchrones. [26]

L'architecture d'une cellule logique élémentaire varie d'un concepteur et d'une famille de FPGA à l'autre,Il existe 4 types de blocs logiques :

- Les macro-cellules.
- Les blocs à multiplexeurs.
- Les LUT.

- Les cellules symétriques.

3.2.2.2. Les blocs d'entrée/sortie:

Ces blocs d'entrée/sortie ou IOB (Input Output Bloc) permettent l'interface entre les broches du composant FPGA et la logique interne développée à l'intérieur du composant. Ils sont présents sur toute la périphérie du circuit FPGA.

Les IOB permettent de connecter la logique interne aux entrées et sorties du FPGA. Les IOBs ont leur propre mémoire de configuration, elles stockent les standards de tension et la direction des ports.Ces blocs sont présents sur tous les périphériques FPGA.Chaque bloc IOB contrôle une broche du composant et peut être reconfiguré comme entrée ou sortie, bidirectionnelle ou inutilisée (haute impédance). [27]

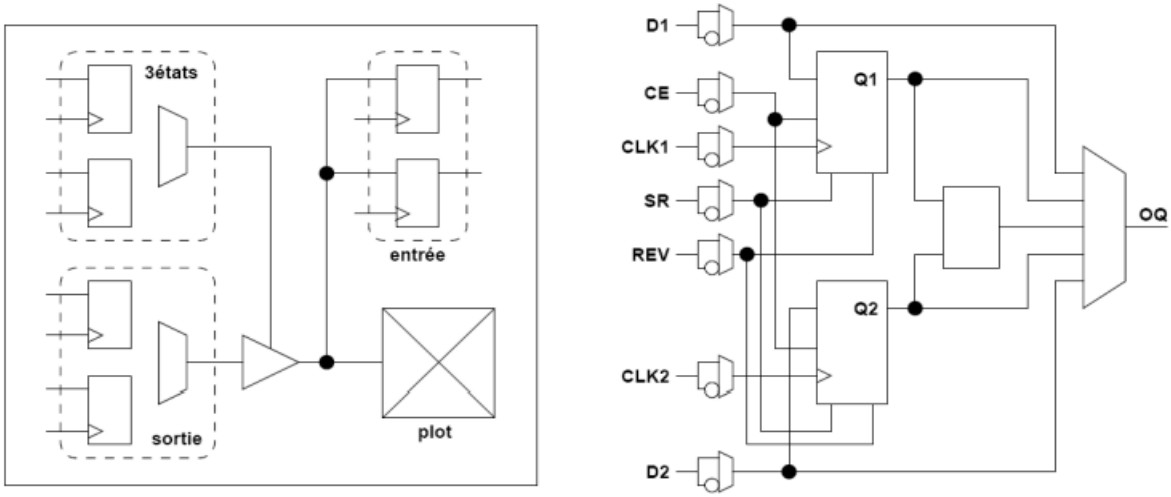


Figure III . 2 : Schéma d'un bloc d'entrée/sortie (IOB) [28]

III.2.2.3. le réseau d'interconnexions dans un circuit FPGA: [29]

Les ressources d'interconnexion au sein d'un FPGA permettent la connexion arbitraire des CLB et des IOB. Les connexions internes dans les circuits FPGA sont composées de segments métallisés. Parallèlement à ces lignes, nous trouvons des matrices programmables réparties sur la totalité du circuit, horizontalement et verticalement entre les divers CLB. Elles permettent les connexions entre les diverses lignes, celles-ci sont assurées par des transistors MOS dont l'état est contrôlé par des cellules de mémoire vive ou RAM. Le rôle de ces interconnexions est de relier avec un maximum d'efficacité les blocs logiques et les entrées/sorties afin que le taux D'utilisation dans un circuit donné soit le plus élevé possible.

Il existe trois type d'interconnections entre les différents blocs des circuits FPGA comme le montre la Figure

o **Interconnexion directe :**

Ces interconnexions permettent l'établissement des liaisons entre les CLB et les IOB. Il est possible aussi de connecter directement certaines entrées d'un CLB aux sorties d'un autre.

o **Interconnexions par le biais d'une matrice:**

Ce sont des aiguilleurs situés à chaque intersection. Leur rôle est de relier les longues lignes médianes dans différentes configurations. Ces interconnexions sont utilisées pour relier un CLB à n'importe quel autre CLB sur le FPGA pour assurer la communication des signaux. Pour éviter l'affaiblissement des signaux traversant les longues lignes, des buffers sont implantés dans chaque matrice d'interconnexion.

o **Les longues lignes :**

Ils surpassent le FPGA dans toute sa longueur et sa largeur, et permettent une transmission de signal avec retard entre différents éléments pour obtenir la synchronisation la plus parfaite possible.

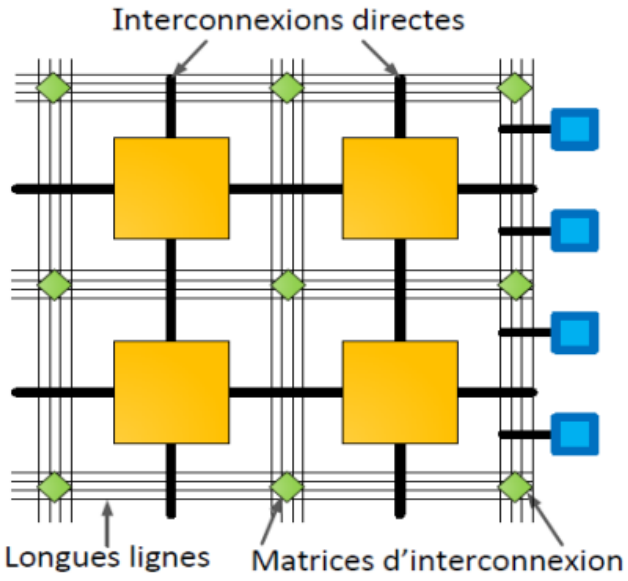


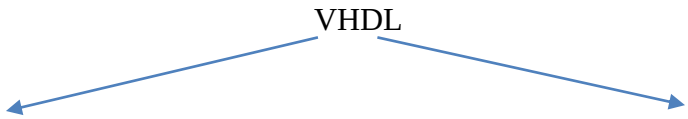
Figure III . 3 : interconnexion interne d'un FPGA.

III.3.les langages HDL:

III.3.1. historique :

circuits complexes, de manière à Le VHDL - VHSIC , été demandé par le DOD ((Département de la défense américain)) pour décrire les établir un langage commun avec ses fournisseurs. Le VHDL est développé dans les années 80 aux États-Unis, il est ensuite devenu u norme IEEE 1076 depuis 1987, qui du assurer la portabilité du code pour différents outils travail . Une mise à jour du langage VHDL s'est faite en 1993 et en 1996, la norme 1076.3 a permis de standardiser la synthèse VHDL.

III.3.2.Définition :



very High-Speed Integrated Circuits Hardware Description Language

Ce langage est écrit pour effectuer des simulations de circuits électroniques. Plus tard, il s'est étendu avec des extensions pour permettre la conception de circuits logiques programmables.

Il permet d'écrire du code de manière portable, ce qui signifie qu'une description écrite pour un circuit pourrait facilement être destinée à un autre. Il faut avoir à l'esprit que ce langage dit de haut niveau permet de matérialiser les structures électroniques d'un circuit.

Une note finale concernant VHDL est que, contrairement aux programmes informatiques réguliers qui sont séquentiels, ses instructions sont intrinsèquement concurrentes (parallèles). Pour cette raison, VHDL est généralement appelé un code plutôt qu'un programme. En VHDL, seules les instructions placées à l'intérieur d'un PROCESS, FONCTION ou PROCÉDURE sont exécutées séquentiellement . [30]
Le langage VHDL exploite quatre objets différents :

- Les signaux.
- Les constantes.
- Les variables.
- Les portes.

III.3.3 Structure d'une description VHDL simple [30]

La structure typique d'une description VHDL se compose de 03 parties inséparables, à savoir

●Les bibliothèques

elle définit le types des entrées et sorties

● L'entité

L'entité est considérée comme une boîte noire avec des entrées et des sorties caractérisée par des paramètres. Elle représente une vue externe de la description.

● L'architecture

L'architecture contient des instructions VHDL qui sont utilisées pour décrire et effectuer l'opération prévue. Elle représente la structure interne de la description.

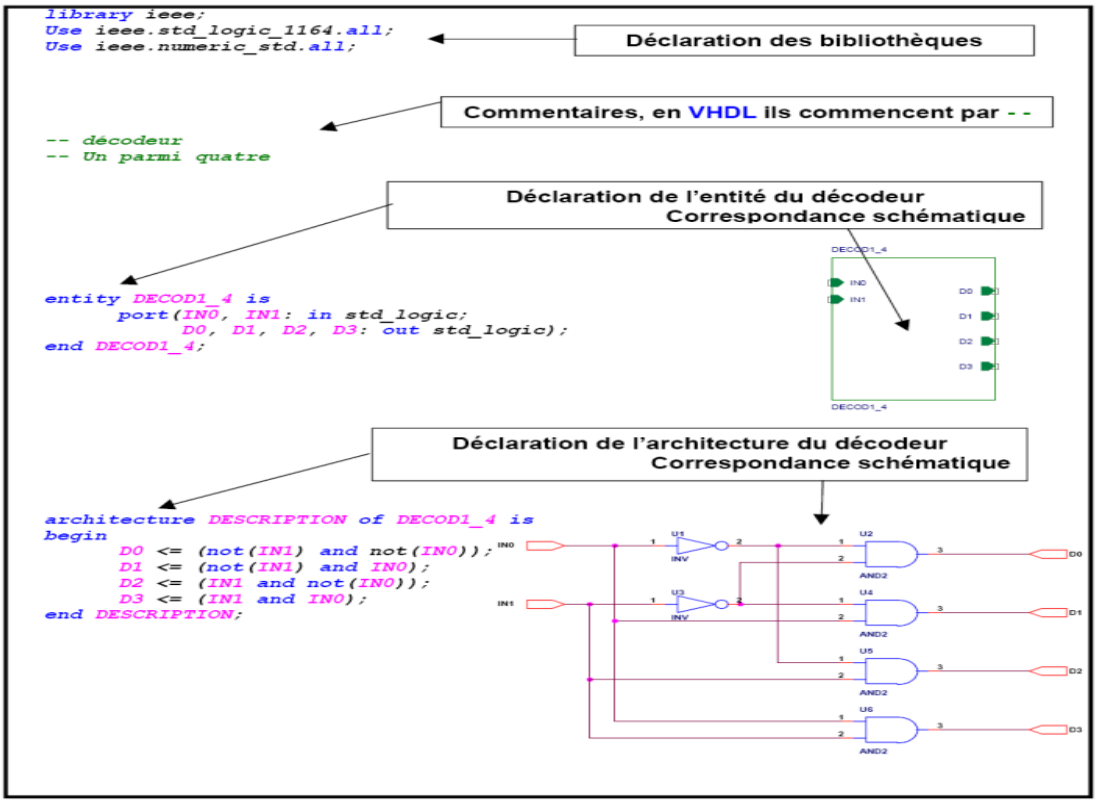


Figure III . 4 :Différent parties d'une description **[31]**

III.3.4 Avantages du langage VHDL:

- La portabilité.

- Conception haut de gamme.

- Capacité à décrire des systèmes très complexes avec quelques lignes de code.

Aussi, VHDL :

- Peut être simulé.

-Peut être traduit en schéma de porte logique.

III.4 Implémentation d'un projet sur circuit FPGA

La mise en œuvre d'un projet sur un circuit FPGA suit ces étapes :

1.Description du VHDL : il s'agit de la modélisation de l'architecture et des différents codes VHDL des différents composants constituant l'architecture.

2.Compiler la syntaxe : vérifier les erreurs dans les instructions de code VHDL ;

3.Compilation logique : Compilation logique : vérification de faisabilité décrite dans les programmes;

4.Simulation fonctionnelle : permet de tester le bon fonctionnement de votre architecture à l'aide de l'outil de simulation 'ModelSim'.

5.Phase de synthèse : permet de passer d'un niveau élevé 'VHDL' vers un niveau d'abstraction plus bas est le niveau adapté au langage machine.

Le résultat de la synthèse est un fichier dont l'extention est '.edif '.

6.Phase de placement routage : elle passe par 3 étapes :

Translation : permet de convertir le fichier '.edif 'vers un fichier d'extention '.NGD' dont il est compréhensible par l'outil de placement routage

Mapping : planification de l'implémentation des différentes parties de l'architecture vis-à-vis des ressources des circuits FPGA que nous dans notre application ;

Placement et routage : il s'agit d'établir les différentes entre les composants intégrés dans le circuit.

7. à Créer le fichier '.bit' : après l'emplacement du routage, l'outil nous donne un fichier avec l'extension '.bit' qui est un fichier binaire, qui permettant de configurer le FPGA.
Développer en VHDL nécessite l'utilisation de deux outils, un simulateur et un synthétiseur.

La première volonté nous permet de simuler notre description VHDL l'aide d'un fichier de simulation appelé "test-bench".cet outil interprète directement le langage VHDL et il comprend l'ensemble du langage . Le but d'un synthétiseur est très différent : il doit se comporter comme décrit en VHDL dans ses fonctions logiques selon la technologie choisie ; Cette étape est appelée "synthèse". L'intégration finale dans le circuit cible est réalisée par l'outil de placement et routage. Ceci est fourni par le fabricant de la technologie Avec les outils actuels il est possible d'avoir des fichiers VHDL à chaque étape. Par conséquent, le même fichier fictif peut être utilisé pour le fonctionnement du descripteur à chaque étape du processus de développement. La figure (III . 5) montre les différentes étapes requises pour un projet sur un circuit FPGA.

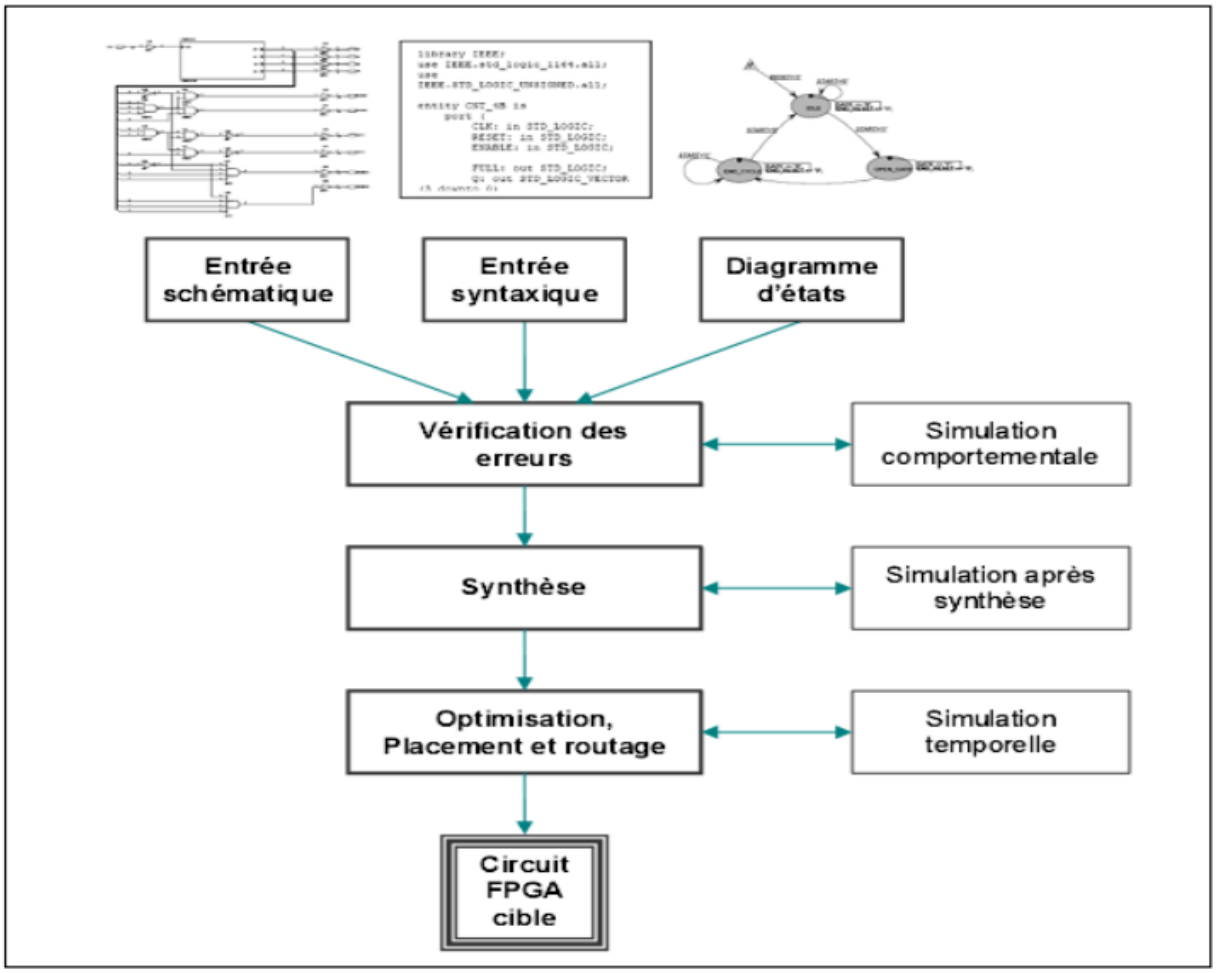


Figure III . 5 : Organisation fonctionnelle de développement d'un projet sur circuit FPGA

III.5 Applications des circuits FPGA

L'augmentation de la densité des circuits FPGAs, combinée avec le développement de langages évolués de description de matériel et des outils permettant de passer de façon automatique de la description à la réalisation matérielle, a ouvert la voie à l'application. Les domaines abordés sont très variés et touchent la cryptographie, le traitement des images numériques, la 3D,….la liste annoncée des applications est loin d'être exhaustive. [31]

III.6 Avantages et inconvénients de FPGA :

avantages

- Technologie ‘’facile’’ à maitriser.

- Reprogrammable

- Cout peut élève

- Reconfiguration en temps réel

- Idéal pour le prototypage.

Inconvénients

-Performance non optimise

-temps de réponse long par rapport aux ASIC.

- Rapidité due au parallélisme par rapport aux circuits numériques

III .7 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a donné, au premier, un aperçu sur les circuits FPGA concernant leur structure, leur principe, leur programmation ainsi que sur le langage de description VHDL . On a donné également les étapes principales de l’implémentation du circuit dans une cible FPGA, ainsi que les différents fondeurs et domaines d’application de ces circuits.
Ceci nous a permis de se familiarisé avec la technologie FPGA.

CHAPITRE (IV)

SIMULATION DE SYSTÈME ET L'IMPLÉMENTATION

Introduction

Ce chapitre est consacré à une étude permettant d'évaluer le comportement de la puissance d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT numérique « perturbation et observation ». Ce système comprend un générateur photovoltaïque, un convertisseur boost une commande MPPT « perturbation et observation »

Ainsi ce chapitre s'occupe de la conversion vers un format exécutable (langage de description matériel) de l'algorithme p and o puis la vérification du circuit intégré correspondant à cette commande en utilisant les outils de l'environnement ISE XILINX.

IV.1 Présentation de notre système:

On établie avec Simulink les subsystem tels qu'un générateur photovoltaïque, un convertisseur DC/DC de type boost ,une batterie et le contrôleur MPPT entant qu'unités indépendantes pour vérifier leur fonctionnalité appropriée. Enfin, ces sous-ensembles peuvent être combinés pour former un système photovoltaïque complet avec control MPPT comme représenter la figure (IV -1)

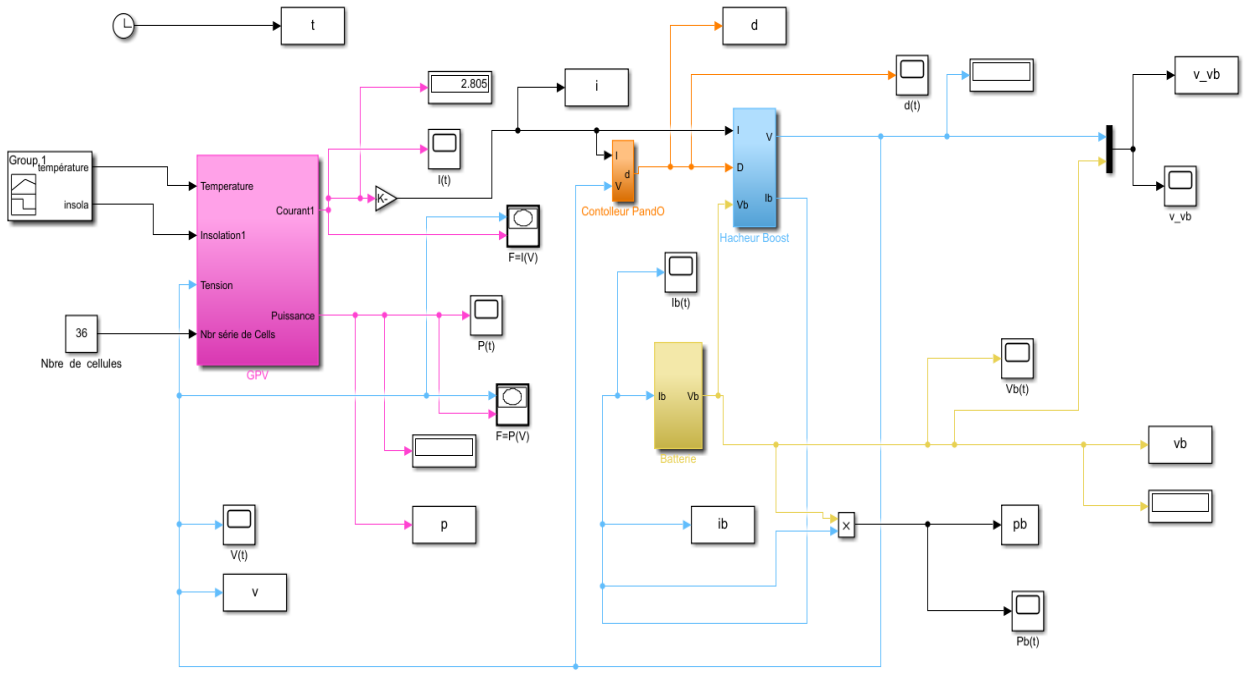


Figure IV. 1 : Modèle Simulink d'un système photovoltaïque général composé d'un hacheur boost et la commande MPPT

Bloc GPV :

Le panneau solaire est modélisé sur le schéma de MATLAB/SIMULINK. Son modèle est basé sur les équations caractéristiques obtenues au chapitre 1 (les subsystem en détail city dans annex 1).

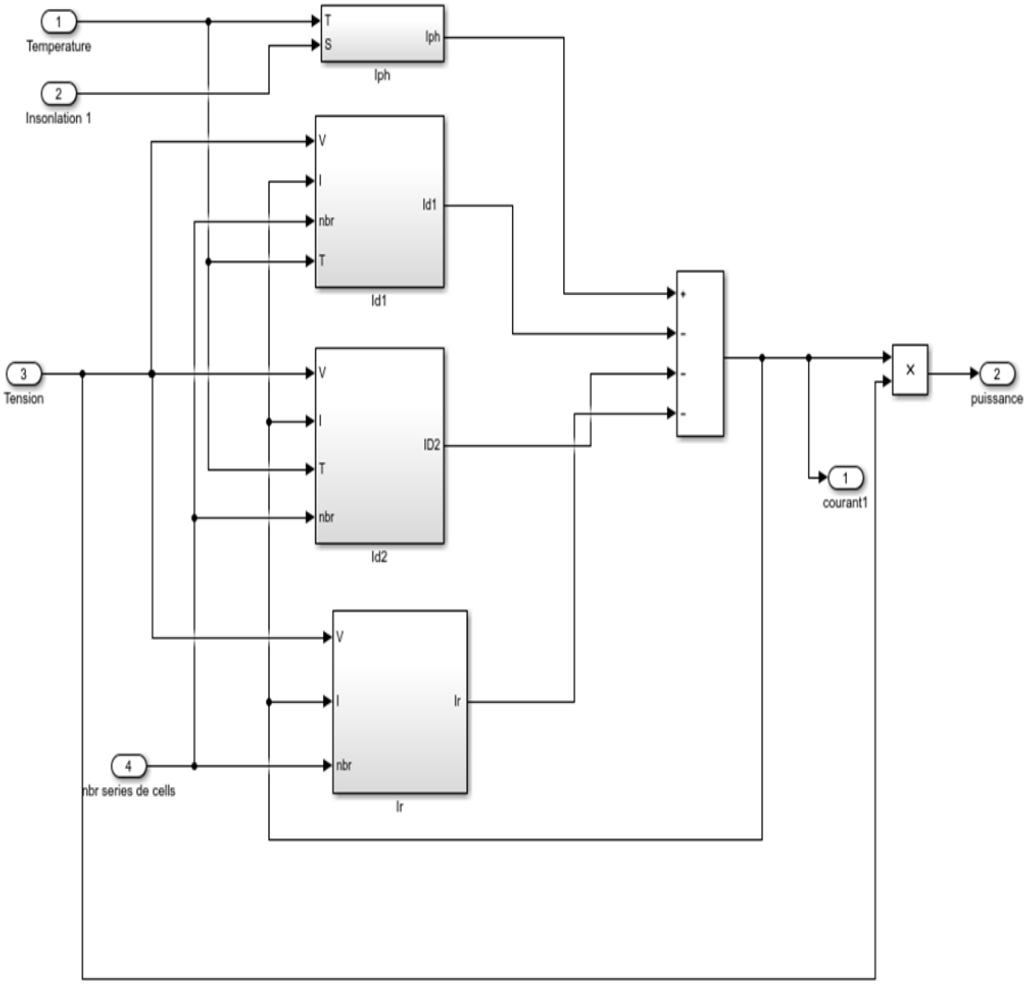


Figure IV. 2 : Le modèle Simulink du module photovoltaïque de deux diode

Le module solaire est représenté par un sous-système à deux entrées ;température "T" des cellules et degré d'ensoliemment "G", ces derniers étant accessibles comme variables et modifiables à tout moment de la simulation. Cela permet d'observer et d'évaluer le comportement du système lors de changements brusques des conditions atmosphériques.

Bloc du hacheur boost :

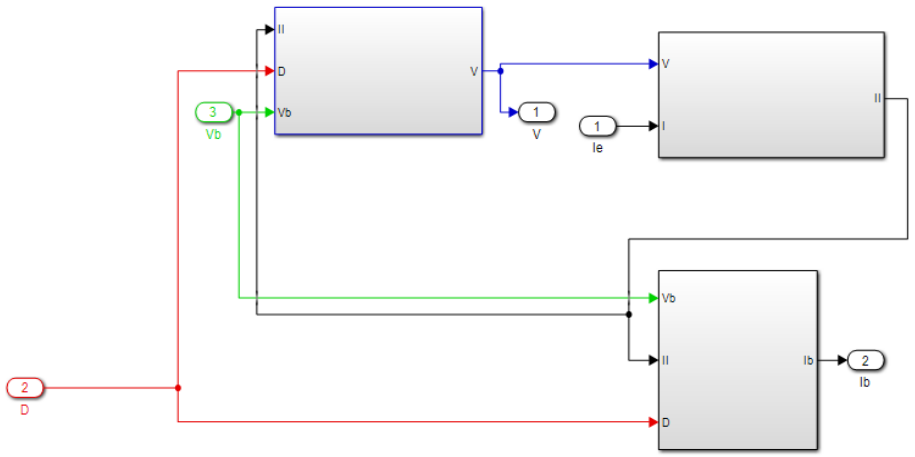


Figure IV. 3 :Le modèle Simulink du convertisseur survolteur (boost)

MPPT à base de l'algorithme P&O:

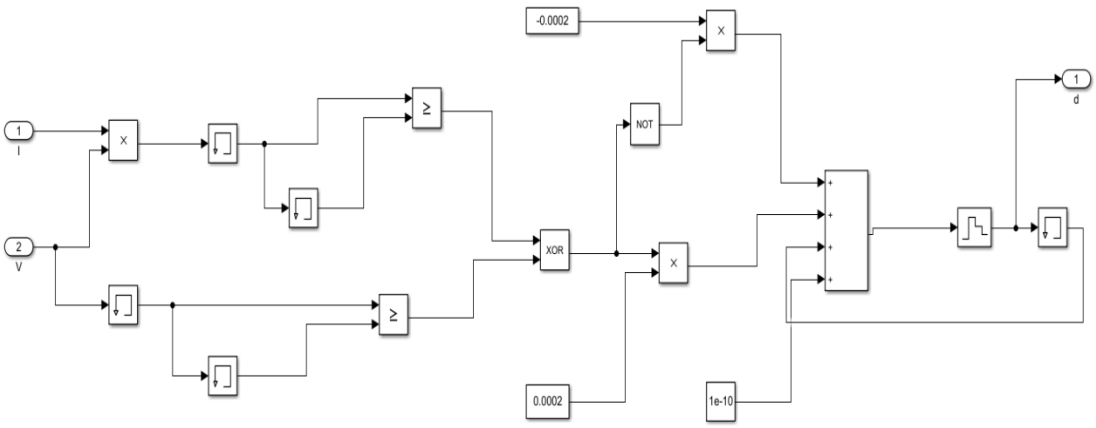


Figure IV. 4 : le schéma fonctionnel sous Simulink du contrôleur MPPT.

IV .3 Simulation du système sous des conditions standards (STC):

La figure suivante présente allure de puissance en fonction de la temps d'un système photovoltaïque (panneau 150w) commandé par un contrôleur PO dans une température et éclairements constantes (T=25°C,G=1000W/m²) :

IV .4 Résultats de simulation du MPPT P&O

La figure suivante présente allure de puissance en fonction de la temps d'un système photovoltaïque (panneau 150w) commandé par un contrôleur P&O dans une température et éclairements constantes (T=25°C,G=1000W/m²) :

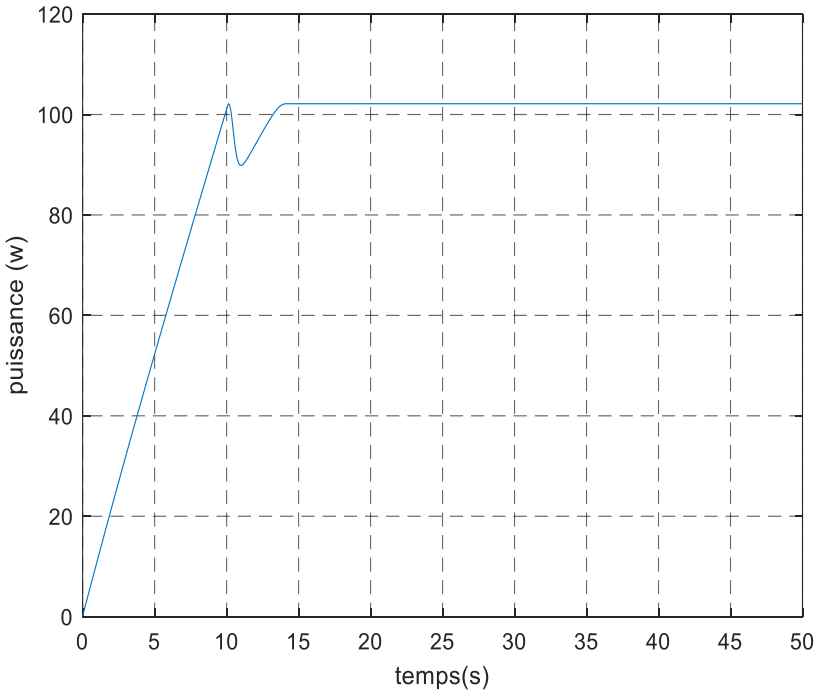


Figure IV. 5 :Allure de la puissance en fonction de temps pour (T=25°C,G=1000W/m²).

Dans la figure ,On remarque que la puissance met un temps d'oscillation de (13s) pour se stabiliser à la valeur maximale de la puissance (102W).

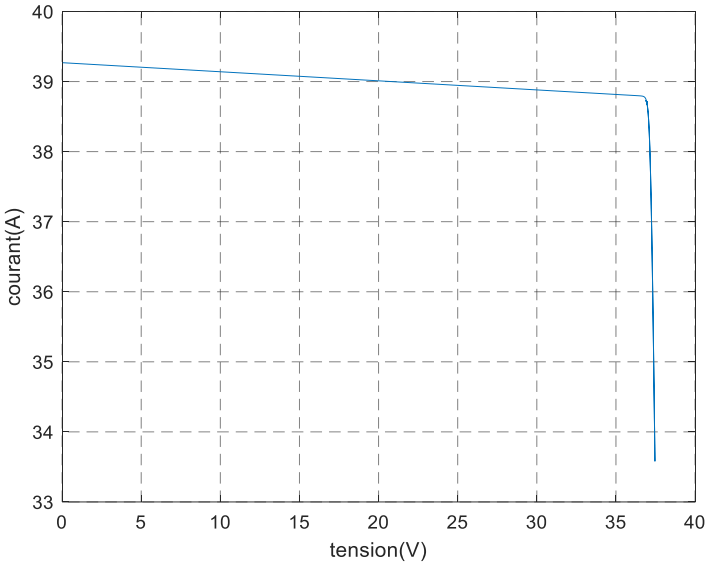


Figure IV. 6 :Allure de courant en fonction de la tension

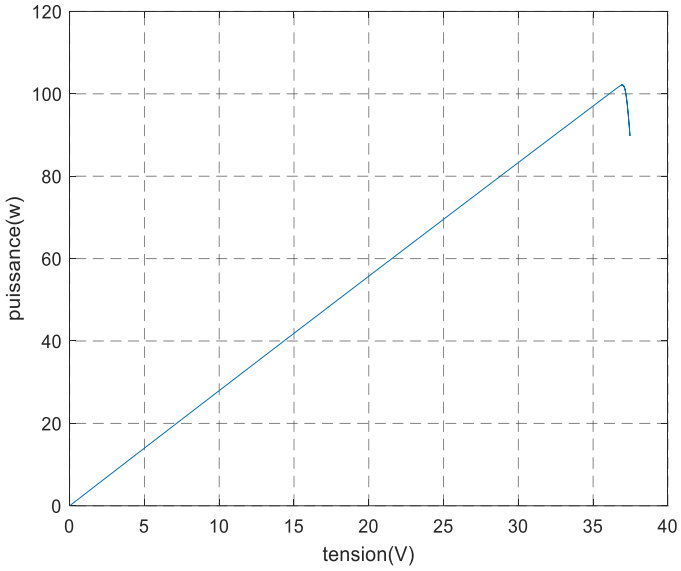


Figure IV. 7 : Allure de la puissance générée par le panneau photovoltaïque Pour (T=25°C, G=1000 W/m²).

D'après les figure obtenus on remarque pour un rayonnement fixe la puissance oscille au tour de point maximale (PPM), c'est pareille pour la courbe de courant. Cela prouve de l'efficacité de la commande (MPPT).

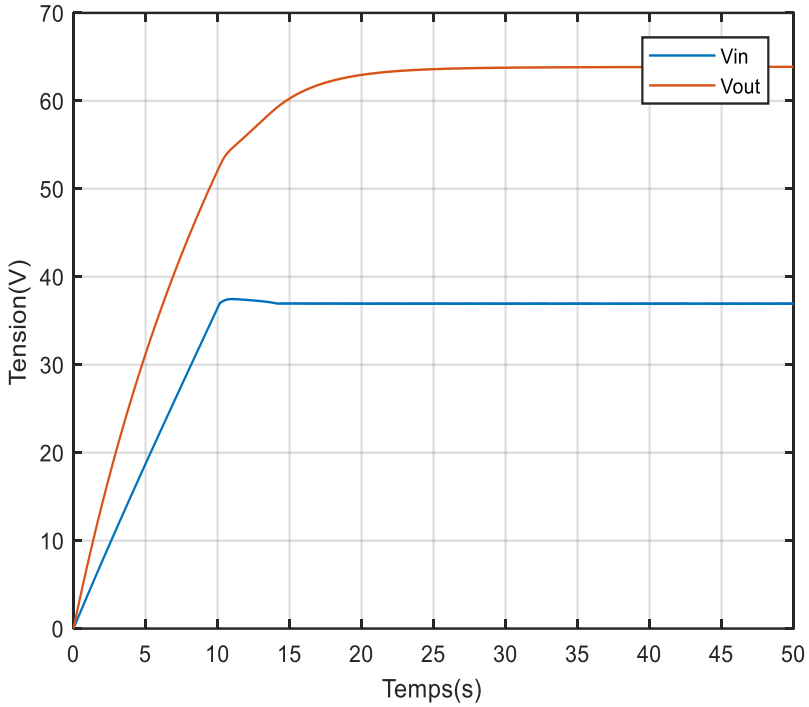


Figure IV. 8 : Tensions d'entrée et de sortie du convertisseur

Cette figure représente tension d'entrée et de sortie de notre convertisseur dc_dc . Ces résultats montrent que la tension de sortie du convertisseur est supérieure à celle d'entrée. Donc le hacheur boost assume correctement la multiplication de la tension d'entrée

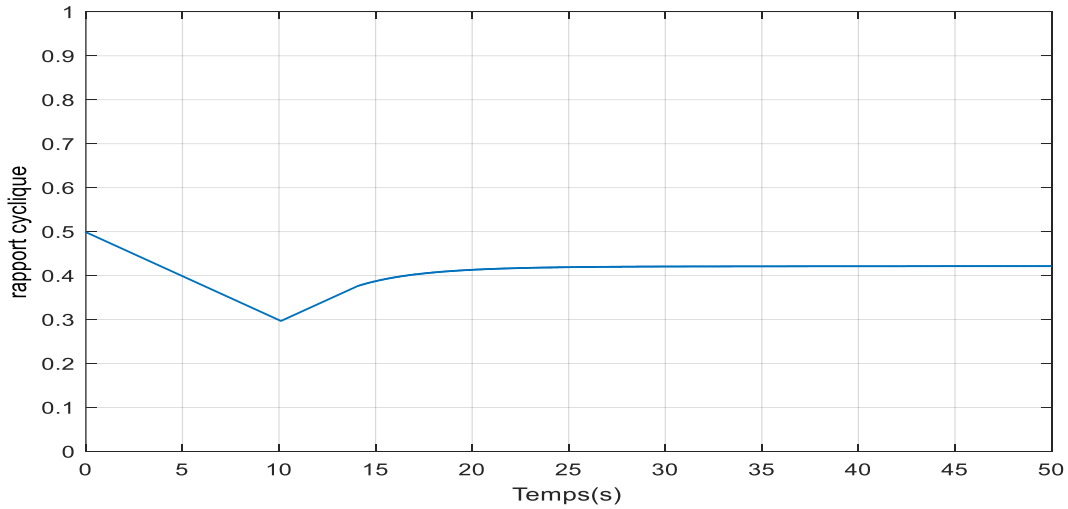


Figure IV. 9 : courbe du Rapport cyclique

IV .5 Réalisation et implémentation de PandO dans un circuit FPGA

IV .5.1 Logiciels et outils utilises

Chaque étape du développement d'un projet sur FPGA nécessite un outil logiciel différent. Nous allons présenter brièvement les outils et logiciels utilisés dans ce projet (figure IV.11)

Xilinx ISE 14.5

Ce logiciel offre un environnement convivial et regroupe tous les outils nécessaires à la réalisation des différentes étapes du projet. Le code VHDL des différents modules est saisi dans un éditeur de texte. L'étape de synthèse est réalisée par l'outil XST, l'étape de placement et routage par l'outil FPGA Editor et l'étape de configuration du composant par l'outil iMPCAT. Xilinx ISE permet ainsi de suivre l'évolution du projet étape par étape.

ModelSim Simulator

Ce logiciel permet de faire la simulation du design à différentes étapes du projet. Pour faire une simulation, on doit créer des fichiers test-bench, qui décrivent la variation des entrées du design dans le temps. La simulation permet de visualiser les sorties et de les comparer par rapport aux résultats attendus, afin de faire une première validation du design.

IV -6 implémentation de l'algorithmeP&O

IV -6 -1 Schéma block

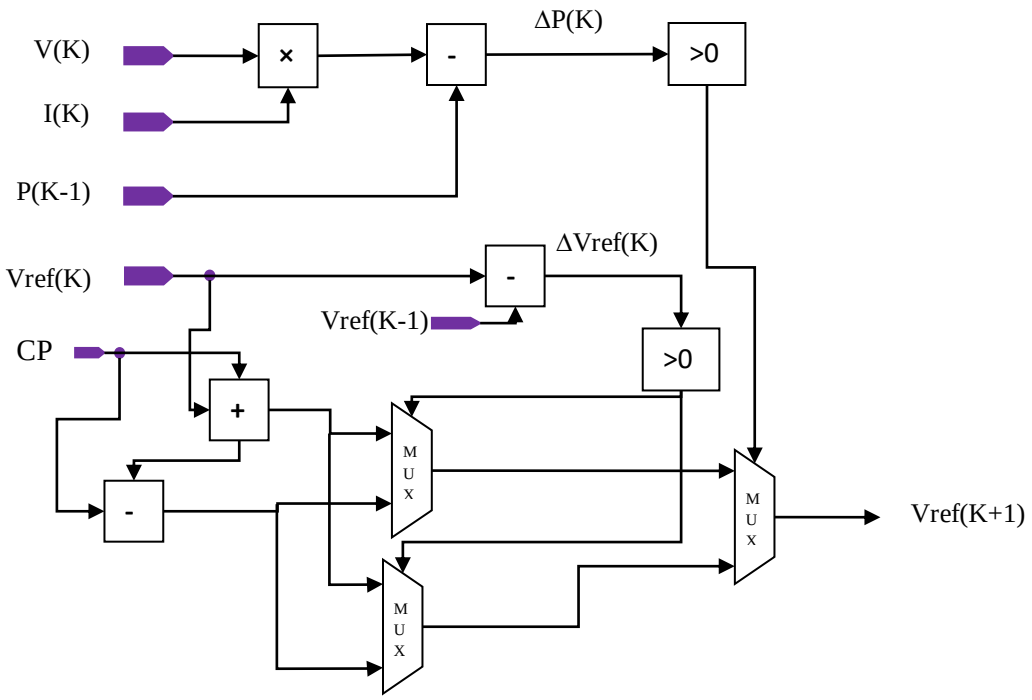


Figure IV. 10 :Synoptique de l'application MPPT P&O.

IV -6 -2 Descriptions VHDL de MPPT

La description VHDL permet de décrire le fonctionnement du circuit à réaliser en utilisant un code écrit portable, c'est-à-dire qu'une description écrite pour un circuit peut être facilement utilisée pour un autre circuit. Dans ce chapitre, on va essaye de faire la description de l' algorithme (P&O) en utilisant un langage HDL sur l'environnement ISE XILINX

Apres la création d'un nouveau projet et la sélection des propriétés de la carte FPGA, il faut désigner les entrées/sorties de la description et ça c'est le paire indissociable entité/architecture

•L'entité définit le nom de la description VHDL ainsi que les I/O.

```
 6  entity Vreff_K_1 is
 7      Port  (enable_Vrff : in  STD_LOGIC;
 8             rst_Vrff       : in  std_logic;
 9            Vk  : in  STD_LOGIC_VECTOR (4 downto 0);
10              Ik    : in  STD_LOGIC_VECTOR (4 downto 0);
11              PK    : in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
12            Vr_K: in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
13            VR_1:in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
14            Cp:in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
15              -------------
16             Vrff   : out STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
17              done_Vrff   : out STD_LOGIC);
18  end Vreff K 1;
```

Figure IV. 11 : l'entité d'une description VHDl.

•l'architecture décrit le fonctionnement du système, les relations entre les entrées et les sorties.

```
20  architecture Behavioral of Vreff_K_1 is
21
22  component sust_wiw is
23        Port ( enable_sw  : in std_logic;
24               rst_sw : in std_logic;
25               in1_sw : in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);---LOG2TRAFOSIZE
26               in2_sw : in  STD_LOGIC_VECTOR (9  downto 0);
27               out_sw : out STD_LOGIC_VECTOR (9  downto 0);
28               done_sw: out STD_LOGIC );
29  end component;
30  component mult_wiw is
31      Port ( enable_mw : in std_logic;
32               rst_mw    : in std_logic;
33               in1_mw : in  STD_LOGIC_VECTOR (4 downto 0);
34               in2_mw : in  STD_LOGIC_VECTOR (4 downto 0);
35               out_mw : out STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
36               done_mw: out STD_LOGIC );
37  end component;
38
39  component addition_wiw is
40      Port ( enable_addw : in std_logic;
41               rst_addw   : in std_logic;
42               in1_addw: in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
43               in2_addw: in  STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
44               out_addw : out STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
45               done_addw: out STD_LOGIC );
46  end component;
```

Figure IV. 12 : architecture d'une description VHDl

•Pour la description des signaux

```
65  signal Out1: STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
66  signal wi1: std_logic;
67
68  signal Out2: STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
69  signal wi2: std_logic;
70
71  signal ENB1: std_logic;
72  signal Out3: STD_LOGIC_VECTOR (9 downto 0);
```

Figure IV. 13 : Partie d'une description VHDl.

IV.7 Résultats de simulation

La deuxième étape est la simulation fonctionnelle de l'algorithme, l'outil utilisé est MODELSIM

IV.7 .1 Synthèse

La synthèse de ce modèle a été réalisée avec une option de synthèse qui tient compte plus de la rapidité de l'architecture que des contraintes des ressources hardware. Nous avons remarqué au fil .

notre travail, que la carte FPGA V supporte un nombre élevé de module. De ce fait, nous nous sommes intéressés plus aux contraintes de temps que de ressources puisque ce module est dédié à la communication. L'exécution du programme principal a généré le schéma global de notre modulateur (figure)

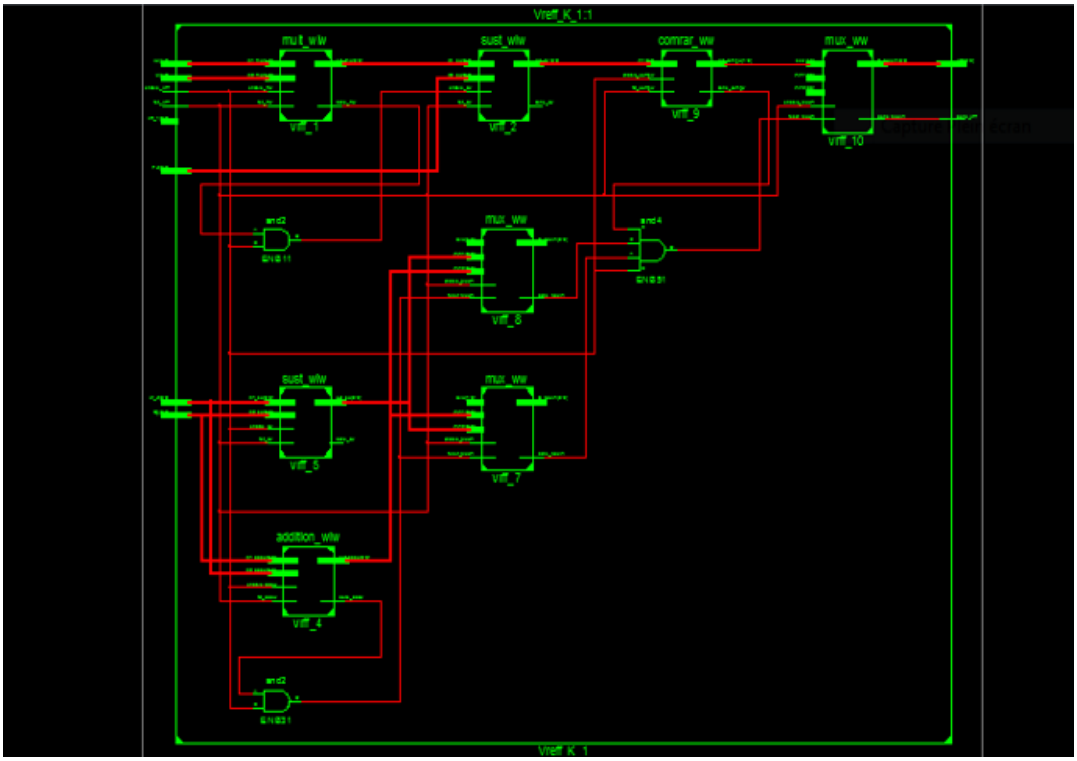


Figure IV. 14 :Vue de la synthèse de l'architecture (Schéma RTL détaillée de MPPT P&O)

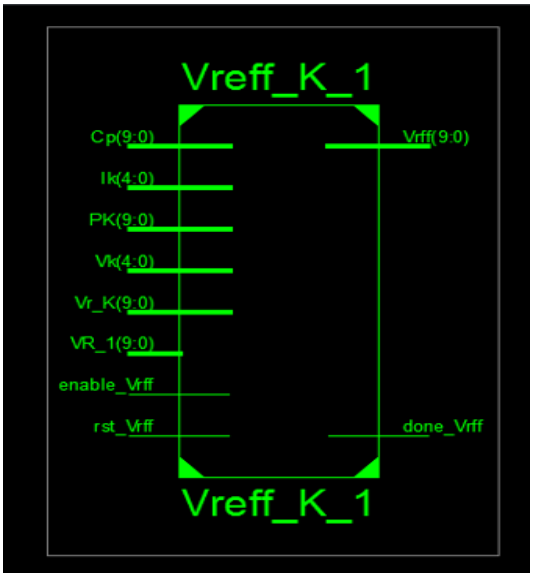


Figure IV. 15 : Schéma RTL de MPPT P&O

Les deux figures présentent le circuit de connexion de notre MPPT sur FPGA.

IV-8 RESULTATS ET DISCUSSION

I. Matériels et méthodes :

Cette étude a été réalisée au niveau d'université Yahia Fares

. LES OUTILS ET LES APPAREILS DE MESURE :

Circuit du hacheur :

1- transistor.
2- Boubine.
3- Condensateur.
4- Diode.

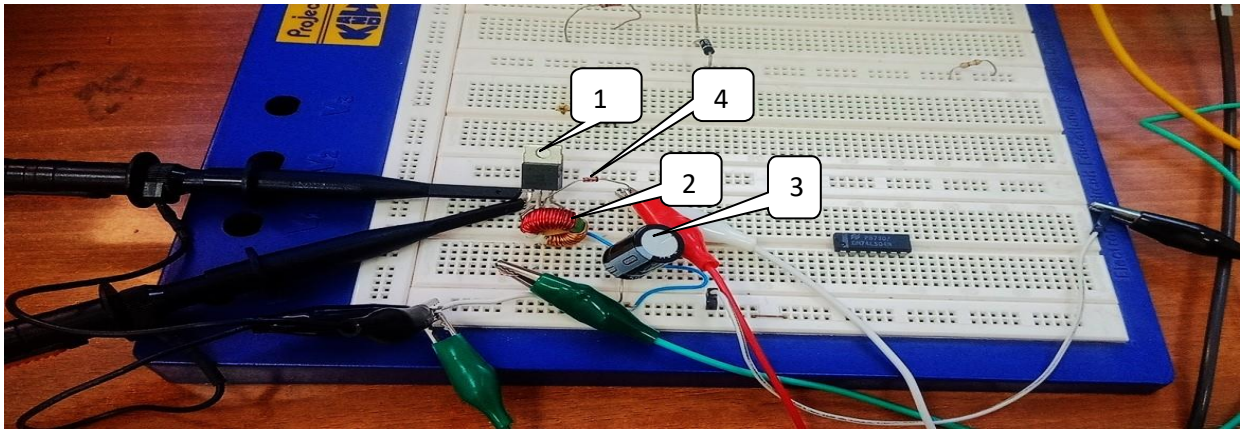


Figure IV. 16 :la réalisation des circuits avec l'hacheur



Figure IV. 17 : signal MLI

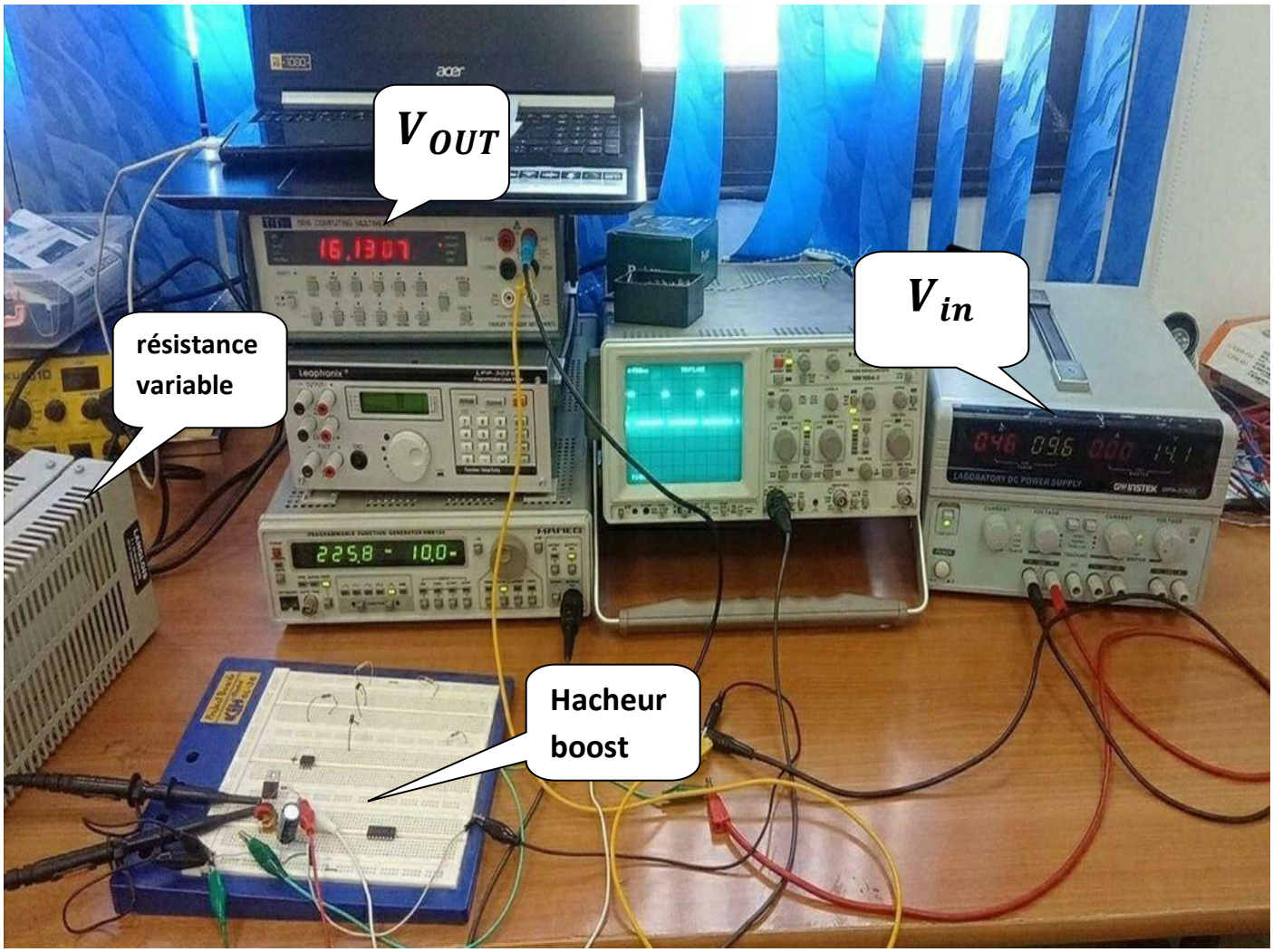


Figure IV. 18 :implémentation expérimentale du convertisseur boost

Dans ce chapitre nous avons modélisé et simulé notre systeme sur simulink sous matlab 2020, en applique MPPT P&O SUR ISE on a donné juste la resultat sans donné un aperçu sur l'utilisation de l'environnement de travail de l'ISE,sans pour autant trop nous approfondir car c'est logiciel très complexe et qui contient énormément d'outils d'aide à la conception. La raison de sa complexité est de vouloir répondre à toutes les étapes nécessaires à la conception, et le plus important c'est qu'il se suffit à lui-même, donc avec le logiciel on peut aborder n'importe quelle conception sur les FPGAs.

nous avons commencé par une realisation d'un hacheur boost , Nous aurions préféré avoir un prototype fonctionnel à la fin de le processus de conception, mais l'expérience a été instructive et stimulante au en même temps.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'énergie solaire continue de prouver son potentiel en tant que révolution pour les énergies renouvelables. Alors que les entreprises poursuivent leurs recherches sur l'énergie solaire, la technologie leur devient de plus en plus utile. L'une des principales préoccupations pour résoudre les problèmes liés aux panneaux solaires est l'efficacité des panneaux solaires. Un objectif majeur pour cette application de panneaux solaires la conception était d'optimiser l'efficacité chaque fois que possible. Cela a été fait grâce à un examen minutieux des fiches techniques des produits pour obtenir la pièce la plus souhaitable, principalement avec le moins de perte de puissance associée.

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

Dans le même but, plusieurs techniques de commande ont été associées dernièrement à la commande MPPT .

Dans ce travail, on a tenté d'explorer et d'exploiter au maximum les ressources offertes par les circuits FPGA en implémentant une méthode MPPT utilisées dans les systèmes photovoltaïques: la méthode du contrôleur

On a commencé par introduire les notions théoriques sur l'énergie photovoltaïque, la MPPT P&O , qui sont des domaines de pointe de l'électronique moderne nécessaires pour la compréhension du but de ce travail.

On s'est ensuite intéressé aux circuits FPGA, et on a détaillé les différentes étapes de son implémentation passant par la synthèse et la simulation jusqu'au placement et routage et enfin la programmation du composant.

La simulation nous a permis de valider le programmes de méthode avant de les charger sur le circuit FPGA.

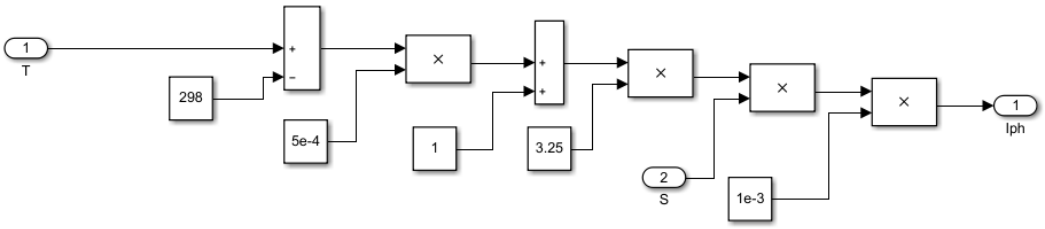
On peut constater que le contrôle MPPT par l'approche P&O , malgré sa difficulté de programmation avant de dire d'implémentation, montre son efficacité non seulement pour la poursuite du point de puissance maximale mais aussi pour le temps de réponse et la stabilité. On peut conclure aussi que la sortie des signaux qui sont obtenus et visualisés sur oscilloscope démontre la faisabilité des commandes MPPT.

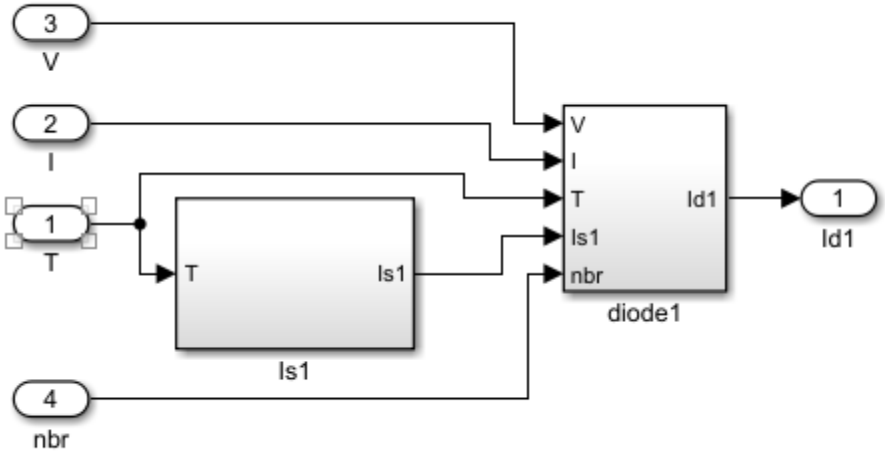
Ce travail se veut une initiation au développement des projets sur circuits FPGA dans le domaine des énergies renouvelables. On espère qu'il pourra contribuer à aider les personnes qui s'intéressent à ce domaine de la technologie dans l'élaboration de leurs travaux.

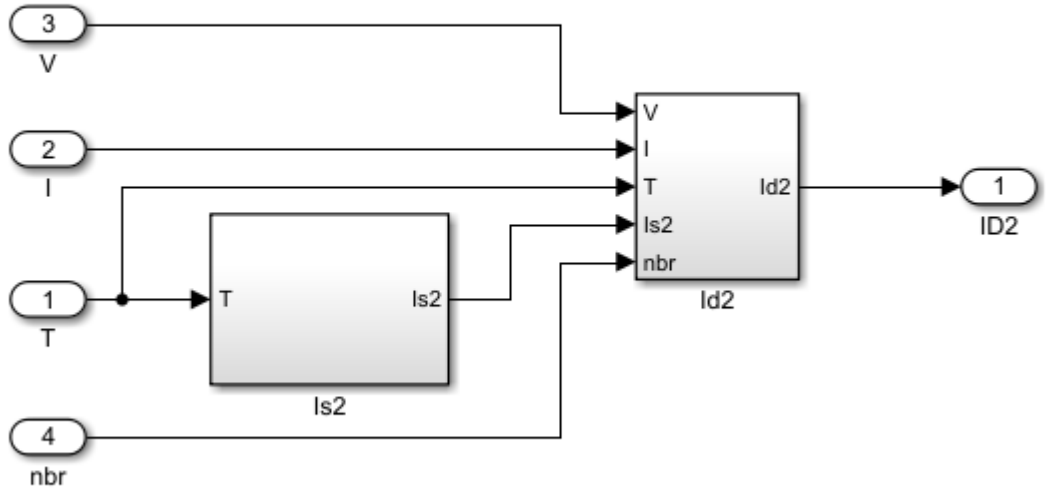
Conclusion générale

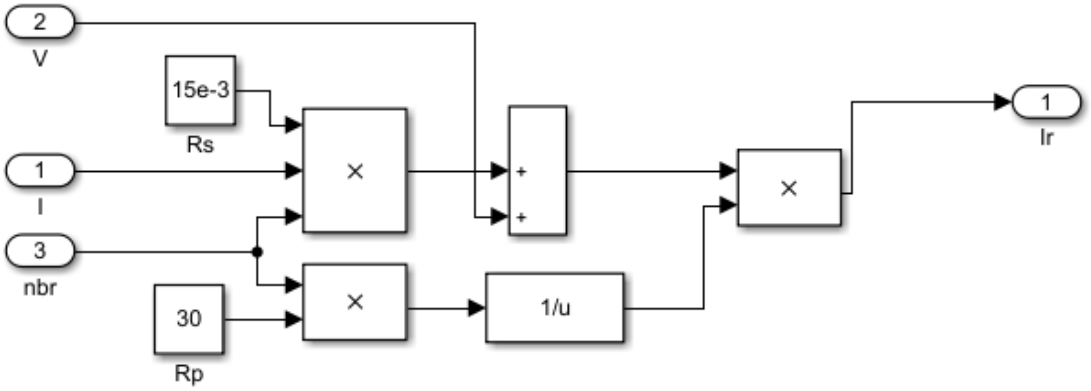
ANNEX

Annex 01

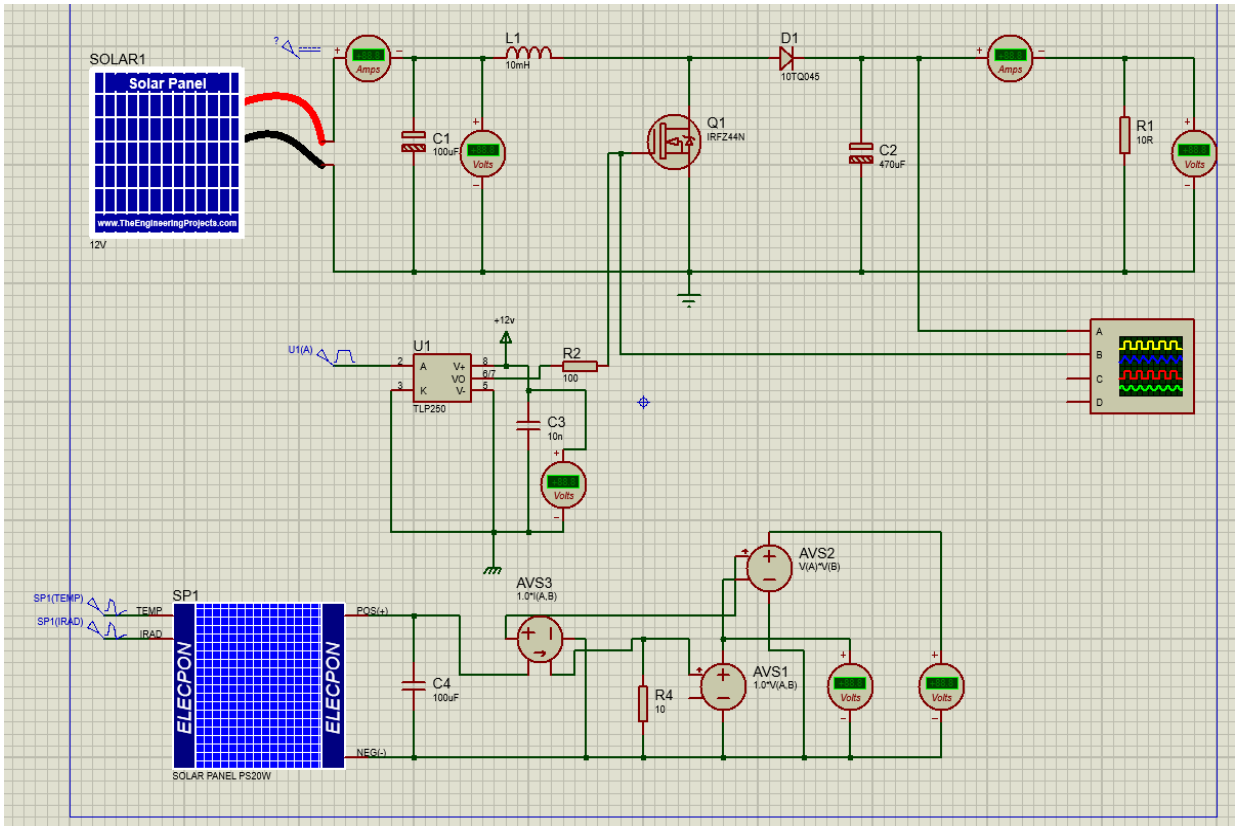

1
T
298
5e-4
1
3.25
2
S
1e-3
1
Iph


3
V
2
I
1
T
T
Is1
Is1
4
nbr
V
I
T
Is1
nbr
Id1
diode1
1
Id1

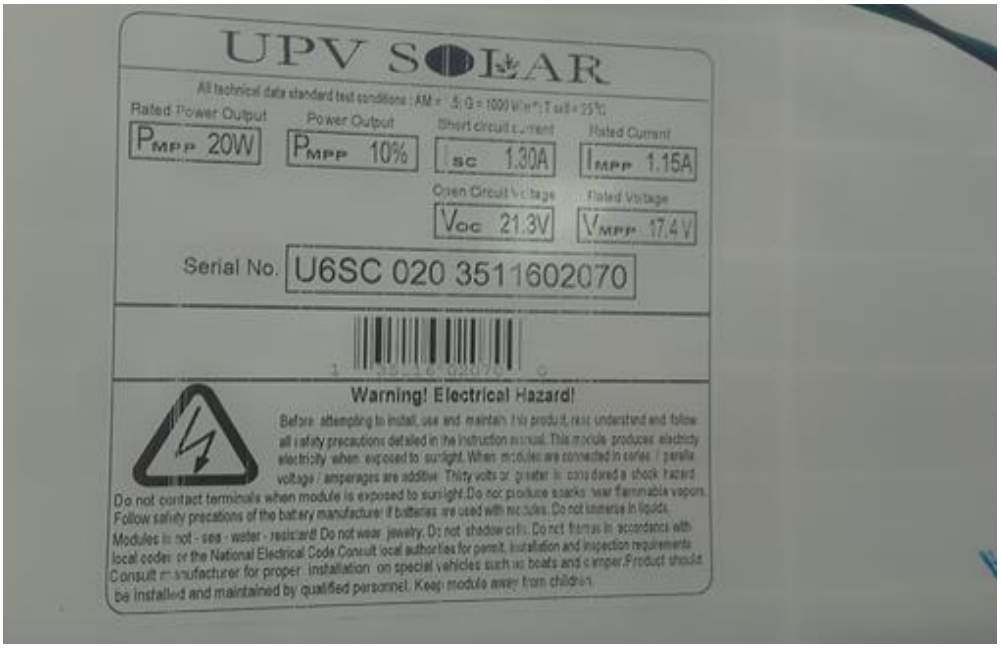




Annex 02 simulation d'un système PV sur Proteus



Caractiristique de panneau



référence bibliographique

1. A Mefti, MY Bouroubi, and H Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire. Bulletin des énergies renouvelables, (2), 2002.

2. M, Capderou . Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U,Alger (1985).

3. Djelloul BENATIALLAH, Ali BENATIALLAH, et al. Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie. PhD thesis, Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.

4. Hankins. Installations solaires photovoltaïques autonomes : conception et installation d'unités non raccordées au réseau. Dunod, 2012

5. Anne Labouret and Michel Villoz. Energie solaire photovoltaïque, volume 3. Dunod Paris, 2006.

6. oufdi Hadjab, Smail Berrah, and Abid Hamza. Neural network for modeling solar panel. International journal of energy, 6(1) :9–16, 2012.

7. ashif Ishaque, Zainal Salam, Hamed Taheri, et al. Modeling and simulation of photovoltaic (pv) system during partial shading based on a two-diode model. Simulation Modelling Practice and Theory, 19(7) :1613–1626, 2011

8. delkader Morsli. Etude d'un système solaire photovoltaïque utilisant des supercondensateurs. PhD thesis, Ecole nationale polytechnique, 2010.

9. MS Aït Cheikh, B Hadj Aïssa, A Malek, and Mohamed Becherif. Mise au point d'une régulation floue pour serre agricole à énergie solaire. Journal of Renewable Energies, 13(3) :421–443, 2010.

10. Angel Cid Pastor. Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques. PhD thesis, INSA de Toulouse, 2006.

11. Mabrouk Adouane. Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique. PhD thesis, Ecole Nationale Polytechnique, 2008

12. Azzoug. Commande de la charge d'une batterie dans une installation photovoltaïque. PhD thesis, Université du Québec à Trois-Rivières, 2008.

13. ff Walker. Evaluating mppt converter topologies using a matlab pv model. Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, 21(1) :49–55, 2001.

14. Knopf, Hannes. Analysis, simulation, and evaluation of maximum power point tracking (MPPT) methods for a solar powered vehicle. Diss. Portland state university, 1999.

15. Nabil Abouchabana. Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT. PhD thesis, Ecole nationale polytechnique, 2009.

16. http://www.steca-solar.com.

17. SOLAR BOOSTTM 2000 Installation and operation Manual, RV POWER PRODUCTS Inc. http://www.rvpowerproducts.com.

18. http://www.mstervolt.com/.

19. S. Sumathi, « Solar PV and wind Energy conversion systems »,spningens,switzer land.

20. photovoltaïque,] MOUZAOUI Faiza et Yous Imane " Commande système.

21. S. Abouda, « contribution à la commande des systèmes photovoltaïques application aux.

22. W. Issaadi, «gestion d'une station de base d'un réseau mobile à l'aide d'un système.

23. D. Boukhers, « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au.

24.] M. Boukli-hacene omar, «Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni.

25. l'Energi, Les circuits FPGA : description et applications GUELLAL Amar Attaché de recherche Division: Energie solaire Photovoltaïque Equipe : Economie et Maîtrise de.

26. Dragomir Milojevic, "Implémentation des filtres non-linéaires de rang sur des architectures universelles et reconfigurables " These de Doctorat en Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles, 2004.

27. DESIGN FOR EMBEDDED IMAGE PROCESSING ON FPGAS Donald G. Bailey Massey University, New Zealand.pdf.

28. Génétiques", BENMOSBAH Amine MECHERAOUI Choukri Adel Thème : Implémentation sur FPGA des méthodes MPPT : "P&O" et "floue optimisée par les Algorithmes.

29. Nicolas MARQUES « Méthodologie et architecture adaptative pour le placement efficace de taches matérielles de tailles variables sur des partitions reconfigurables ». L'Université de de Lorraine, le 26 novembre 2012.

30. Volnei A Pedroni, "Circuit Design With VHDL" MIT Press 2004.

31. Juan J- Rodrequez-Andina, "Features, Design Tools, and Application Domains of FPGAs", IEEE Trans. Ind. Electron., vol.54,NO.4, Aout 2007.

32. Dragomir Milojevic, "Implémentation des filtres non-linéaires de rang sur des architectures universelles et reconfigurables " These de Doctorat en Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles, 2004.