REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Electrique
Spécialité : Instrumentation

Commande d'un système photovoltaïque par carte dSpace

Présenté par :

Mr. KHALDI Yacine

Mr. CHERIET Mohamed

Proposé et Dirigé par :

Dr. ABBADI Amel

Dr. HAMIDIA Fathia

Promotion 2019

Remerciements

Avant tout, Nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force et le courage pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous exprimons nos profondes gratitudes à nos chers parents pour leur encouragement leur soutien et pour leurs sacrifices. Nous tenons à remercier vivement Nos professeurs **Dr. A.BABADJ Amel** *et*

Dr. HAMIDIA Fathia *qui out fourni d'énormes efforts, par leurs Informations leur conseils et leur encouragements*

Nous voudrions également remercier les membres du jury qui nous out honoré par leur présence

Nous remercions chaleureusement tous nos amis et Leurs proches, ainsi que ceux qui nous ont, nous aide Pour réaliser ce mémoire de fin d'etudes.

.

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de M'avoir donné le courage et la patience pour réaliser Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées

Nous dédions ce modeste travail

A nos parents

A nos frères et à nos soeurs

A tous notre famille

A A.Abadi Et tous les enseignants qui nous ont dirigé et donné des Informations utiles pour l'achèvement de ce modeste Travail

A tous nos collègues et amis partout

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

Et la prospérité de l'humanité.

Yacine

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de

M'avoir donné le courage et la patience pour réaliser

Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées Moi et mon ami Yacine

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, que dieu les garde et

Les Protège pour leur soutien moral et financier,

Pour Leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A tous mes frères, mes sœurs, mes a

Mis et tous ceux qui me sont chers.

A tous ce que j'ai

Me et qui m'aiment

A tous mes collègues d'études surtout ceux groupe d'une instrumentation

Mohammed

ملخص

يصف عمل المشروع الحالي كيفية التشغيل الأمثل للنظام الكهروضوئي. الهدف من هذا المشروع هو تقديم وتحقيق تصميم أفضل لمحول Boost والتحكم فيه في MPPT. تم تقديم دراسة نظرية للطريقة المقترحة متبوعة بتطبيق على / Matlab Simulink ثم مقارنة بين المحاكاة وطرق P&O و IC و FLC. بعد ذلك، يتم تنفيذ الخوارزمية المقترحة P&O على واجهة في الوقت الحقيقي (dSPACE1104) ويتم إدراج عنصر التحكم الذي تم الحصول عليه في نظام PV.

الكلمات المفتاحية: استمرار نقطة القدرة القصوى (MPPT) ؛ الاضطراب والمراقبة (P&O) ؛ السلوك الإضافي (IC) ، وحدة التحكم الناعمة (FLC) ؛ نظام الضوئية (PV)

Résumé

Le projet en cours décrit le meilleur fonctionnement du système photovoltaïque. L'objectif de ce projet est de fournir et de réaliser une meilleure conception de l'adaptateur Boost et de son contrôle en MPPT. Une étude théorique de la méthode proposée suivie d'une application sur Matlab / Simulink et une comparaison entre les méthodes de simulation, P&O, IC et FLC. Ensuite, l'algorithme proposé P&O est mis en oeuvre sur une interface temps réel (dSPACE1104) et la commande obtenue est insérée dans le système PV.

Mots clé : Poursuite du point de puissance maximale (MPPT) ; Perturbation et Observation (P&O); Conductance Incrémentale (IC), Contrôleur Flou (FLC) ; système photovoltaïque (PV)

Abstract

The current project describes the best operation of the photovoltaic system. The objective of this project is to provide and realize a better design of the Boost adapter and its control in MPPT. A theoretical study of the proposed method followed by an application on Matlab / Simulink and a comparison between simulation methods, P&O, IC and FLC. Then, the proposed algorithm P1O IS implemented on a real-time interface (dSPACE1104) and the control obtained is inserted in the PV system.

Keywords: Maximum Power Point Tracking (MPPT); Disruption and Observation (P&O); Incremental Conductance (IC), Fuzzy Controller (FLC); Photovoltaic System (PV).

Table des matières

Liste des matière I

Liste des figures V

Liste des tableau.....X

Liste des symboles.....XI

Introduction générale.....1

Chapitre I: Notion générale sur les systèmes photovoltaïque.

I.1 Introduction 3

I.2 L'énergie solaire 3

I.2.1 L'énergie solaire photovoltaïque 4

I.2.2 L'énergie solaire thermique 4

I.3 La cellule photovoltaïque 4

I.3.1 L'effet photovoltaïque 5

I.3.2 Les différents types des cellules photovoltaïques 5

I.3.2.1 Silicium monocristallin 6

I.3.2.2 Silicium poly cristallin (multi cristallin) 6

I.3.2.3 Silicium amorphe 6

I.3.3 Influence de l'éclairement 7

I.3.4 Influence de la température 8

I.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque 9

I.4.1 Cellule photovoltaïque idéal 9

I.4.2 Cellule photovoltaïque réelle 10

I.5 Les paramètres photovoltaïques 11

I.5.1 Courant de court-circuit 12

I.5.2 Tension en circuit ouvert V_{co} 12

I.5.3 Point de puissance maximale PPM 12

I.5.4 Facteur de forme FF 13

I.5.5 Rendement énergétique η 13

I.6 Regroupement des cellules 14

I.6.1 Regroupement en série 14

I.6.2 Regroupement en parallèle 14
I.6.3 Regroupement (série et parallèle) :..... 15
I.7 Panneau photovoltaïque..... 16
I.8 Les composants d'un système photovoltaïque..... 16
I.8.1 Système photovoltaïque isolé (autonome)..... 16
I.8.1.1 Couplage DC 16
I.8.1.2 Systèmes mixtes DC/AC 17
I.8.1.3 Couplage AC 17
I.8.1.4 Fonctionnement 18
I.8.2 Système Photovoltaïque connectés aux réseaux..... 19
I.9 Conclusion 19

Chapitre II: Conversions et commandes d'optimisation des systèmes photovoltaïques

II.1 Introduction..... 20
II.2 Les convertisseurs DC-DC (les hacheurs) 20
II.3 Convertisseur Buck (série/abaisseur)..... 21
II.3.1 Convertisseur Boost (parallèle/élévateur) 23
II.3.2 Convertisseur Buck-Boost..... 25
II.4 Les commandes MPPT 26
II.4.1 Les différentes méthodes de commandes MPPT..... 27
II.4.1.1 Méthode perturbation et observation (P&O)..... 28
II.4.1.2 Méthode Hill climbing 29
II.4.1.3 Méthode incrément des conductances (IncCond) 30
II.4.1.4 Méthode basée sur la mesure du courant en court-circuit..... 32
II.4.1.5 Méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert..... 32
II.4.1.1 Les commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue 33
II.5 Conclusion 35

Chapitre III : Modélisation et simulation d'un système photovoltaique.

III.1 Introduction..... 36
III.2 Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque:..... 36
III.2.1 Modélisation d'une cellule photovoltaïque..... 36
III.2.2 Caractéristique d'une Cellule Photovoltaïque 37

III.3 Modélisation du système photovoltaïque 38
III.3.1 Simulation d'un GPV 38
III.3.1.1 L'influence de l'éclairement 40
III.3.1.2 L'influence de la température 41
III.3.2 Simulation du convertisseur Boost 42
III.3.2.1 Choix del'inductance 43
III.3.2.2 Choix du condensateur 43
III.3.3 Modélisation de la commande MPPT 44
III.3.3.1 Méthode perturbation et observation (P&O) 44
III.3.3.2 Méthode incrément des conductances (IncCond) 47
III.3.3.3 Méthode basées sur le principe de la logique floue 51
III.4 Conclusion 54

Chapitre IV: Implémentation de la commande MPPT par carte dSpace

IV.1 Introduction 55
IV.2 Présentation de la carte DSPACE 1104 55
IV.2.1 Paramètres de la carte DSPACE 1104 : 56
IV.2.2 Quelques caractéristiques de la carte dSpace 1104 58
IV.2.3 Programmation de la carte dSpace 58
IV.2.3.1 Présentation du logiciel Control Desk 59
IV.2.3.2 Construction du Model SIMULINK 59
IV.2.3.3 Sauvegarder des données sur fichier et la conversion vers Matlab 60
IV.3 Caractéristique du système photovoltaïque 61
IV.3.1 Caractéristique expérimental par montage Volt-Ampèremètre 61
IV.3.1.1 Matérielles utilisée 61
IV.3.1.2 Résultats obtenues 64
IV.3.2 Caractéristique expérimentale par carte dSpace 65
IV.3.1 Comparaison entre les trois méthodes 67
IV.4 Réalisation du hacheur boost 68
IV.4.1 Partie puissance 68
IV.4.1.1 Dimensionnement des composants 68
IV.4.1.2 Choix des composants 69
IV.4.2 Les mesures de courant et de tension 71

IV.4.3 Implémentation de la méthode P&O 72
IV.4.3.1 Modulation de Largeur d'Impulsion 73
IV.4.3.2 L'influence sur la charge 73
IV.4.3.3 Comparaissant entre les résultats de simulation et les résultats obtenu par implémentation par dSpace 75
IV.5 Conclusion 76
Conclusion général 77
Références bibliographiques
Annexe

Listes des figures

Figure I-1 : Procédé d'utilisation de l'énergie solaire. 3
Figure I-2 : Panneaux photovoltaïque. 4
Figure I-3 : Panneaux sombres pour la production de la chaleur. 4
Figure I-4 : L'effet de la conversion photovoltaïque. 5
Figure I-5 : Organigramme des différents types des cellules photovoltaïques. 5
Figure I-6 : Silicium monocristallin. 6
Figure I-7 : Silicium poly cristallin. 6
Figure I-8 : Silicium amorphe. 6
Figure I-9 : Caractéristique I=f(V) en fonction de variation de l'éclairement. 7
Figure I-10 : Caractéristique P=f(V) en fonction de variation de l'éclairement. 7
Figure I-11 : Caractéristique I=f(V) en fonction de variation de la température. 8
Figure I-12 : Caractéristique P=f(V) en fonction de variation de la température. 8
Figure I-13 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal 9
Figure I-14 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel 10
Figure I-15 : Organigramme des paramètres photovoltaïques. 11
Figure I-16 : Caractéristique courant-tension. 12
Figure I-17 : Caractéristique puissance-tension. 12
Figure I-18 : Organigramme Regroupement des cellules photovoltaïques. 14
Figure I-19: Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques. .. 14
Figure I-20: Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle 15
Figure I-21: Constitution d'un générateur photovoltaïque. 16
Figure I-22: Installation solaire résidentielle pouvant fournir du courant alternatif. 17
Figure I-23: Système hybride avec composants à couplage DC. 17
Figure I-24: Système hybride avec composants à couplage AC. 18
Figure I-25: Rendement énergétique photovoltaïque et demande des consommateurs 18
Figure I-26: Système photovoltaïque relié au réseau. 19
Figure II-1: Organigramme des différents types des convertisseurs DC-DC. 20
Figure II-2: Eléments de circuit disponibles pour la conception des convertisseurs 21
Figure II-3: Circuit équivalent du convertisseur DC/DC buck. 21
Figure II-4: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck. 22
Figure II-5: Circuit équivalent du convertisseur DC/DC boost. 23

Figure II-6: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur boost..... 23
Figure II-7: Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est fermé 24
Figure II-8: Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est ouvert. 24
Figure II-9: Circuit équivalent du convertisseur DC/DC buck-boost. 25
Figure II-10: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur buck- boost..... 26
Figure II-11: Schéma de principe d'un système photovoltaïque contrôlé par le MPPT..... 27
Figure II-12: Organigramme des différentes méthodes de commandes MPPT. 27
Figure II-13: Caractéristique puissance tension d'un panneau photovoltaïque 28
Figure II-14: Organigramme de la méthode P&O. 28
Figure II-15: Principe de la méthode HC. 29
Figure II-16: Algorithme de la méthode Hill climbing. 30
Figure II-17: Caractéristique de fonctionnement de la méthode IncCond. 31
Figure II-18: Organigramme de la méthode IncCond. 31
Figure II-19: Organigramme de la méthode basée sur la mesure du courant en court-circuit. 32
Figure II-20: Organigramme de la méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert. 33
Figure II-21: Organigramme de la méthode basée sur le principe de la logique floue. 34
Figure II-22: Structure de base de la commande floue. 34
Figure III-1: Circuit électrique équivalent dune cellule photovoltaïque. 36
Figure III-2: Schéma bloc sous Simulink du système global. 38
Figure III-3: Modèle de simulation du GPV. 39
Figure III-4: Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du GPV. 39
Figure III-5: Résultats de simulation des caractéristiques (Puissance –Tension) du GPV. 40
Figure III-6*:* Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement avec une température T=25°C. 40
Figure III-7: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents éclairement avec une température T=25°C. 41
Figure III-8: Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température avec un éclairement $G = 1000W / m^2$ 41
Figure III-9: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents températures avec un éclairement $E = 1000W / m^2$ 42
Figure III.10: Schéma de simulation Boost-Charge. 43
Figure III-11: Schéma de block de la commande MPPT (P&O). 44

Figure III-12 : Courant transmis à la charge en fonction de temps. 44
Figure III-13 : Tension transmis à la charge en fonction de temps. 45
Figure III-14 : Puissance transmis à la charge en fonction de temps. 45
Figure III-15 : Rapport cyclique en fonction de temps. 45
Figure III-16:Changement de l'éclairement en fonction de temps. 46
Figure III-17:Changement de température en fonction de temps. 46
Figure III-18 : Courant absorbé par la charge lors du changement de la température et l'éclairement. 46
Figure III-19: Tension absorbée par la charge lors du changement de la température et éclairement. 46
Figure III-20 : Puissance absorbée par la charge lors du changement de la température et l'éclairement. 47
Figure III-21 : Rapport cyclique lors des changements de la température et l'éclairement..... 47
Figure III-22 : Schéma de block de la commande MPPT (IncCond)..... 47
Figure III-23 : Courant transmis à la charge en fonction de temps. 48
Figure III-24 : Tension transmis à la charge en fonction de temps. 48
Figure III-25 : Puissance transmis à la charge en fonction de temps. 48
Figure III-26 : Rapport cyclique en fonction de temps. 48
Figure III-27 : Changement de l'éclairement en fonction de temps. 49
Figure III-28 : Changement de température en fonction de temps. 49
Figure III-29 : Courant absorbé par la charge lors du changement de la température et l'éclairement. 49
Figure III-30 : Tension absorbée par la charge lors du changement de la température et de l'éclairement. 50
Figure III-31 : Puissance absorbée par la charge lors du changement de la température et de l'éclairement. 50
Figure III-32 : Rapport cyclique lors du changement de la température et de l'éclairement... 50
Figure III-33 : Organigramme de la méthode basée sur le principe de la logique floue..... 51
Figure III-34 : Schéma block de la commande MPPT par logique floue. 51
Figure III-35 : Structure de base de la commande floue. 51
Figure III-36 : Courant transmis à la charge en fonction de temps. 52
Figure III-37 : Tension transmis à la charge en fonction de temps. 52
Figure III-38 : Puissance transmis à la charge en fonction de temps. 52

Figure III-39 : Changement de l'éclairement en fonction de temps. 53
Figure III-40 : Changement de température en fonction de temps. 53
Figure III-41 : Courant absorbé par la charge dans le changement de température et l'éclairement. 53
Figure III-42 : Tension absorbée par la charge dans le changement de température et éclairement. 53
Figure III-43 : Puissance absorbée par la charge dans le changement de température et l'éclairement. 54
Figure III-44 : Rapport cyclique dans les changements de température et l'éclairement. 54
Figure IV- 1: Schéma synoptique du système global. 55
Figure IV- 2: Carte dSpace 1104 [9] 56
Figure IV- 3: Clé USB sous dSpace. 56
Figure IV- 4:Panneau de connexion de la dSpace1104. 56
Figure IV- 5: Leds indiquant les E/S de la dSpace 1104 utilisée. 57
Figure IV- 6: Architecture d'une carte dSpace : cas du DS1104. 57
Figure IV- 7 : Logiciel Control Desk utilisé dans labo. 59
Figure IV- 8: Model de notre carte dSpace à l'ouverture de Matlab. 60
Figure IV- 9: Navigateur de bibliothèque Simulink. 60
Figure IV- 10: Montage Volt-Ampèremètre. 61
Figure IV- 11 : Matérielles utilisés dans notre expérience 62
Figure IV- 12 : Hand Pyranometer 4890.20. 63
Figure IV- 13: Thermomètre ST-613. 63
Figure IV- 14: Résultats d'expérience les caractéristiques (Courant –Tension) du GPV. 65
Figure IV- 15: Résultats d'expérience les caractéristiques (Puissance –Tension) du GPV. 65
Figure IV- 16 : Bloc d'implémentation sous dSpace. 65
Figure IV- 17: Signaux d'implémentation sous Control Desk. 66
Figure IV- 18: Tension d'entrée de panneaux en fonction du temps. 66
Figure IV- 19: Courant d'entrée de panneaux en fonction du temps. 66
Figure IV- 20: Puissance d'entrée de panneaux en fonction du temps. 66
Figure IV- 21: Caractéristique Puissance-Tension : implémentation par dSpace. 67
Figure IV- 22 : Caractéristique Courant-Tension : implémentation par dSpace 67
Figure IV- 23 : Caractéristique Puissance-Tension : Comparaison des trois méthodes de calcul. 67

Figure IV- 24 : Caractéristique Courant-Tension : Comparaison des trois méthodes de calcul. 68
Figure IV- 25: Circuit de puissance du hacheur boost. 68
Figure IV- 26 : Anneau de ferrite bobiné avec du fil de cuivre utilisé. 70
Figure IV- 27 : Modèle de condensateur utilisée. 70
Figure IV- 28 : Montage global du système. 71
Figure IV- 29 : Pence à courant FLUKE I30/I30s. 71
Figure IV- 30: Sonde Différentielle de tension GDP-50. 72
Figure IV- 31 : Signal MLI appliquée sur la mosfet par un rapport cyclique de 0.35. 73
Figure IV- 32: Comparaissant entre la tension d'entrée et tension sortie. 73
Figure IV- 33 : Tension de sortie appliquée sur la charge. 74
Figure IV- 34: Courant de sortie appliquée sur la charge. 74
Figure IV- 35: Puissance de sortie transmise sur la charge. 74
Figure IV- 36 : Effet d'ombrage 74
Figure IV- 37 : Tension absorbée par la charge dans de l'ombrage. 75
Figure IV- 38 : Tension absorbée par la charge lors du changement de la valeur de la charge. 75
Figure IV- 39: Comparaissant de la tension de sortie obtenue par implémentation et par simulation. 75
Figure IV- 40: Comparaissant du courant de sortie obtenu par l'implémentation et par simulation. 76
Figure IV- 41: Comparaissant la puissance de sortie obtenu par implémentation et par simulation. 76

Listes des tableaux

Tableau III. 1: Caractéristiques électriques du module PV en condition de test standard. 37
Tableau III.2 : Cahier de charge pour une charge résistive.....42
Tableau III. 1 : Table des règles pour une commande logique floue.....52
Tableau IV. 1 : Caractéristiques de la carte dSpace 1104.....58
Tableau IV. 2: Caractéristiques électriques du module photovoltaïque ET-M53620.....63
Tableau IV. 1 : Conditions réelles et résultats des mesures.....64
Tableau IV.4: Cahier des charges des composants.....69

Liste des symboles

V_t $\frac{KT}{q}$ potentielle thermique.
I : Le courant fourni par la cellule.
$I_{ph} = I_{sc}.\frac{G}{1000}$: Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).
I_s : Le courant de saturation de la diode.
K : constante de Boltzmann (1,381 .10-23 joule/Kelvin).
q : charge d'électron =1,602 .10-19 C.
n : Le facteur de qualité de diode.
T : La température de cellule en kelvin.
F : Facteur de forme.
$P_{\max}$ (w) : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV.
V_{co} (v) : Tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.
I_{cc} (A) : Intensité de court circuit mesurée aux bornes de la cellule PV.
η : Rendement énergétique.
E : Éclairement (w/m^2).
S : Surface active de la cellule (m^2).
P_m : Puissance maximale mesurée dans les conditions de référence.
V_d : Tension aux bornes de la diode (V).
R_s : Résistance série (Ω).

V_i : est la tension d'entrée
α : le rapport cyclique
f : la fréquence de commutation
C : Condensateur
L : inductance de la bobine
R_{ch} : La résistance de la charge
ΔV_s : variation de la tension admisible
V_s : tension sortie
Ve: tension d'entrée
P_s :la puissance
ΔI_{pv} : la variation du courant de l'inductance
I_e : courant entreé
Abréviations :
PV: Panneau Photovoltaïque.
GPV: Générateur Photovoltaïque.
FF: Facteur de forme.
MPPT: Maximum Power Point Tracking.
P&O: Perturbation et Observation.
DC: Courant Continu (Direct Current).
AC: Courant Alternatif (Alternative Current).
MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor
IC : Conductance Incrémentée « Incremental Conductance »
*FLC :*Contrôleur avec la logique floue «Fuzzy Logic Controller »
*MLI ou PWM :*Modulation de Largeur d'Impulsions « Pulse Width Modulation »
DC : Direct current
NB : Negative Big.

NS : Negative Small.
ZE : Zero Egal.
PS : Positive Small.
PB : Positive Big.
NM : Negative Means.
PM : Positive Means.

Introduction générale

La consommation mondiale d'énergie ne cesse de croître, posant des questions cruciales sur le problème du réchauffement de la planète dû aux gaz à effet de serre d'une part et sur l'épuisement des ressources fossiles d'autre part. Suite à cette prise de conscience, un développement économique respectueux de l'environnement s'avère absolument nécessaire. En vue de rendre l'approvisionnement en électricité plus écologique, de nouvelles sources d'énergies dites « énergies renouvelables » ont émergé. C'est un groupe important de sources qui dépendent directement du rayonnement énergétique du soleil.

Les énergies renouvelables, telles que l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique sont des énergies issues du soleil qui se constituent ou se reconstituent plus rapidement qu'elles ne sont utilisées et peuvent être exploitées de manière autogérée (puisqu'elles peuvent être utilisés dans le même lieu où elles sont produites)[24]. Ces dernières représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement.

Un générateur photovoltaïque délivre une tension et un courant proportionnels aux changements de la température et de l'éclairement solaire, la puissance qui en résulte en est elle aussi dépendante. Il faut aussi savoir qu'à chaque variation de ces paramètres, il existe un point où la puissance délivrée par le PV est maximale, il faut donc traquer en permanence ce point, quand l'éclairement change, afin de tirer le maximum de puissance du PV.

Notre travail concerne l'implémentation en temps réel d'un système photovoltaïque sur carte dSpace donc de pouvoir étudier réaliser et enfin commandé un convertisseur boost avec la commande MPPT (perturbation et observation) implémentée sur une carte dSpace, afin de pouvoir tirer le maximum de puissance du système photovoltaïque.

Le document présenté est rédigé en quatre chapitres, principaux résumés comme suit :

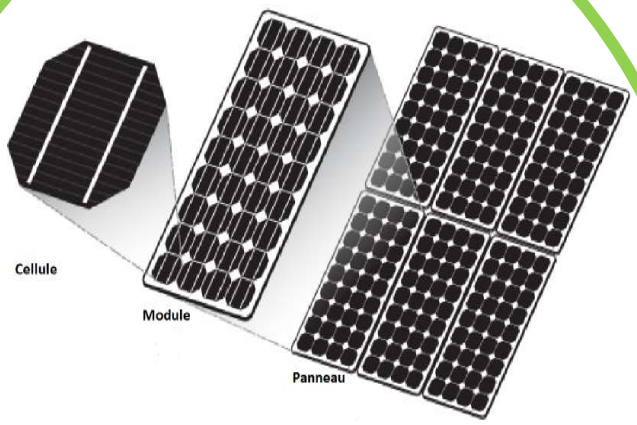
- Dans le premier chapitre, nous allons présenter des généralités sur la technologie photovoltaïque en commençant par le principe de l'effet photovoltaïque, les différents types des cellules PV et l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement.
- Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les différents types des convertisseurs statiques (DC- DC) utilisé dans le système photovoltaïque et leur

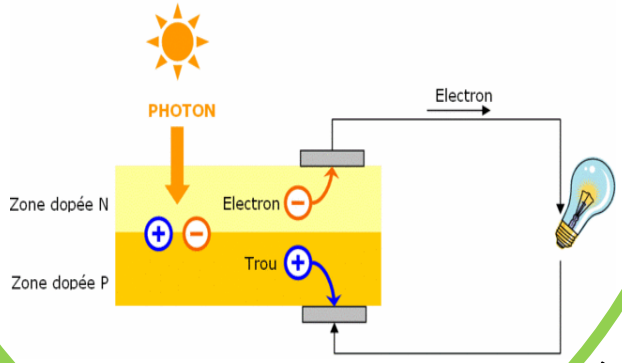
principe du fonctionnement. Ensuite, nous allons traiter les commandes MPPT les plus utilisées et les principes de ces méthodes.

- Pour le troisième chapitre, nous allons faire la modélisation et la simulation d'un système PV qui se compose d'un générateur photovoltaïque, un contrôleur MPPT (Différentes méthodes ont été utilisées : P&O, Incond et FLC), un convertisseur statique (DC-DC) et une charge.
- Dans le dernier chapitre nous allons présenter les différents éléments du hacheur boost que nous avons réalisé, puis nous allons implémenter la méthode de commande perturbation et observation (P&O) sous dSpace.

Chapitre I

Notion générale sur les systèmes photovoltaïques.





Chapitre I
Notion générale sur les systèmes photovoltaïques.

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale.

Dans ce chapitre, nous commencerons par la définition de l'énergie solaire puis la construction des cellules photovoltaïques et leur effet ainsi que leur principe de fonctionnement. Puis nous présentons les différents types des cellules photovoltaïques, enfin les principaux caractéristiques d'un module photovoltaïque.

I.2 L'énergie solaire

Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon deux procédés qui sont présentée dans la figure. I.1 :

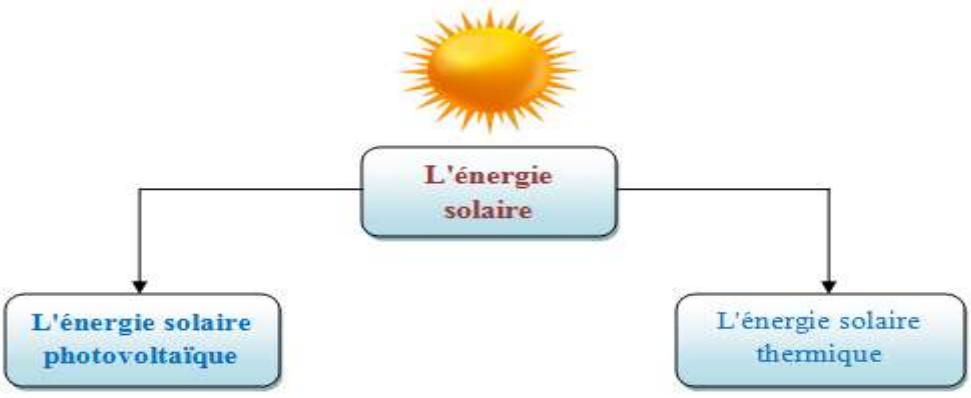


Figure I-1 : Procédé d'utilisation de l'énergie solaire.

I.2.1 L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable permettant la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire, en énergie électrique à courant continu grâce à une cellule photovoltaïque [1].



Figure I-2 : Panneaux photovoltaïque.

I.2.2 L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique : Consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.



Figure I-3 : Panneaux sombres pour la production de la chaleur.

I.3 La cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un capteur constitué d'un matériau semi-conducteur (par exemple le silicium) absorbant l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique [5].

I.3.1 L'effet photovoltaïque

La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique [1].

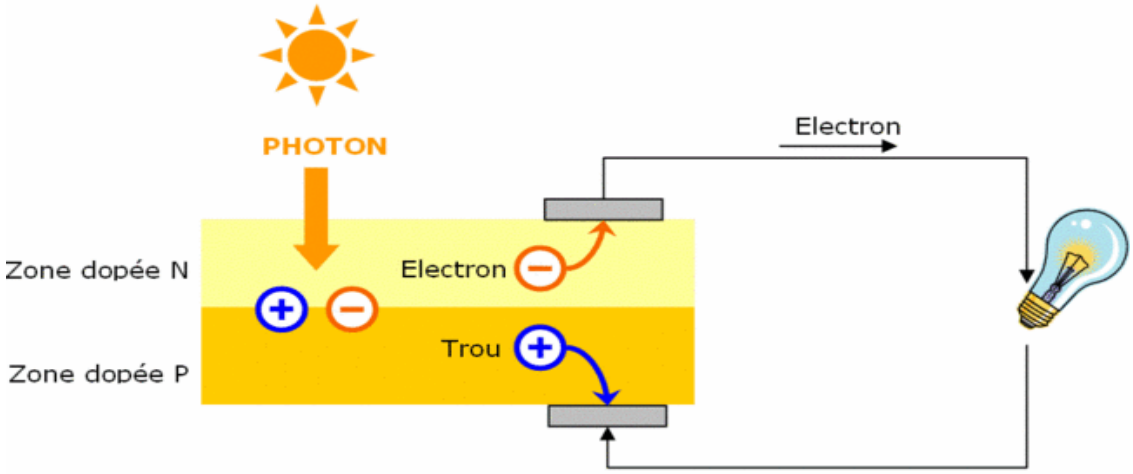


Figure I-4 : L'effet de la conversion photovoltaïque.

I.3.2 Les différents types des cellules photovoltaïques

Il existe différents types des cellules solaires ou cellules photovoltaïques, quelque soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent [5].

Les types des cellules solaires sont présentées dans la figure. I.5 :

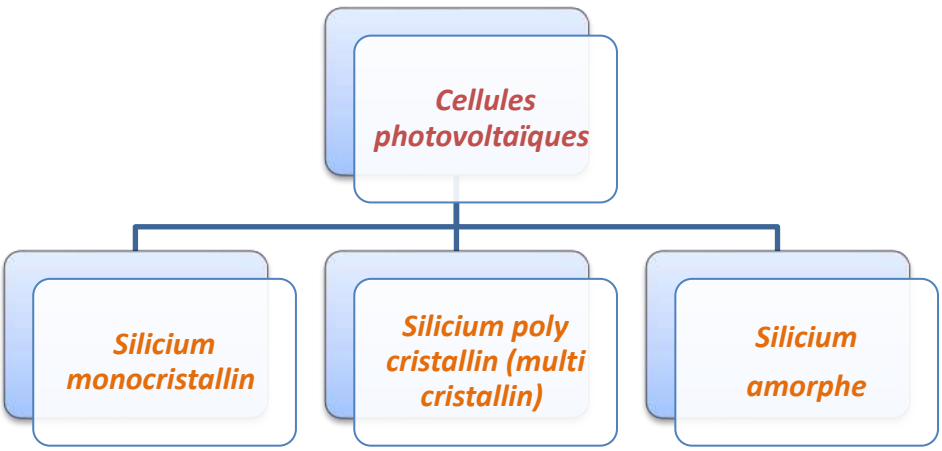


Figure I-5 : Organigramme des différents types des cellules photovoltaïques.

I.3.2.1 Silicium monocristallin

Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques [5]. Les panneaux à cellules monocristallines ont un bon rendement de 12% à 18%, coût élevé, avec une durée de vie 20 à 30 ans.



Figure I-6 : Silicium monocristallin.

I.3.2.2 Silicium poly cristallin (multi cristallin)

Les cellules poly cristallin Sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Elles ont un rendement de 11 à 15% [5] mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines Durée de vie : 20 à 30 ans.

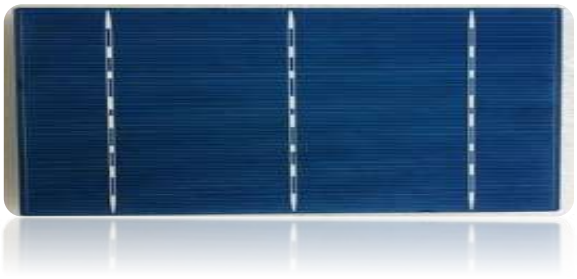


Figure I-7 : Silicium poly cristallin.

I.3.2.3 Silicium amorphe

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. Rendement faible en plein soleil, de 6% à 8%. Le problème c'est que son rendement 2 à 3 fois plus faible que les cellules monocristallines [5]



Figure I-8 : Silicium amorphe.

I.3.3 Influence de l'éclairement

Les figures (I.9 et I.10) présentent respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la photopile simulée sous une température de référence de 25 °C et sous divers niveaux d'éclairements.

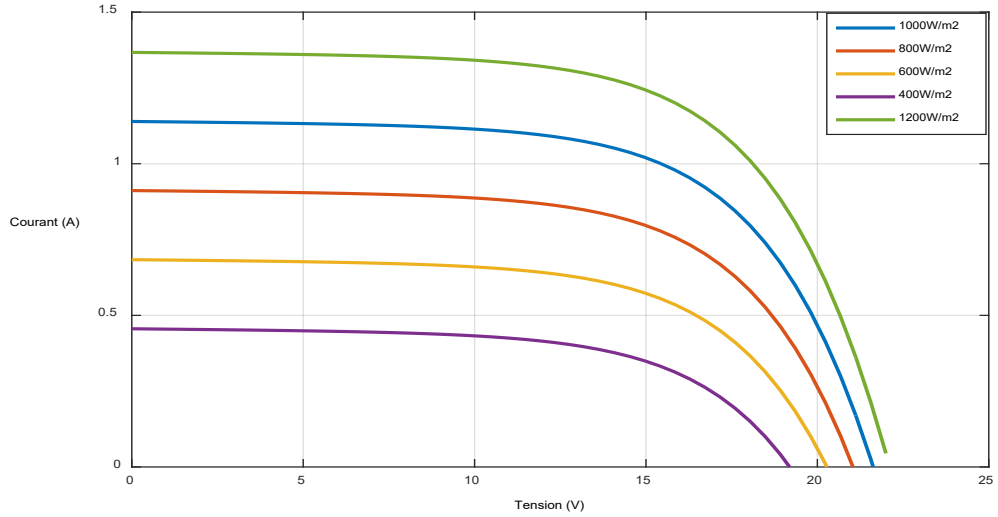


Figure I-9 : Caractéristique I=f(V) en fonction de variation de l'éclairement.

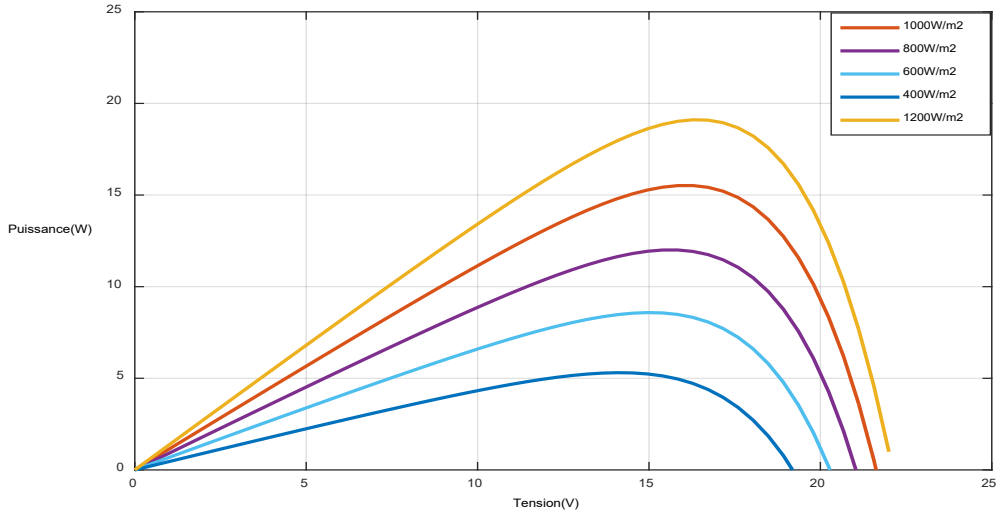


Figure I-10 : Caractéristique P=f(V) en fonction de variation de l'éclairement.

On remarque que la tension du circuit ouvert V_{co} reste très peu changée en faisant varier l'éclairement G, par contre le courant du court-circuit I_{cc} varie beaucoup en augmentant l'éclairement ce qui engendre une augmentation de la puissance photovoltaïque.

I.3.4 Influence de la température

Les figures (I.11 et I.12) illustrent respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la photopile simulée sous un éclairement de 1000 W/m² et différentes températures.

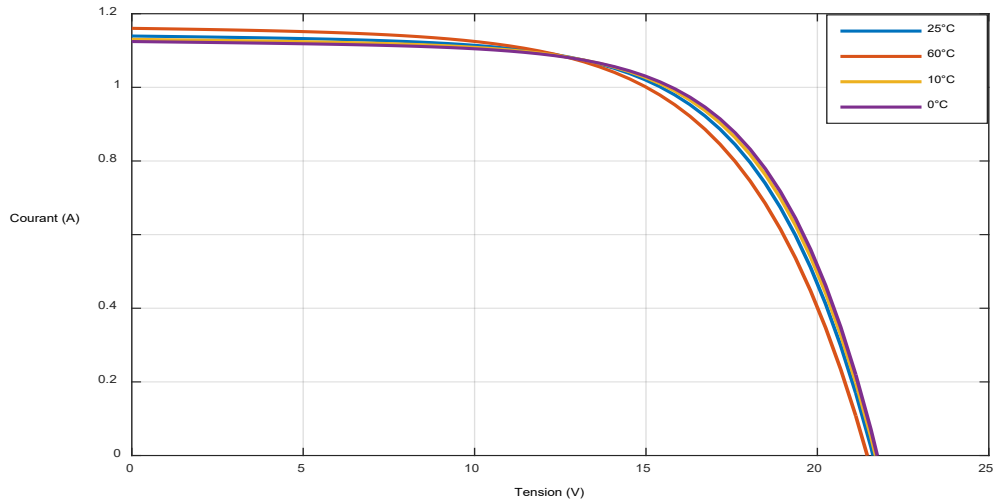


Figure I-11 : Caractéristique I=f(V) en fonction de variation de la température.

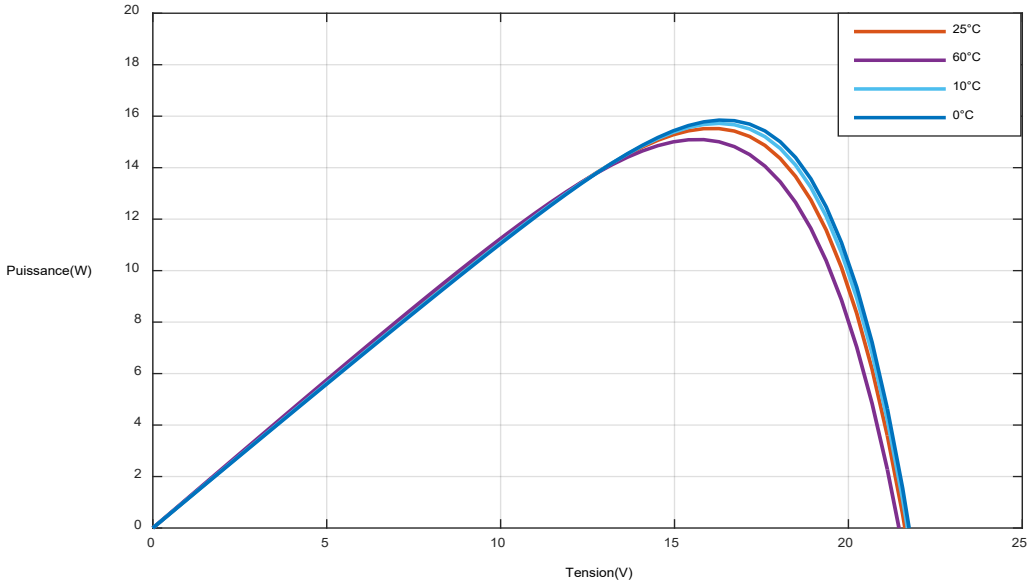


Figure I-12 : Caractéristique P=f(V) en fonction de variation de la température.

On remarque que le courant du court-circuit I_{cc} reste très peu sensible à la variation de la température mais la tension du circuit ouvert V_{co} diminue en augmentant la température ce qui cause une diminution de la puissance à la sortie de la photopile.

I.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Il existe plusieurs modèles électriques caractérisant le fonctionnement de la cellule photovoltaïque

I.4.1 Cellule photovoltaïque idéal

La cellule sera modélisée par une source du courant I_{ph} en parallèle avec une diode et pour optimiser la modélisation de quelques phénomènes au niveau de la cellule, le modèle comme le montre la figure I.13 [4].

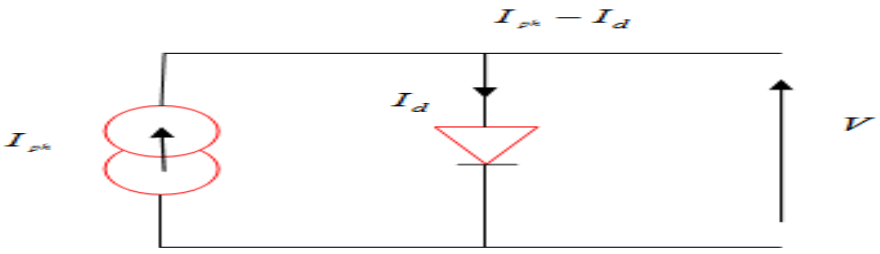


Figure I-13 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal.[4]

d'après la loi de nœuds:

$$I = I_{ph} - I_d \tag{I.1}$$

Pour un générateur PV idéel, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V = V_d \tag{I.2}$$

Si la caractéristique de la jonction est de la forme :

$$I = I_s\left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1\right) \tag{I.3}$$

Avec :

I_s : Le courant de saturation inverse de la diode.

V_d : La tension à la borne de la diode.

V_t : $\dfrac{KT}{q}$ Potentielle thermique.

Donc la relation (I.1) sera :

$$I = I_{ph} - I_s\left(e^{\frac{qv}{kT}} - 1\right) \quad \textbf{(I.4)}$$

La tension V est donnée par :

$$V = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_{ph} + I_s}{I_s} - I\right) \quad \textbf{(I.5)}$$

I.4.2 Cellule photovoltaïque réelle

C'est un modèle semblable au modèle simplifié. Comme le montre la figure I.14**,** une source de courant et une diode en parallèle avec une résistance en série, mais dans ce modèle une résistance shunt R_{sh} est ajoutée ayant une grande influence sur le courant généré par le modèle et qui est proche du courant d'une cellule réelle. Physiquement, la résistance shunt sert à la modélisation des pertes autour de la jonction dues aux impuretés et sur les coins de la cellule [4]

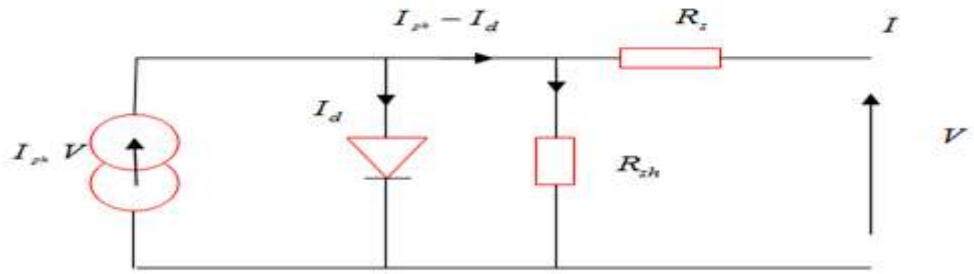


Figure I-14 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel [4].

Ce modèle est le plus utilisé dans de nombreuses recherches grâce à son comportement qui est plus proche à une cellule PV par rapport au modèle à résistance série (simplifié) d'une part, et sa simplicité pour le calcul mathématique.[4]

$$I(v) = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad \textbf{(I.6)}$$

$$I_{sh} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad \textbf{(I.7)}$$

$$I_d = I_s.(e^{\frac{V+R_s I}{nVt}} - 1) \quad \textbf{(I.8)}$$

Avec :

I : Le courant fourni par la cellule.

$I_{ph} = I_{sc}.\frac{G}{1000}$: Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

I_s : Le courant de saturation de la diode.

K : Constante de Boltzmann (1,381 .10-23 joule/Kelvin).

q : Charge d'électron =1,602 .10-19 C.

n : Le facteur de qualité de diode.

T : La température de cellule en kelvin.

Donc (I.6) sera :

$$I = I_{ph} - I_s(e^{\frac{V+R_sI}{nVt}} - 1) - \frac{V+R_s}{R_{sh}} \qquad \textbf{(I.9)}$$

I.5 Les paramètres photovoltaïques

Ces paramètres sont caractérisés par ceux des modules constituants le champ photovoltaïque, Les paramètres photovoltaïques présentés dans la figure. I.5 :

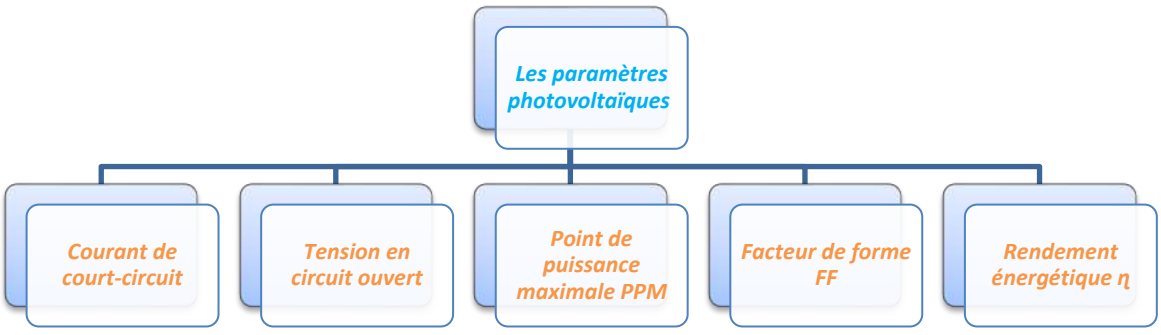


Figure I-15 : Organigramme des paramètres photovoltaïques.

I.5.1 Courant de court-circuit

Courant de court-circuit (I_{cc}), le courant maximum de la cellule ou du module à zéro volts Courant varie proportionnellement avec le rayonnement solaire, mais dans les fiches techniques est généralement donné pour $1000W/m^2$ [6]. En annulant la tension V dans l'équation (I.9), on obtient:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_s(e^{\frac{R_s I_{cc}}{nVt}} - 1) - \frac{R_s I_{cc}}{R_{sh}} \qquad \textbf{(I.10)}$$

I.5.2 Tension en circuit ouvert V_{co}

Tension à circuit ouvert (V_{co}), la tension maximale de la cellule ou du module, connecté à une source de tension résistance infinie, sans courant. La tension d'une cellule solaire varie inversement avec la température [6].

I.5.3 Point de puissance maximale PPM

Il existe un point de fonctionnement (V_{opt}, I_{opt}) où la puissance fournie est maximale ($P_m = V_{opt}.I_{opt}$). C'est le point de puissance maximale du panneau. Il est indiqué en watts(W)[9], les caractéristiques I-V, P-V présentés dans les figures I.16, I.17 avec le point de puissance maximale

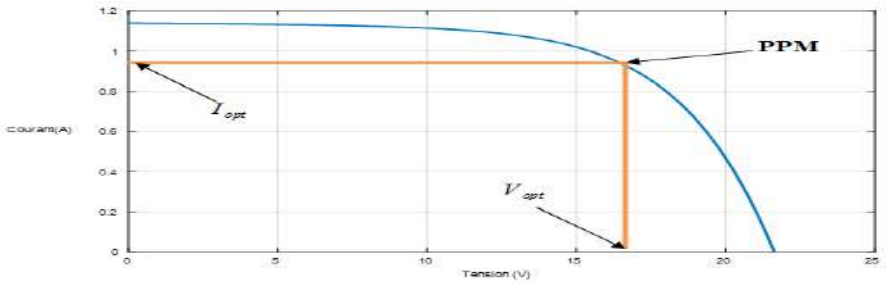


Figure I-16 : Caractéristique courant-tension.

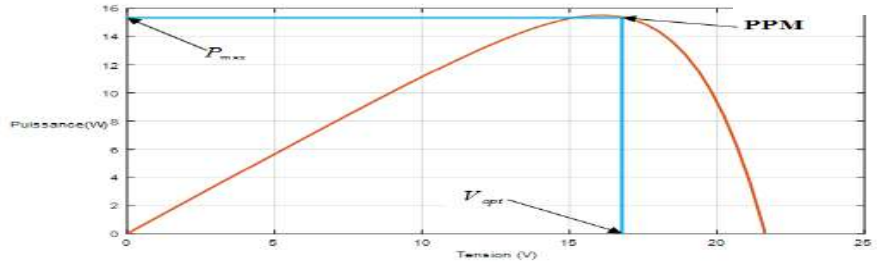


Figure I-17 : Caractéristique puissance-tension.

La puissance maximale d'une cellule photovoltaïque éclairée est la grandeur essentielle pour évaluer sa performance; elle est donnée par la relation :

$$P_m = V_{opt} . I_{opt} \quad \textbf{(I.11)}$$

I.5.4 Facteur de forme FF

Il présente une notion sur la qualité du panneau et sa valeur se trouve normalement entre 0,7 et 0,8. [9]

$$F = \frac{P_{\max}}{V_{co} . I_{cc}} \quad \textbf{(I.12)}$$

Avec :

F : Facteur de forme.

$P_{\max}$ (w) : Puissance mesurée aux bornes de la cellule PV.

V_{co} (v) : Tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

I_{cc} (A) : Intensité de court circuit mesurée aux bornes de la cellule PV.

I.5.5 Rendement énergétique η

Le rendement correspond au rapport entre la puissance électrique effectivement délivrée par les cellules PV et la quantité d'énergie solaire reçue. Le rendement caractérisant le taux de conversion photons-électrons d'un panneau solaire photovoltaïque [7]

$$\eta = \frac{P_m}{E . S} \quad \textbf{(I.13)}$$

η : Rendement énergétique.

E : Éclairement (w / m^2).

S : Surface active de la cellule (m^2).

P_m : Puissance maximale mesurée dans les conditions de référence.

I.6 Regroupement des cellules

Il existe déférentes regroupement des cellules qui sont montrés dans la figure. I.18 :

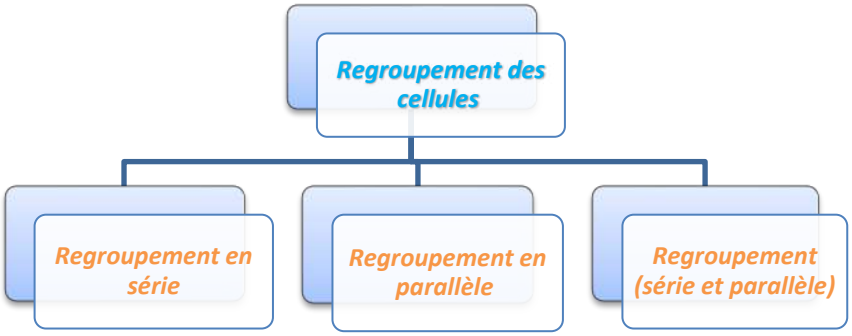


Figure I-18 : Organigramme Regroupement des cellules photovoltaïques.

I.6.1 Regroupement en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La figure montre la caractéristique résultante (I_{scc} , V_{sco}) obtenue en associant en série ns cellules identiques.

$$I_{scc} = I_{cc} \tag{I.14}$$

$$V_{sco} = n_s . V_{co} \tag{I.15}$$

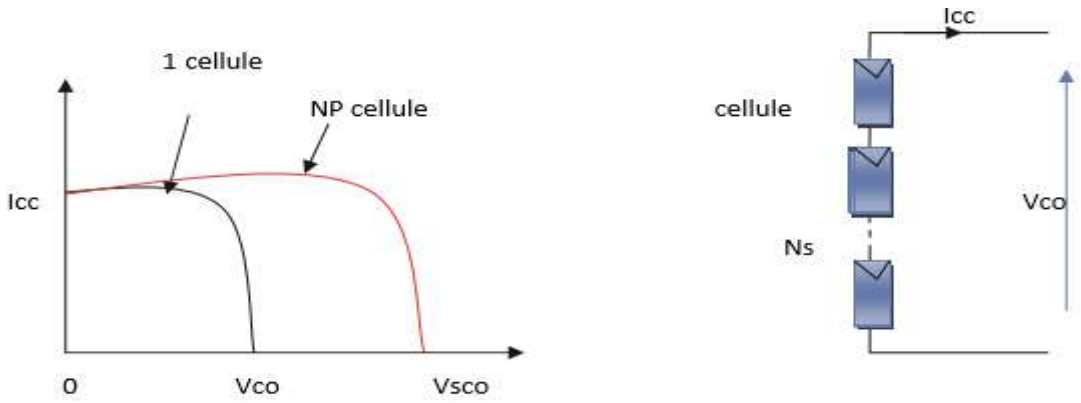


Figure I-19: Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques.[5]

I.6.2 Regroupement en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont

soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure (I.19**)** montre la caractéristique résultante

(I_{pcc} , V_{pco}) Obtenue en associant en parallèle (indice p) n_p cellules identiques [8]

$$V_{pco} = V_{co} \tag{I.16}$$

$$I_{pcc} = n_p . I_{cc} \tag{I.17}$$

$$I(v) = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{I.18}$$

$$I(v) = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{q[V+R_s I]}{KT}} - 1 \right) - \frac{V + R_s}{R_{sh}} \tag{I.19}$$

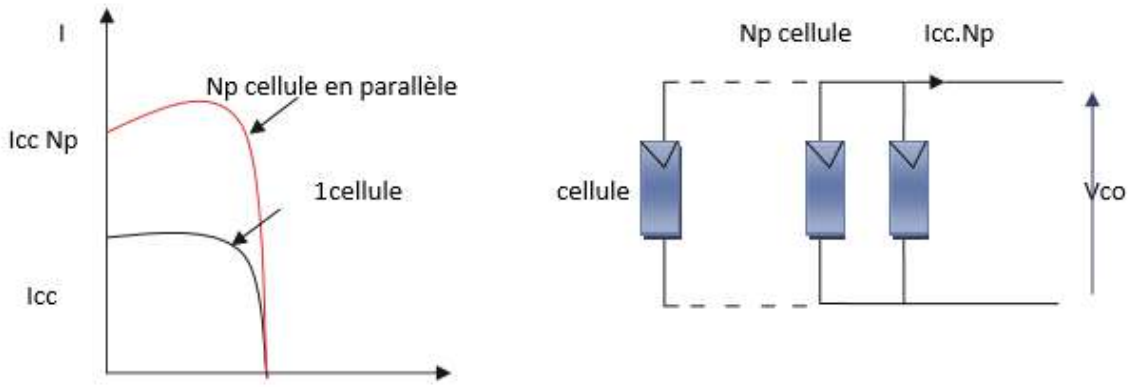


Figure I-20: Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle.[5]

I.6.3 Regroupement (série et parallèle) :

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations [8]

$$I_{cc}^{t} = N_p . I_{cc} \tag{I.20}$$

$$V_{co}^{t} = N_S . V_{co} \tag{I.21}$$

Il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque [6].

I.7 Panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques. Parfois, les panneaux sont aussi appelés modules photovoltaïques. [1]

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce qui fait qu'on aura besoin de boite de dérivation qui les regroupe, Alors cette boite de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie. [5]

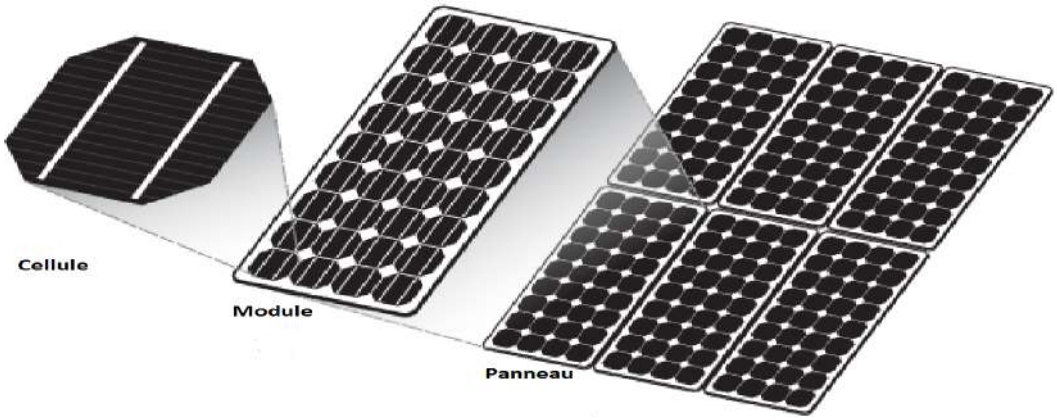


Figure I-21: Constitution d'un générateur photovoltaïque.

I.8 Les composants d'un système photovoltaïque

I.8.1 Système photovoltaïque isolé (autonome)

En site isolé le champ photovoltaïque peut fournir l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation et une batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil [5].Il existe trois architectures plus courantes des systèmes PV autonomes avec stockage d'énergie alimentant à la fois des charges DC et AC.

I.8.1.1 Couplage DC

Dans le cas d'un couplage DC, tous les consommateurs et générateurs sont exclusivement couplés aux batteries côté tension (figure I.22). En associant un petit onduleur à l'installation, l'utilisateur peut également raccorder des consommateurs AC classiques à son système DC. [11]

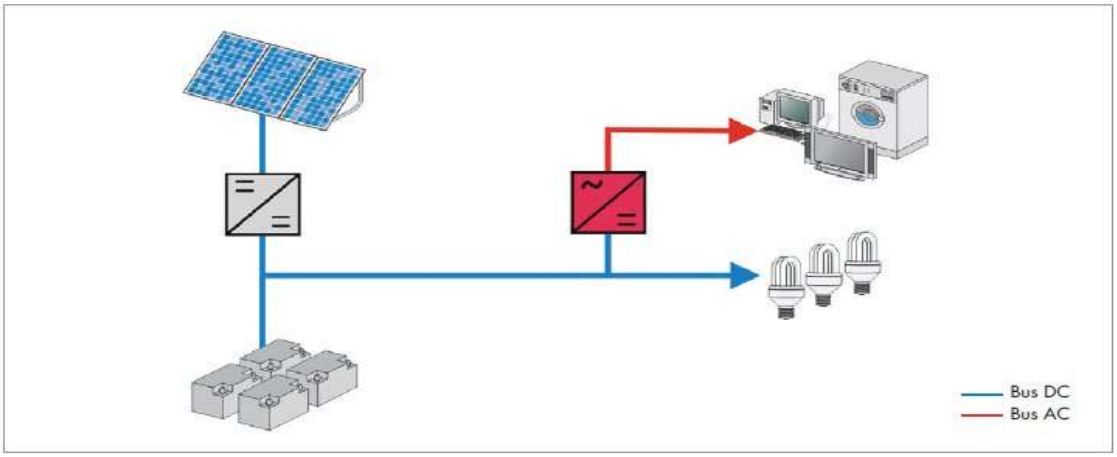


Figure I-22: Installation solaire résidentielle pouvant fournir du courant alternatif.[11]

I.8.1.2 Systèmes mixtes DC/AC

Les systèmes mixtes DC/AC permettent notamment de coupler des consommateurs AC de puissance moyenne avec des générateurs DC. Les batteries peuvent ainsi être simultanément chargées côté DC par l'intermédiaire d'un groupe électrogène (figure I.23). [11]

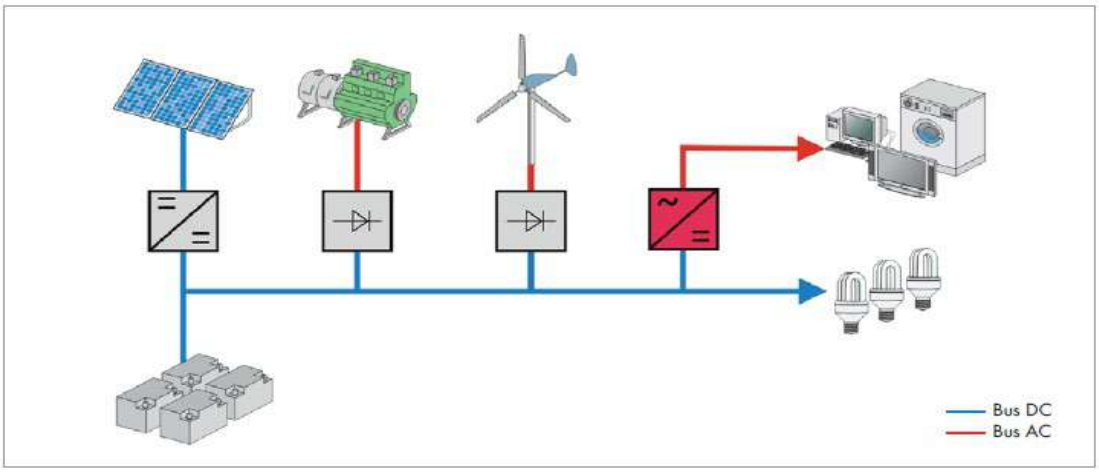


Figure I-23: Système hybride avec composants à couplage DC.[11]

I.8.1.3 Couplage AC

Le couplage de tous les consommateurs et générateurs côté AC (figure I.24) offre un avantage décisif : les systèmes peuvent être mis en œuvre et complétés de façon souple et modulaire, à l'aide de composants standard. Les installations à couplage AC peuvent alimenter des consommateurs à courant alternatif classiques. Elles sont donc particulièrement adaptées aux zones rurales des pays en voie de développement et des pays émergents. [11]

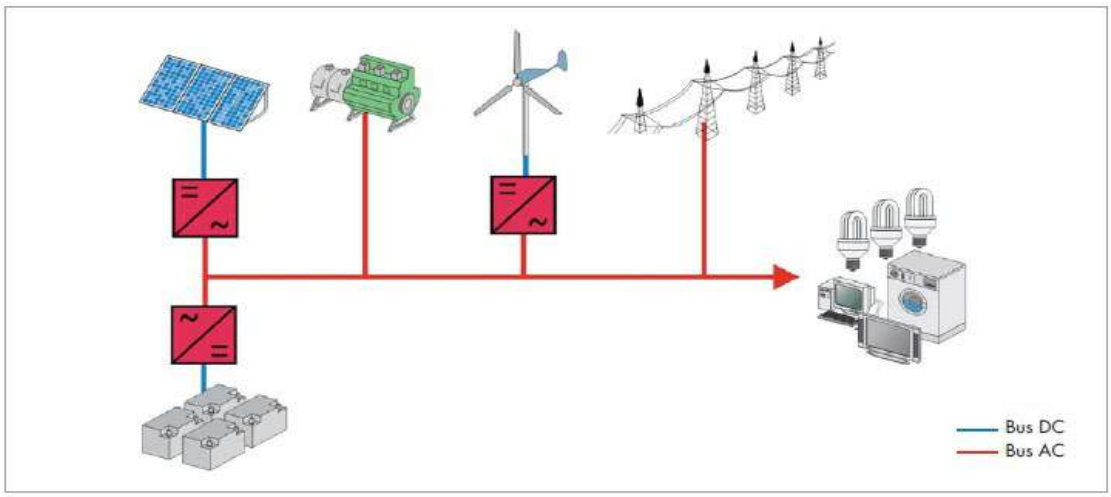


Figure I-24: Système hybride avec composants à couplage AC.[11]

I.8.1.4 Fonctionnement

Raccordés à un parc de batteries, les onduleurs pour site isolé tels que le Sunny Island forment le réseau AC du système. Ils assurent la régulation de la tension et de la fréquence côté AC. Des consommateurs ainsi que des générateurs sont directement reliés au réseau AC. En cas d'excédent d'énergie (par exemple un fort rayonnement solaire et une faible consommation), [11] l'onduleur prélève de l'énergie dans le réseau AC afin de charger les batteries.

La figure I.26 présente le rendement énergétique photovoltaïque et demande des consommateurs.

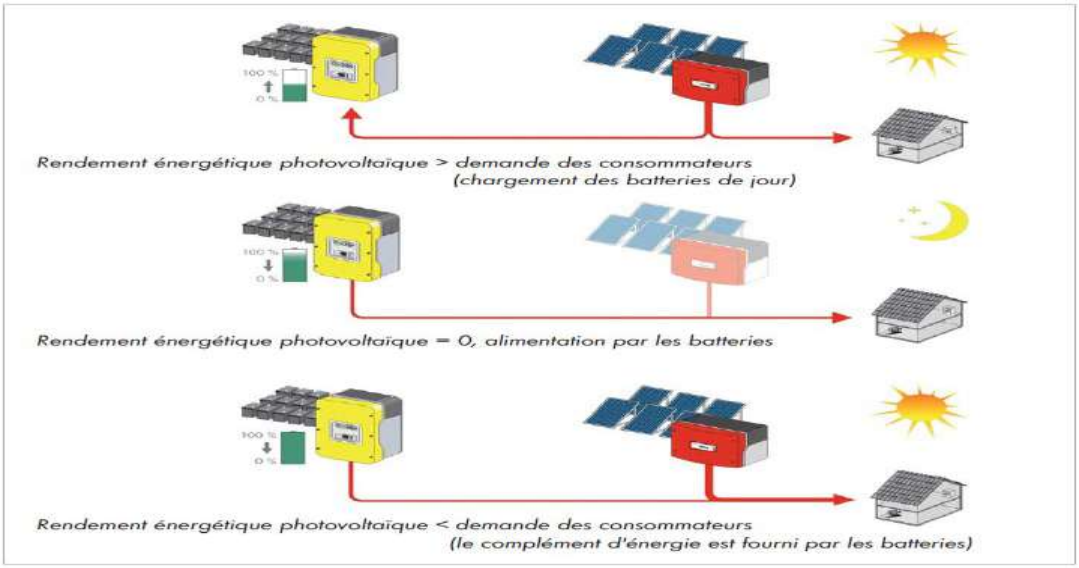


Figure I-25: Rendement énergétique photovoltaïque et demande des consommateurs.[11]

I.8.2 Système Photovoltaïque connectés aux réseaux

Les systèmes raccordés au réseau permettent de réduire la consommation d'électricité provenant du service public et, dans certains cas, de lui renvoyer l'énergie excédentaire. Dans certains cas, le service public pourrait vous créditer l'énergie retournée au réseau. Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins d'avoir besoin d'une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. [7]

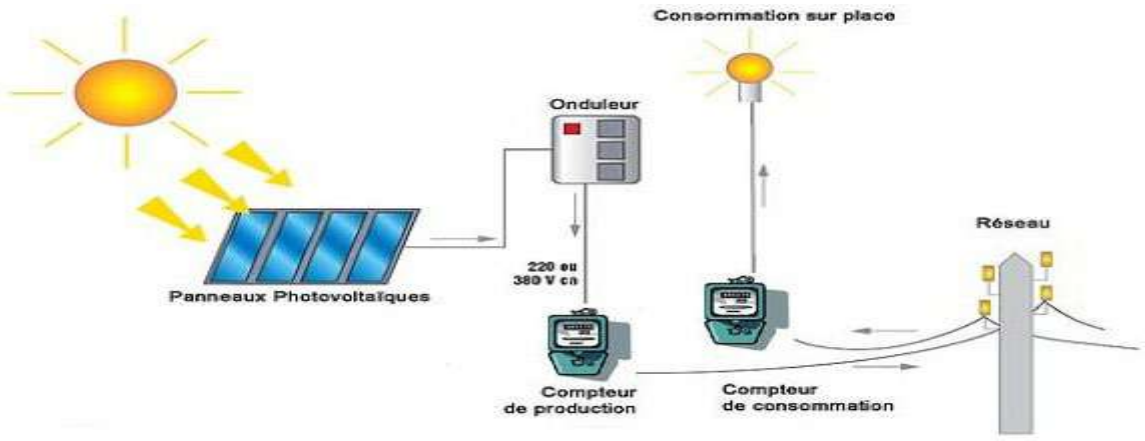


Figure I-26: Système photovoltaïque relié au réseau.

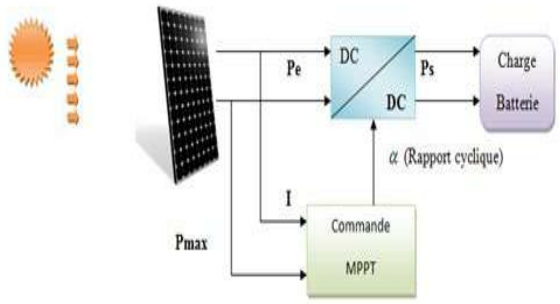
L'installation photovoltaïque se compose de modules PV, générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu), un ou plusieurs onduleurs convertissent le courant continu produit en courant alternatif à 50 Hz et 220 V selon le choix retenu, tout ou partie de la production est injecté sur le réseau public, et le reste est consommé par le producteur. Lorsque la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit de l'électricité nécessaire.

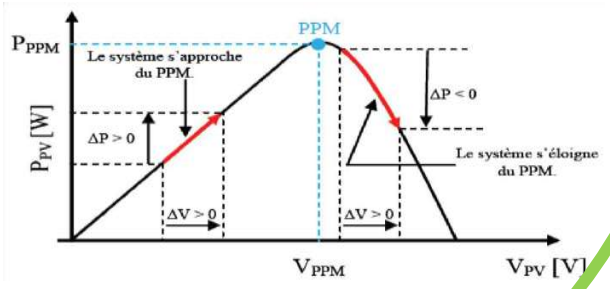
I.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les principales caractéristiques et les technologiques d'un générateur PV. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres, ainsi nous avons montré l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement de la cellule et aussi l'installation des systèmes Photovoltaïques (autonome et interconnecté).Pour le fonctionnement optimal d'un système photovoltaïque, il est nécessaire d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV c'est ce qu'on va voir dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Conversions et commandes d'optimisation des systèmes photovoltaïques.





Chapitre II
Conversions et commandes d'optimisation des systèmes photovoltaïques.

II.1 Introduction

Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, un suiveur de point de puissance maximale « Maximum Power Point Tracking» définition du mot (MPPT) est utilisé. C'est une commande essentielle pour le fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Dans le domaine de la conversion d'énergie, la commande MPPT contrôle le convertisseur DC-DC assurant l'interface de puissance du générateur photovoltaïque et la charge.

Dans ce chapitre nous allons présenter différents types de convertisseurs DC-DC et leur avantages, Les différentes méthodes de commandes MPPT, leurs principes de fonctionnement, les avantages et les inconvénients de ces techniques.

II.2 Les convertisseurs DC-DC (les hacheurs)

Les convertisseurs DC/DC en général réalisent deux fonctions: modifier le niveau de tension élever ou abaisser et réguler la tension. Elles sont utilisées dans de nombreuses applications, par exemple : transformer le 24V de la batterie d'un camion en 12V pour alimenter une radio fonctionnant à 12V. [12]

Les différents types des convertisseurs DC-DC présentés sur la Figure II.1 :

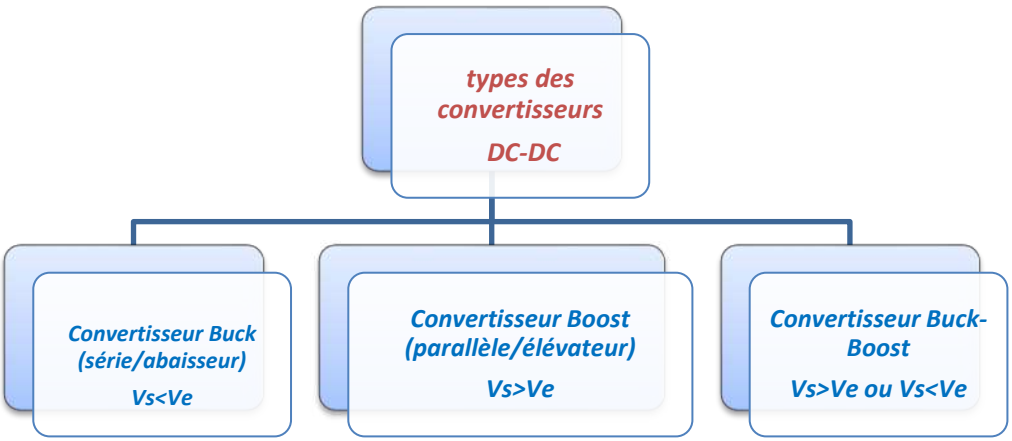


Figure II-1: Organigramme des différents types des convertisseurs DC-DC.

Les éléments de circuit conventionnels mis à disposition du concepteur en électronique de puissance sont présentés sur la Figure II.2 :

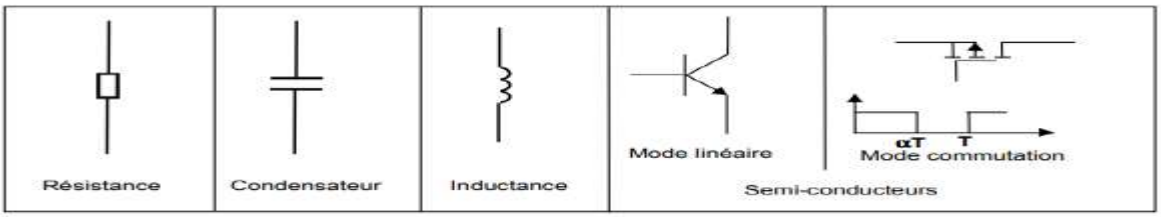
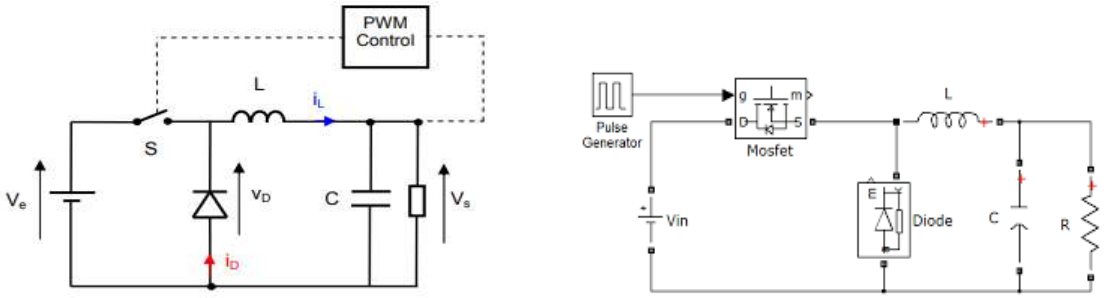


Figure II-2: Eléments de circuit disponibles pour la conception des convertisseurs. [12]

II.3 Convertisseur Buck (série/abaisseur)

Ce convertisseur permet de convertir la tension d'entrée à une tension de sortie inférieur, Il est composé essentiellement d'un interrupteur S (comme IGBT ou MOSFET) et d'une diode D. L'interrupteur S est commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion (MLI) de période de découpage fixe T_d et de rapport cyclique variable α, [12] La topologie et le schéma bloc avec matlab sont présentés à la figure II.3 :



(a) La topologie. (b) Schéma bloc avec matlab.

Figure II-3: Circuit équivalent du convertisseur DC/DC buck.

$$Vs = \alpha Ve \qquad \textbf{(II.1)}$$

Le cycle de fonctionnement comporte deux étapes dans une période T:

- Lorsque l'interrupteur S est fermé pendant une fraction αT avec : α le rapport cyclique $0 \leq \alpha \leq 1$ la source primaire Ve fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance L et la diode D assure la continuité du courant et la décharge de l'inductance dans la charge.
- Lorsque l'interrupteur S est ouvert la tension moyenne aux bornes de L est nulle, ce qui impose que la tension de sortie Vs est égale à la moyenne de la tension aux bornes de la diode.

La relation entre la tension d'entrée et celle de sortie est la suivante [13]:

$$Vs = \frac{1}{T}\int_{0}^{\alpha T} Ve\, dt = \alpha Ve \qquad \textbf{(II.2)}$$

L'ondulation de courant dans l'inductance:

$$\Delta i_L = \frac{\alpha(1-\alpha)V_e}{L.f} \qquad \textbf{(II.3)}$$

L'ondulation de la tension de sortie:

$$\Delta V_s = \frac{\Delta i_L}{8Cf} = \frac{\alpha(1-\alpha)V_e}{8CLf^2} \qquad \textbf{(II.4)}$$

Le courant moyen traversant l'inductance est égal au courant moyen dans la charge :

$$I_L = I_s \qquad \textbf{(II.5)}$$

Les formes d'ondes en courant dans l'inductance conduction continue de la tension aux bornes de la diode sont représentées sur la Figure II.4 : [13]

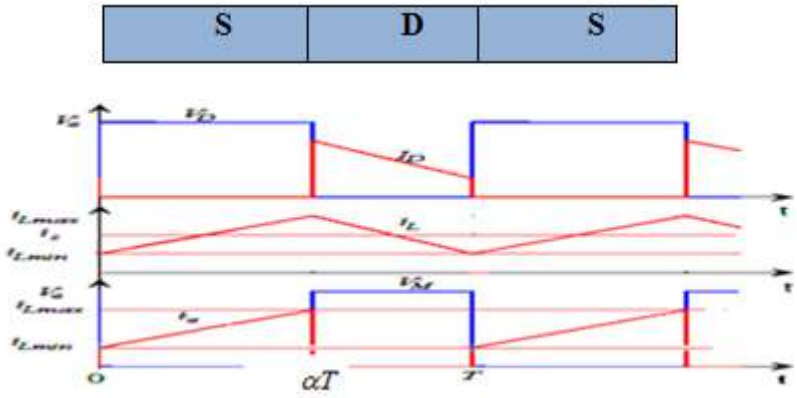


Figure II-4: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur Buck. [13]

La valeur max en tension:

$$V_{s\max} = V_{d\max} = V_e \qquad \textbf{(II.6)}$$

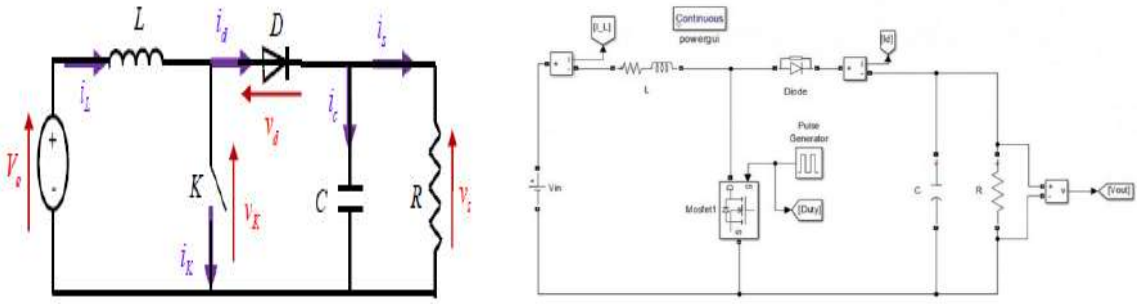
La valeur max en courant :

$$I_{k\max} = I_{d\max} = I_{L\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \qquad \textbf{(II.7)}$$

$I_{s\max}, I_{k\max}$ $I_{L\max}$: Courant de saturation, courant de l'interrupteur et de l'inductance maximal.

II.3.1 Convertisseur Boost (parallèle/élévateur)

Ce convertisseur permet de convertir la tension d'entrée à une tension de sortie supérieure, La topologie et le schéma bloc avec matlab présentées à la figure II.5 : [14]



(a) La topologie (b) Schéma bloc avec matlab

Figure II-5: Circuit équivalent du convertisseur DC/DC boost.

Le cycle de fonctionnement comporte deux étapes dans une période T quand K est fermé et D ouvert ; et quand K est ouvert, et D fermé:

- L'interrupteur k commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion (MLI) de période de découpage fixe T et de rapport cyclique variable α. K est fermé de l'instant 0 à αT et ouvert de αT à T. On distingue deux modes de fonctionnement selon que le courant dans l'inductance s'annule (conduction discontinue) ou pas (conduction continue) [14].

La figure II.6 donne le schéma de principe de ce convertisseur et les intervalles de conduction:

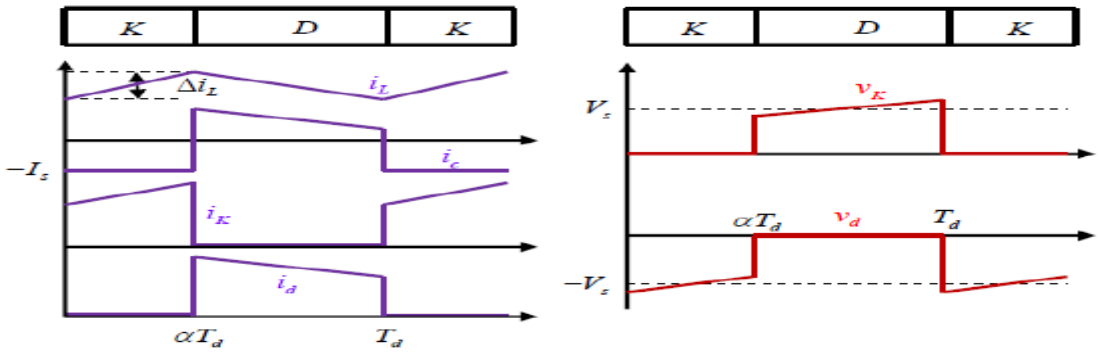


Figure II-6: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur boost [14]

Lorsque l'interrupteur K est fermé le circuit du convertisseur devient (Figure II.7):

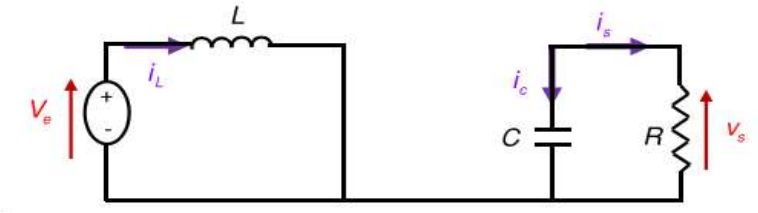


Figure II-7: Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est fermé [14]

Lorsque $0 \text{ p } t \text{ p } \alpha T$:

$$L\frac{di_L}{dt} = Ve \tag{II.8}$$

$$I_L = I_{\min} + \frac{V_e}{L}t \tag{II.9}$$

A l'instant $t = \alpha T$:

$$I_{\max} = I_{\min} + \frac{V_e}{L}\alpha T_d \tag{II.10}$$

Lorsque l'interrupteur K est ouvert le circuit du convertisseur sera comme montré dans la Figure II.8 :

Lorsque $\alpha T < t < T$:

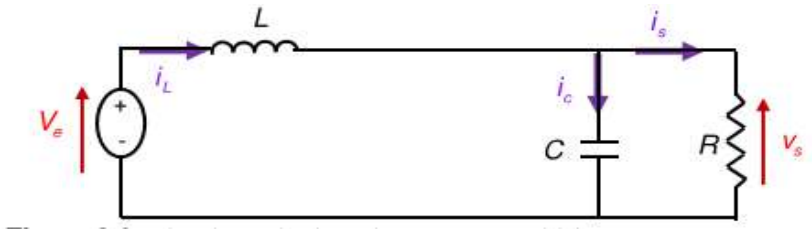


Figure II-8: Circuit équivalent du Boost quand l'interrupteur est ouvert. [14]

$$L\frac{di_L}{dt} = V_e - V_s \tag{II.11}$$

$$I_L = I_{\max} + \frac{V_e - V_s}{L}(t - \alpha T_d) \tag{II.12}$$

A l'instant $t = T$, le courant dans l'inductance revient à sa valeur minimale:

$$I_{\min} = I_{\max} + \frac{V_e - V_s}{L}(1-\alpha)T \tag{II.13}$$

En faisant l'égalité des valeurs de l'ondulation du courant tirées des équations (II.13) et (II.10), on peut déduire la valeur moyenne de la tension de sortie:

$$V_s = \frac{1}{1-\alpha} V_e \qquad \textbf{(II.14)}$$

La valeur moyenne du courant dans l'inductance:

$$I_L = \frac{1}{1-\alpha} Is \qquad \textbf{(II.15)}$$

L'ondulation de courant dans l'inductance :

$$\Delta I_L = \frac{\alpha V_e}{L} T_d = \frac{\alpha V_e}{Lf} \qquad \textbf{(II.16)}$$

L'ondulation de la tension de sortie peut être exprimée par:

$$\Delta V_s = \frac{\alpha I_s}{C.f} = \frac{\alpha Ve}{(1-\alpha)RCf} \qquad \textbf{(II.17)}$$

La valeur max en courant:

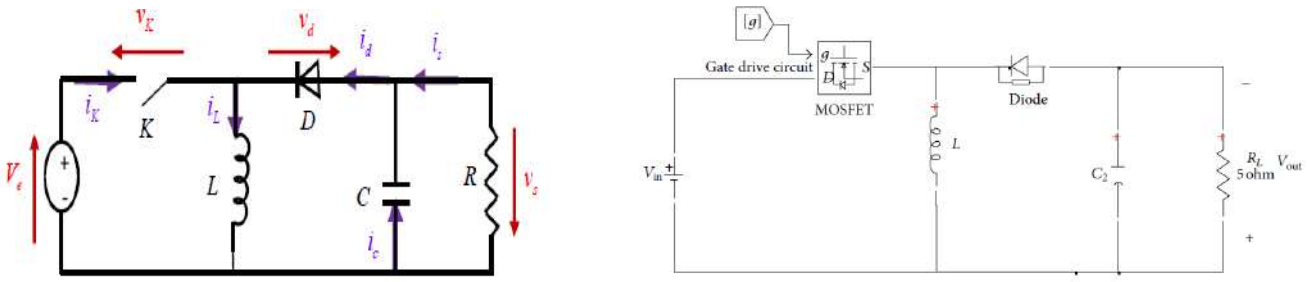
$$I_{K\max} = I_{d\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{I_s}{1-\alpha} + \frac{\Delta i_L}{2} \qquad \textbf{(II.18)}$$

La valeur max en tension:

$$V_{k\max} = V_{d\max} = V_{s\max} = V_s + \frac{\Delta V_S}{2} = \frac{V_e}{1-\alpha} + \frac{\Delta V_s}{2} \qquad \textbf{(II.19)}$$

II.3.2 Convertisseur Buck-Boost

Ce convertisseur statique permet d'avoir une tension continue variable supérieure ou inférieure à la tension d'entrée qui est fixe. [14] La topologie et le schéma bloc avec matlab présentées à la figure II.9:



(a) La topologie. **(b)** schéma bloc avec matlab.

Figure II-9: Circuit équivalent du convertisseur DC/DC buck-boost.

La tension de sortie moyenne est donnée par:

$$V_s = \frac{\alpha V_e}{1-\alpha} \quad \textbf{(II.20)}$$

L'ondulation de courant dans l'inductance est donnée par :

$$\Delta I_L = \frac{\alpha V_e}{1-\alpha} \quad \textbf{(II.21)}$$

L'ondulation de la tension de sortie:

$$\Delta V_s = \frac{\alpha I_s}{Cf} = \frac{\alpha^2 V_e}{(1-\alpha)RCf} \quad \textbf{(II.22)}$$

Les formes d'ondes de courant et de tension obtenues de ce convertisseur sont présentées à la figure II.10:

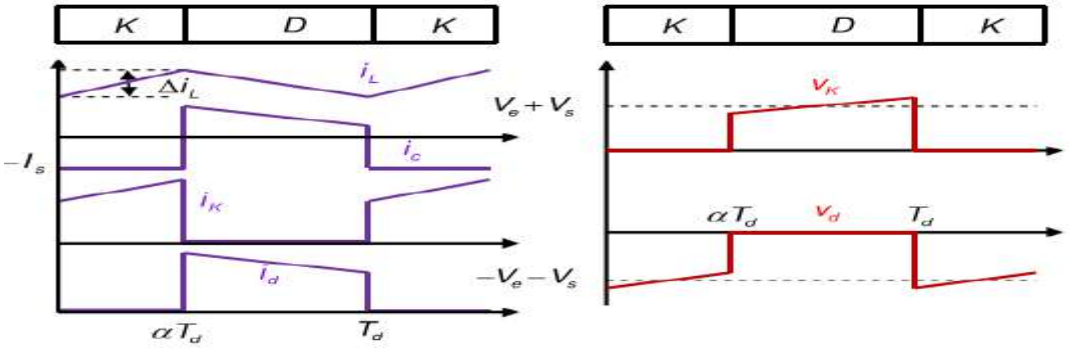


Figure II-10: Formes d'ondes des courants et tensions du convertisseur buck- boost.[14]

La valeur max en courant:

$$I_{K\max} = I_{d\max} = I_{L\max} = \frac{I_s}{1-\alpha} + \frac{\Delta i_L}{2} \quad \textbf{(II.23)}$$

La valeur max en tension :

$$V_{k\max} = V_{d\max} = V_{s\max} + V_e = \frac{V_e}{1-\alpha} + \frac{\Delta V_s}{2} \quad \textbf{(II.24)}$$

II.4 Les commandes MPPT

Un MPPT « Maximum Power Point Tracking » est un mot anglais qui indique le point de puissance maximale d'un générateur électrique permettant de piloter le convertisseur statique reliant la charge et le panneau photovoltaïque pour fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant.

La figure II.11 suivante montre le schéma de principe d'un système photovoltaïque contrôlé par le MPPT:

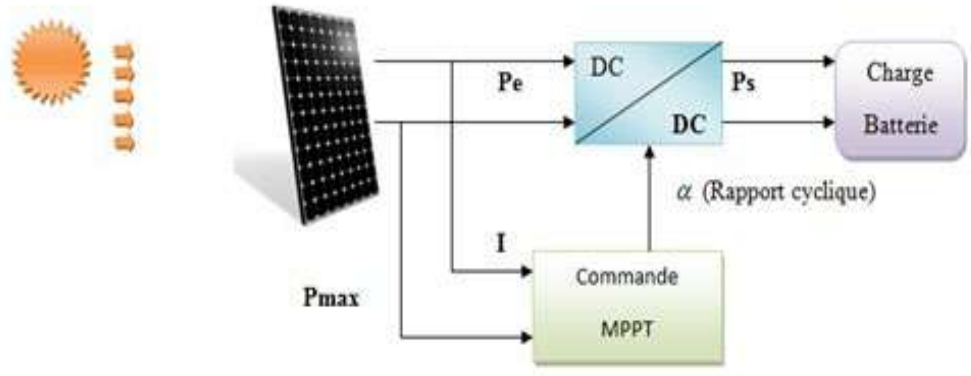


Figure II-11: Schéma de principe d'un système photovoltaïque contrôlé par le MPPT.

II.4.1 Les différentes méthodes de commandes MPPT

Il existe différents types d'algorithmes MPPT, des commandes MPPT à algorithmes performants: Méthode perturbation et observation (P&O), hill climbing et l'incrément de conductance (IncCond), des commandes sont basés 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}), les commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue. [19]

Les différentes méthodes de commandes MPPT présentés sur la figure II.12 :

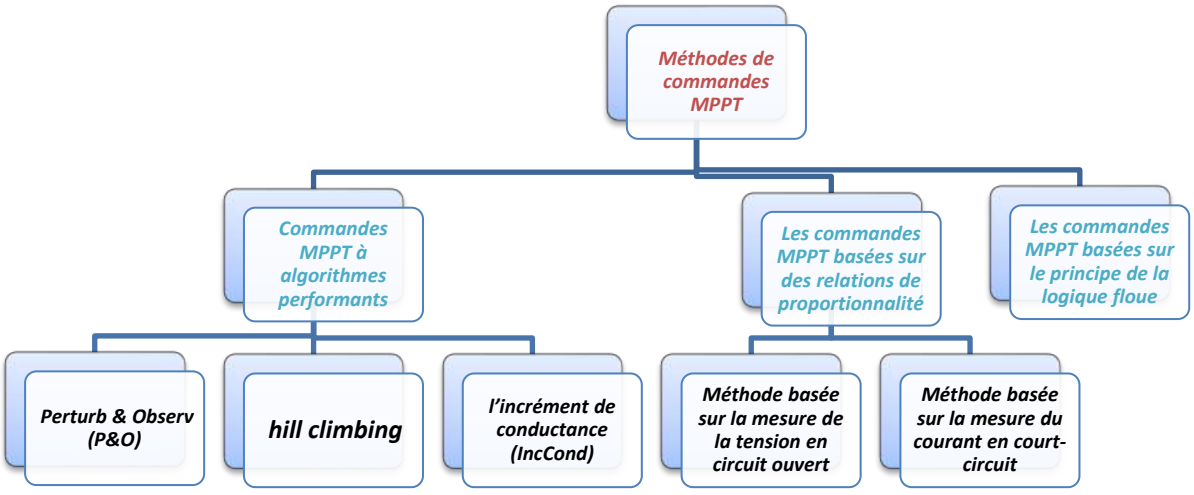


Figure II-12: Organigramme des différentes méthodes de commandes MPPT.

II.4.1.1 Méthode perturbation et observation (P&O)

La méthode perturbation et observation (P&O) est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT, pour obtenir le point de puissance maximum de Module PV [15], même lors des variations de l'éclairement et la température [16], elle fonctionne avec la perturbation de la tension V_{PV} , on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM.

La figure II.13 donne la caractéristique puissance tension d'un panneau photovoltaïque [14] :

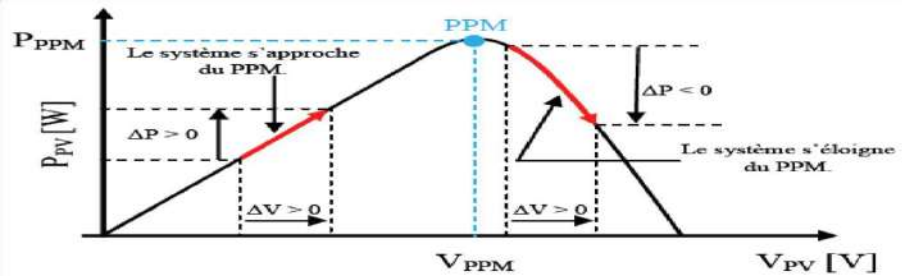


Figure II-13: Caractéristique puissance tension d'un panneau photovoltaïque.[14]

L'algorithme P&O est représenté à la Figure II.14. A chaque cycle, V(k) et I (k) sont mesurés pour calculer P(k) pour les panneaux photovoltaïques. Cette valeur de P (k) est comparée à la valeur P (k-1) calculée au cycle précédent, a comme avantage la précision et la rapidité de réaction. [14]

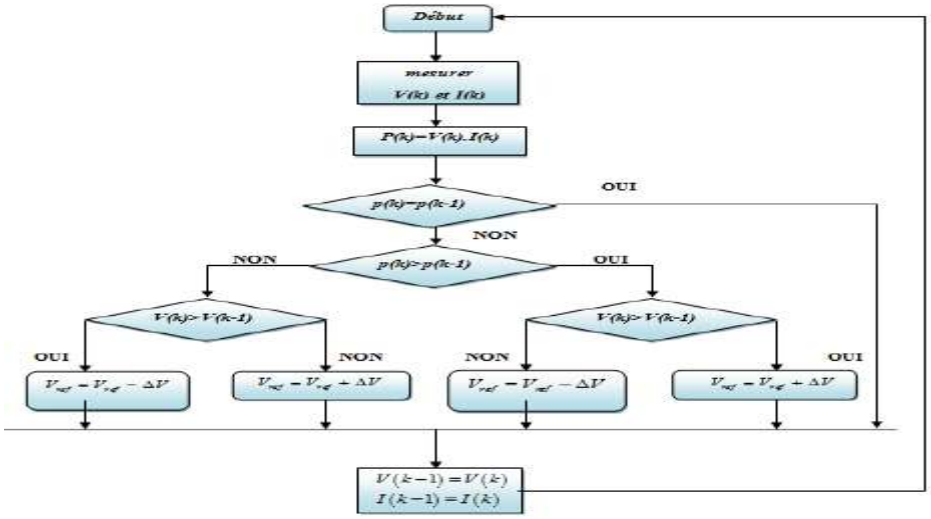


Figure II-14: Organigramme de la méthode P&O.

Le problème avec cet algorithme est la mauvaise convergence de l'algorithme dans le cas des variations brusques de la température et /ou de l'ensoleillement [14].

Ce processus continu jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement où il revient au vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance.

II.4.1.2 Méthode Hill climbing

La technique de contrôle nommée Hill Climbing est une méthode mathématique d'optimisation, consistant à faire « monter » le point de fonctionnement le long de la caractéristique du générateur présentant un maximum. Pour cela, deux pentes sont possibles [14]. Cette méthode est basée sur la relation entre la puissance du panneau et la valeur du rapport cyclique appliqué au convertisseur statique, le PPM est atteint lorsque $\frac{dP_{pv}}{d\alpha}$ est forcé à zéro par la commande, comme le montre la figure (II.15) :

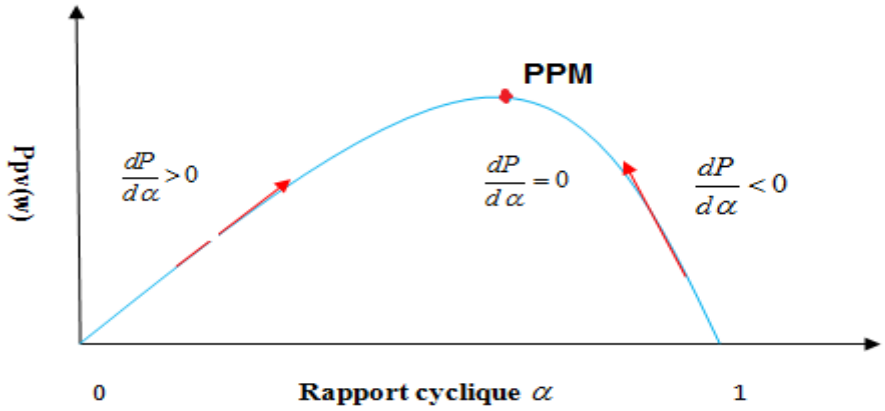


Figure II-15: Principe de la méthode HC.

L'algorithme de cette méthode est illustré sur la figure II.16. La variable signe correspond à une variable qui prend la valeur «1» ou «-1» suivant la direction que l'on doit donner à la recherche pour augmenter la puissance en sortie du panneau, Une fois le PPM atteint, le système oscille autour de ce dernier indéfiniment rejoignant alors les compromis à faire entre rapidité et précision comme la méthode précédente et les pertes liées à ces oscillations [16]. α et PPV représentent respectivement le rapport cyclique et la puissance du générateur, a symbolise la variable d'incrément du rapport cyclique.

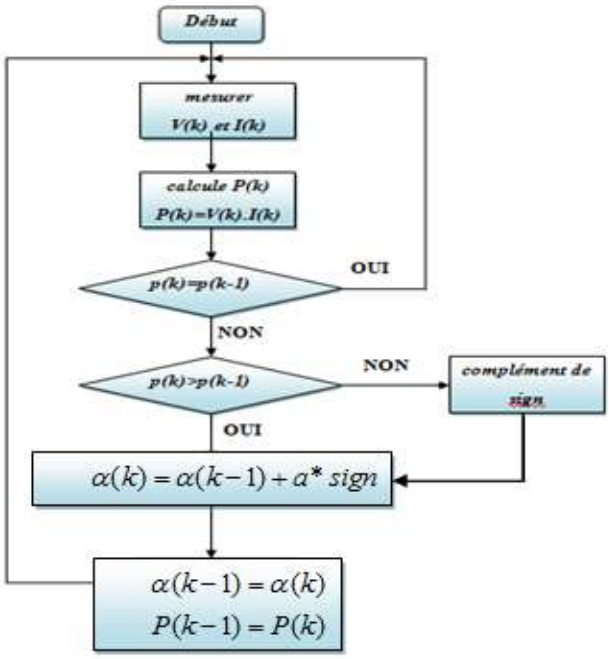


Figure II-16: Algorithme de la méthode Hill climbing.

L'avantage de cette dernière technique est qu'elle est simple à mettre en œuvre. Par contre elle possède les mêmes inconvénients que la méthode P&O : retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance, et la mauvaise convergence de l'algorithme dans le cas des variations brusques de la température et/ou d'ensoleillement.

II.4.1.3 Méthode incrément des conductances (IncCond)

L'algorithme d'incrémentation de la conductance est basé sur le fait que le point de puissance maximale (MPP) n'est atteint que si $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ est nulle [10]. Cette technique est basée sur la variation de la conductance du GPV et son influence sur la position du point de fonctionnement. La conductance et la variation élémentaire de la conductance (incrément) du module photovoltaïque sont définies respectivement par [14] :

$$\frac{dP}{dV} = V\,\frac{dI}{dV} + I \approx V\,\frac{\Delta I}{\Delta V} + I \qquad \textbf{(II.25)}$$

$$\Delta G = \frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} \qquad \textbf{(II.26)}$$

La puissance maximale est obtenue lorsque la dérivée de la puissance du GPV par rapport à la tension s'annule:

$$\frac{dP}{dV} = V\frac{dI}{dV} + I \approx V\frac{\Delta I}{\Delta V} + I \qquad \textbf{(II.27)}$$

Trois positions du PF peuvent être distinguées sur la figure II.17 suivant les valeurs de la conductance et l'incrément de la conductance:

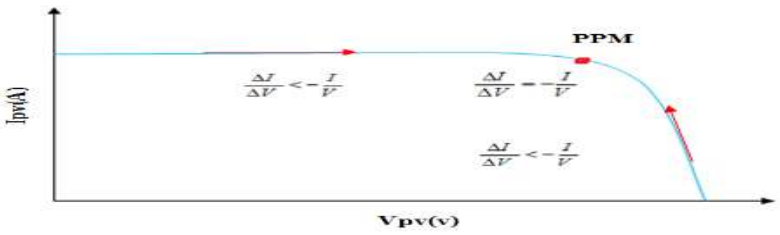


Figure II-17: Caractéristique de fonctionnement de la méthode IncCond.

Les caractéristiques puissance-tension du GPV, permet d'écrire les conditions suivantes :

- Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \Rightarrow \frac{dI_{pv}}{dv_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$: Le point de fonctionnement est sur le PPM.
- Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0 \Rightarrow \frac{dI_{pv}}{dv_{pv}} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$: Le point de fonctionnement est à gauche du PPM.
- Si $\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0 \Rightarrow \frac{dI_{pv}}{dv_{pv}} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$: Le point de fonctionnement est à droite du PPM.

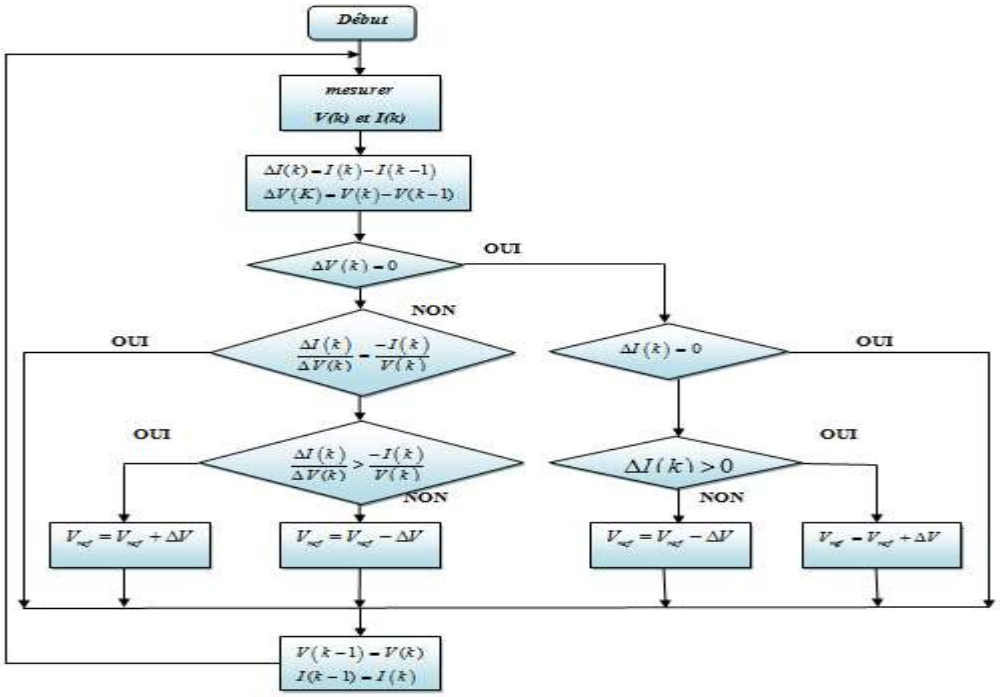


Figure II-18: Organigramme de la méthode IncCond.

L'avantage de cet algorithme (figure II.18) est la précision et la vitesse de recherche du PPM quand les conditions atmosphériques changent rapidement. Ceci peut être un remède au problème de l'algorithme P&O [14].

II.4.1.4 Méthode basée sur la mesure du courant en court-circuit

Cette technique est basée sur la relation linéaire entre le courant de court-circuit et le courant optimal donné par l'équation suivante [17]:

$$I_{PM} = k_2 . I_{CC} \qquad \textbf{(II.28)}$$

Avec k_2 est un facteur de courant dépendant des caractéristiques de la cellule PV et qui varie entre 0.85 et 0.92.

La figure (II.19) présente l'organigramme de l'algorithme de la méthode basée sur la mesure du courant en court-circuit :

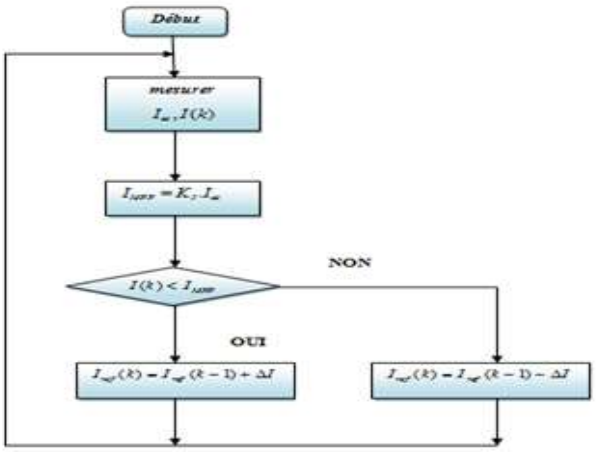


Figure II-19: Organigramme de la méthode basée sur la mesure du courant en court-circuit.

Le point de fonctionnement optimal est obtenu en amenant le courant du panneau au courant optimal, elle possède l'inconvénient de perte d'énergie pendant le temps des courts-circuits nécessaires pour la mesure de la référence, et le courant optimal vaut de 85 à 95 % du courant de court-circuit, donc ce n'est pas vraiment linéaire ce qui implique le manque de précision.

II.4.1.5 Méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert

Cet algorithme est basé sur la relation linéaire entre la tension de circuit ouvert et la tension optimale donnée par l'équation suivante [17]:

$$V_{ppm} = K_v V_{co} \quad \textbf{(II.29)}$$

K_v est un facteur de tension dépendant des caractéristiques de la cellule PV et qui varie entre 0.73 et 0.8. [17]

Le processus permet d'agir cycliquement sur le rapport cyclique pour atteindre la tension optimale [8]. La figure (II.20) présente l'organigramme de l'algorithme FCO.

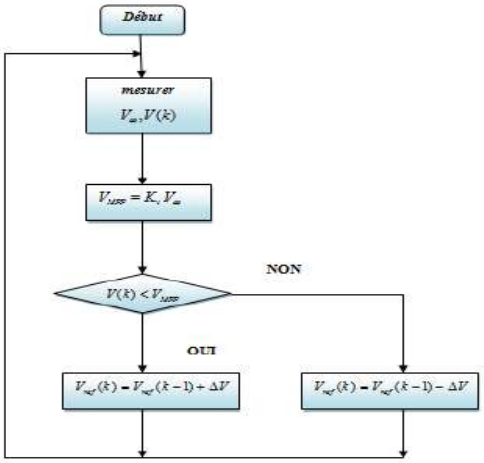


Figure II-20: Organigramme de la méthode basée sur la mesure de la tension en circuit ouvert.

L'inconvénient de cette technique est qu'il est nécessaire d'effectuer la mesure de V_{co} de temps en temps [14]. 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.4.1.1 Les commandes MPPT basées sur le principe de la logique floue

Les commandes basées sur la logique floue sont de plus en plus populaires grâce à l'évolution des microcontrôleurs, Le principe d'une des technique de commande floue se base sur deux variables d'entrées qui sont l'erreur E et le changement d'erreur CE et une variable de sortie ΔD (variation du rapport cyclique).

Le Schéma bloc de l'algorithme à base de la logique floue est présenté dans la figure (II.21) :

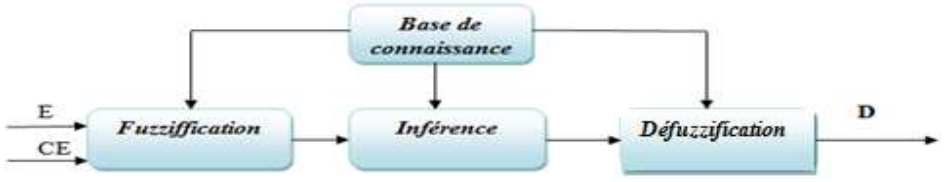


Figure II-21: Organigramme de la méthode basée sur le principe de la logique floue.

La synthèse du régulateur passe par un ensemble de quatre étapes conventionnelles fuzzification, bases de connaissance, inférence floue et défuzzification [18], Durant la fuzzification, les variables d'entrées numériques sont converties en variables linguistiques pouvant prendre les cinq valeurs suivantes :

NB : Negative Big.

NS : Negative Small.

ZE : Zero Egal.

PS : Positive Small.

PB : Positive Big.

Comme le montre la structure de base de la commande logique dans la figure (II.22) :

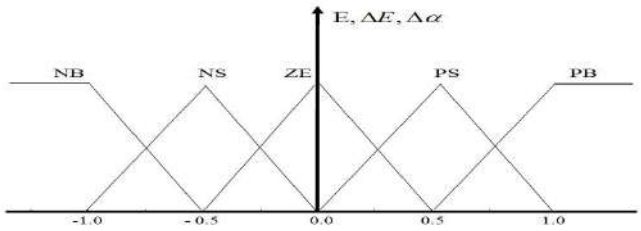


Figure II-22: Structure de base de la commande floue.

L'erreur E et le changement d'erreur CE sont calculés en fonction des valeurs instantanées de la puissance et de la tension comme suit [18] :

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad \textbf{(II.30)}$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad \textbf{(II.31)}$$

En résumé, cette méthode s'avère être performante lors du changement des conditions climatiques, cependant sa précision en statique est fortement liée à la complexité de la table

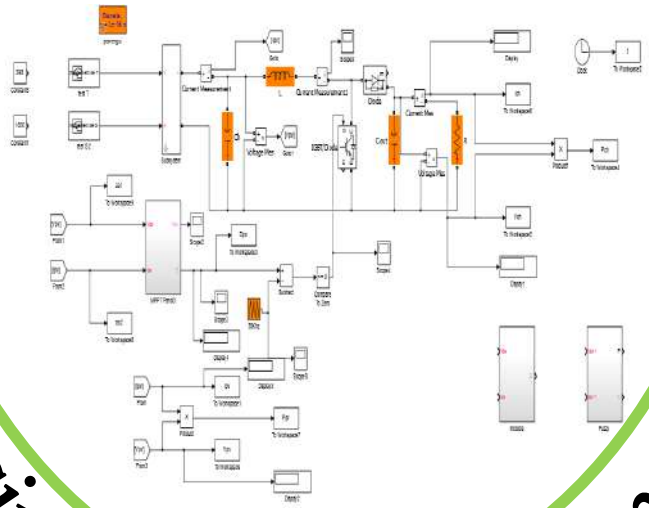
de vérité employée, entraînant la nécessité du choix obligatoire d'un microcontrôleur ayant une grande capacité de calculs tenant compte des nombreuses disparités des paramètres électriques du panneau [19].

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques électriques des convertisseurs statiques convertisseur DC-DC. Différentes topologies de convertisseurs DC/DC ont été comparées Boost, Buck, et Buck/Boost, La structure de type Boost a été adoptée pour sa simplicité et son gain en tension relativement plus élevé. On a détaillé les principes des commandes MPPT les plus couramment utilisées et nous avons présenté les avantages et les inconvénients des ces techniques.

Chapitre III

MATLAB
SIMULINK®



Modélisation et simulation d'un système photovoltaique.

Chapitre III
Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque.

III.1 Introduction

La modélisation est une étape fondamentale qui permet d'introduire un certain nombre de modèles puis d'évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que les paramètres constituants. Dans un système énergétique photovoltaïque, on espère toujours travailler au voisinage du point de puissance maximale MPP.

La simulation sert afin de comprendre le comportement opérationnel de ces composants et les interactions entre eux. Depuis la simulation de la performance d'un système, on peut tracer toutes les étapes de la conversion d'énergie et identifier en détail les pertes à travers le système.

Dans ce chapitre, on va faire la modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque commandé par un convertisseur Boost avec des techniques de commandes MPPT : perturbation et observation(P&O), incrément des conductances (IncCond) et Le principe d'une commande par logique floue.

III.2 Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque:

III.2.1 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

C'est un modèle semblable au modèle simplifié. Comme le montre la figure III.1**,** une source de courant et une diode en parallèle avec une résistance en série, mais dans ce modèle une résistance shunt R_p est ajoutée ayant une grande influence sur le courant généré par le modèle et qui est proche du courant d'une cellule réelle.

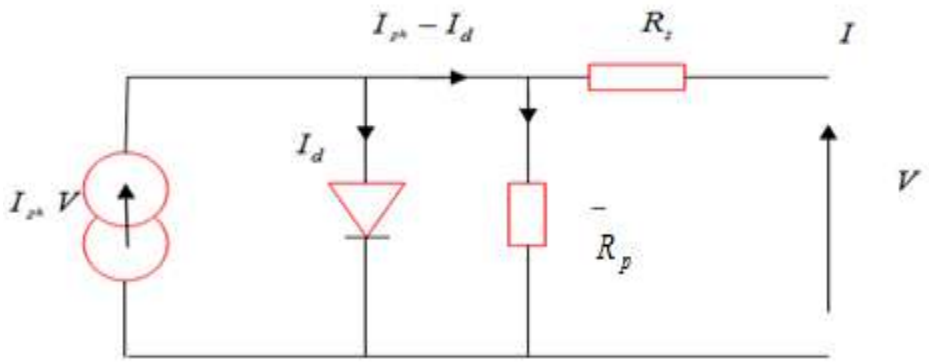


Figure III-1: Circuit électrique équivalent dune cellule photovoltaïque.

La tension V à travers la cellule est réduite à

$$V = V_d - I * R_s \quad \textbf{(III.1)}$$

V_d : Tension aux bornes de la diode (V).

R_s : Résistance série (Ω).

Les équations régissant ce modèle sont :

$$I = I_{ph} - I_P - I_d \quad \textbf{(III.2)}$$

$$I_d = I_s \left[\exp\left(q \frac{V_d}{nkT} \right) - 1 \right] = I_s \left[\exp\left(q \frac{V + R_s * I}{nkT} \right) - 1 \right] \quad \textbf{(III.3)}$$

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} = \frac{V + R_s * I}{R_p} \quad \textbf{(III.4)}$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(q \frac{V + R_s * I}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s * I}{R_p} \quad \textbf{(III.5)}$$

III.2.2 Caractéristique d'une Cellule Photovoltaïque

Dans ce travail, nous avons simulé le module photovoltaïque ET-M53620 possédant les caractéristiques suivantes à 1000 (W/m²) et 25°C.

Tableau III.1: Caractéristiques électriques du module PV en condition de test standard.

Grandeurs	Valeur
- Eclairement standard, E.	**1000 W/m2**
- Température standard, T.	**25° C**
- Puissance crête maximal, Pm.	**20W**
- Tension optimal V_{opt} .	**17.82V**
- Courant optimal I_{opt} .	**1.14A**
- Tension de circuit ouvertV_{co} .	**21.9V**
- Courant de court-circuit I_{cc}	**1.27A**

III.3 Modélisation du système photovoltaïque

La Figure III.2 présente le schéma des blocks de notre système photovoltaïque étudié avec l'ensemble des étages simulés: générateur photovoltaïque, convertisseur statique DC-DC boost et le contrôleur MPPT, Enfin ces sous-ensembles peuvent être combinés pour former un système d'alimentation photovoltaïque complet avec control MPPT.

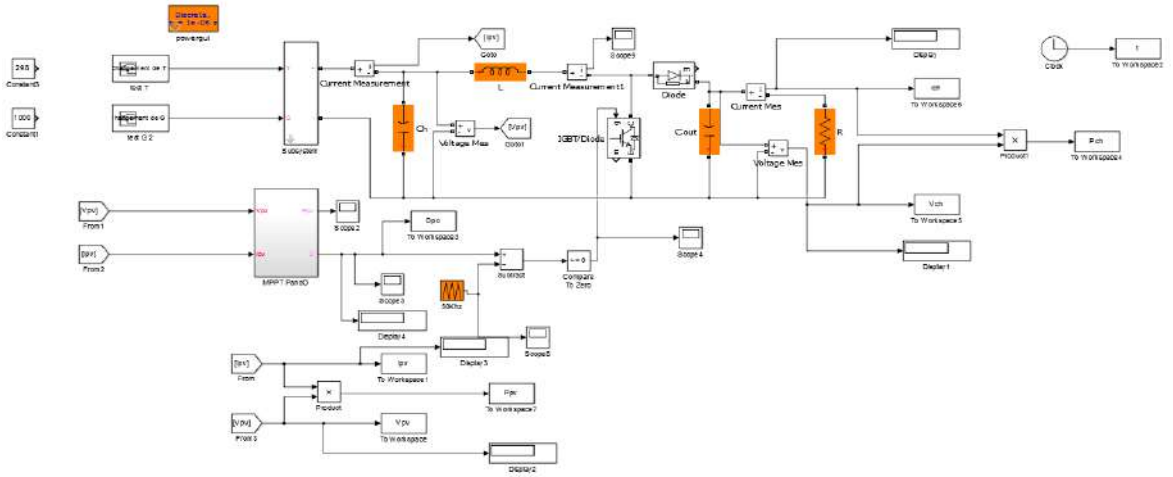
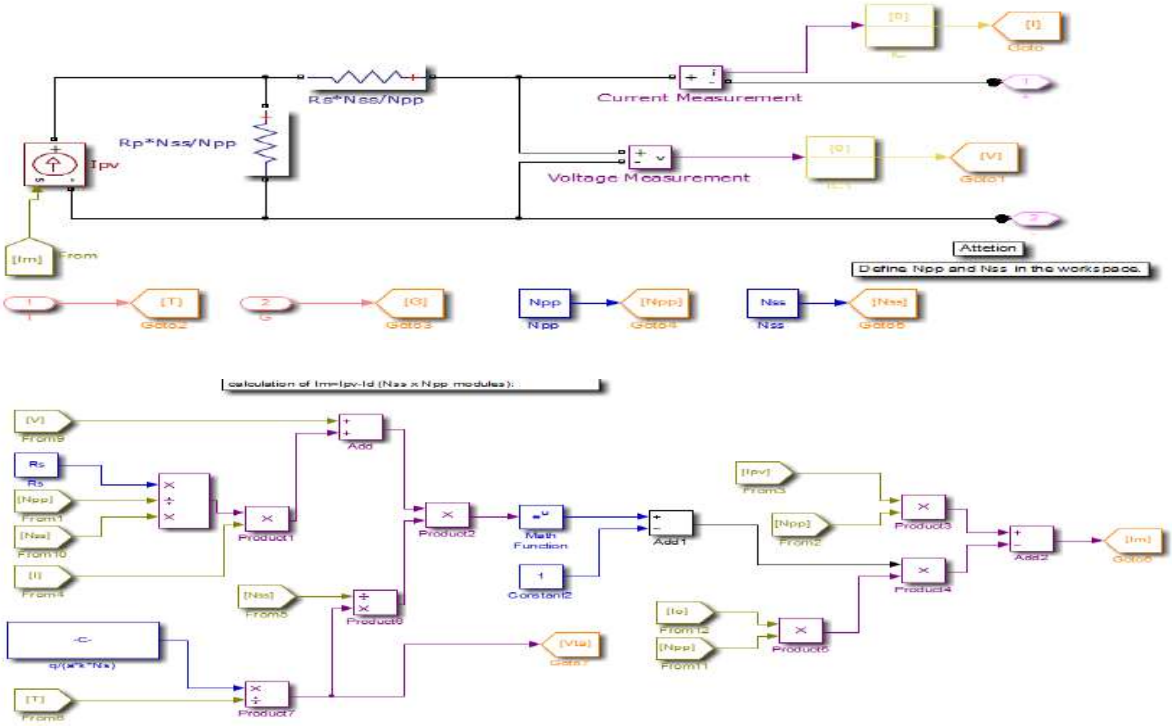


Figure III-2: Schéma bloc sous Simulink du système global.

III.3.1 Simulation d'un GPV

Pour simuler le comportement du GPV, L'implémentation sous Simulink du modèle mathématique du GPV est illustrée sur la Figure III.3 :



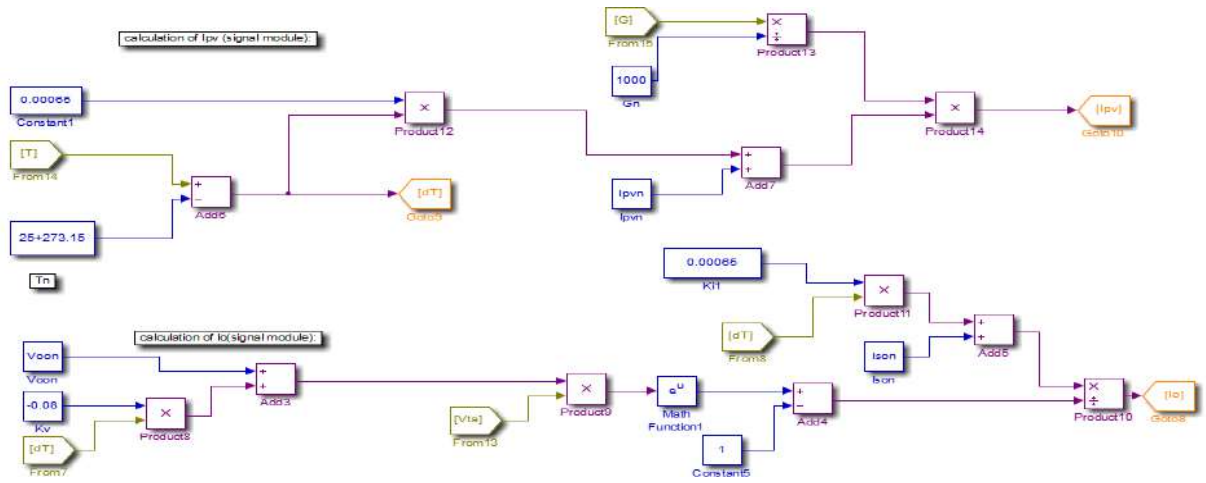


Figure III-3: Modèle de simulation du GPV.

Dans ce travail, nous avons simulé un module photovoltaïque qui peut produire une puissance maximale de 20 watts à tension de circuit ouvert de 21.9 volts et un courant de court-circuit de 1.27 A. Ceci nous a permis de déterminer la puissance en fonction de la tension et le courant en fonction de la tension du module. Les caractéristiques du module PV dans les conditions de test standards (G=1000 W/m², T= 25 C°) sont représentées sur les figures (III.4) et (III.5).

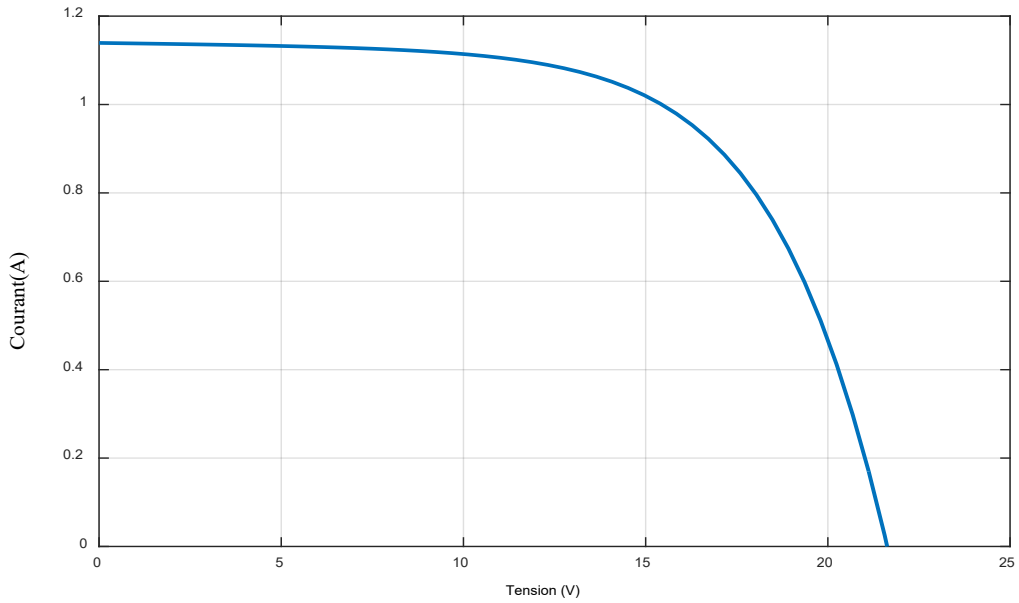


Figure III-4: Résultats de simulation des caractéristiques (Courant –Tension) du GPV.

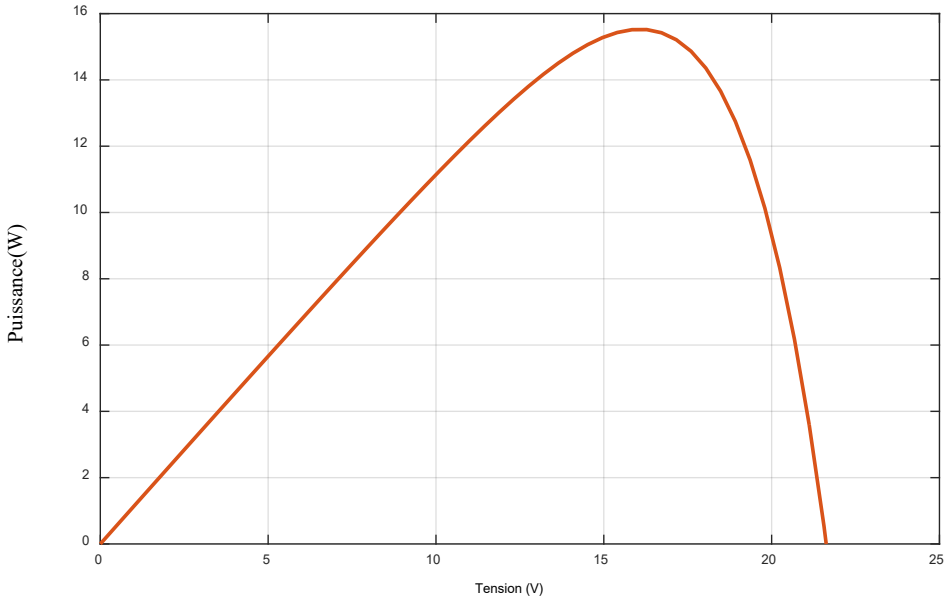


Figure III-5: Résultats de simulation des caractéristiques (Puissance –Tension) du GPV.

III.3.1.1 L'influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La figure III.6 et la figure III.7 représente respectivement les caractéristiques I-V et P-V de la cellule PV avec variation de l'éclairement, à une température constante T= 25 C°.

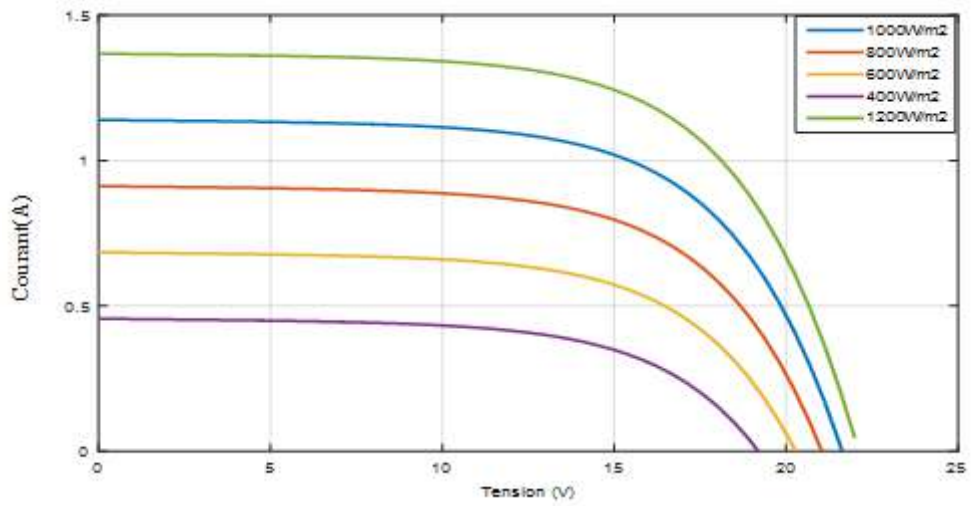


Figure III-6*:* Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents éclairement avec une température T=25°C.

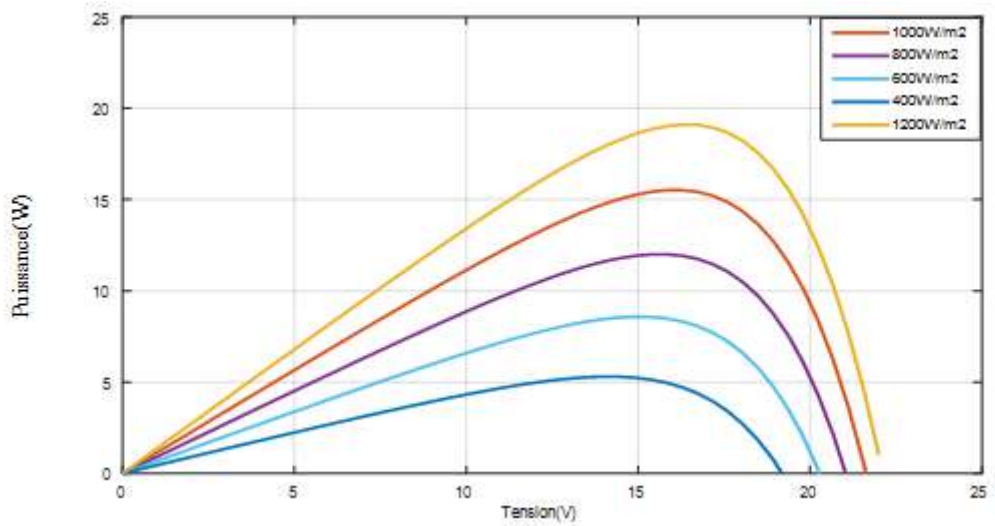


Figure III-7: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents éclairement avec une température T=25°C.

III.3.1.2 L'influence de la température

Comme on a vu dans le premier chapitre, l'influence de la température est importante et elle a des conséquences pour la conception des panneaux et des systèmes photovoltaïques. La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires,

La figure III.8 et la figure III.9 montrent que la tension du circuit ouvert d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale (E = 1000W/m^2)

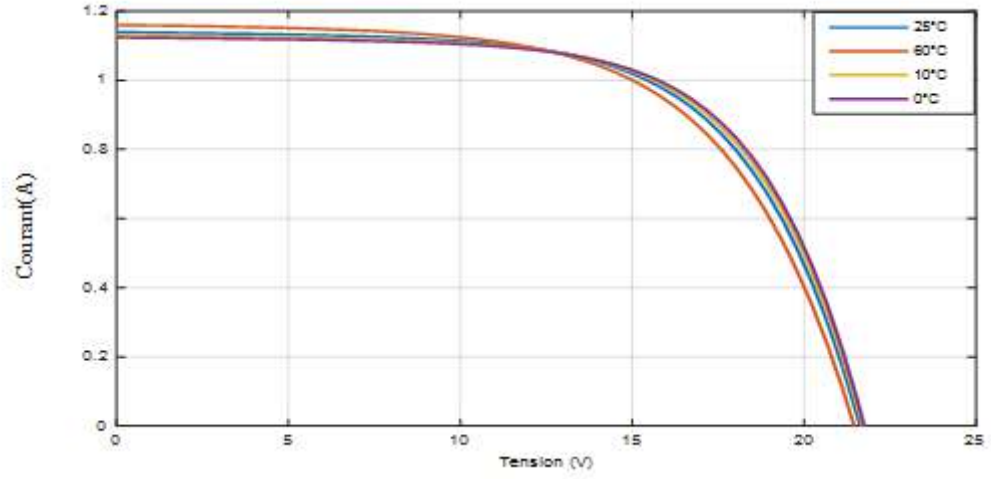


Figure III-8: Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension Pour différents température avec un éclairement $G = 1000W / m^2$.

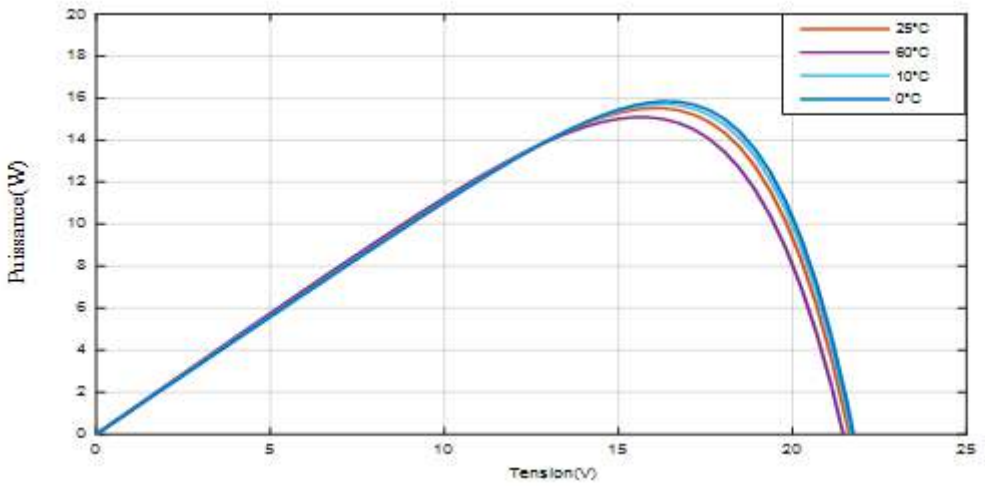


Figure III-9: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents températures avec un éclairement $E = 1000W / m^2$.

III.3.2 Simulation du convertisseur Boost

Dans cette expérience nous avons utilisé un panneau en série et en charge résistive100Ω Pour la charge résistive notre choix c'est porté sur un hacheur boost. Pour la détermination des valeurs des composant son a les caractéristiques présentée dans le tableau suivant:

Tableau III.2 : Cahier de charge pour une charge résistive.

Tension de panneaux(V_i)	17.82V
Courant de panneaux(I_i)	0-1.14A
Puissance maximal de panneaux (P_{max})	20W
Courant de sortie (I_s)	0-1.14A
Tension de sortie (V_s)	20 à 40V
Fréquence de hachage	20000hz
Rapport cyclique	$0.1 \le \alpha \le 0.6$

Pour la déterminationdu rapport cyclique

$$\alpha = \frac{\frac{V_s}{V_i} - 1}{\frac{V_s}{V_i}} = 0.56 \qquad \textbf{(III.6)}$$

III.3.2.1 Choix del'inductance

La valeur de inductance est choisie de telle sorte que la variation du courant de l'inductance n'est pas supérieur à 21% de la valeur moyenne du courant. L'equation suivante donne la variation du courant de l'inductance.

$$\Delta I_{pv} = \frac{V_e \alpha}{L * f} \qquad \textbf{(III.7)}$$

Supposer que la plus mauvaise oscillation du courant se produit dans la condition maximale de la puissance. Dans cette condition, le courant I_e est 1.14A, et le courant d'ondulationest21% de I_e

$$\Delta I = 0.21 * 1.14 = 0.23 \qquad \textbf{(III.8)}$$

De l'équation (III.6), (III.7) et (III.8)

$$L = \frac{V_e \alpha}{\Delta I_{pv} f} = 2mH \qquad \textbf{(III.9)}$$

III.3.2.2 Choix du condensateur

Le critère de choix du condensateur est que la tension d'oscillation ne doit pas dépasser les 0.03%. L'equation suivante donne la variation de la tension admisible.

$$\Delta V_s = 0.0003.V_s = 0.0003.37 = 0.011V \qquad \textbf{(III.10)}$$

La valeurde C est calculée avec l'équation suivante:

$$C = \frac{\alpha V_s}{\Delta V_s R_{ch} f} = 9.10^{-4} F \qquad \textbf{(III.11)}$$

La figure III.10 représente le modèle de simulation sous Matlab de l'étage d'adaptation Boost relié à une charge, avec une tension d'entrée : Ve = 17.82V.

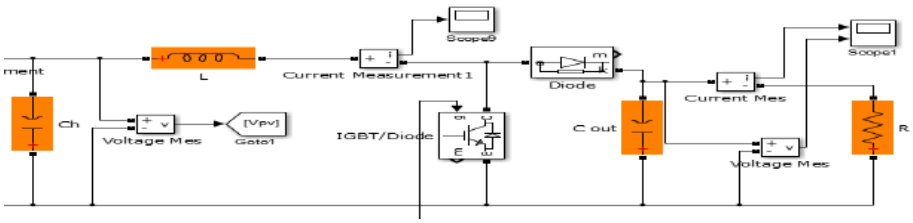


Figure III.10: Schéma de simulation Boost-Charge.

D'après la figure ci-dessus, on remarque que la tension de sortie (37V) du BOOST vérifie l'équation

$$V_s = \frac{1}{1-\alpha} V_e \qquad \textbf{(III.12)}$$

III.3.3 Modélisation de la commande MPPT

III.3.3.1 Méthode perturbation et observation (P&O)

La structure du schéma de simulation d'un système PV associé à une commande MPPT du type P&O est représentée par la figure suivante :

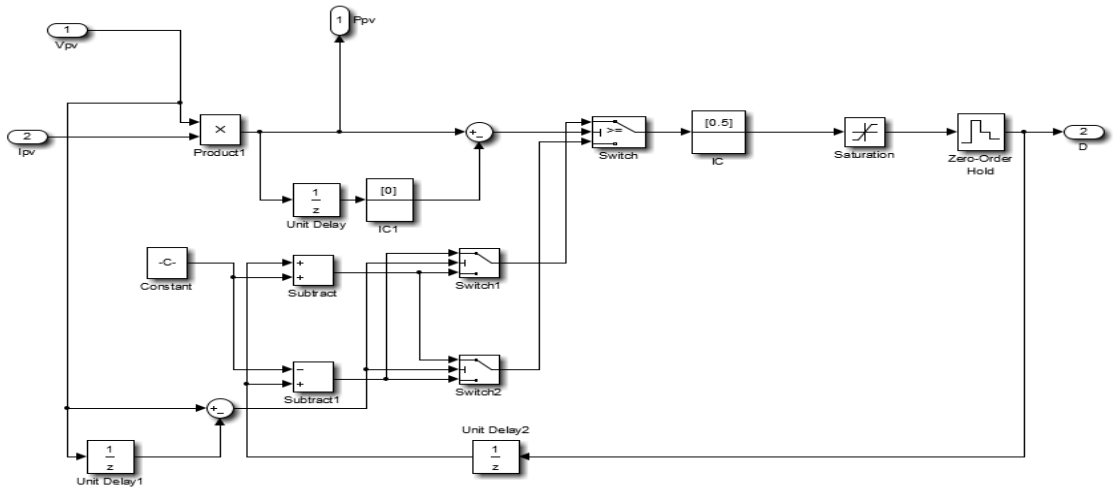


Figure III-11: Schéma de block de la commande MPPT (P&O).

- **L'influence sur la charge**

Les figures III.12, III.13 et III.14 ci-dessous montre le courant, tension et la puissance transmise à la charge en fonction de temps. Tension de système PV commandée par la commande P&O sous les conditions STC T=25°C, $G = 1000W / m^2$.

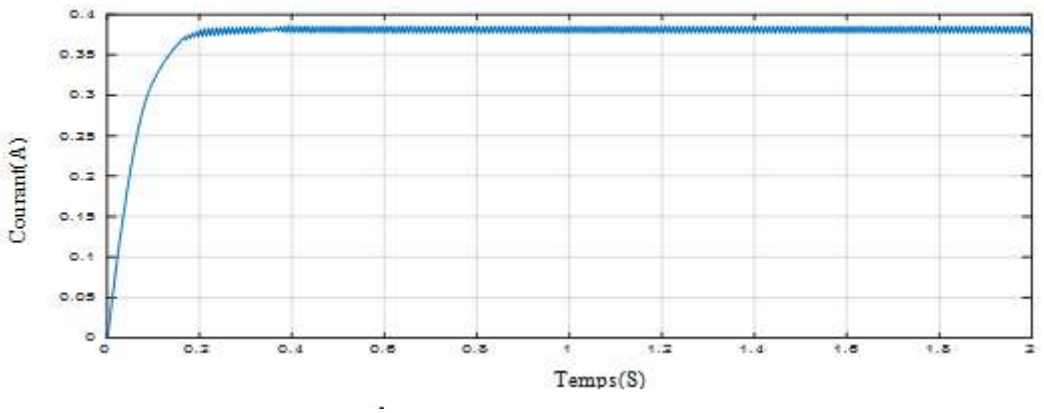


Figure III-12 : Courant transmis à la charge en fonction de temps.

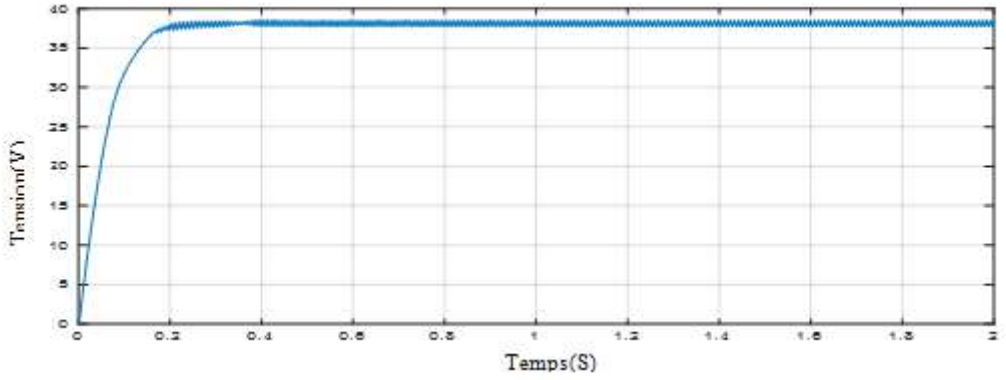


Figure III-13 : Tension transmis à la charge en fonction de temps.

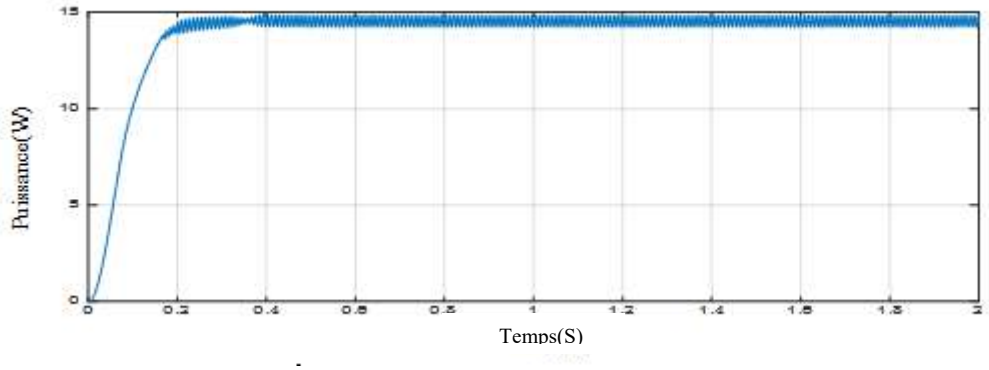


Figure III-14 : Puissance transmis à la charge en fonction de temps.

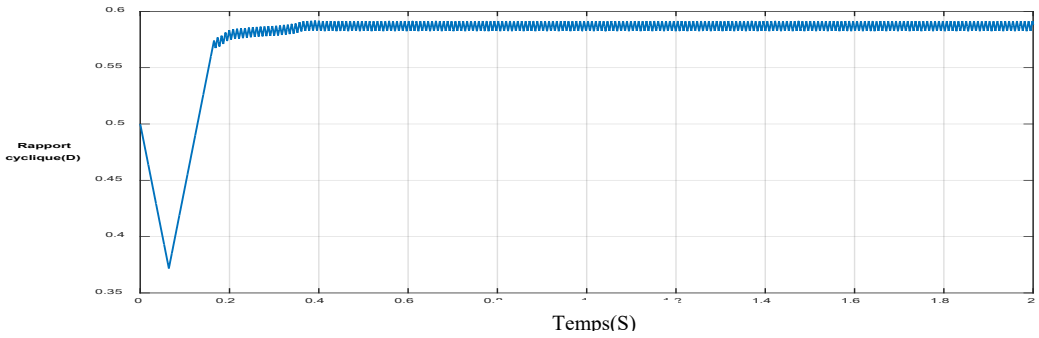


Figure III-15 : Rapport cyclique en fonction de temps.

On remarque que dans les conditions standards le système photovoltaïque fournit le maximum de la puissance, avec la P&O, le temps de réponse et la précision sont optimisées, et la tension de charge augmenté.

- **L'influence de changement de température et l'éclairement sur la charge**

Les changements de l'insolation avec la température influencent directement la valeur de la puissance, car le courant et la tension de panneau photovoltaïque dépend de la variation de l'éclairement et température donc il provoque une augmentation ou diminution de la puissance absorbée par la charge.

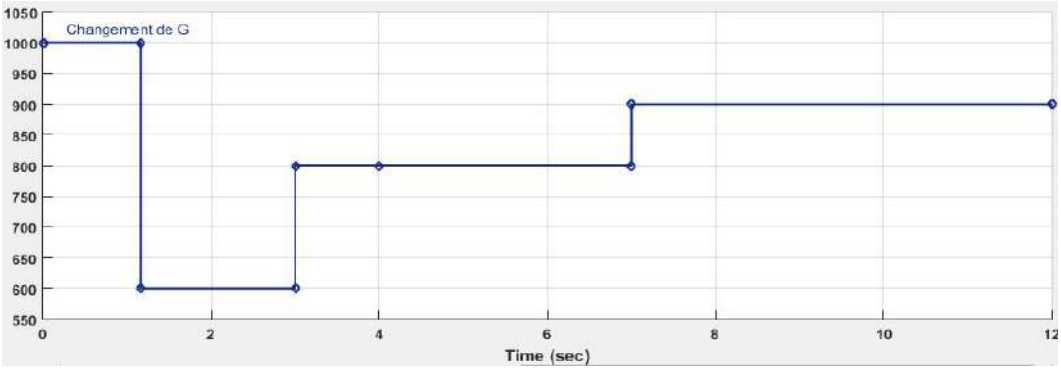


Figure III-16: Changement de l'éclairement en fonction de temps.

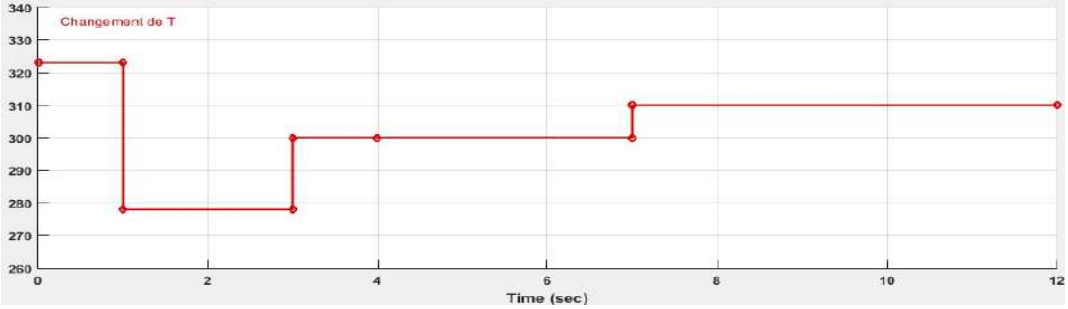


Figure III-17: Changement de température en fonction de temps.

Les résultats sont présentés dans les figures suivantes :

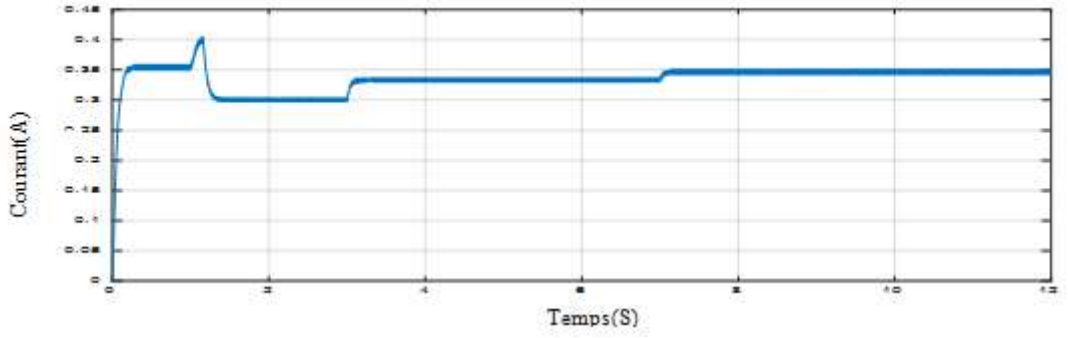


Figure III-18 : Courant absorbé par la charge lors du changement de la température et l'éclairement.

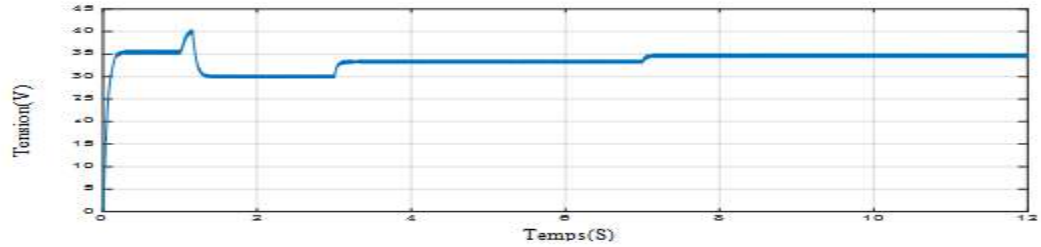


Figure III-19: Tension absorbée par la charge lors du changement de la température et éclairement.

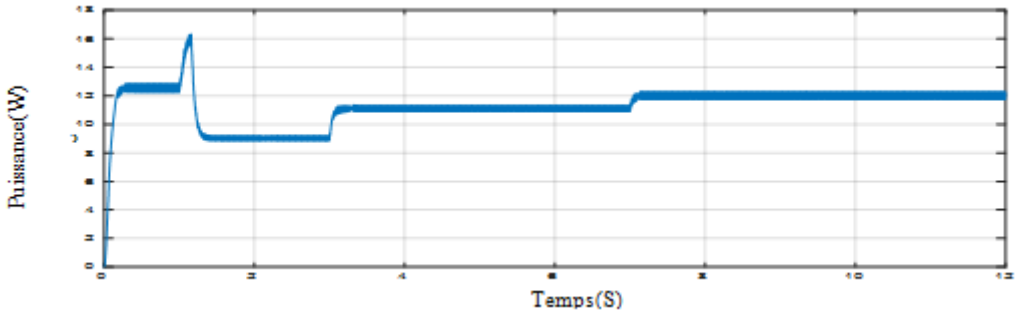


Figure III-20 : Puissance absorbée par la charge lors du changement de la température et l'éclairement.

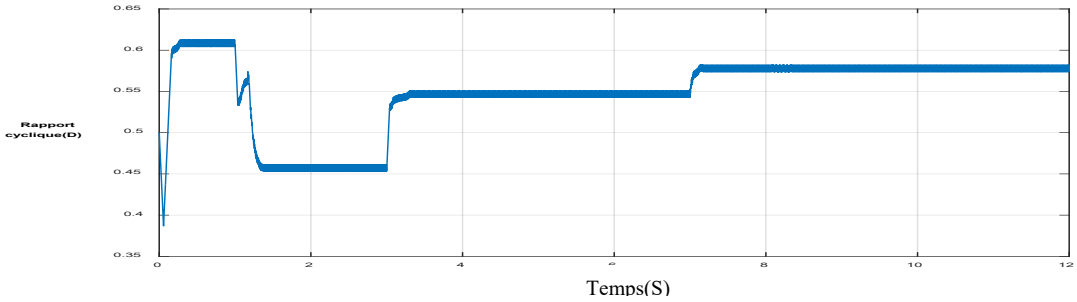


Figure III-21 : Rapport cyclique lors des changements de la température et l'éclairement.

On remarque qu'il existe une relation de proportionnalité entre la puissance, l'éclairement et la température. D'après les résultats de simulation obtenus, on constate que les courbes de la puissance, de la tension et du courant présentent des oscillations dans le régime permanant.

III.3.3.2 Méthode incrément des conductances (IncCond)

La structure du schéma de simulation d'un système PV associé à une commande MPPT du type incrément des conductances (IncCond) est représentée par la figure suivante :

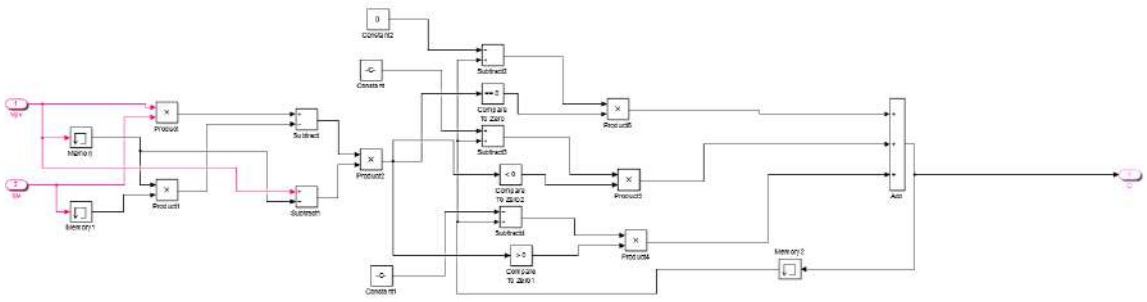


Figure III-22 : Schéma de block de la commande MPPT (IncCond).

Les figures III.23, III.24 et III.25 ci-dessous montre le courant, la tension et la puissance transmise à la charge en fonction de temps sous les conditions STC T=25°C, $G = 1000W / m^2$.

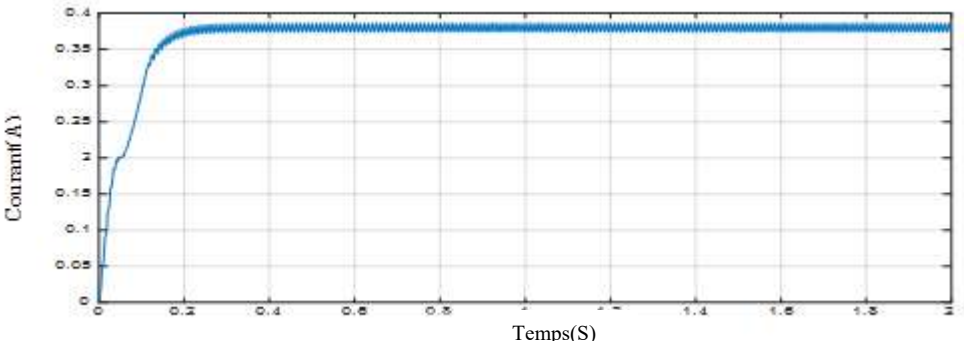


Figure III-23 : Courant transmis à la charge en fonction de temps.

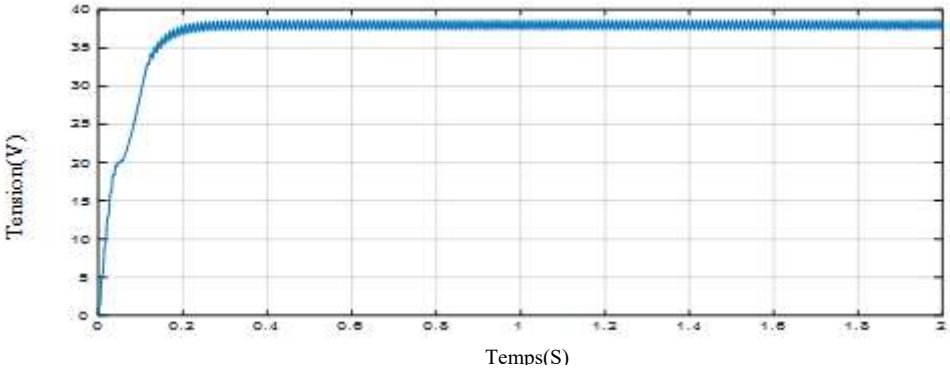


Figure III-24 : Tension transmis à la charge en fonction de temps.

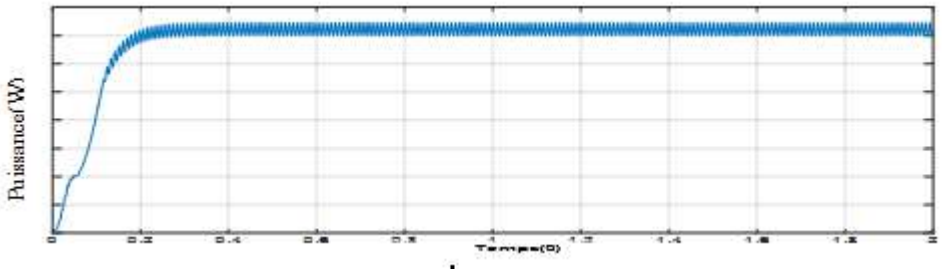


Figure III-25 : Puissance transmis à la charge en fonction de temps.

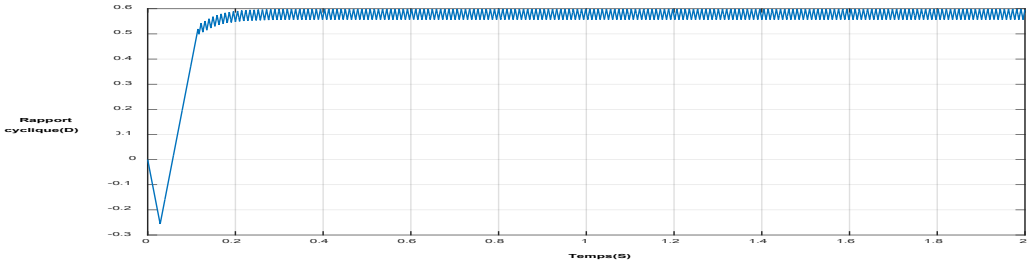


Figure III-26 : Rapport cyclique en fonction de temps.

On remarque que dans les conditions standards, le système photovoltaïque fournit le maximum de la puissance, avec la méthode InCcond, le temps de réponse et la précision sont optimisés, et la tension de charge a augmenté.

- **L'influence de changement de température et l'éclairement sur la charge**

Les changements de l'insolation avec la température influence directement de la valeur de la puissance, car le courant et la tension de panneau photovoltaïque dépend à la variation de l'éclairement et la température donc il provoque une augmentation ou diminution de la puissance absorbée par la charge. Les résultats de simulation sont présentée dans les figures III-29,III-30,III-31 et III-32 suivantes :

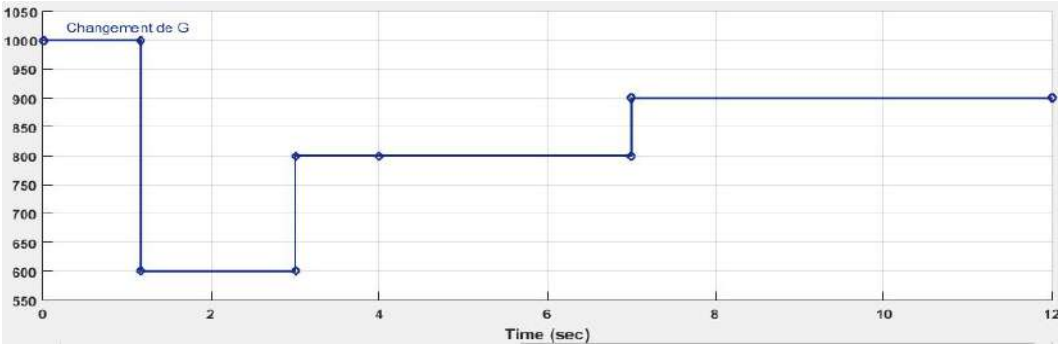


Figure III-27 : Changement de l'éclairement en fonction de temps.

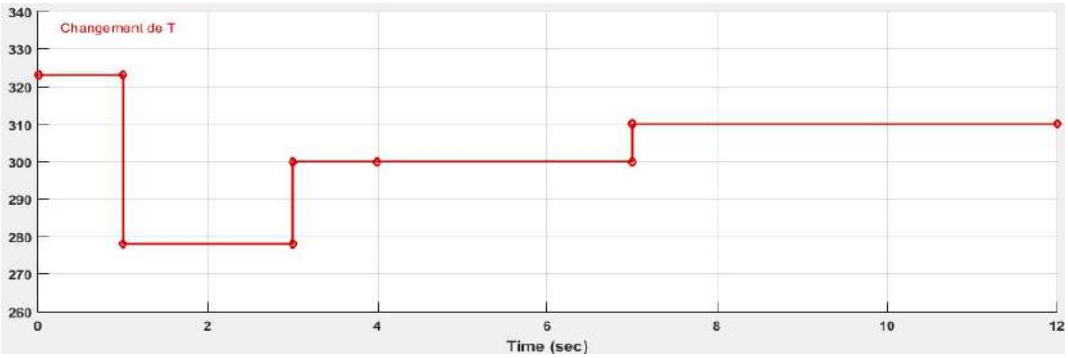


Figure III-28 : Changement de température en fonction de temps.

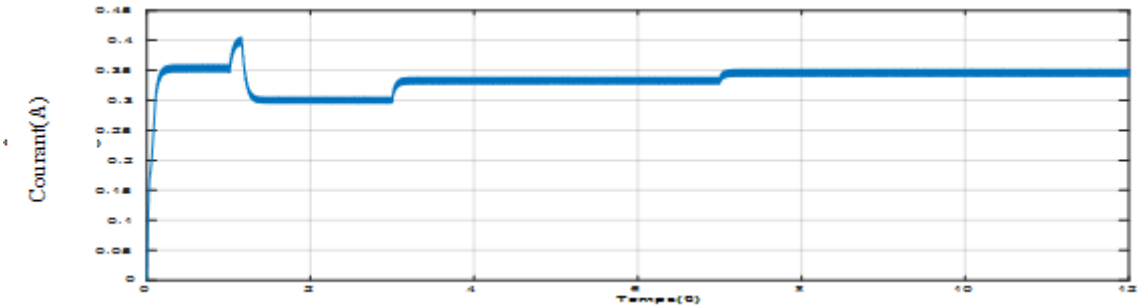


Figure III-29 : Courant absorbé par la charge lors du changement de la température et l'éclairement.

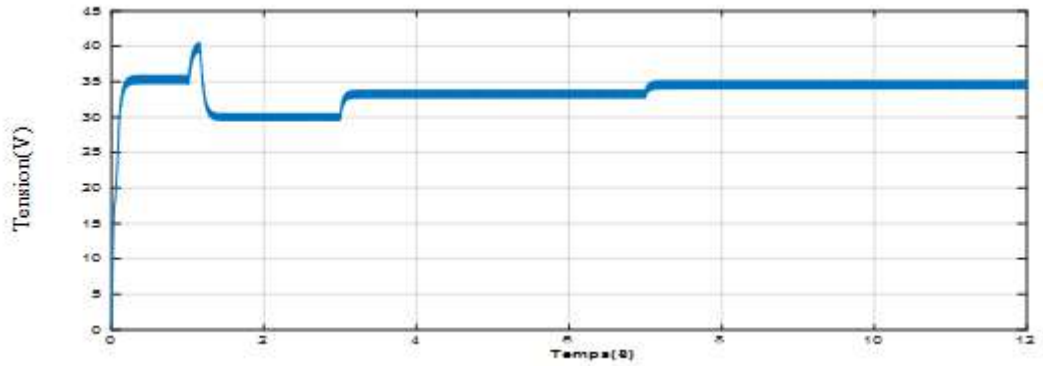


Figure III-30 : Tension absorbée par la charge lors du changement de la température et de l'éclairement.

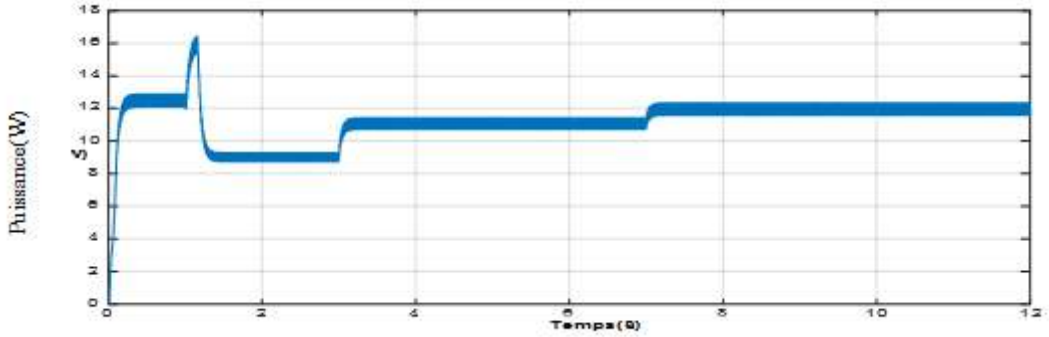


Figure III-31 : Puissance absorbée par la charge lors du changement de la température et de l'éclairement.

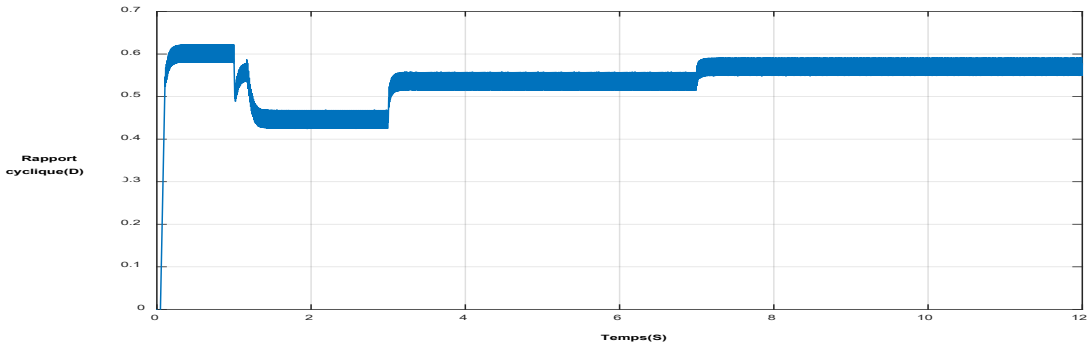


Figure III-32 : Rapport cyclique lors du changement de la température et de l'éclairement.

On remarque qu'il existe une relation de proportionnalité entre la puissance et l'éclairement et la température. D'après les résultats de simulation obtenus, on constate que les courbes de la puissance, de la tension et du courant présentent des oscillations dans le régime permanant. En plus, le temps de réponse est plus rapide que la commande de (P&O).

III.3.3.3 Méthode basées sur le principe de la logique floue

Le principe d'une commande floue se base sur deux variables d'entrées qui sont l'erreur E et le changement d'erreur CE et une variable de sortie ΔD (variation du rapport cyclique).La structure du schéma de simulation d'un système PV associé à une commande MPPT dutype logique floue est représentée par les figures III-33 III-34 :

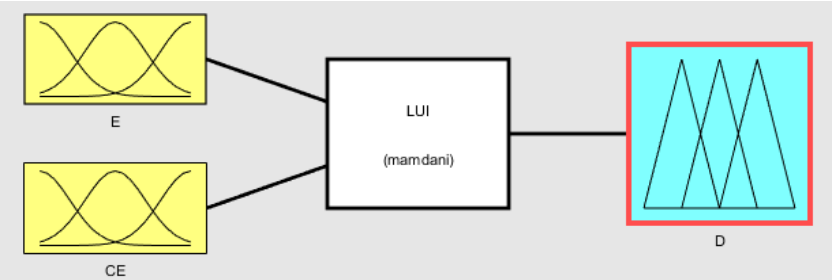


Figure III-33 : Organigramme de la méthode basée sur le principe de la logique floue.

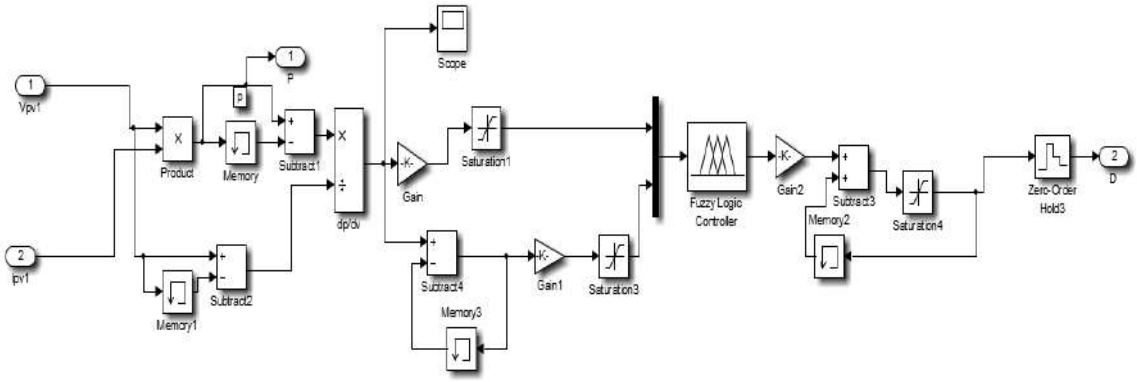


Figure III-34 : Schéma block de la commande MPPT par logique floue.

La figure III.35 représente Les fonction d'appartenance floues des variables d'entrées

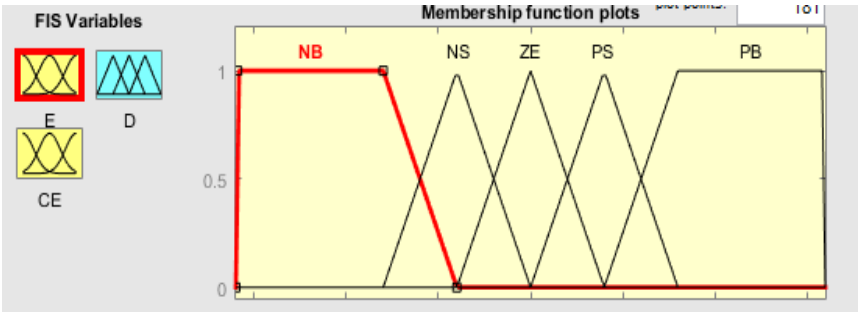


Figure III-35 : Structure de base de la commande floue.

Tableau III. 3 : Table des règles pour une commande par logique floue.

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

- **L'influence sur la charge**

Les figures III-36, III-37 et III-38 ci-dessous montre le courant, tension et la puissance transmise à la charge en fonction de temps sous les conditions STC T=25°C, G=1000W/m^2.

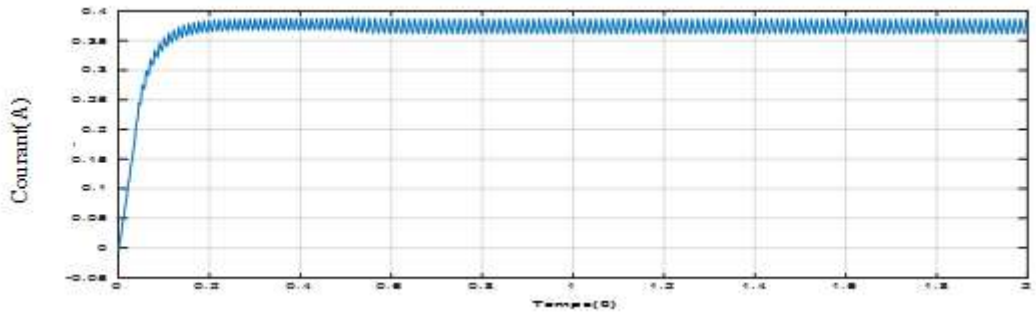


Figure III-36 : Courant transmis à la charge en fonction de temps.

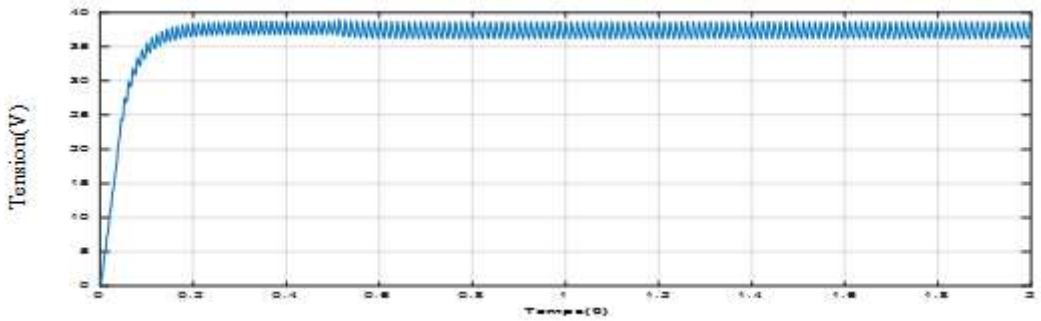


Figure III-37 : Tension transmis à la charge en fonction de temps.

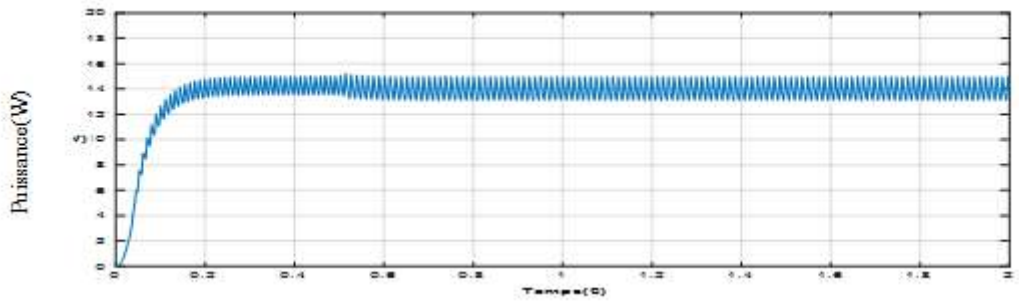


Figure III-38 : Puissance transmis à la charge en fonction de temps.

On remarque qu'avec la méthode de logique floue, le temps de réponse et la précision sont optimisées.

- **L'influence de changement de la température et l'éclairement sur la charge**

Les changements de l'insolation avec la température influencent directement la valeur de la puissance, car le courant et la tension de panneau photovoltaïque dépend à la variation de l'éclairement et température donc il provoque une augmentation ou diminution de la puissance absorbée par la charge.

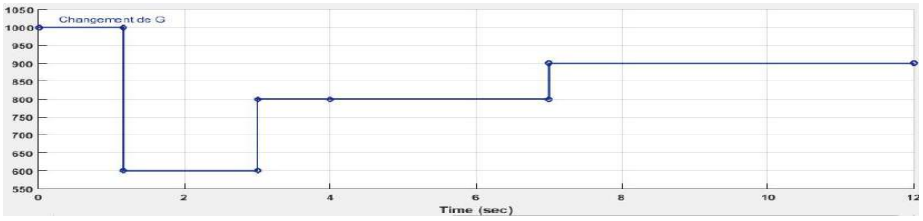


Figure III-39 : Changement de l'éclairement en fonction de temps.

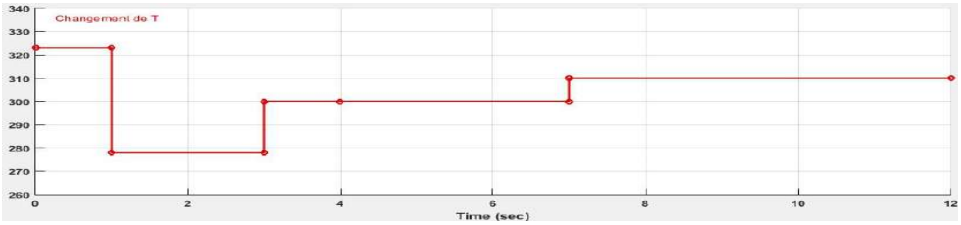


Figure III-40 : Changement de température en fonction de temps.

Les résultats sont présentés dans les figures suivantes :

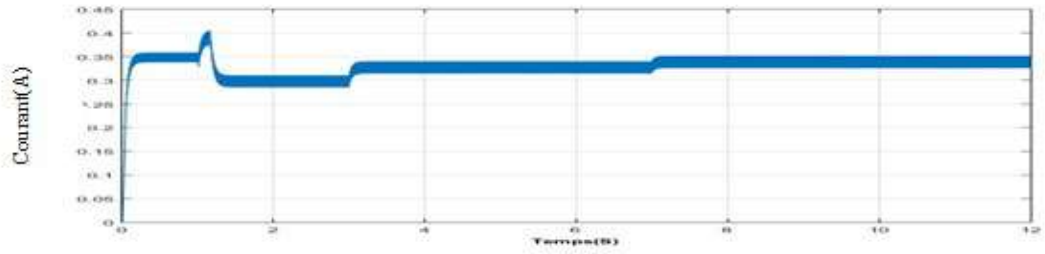


Figure III-41 : Courant absorbé par la charge dans le changement de température et l'éclairement.

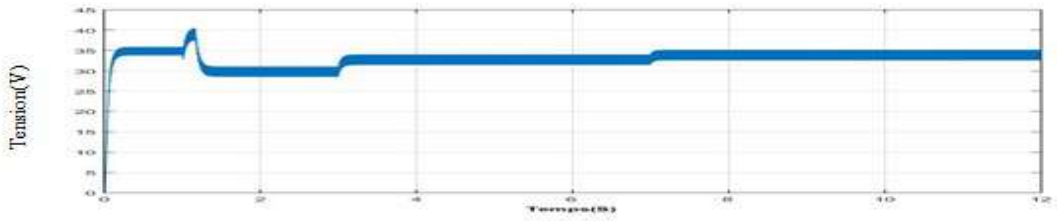


Figure III-42 : Tension absorbée par la charge dans le changement de température et éclairement.

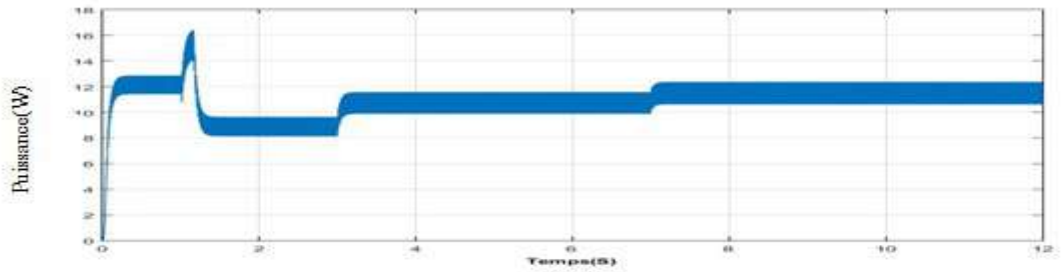


Figure III-43 : Puissance absorbée par la charge dans le changement de température et l'éclairement.

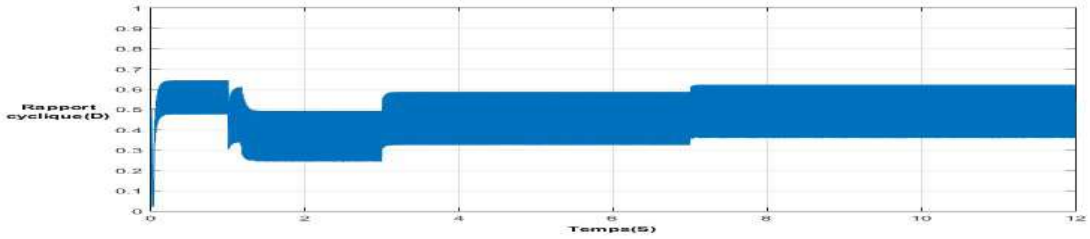


Figure III-44 : Rapport cyclique dans les changements de température et l'éclairement.

On remarque qu'il existe une relation de proportionnalité entre la puissance et l'éclairement et la température.

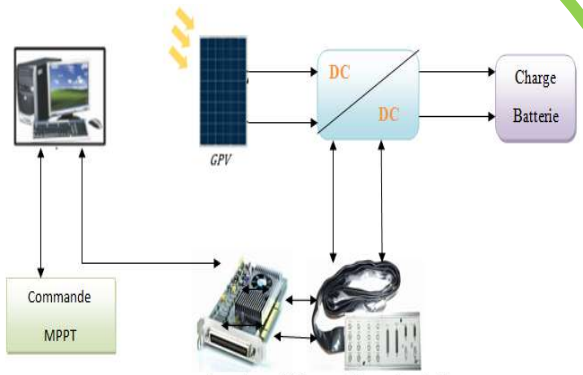
III.4 Conclusion

Ce chapitre a présenté en détails les équations qui forment le modèle d'un GPV. Le but est de fournir toutes les informations nécessaires pour élaborer ce modèle sous Matlab/Simulink.

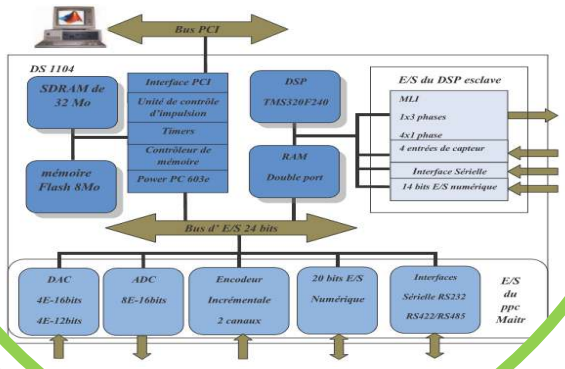
Nous avons présenté les résultats de la simulation des éléments constituant notre système PV, aussi nous avons simulé le système avec trois méthodes MPPT qui sont la méthode P&O, IncCond et la méthode de logique floue, leurs performances sous des conditions de fonctionnement variables sont évaluées et analysées par simulation à l'aide de Matlab/Simulink. Des résultats satisfaisants ont été obtenus avec ces méthodes de commandes.

Chapitre IV

Implémentation de la commande MPPT par carte DSPACE.



Carte dspace1103 **Illustration du Panneau de contrôleCP1104**



Chapitre IV

Implémentation de la commande MPPT par carte dSpace.

IV.1 Introduction

La mise en œuvre de la configuration matérielle du MPPT se fait par, l'utilisation du contrôle en temps réel dSpace, Le principal avantage de l'implémentation en temps réel et la possibilité de visualiserl'influence de la variation de l'ensoleillement et de la température sur la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque, L'acquisition des données et le système de contrôle sont réalisés à l'aide du logiciel dSpace 1104.

Dans ce chapitre, nousrelèverons les caractéristiques électriques réelles de notre PV, nous allons présenter les éléments du hacheur Boost puis nous allons implémenter sous dSpace la méthode de commandeP&O (Perturbation et Observation).

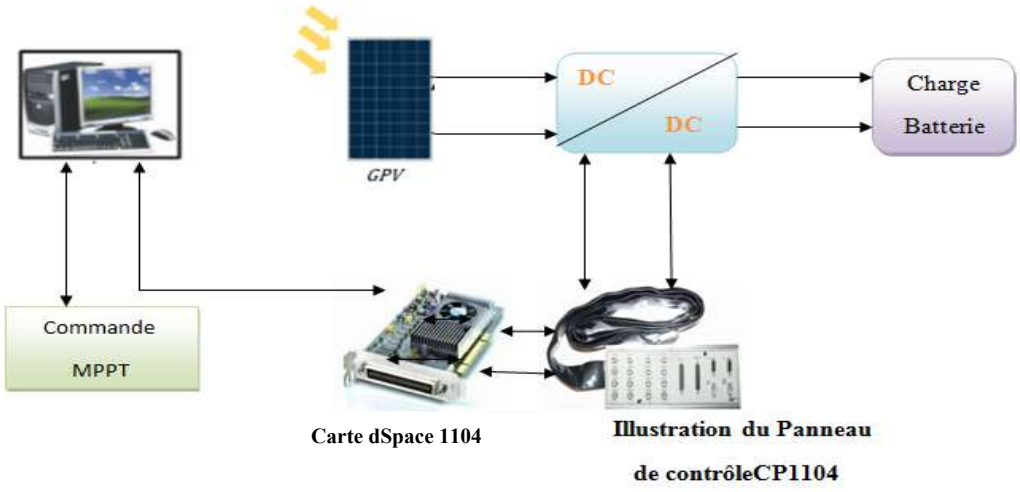


Figure IV- 1: Schéma synoptique du système global.

IV.2 Présentation de la carte DSPACE 1104

Les systèmes dSpace sont utilisés dans plusieurs applications nécessitant un pilotage en temps réel à l'aide d'un PC de commande. La programmation se fait à l'aide de l'outil de modélisation SIMULINK, qui aide à poser le problème d'une manière graphique en utilisant les blocs interconnectés. En fait, beaucoup de systèmes de développement en temps réel à base de DSP viennent maintenant avec une interface à Simulink par laquelle ils peuvent convertir les blocs de Simulink en un code machine qui peut être exécuté sur un système à base de DSP. [9]



Figure IV- 2: Carte dSpace 1104[9]

Ceci réduit considérablement le temps de développement et de prototypage pour le contrôle des systèmes. Le prototypage passe alors par trois étapes :

- Construction du système de commande en utilisant les blocs de Simulink.
- Simulation du système pour voir les résultats dans différents scénarios.
- Exécution du modèle en temps réel à travers la carte DS1104.

La licence est sous forme de clé USB (Dongle)



Figure IV- 3: Clé USB sous dSpace.

IV.2.1 Paramètres de la carte DSPACE 1104 :

La carte est dotée d'un panneau de connexion qui comporte les périphériques des E/S quipermettent la communication avec le système physique (figure IV.4).

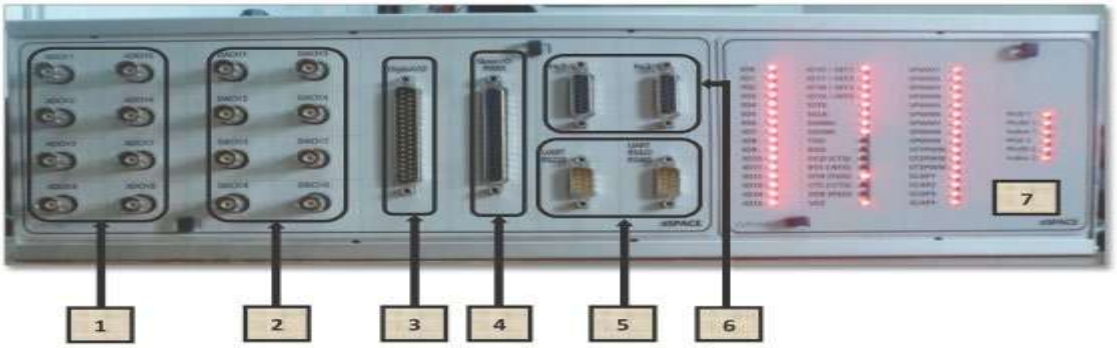


Figure IV- 4: Panneau de connexion de la dSpace1104.

(1) Huit convertisseurs analogiques numériques ADC, quatre (Channel 1, 2, 3, 4) en 12 bits etquatre (Channel 5, 6, 7, 8) en 16 bits.

(2) Huit convertisseurs numériques analogiques DAC de 16 bits pouvant délivrer une tension de10V.

(3) Interface d'entrées sorties numériques, utilisé pour les langages de programmations.

(4) Interface d'entrées sorties, du DSP chargé de la génération des signaux de commande MLI.

(5) Portes séries (RS 232, RS 422 et RS 485) servent à connecter en série la carte avec diversappareils électroniques, telle les automates ou avec une autre carte DS.

(6) Deux codeurs permettent la communication avec les capteurs de position.

(7) Ornée également d'une quarantaine de lampes Led indiquant les portes actives sur lepanneau.

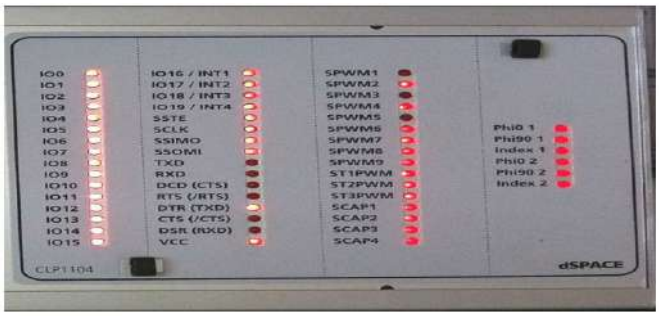


Figure IV- 5: Leds indiquant les E/S de la dSpace 1104 utilisée.

Cette composition donne à la dSpace 1104 la caractéristique d'un outil de contrôle, qui met à jour l'ordinateur à un système de développement pour le prototypage rapide, L'illustration suivante donne un aperçu de l'architecture et les unités fonctionnelles de la DS1104 [24] [25]:

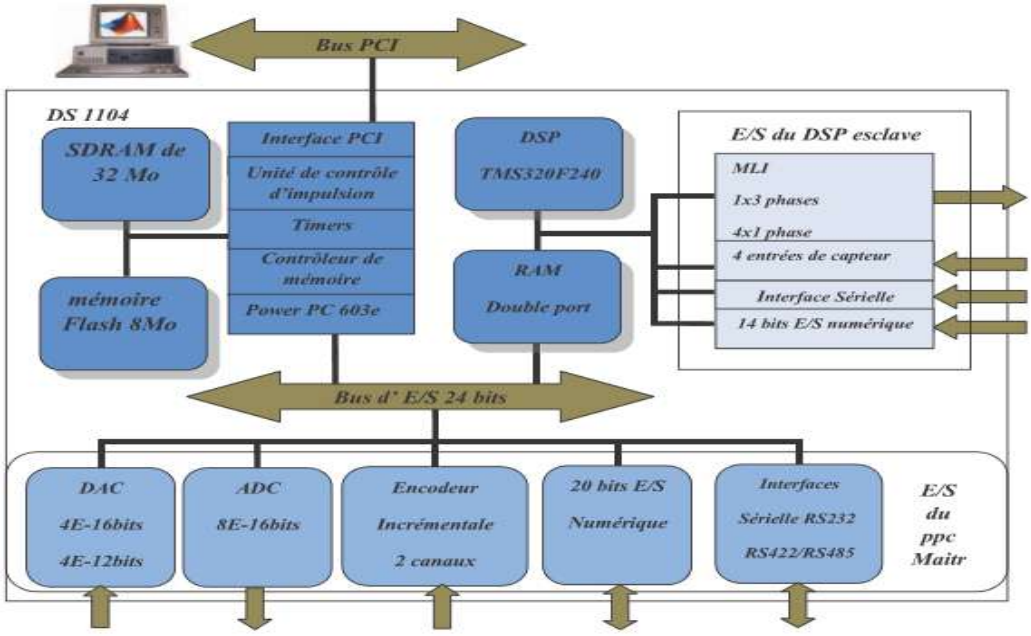


Figure IV- 6: Architecture d'une carte dSpace : cas du DS1104.

IV.2.2 Quelques caractéristiques de la carte dSpace 1104

Tableau IV.1. Caractéristiques de la cartedSpace 1104

Désignation	Caractéristiques
Processeur	• MPC8240 processeur avec le noyau PPC603e et périphériques sur puce • 64-bit virgule flottante du processeur • 250 MHz CPU • 2 x 16 Ko de cache; sur puce • Pont sur-puce PCI (33 MHz)
Mémoire	•Mémoire globale: 32 Mo de SDRAM • Mémoire Flash: 8 Mo
Minuteur	• 1 minuterie taux d'échantillonnage (décrémentant): 32-bit décompteur, recharge par le logiciel, une résolution de 40 ns • 4 temporisateurs à usage général: 32-bit décompteur, recharger en matériel, résolution de 80 ns • 1 base de compteur de temps.
DSP Esclave	• DSP Texas Instruments TMS320F240 • 20 MHz de fréquence d'horloge • 1× 3-sortie PWM • 4 x 1-phase sortie PWM • 4 entrées de capture • SPI (Serial Peripheral Interface). • Max. 14-bit digital I / O • TTL entrée / sortie pour tous les niveaux E / S numériques broches • ± 13 mA de courant de sortie maximum
Interface série	• 1 port série UART • mode émetteur-récepteur sélectionnable: RS232/RS422/RS485 • Max. baud rate RS232: 115,2 k Baud • Max. RS422/RS485 baud rate: 1 M Baud
Refroidissement	Le refroidissement actif par ventilateur
Alimentation	• +5 V ± 5%, 2,5 A • +10 V ± 5%, 0,3 A • -10 V ± 5%, 0,2 A
Consommation	• 18,5 W

IV.2.3 Programmation de la carte dSpace

Dans le but de programmer la DS1104, il faut réaliser son schéma sur la boîte à outils Simulink de Matlab. Une bibliothèque spéciale **« DS1104 Real Time Library »** regroupe les différentes fonctions utiles pour gérer la dSpace.A l'aide de la commande **« Build »,** dans « Simulation Paramètres », nous chargeons le code directement dans la dSpace. Le logiciel Control Desk offre une interface qui permet de visualiser et de modifier en temps réel les différentes variables du schéma Simulink [24].

Simulink est un logiciel avec lequel on peut faire la conception de base. Les ports d'E/S de DS1104 sont accessibles depuis l'intérieur du navigateur de la bibliothèque Simulink. Lorsque le modèle Simulink est conçu en temps réel, il génère un fichier (*. Sdf). Ce fichier donne accès à des variables du modèle Simulink dans le logiciel pupitre de commande. Dans ce logiciel, un panneau de commande peut être créé, afin de communiquer avec DS1104 [25].

IV.2.3.1 Présentation du logiciel Control Desk

Control Desk est une interface qui permet de visualiser en temps réel différentes variables du programme développé sous Simulink et de modifier également des paramètres définissant le mode de fonctionnement des blocs constituant le schéma Simulink.



Figure IV- 7 : Logiciel Control Desk utilisé dans labo.

Il existe trois modes de fonctionnement sous Control Desk [25] :

- Le mode **Edit :** mode de construction de Layout.
- Le mode **Test :** mode permettant de tester la validité des connexions entre le Layout et les variables Simulink.
- Le mode **animation** : mode d'exécution du programme contenu dans le DSP avec le layout comme IHM.

Les différentes fenêtres rencontrées du ControlDesk sont :

- Fenêtre de navigation (Navigator).
- Aire de travail : sur laquelle on crée une Layout, elle permet d'afficher les différents instruments virtuels que nous voulons utiliser.
- Virtual instruments : elle comporte les différents instruments.
- Fenêtre d'outils (toolwindow) : elle permet de charger les différentes variables à partir du bloc réalisé sous Matlab-Simulink. Elle comprend :
  - ✓ Log viewer: affiche les messages générés par Control Desk ou par la carte en temps réel.
  - ✓ File selector: permet de sélectionner une application et de pouvoir la téléchargerdans la carte dSpace 1104.Ceci évite de devoir effectuer la commande « Build »à partir du schéma Simulink.

IV.2.3.2 Construction du Model SIMULINK

Avant de créer un model sous Simulink, démarrez le programme Maltab puis choisissez le model de votre carte DSPACE à l'ouverture de Matlab.



Figure IV- 8: Model de notre carte dSpace à l'ouverture de Matlab.

Démarrez ensuite le programme Simulink dans Matlab. Pour ajouter des blocs de la librairie RTI1104, ouvrez la librairie en tapant la commande RTI1104, ou à partir de Simulink Librairy Brower.

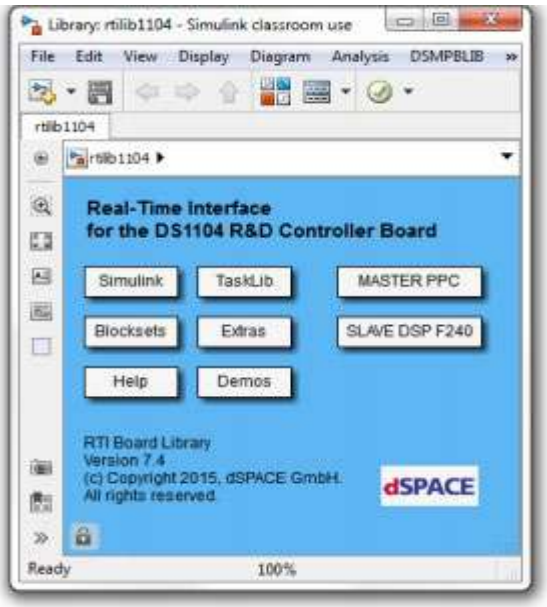


Figure IV- 9: Navigateur de bibliothèque Simulink.

IV.2.3.3 Sauvegarder des données sur fichier et la conversion vers Matlab

Vous venez de créer un projet. Ensuite il faut créer un ou plusieurs **Layout** associé à ce projet. Un **Layout** est une interface graphique à laquelle on peut ajouter divers instruments de contrôle et/ou de visualisation,[9] dans le but de visualiser et/ou modifier en temps réel les différentes variables du projet. Exemple, on peut modifier en temps réel les paramètres d'un correcteur, modifier une consigne, etc…

Pour faire la mesure d'une variable, il faut connecter la variable à un Virtual Instrument. Le fait d'avoir une mesure correcte confirme que votre application **ControlDesk Next Generation** fonctionne correctement. Insérez dans le **Layout** un « **plotter** » et des

«numerical input », ensuite glissez les variables correspondantes à chaque instrument virtuel. Pour augmenter la durée de visualisation des mesures,[9] allez dans **''Measurement Configuration > Triggers >Duration Trigger1'' puis changer ''Duration'' to 1s.**

Pour enregistrer les données (mesures) dans votre ordinateur allez sur **Measurement** puis **View Measurement** Configuration, puis dans **Recorders** puis choisissez **Create** New **Recorder**. Nommer l'enregistrement puis glisser les variables que vous voulez mesurer dans le tableau Recorder. [9] Le nom du fichier d'enregistrement par défaut est rec1.idf. Pour exporter les données vers un fichier **Matlab,** allez dans Project, Experiment1, **Measurement** Data et cliquez droit sur le fichier **.idf** créé puis export en choisissant bien le type de fichier .mat dans l'onglet Save as Type.[9]

IV.3 Caractéristique du système photovoltaïque

IV.3.1 Caractéristique expérimental par montage Volt-Ampèremètre

Dans cette expérience : nous allons relever les caractéristiques du système PV. Le panneau a été connecté à une résistance variable de 100 Ohm avec un ampèremètre en série et un voltmètre en parallèle (figure IV.10) pour pouvoir étudier l'évolution du courant I délivré en fonction de la tension V.

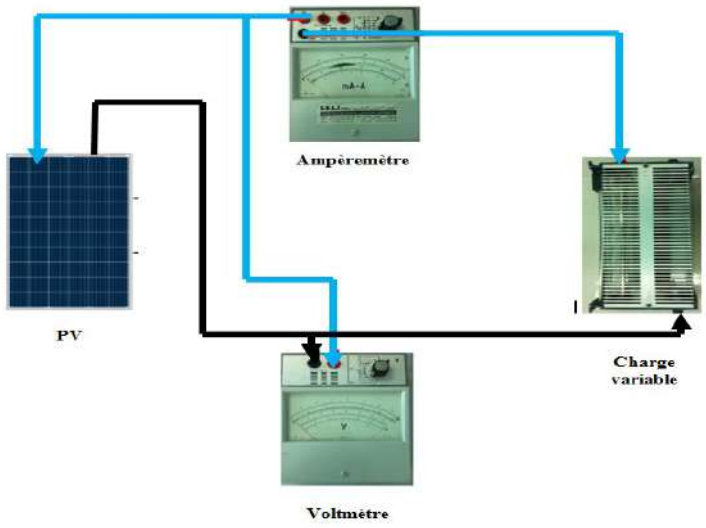


Figure IV- 10: Montage Volt-Ampèremètre.

IV.3.1.1 Matérielles utilisée

Nous avons utilisée plusieurs appareilles nécessaire pour obtenue les résultats dans des conditions de température et éclairement donnés.ces appareils sont représentée dans l'ensemble des figures suivant :



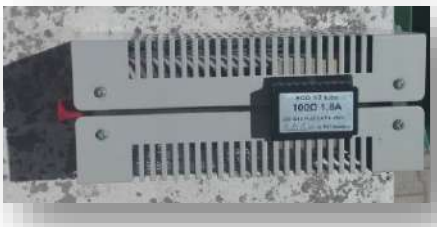
Montage des équipements



Hand Pyranometer 4890.20



Thermomètre ST-613



Résistance variable 100 ohm 1.8A



Module photovoltaïque ET-M53620





Multimètre True Rms

Figure IV- 11 : Matérielles utilisés dans notre expérience.

- **Module photovoltaïque ET-M53620**

Le module que nous avons utilisé pour nos essais est fabriqué par ET solar :ET-M53620fabrique en chine. Ces principales caractéristiques électriques (mesurée en STC) sont résumées dans le tableau ci-dessous:

Tableau IV.2: Caractéristiques électriques du module photovoltaïque ET-M53620

Puissance Maximal (P_{max})	**20W**	**Tolérance d'énergie %**	**-3 à 3**
Tension en circuit ouvert (V_{co})	**21.96 V**	**Système de tension maximal**	**DC1000V**
Intensité du court-circuit (I_{cc})	**1.27 A**	**fusible série**	**10A**
Tension à puissance max (V_{mpp})	**17.82V**	**Classement au feu**	**C**
Intensité à puissance max	**1.14A**	**charge structurelle**	**45lb/$f\ t^2$**

- **Hand Pyranometer 4890.20**

L'instrument est conçu pour les mesures sur le terrain de l'irradiation solaire globale. Il est livré avec une carte numérique d'affichage pour la lecture directe de l'éclairement énergétique en watts par mètre carré.L'appareil est alimenté par une batterie de 9 volt[20].

- **Caractéristiques techniques**
- Dimensions : 185 x 108 x 56 mm.
- Alimentation électrique : Batterie 9V.
- Plage de mesure : 0-1999 W/m2.
- Résolution : 1 W/m2.
- Précision : +/-5% de la pleine échelle.



Figure IV- 12 : Hand Pyranometer 4890.20.

- **Thermomètre ST-613**

ST613 est un thermomètre à deux entréesthermocouples type K pour la mesure des températuresdans la gamme –50°C à 1300°C.La résolution est de 0,1°C sur toute la plage-50°C à 1000°C.Le double affichage indique les températures surchacune des sondes, ou la différence de températureentre les deux sondes.[21]

- **Caractéristiques techniques**
- Affichage : 10 000 points.
- Unités de température : °C, °F, °K.
- Capture de la valeur Max.
- Enregistrées sur une période réglable de 1s à 99min 59s.
- Alimentation : pile 9V standard à pressions.



Figure IV- 13: Thermomètre ST-613.

- Arrêt automatique.
- Grands digits 17 mm.
- Dimensions : 165 x 76 x 43 mm 400g.
- 2 sondes avec manche thermocouple type K : tube inox Ø3, 2mm.
- Gamme T1 et T2 ΔT = T1-T2.
- -50 à -100°C 0,5% + 2°C 0,5% + 1°C.
- -100 à 1300°C 0,15% + 1°C 0,5% + 1°C.

IV.3.1.2 Résultats obtenues

Lorsque la résistance est à sa valeur minimale, la valeur du courant est égale au courant de court-circuit I_{cc}, Et lorsque la résistance est à sa valeur maximale $V_{pv} = V_{co}$,Alors dans la valeurde résistance minimale le PV se comporte comme un générateur de courant, Et dans la valeur maximale de résistance le PV se comporte comme un générateur de tension.

Des mesures sont effectuées dans des conditions réelles qui sont représentée dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Conditions réelles et résultats des mesures

T (°C)	29	30	30	29	31	31	31	31	30	30	30	29
G (W/m^2)	900	880	890	880	870	900	860	700	600	850	860	800
Charge (ohm)	CC	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	CO
$V_{pv}(V)$	0	12.2	17	17.85	18.63	18.8	18.9	18.97	19.04	19.07	19.6	20
$V_{ch}(V)$	0	12.2	17	17.75	18.27	18.50	18.64	18.70	18.82	19	19.54	19.9
$I_{pv}(A)$	1.25	1.2	0.87	0.61	0.46	0.37	0.31	0.27	0.23	0.19	0.04	0

Nous avons ensuite tracé les caractéristiques I(V) et P(V) du panneau sont représentée par les figures IV-14,IV-15:

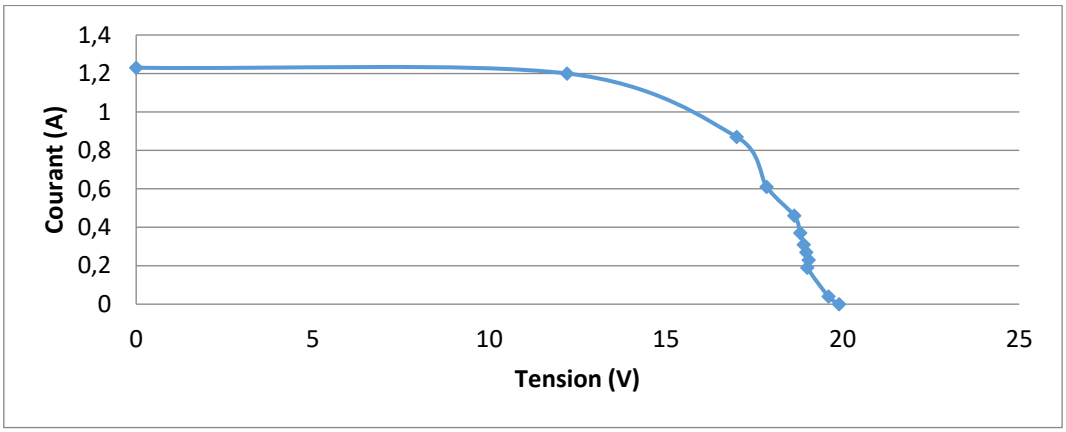


Figure IV- 14: Résultats d'expérience les caractéristiques (Courant –Tension) du GPV.

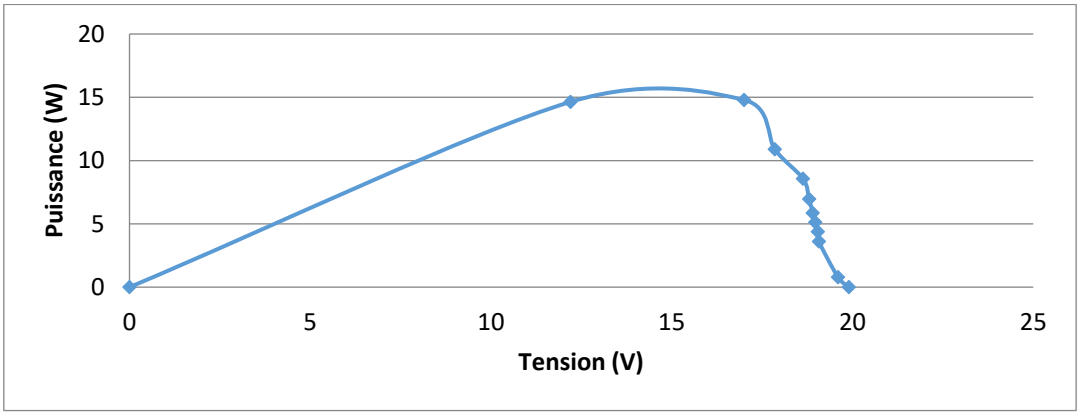


Figure IV- 15: Résultats d'expérience les caractéristiques (Puissance –Tension) du GPV.

IV.3.2 Caractéristique expérimentale par carte dSpace

Pour pouvoir faire une implémentation sous dSpace nous avons : Capté la tension et le courant du générateur photovoltaïque (panneau photovoltaïque de type ET-M53620 à l'aide des capteurs qui ont été étalonnées.Ils sont reliés directement aux entrées de la dSpace (Mux ADC).

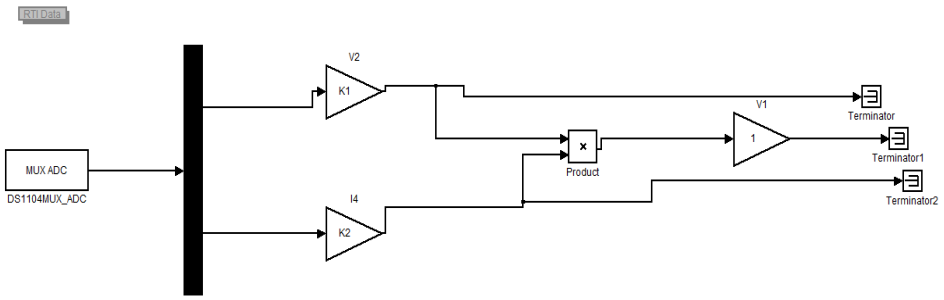


Figure IV- 16 : Bloc d'implémentation sous dSpace.

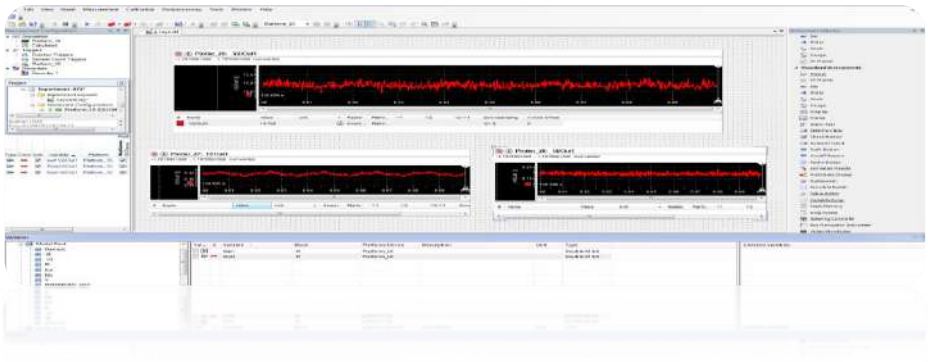


Figure IV- 17: Signaux d'implémentation sous Control Desk.

Dans ce test nous avons fait fonctionner le système sans MPPT jusqu'à t=20s, dansles conditions l'ensoleillement (**E=800 W/m²**) et une température de (**T= 33C**).Nous a obtenues les résultats suivants :

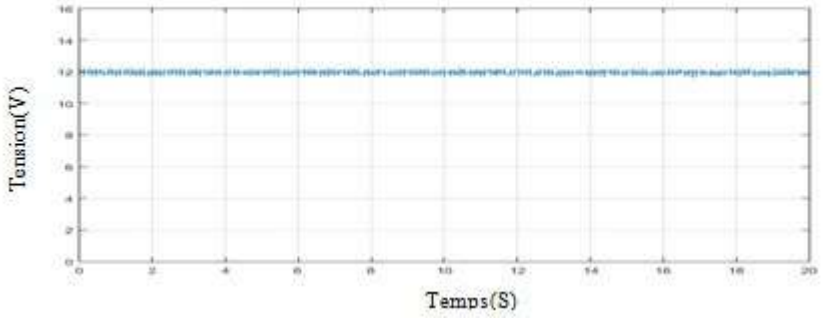


Figure IV- 18: Tension d'entrée de panneaux en fonction du temps.

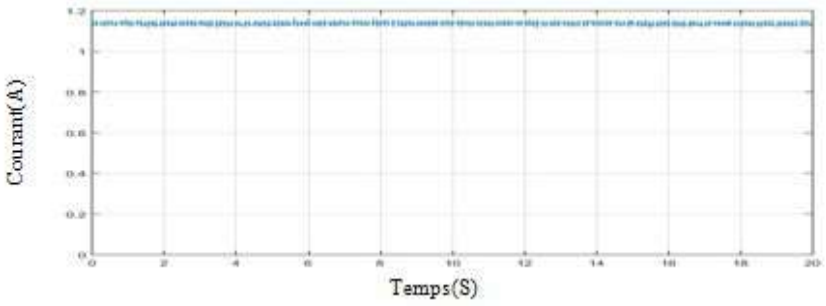


Figure IV- 19: Courant d'entrée de panneaux en fonction du temps.

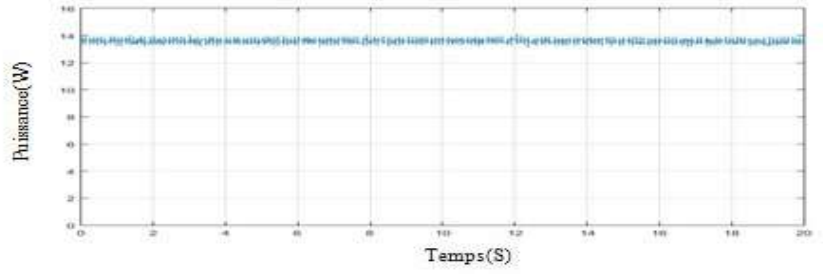


Figure IV- 20: Puissance d'entrée de panneaux en fonction du temps.

Nous avons obtenues les résultats suivants par prendre des points de test en variant la valeur de la résistance charge de la valeur maximal a une valeur minimal :

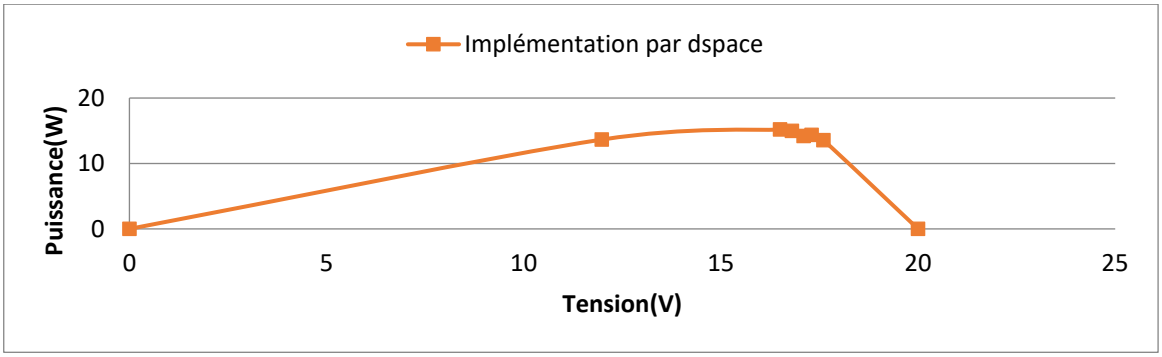


Figure IV- 21: Caractéristique Puissance-Tension : implémentation par dSpace.

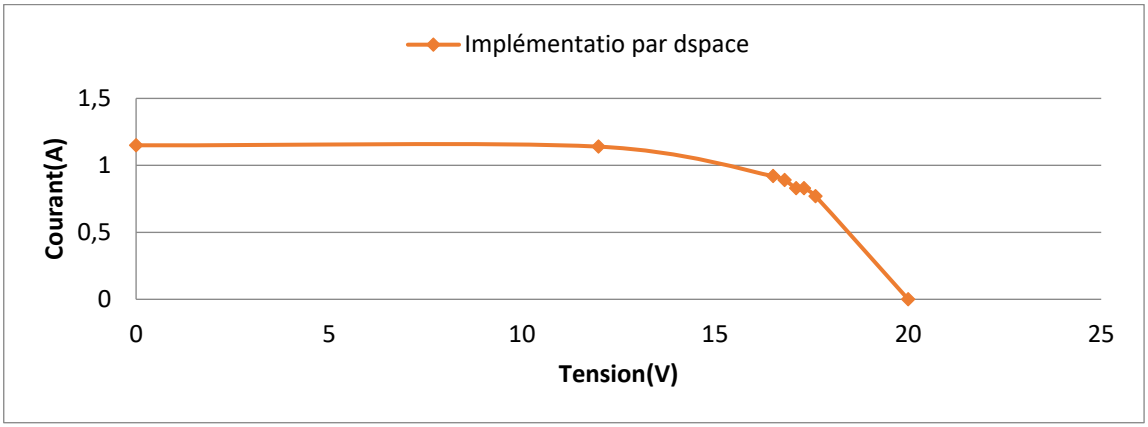


Figure IV- 22 : Caractéristique Courant-Tension : implémentation par dSpace.

Lorsque la résistance est à sa valeur minimale, la valeur du courant est égale au courant de court-circuit I_{cc} , Et lorsque la résistance est à sa valeur maximale $V_{pv} = V_{co}$.

IV.3.1 Comparaison entre les trois méthodes

Nous avons fait une comparaison des trois méthodes, les résultats obtenues sont ci-dessous

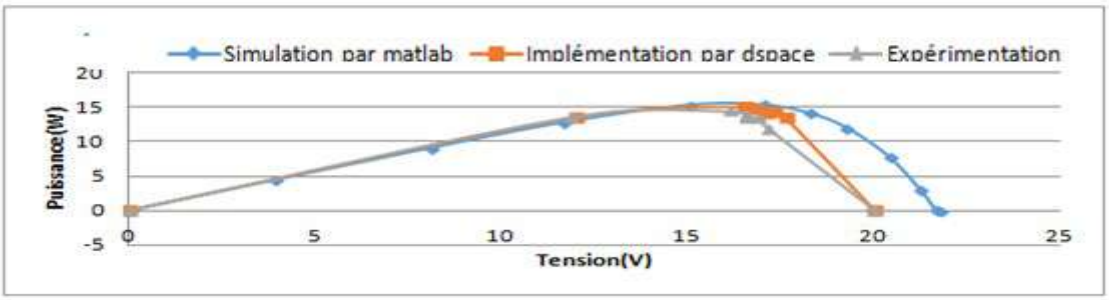


Figure IV- 23 : Caractéristique Puissance-Tension :Comparaison des trois méthodes de calcul.

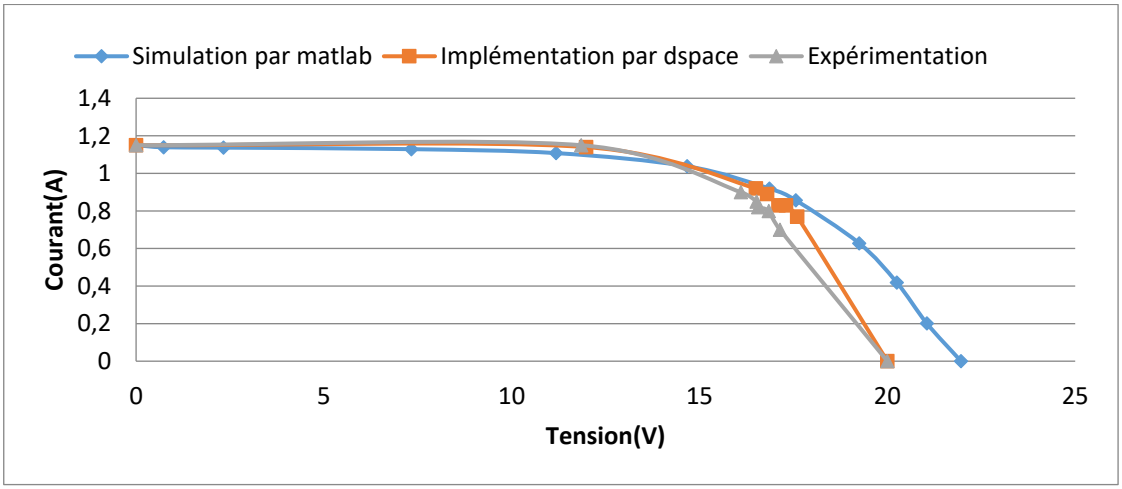


Figure IV- 24 : Caractéristique Courant-Tension : Comparaison des trois méthodes de calcul.

On remarque que les résultats sont pratiquement identiques à une déférence prés lors de l'essai au point V_{co}

IV.4 Réalisation du hacheur boost

Ce convertisseur permet de convertir la tension d'entrée à une tension de sortie supérieure.

IV.4.1 Partie puissance

Déterminer les caractéristiques de la carte de puissance est une étape cruciale dans la construction du hacheur, car tout composant inadapté peut logiquement empêcher un fonctionnement optimal de cette carte de puissance.La figure IV.25 présente la carte de puissance et leurs composantes

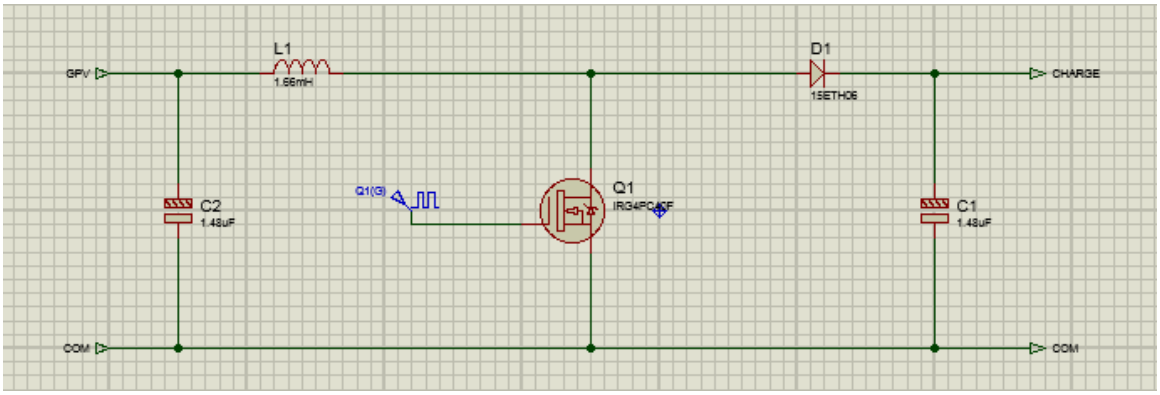


Figure IV- 25: Circuit de puissance du hacheur boost.

IV.4.1.1 Dimensionnement des composants

Le cahier des charges correspondant à notre application est le suivant :

Tableau IV.4: Cahier des charges des composants :

Puissance nominale	**20 W**	**Ondulation du courant**	**21%**
Tension d'entrée (V_e)	**17.82V**	**Ondulation de la tension**	**0.03%**
Courant d'entrée (I_e)	**1.14A**	**Fréquence de hachage (F_{pwm})**	**20KHZ**
Tension de sortie (V_s)	**37.91V**	**Rapport cyclique (α)**	**0.3 à 0.56**

IV.4.1.2 Choix des composants

- **La diode :** Elle doit être suffisamment rapide pour suivre les variations de l'interrupteur, limiter les pertes et protéger l'interrupteur.
- **Le transistor MOSFET :** l'utilisation du MOSFET s'explique par le fait que notre hacheur Boost appartient à la catégorie basse/moyenne puissance et fonctionne avec une grande fréquence de commutation.
- **La bobine :** La détermination de la bobine qu'il faut est une étape très délicate, puisqu' une inductance trop faible ne permettrait pas le fonctionnement de la carte de puissance et une inductance trop forte emmagasinera une trop forte quantité d'énergie provoquant d'importantes pertes de puissance par effet Joule ainsi qu'une surchauffe des composants.

Pour la détermination du rapport cyclique on a :

$$\alpha = \frac{\frac{V_s}{V_e} - 1}{\frac{V_s}{V_e}} = 0.56 \qquad \textbf{(IV.1)}$$

Les valeurs des inductance sont choisies de telle sortes que la variation des courants des inductances n'est pas supérieur à 21% de la valeur moyenne du courant. L'equation suivante donne la variation du courant de l'inductance.

$$\Delta I_{PV} = \frac{V_e \alpha}{L \times f} \qquad \textbf{(IV.2)}$$

Ou :

V_i : est la tension d'entrée

α : est le rapport cyclique

f : est la fréquence de commutation

Supposer que la plus mauvaise oscillation du courant se produit dans la condition maximale de la puissance. Dans cette condition, le courant I_e est 1.14A,et le courant d'ondulation est 21% de I_i

$$\Delta I_e = 0.21 I_e = (0.21)(1.14) = 0.49 \quad \textbf{(IV.3)}$$

De l'équation (IV.1), (IV.2) et (IV.3)

$$L = \frac{V_e \alpha}{\Delta I_{PV} f} = \frac{(17.82 \times 0.56)}{0.23 \times 20000} = 2\,mH \quad \textbf{(IV.4)}$$



Figure IV- 26 : Anneau de ferrite bobiné avec du fil de cuivre utilisé.

- **Le condensateur :** Il était nécessaire de placer des condensateurs C, en sortie comme en entrée, de forte capacité (condensateur chimique) afin d'être apte à filtrer les fortes et les faibles fréquences. Le but du condensateur de sortie est en effet de filtrer les variations de tension en sortie du convertisseur « Boost », et le condensateur en entrée a le rôle de filtrer la tension à la sortie du panneau.



Figure IV- 27 : Modèle de condensateur utilisée.

Le critère de choix du condensateur est que la tension d'oscillation ne doit pas dépasser les0.03%. L'equation suivante donne la variation de la tension admisible.

$$\Delta V_s = \frac{\alpha V_s}{C R_{ch} f} \qquad \textbf{(IV.5)}$$

La valeur de C est calculée avec l'équation suivante :

$$C = \frac{\alpha V_s}{\Delta V_s R_{ch} f} = \frac{0.56 \times 37}{0.011 \times 100 \times 20000} = 9.10^{-4} \mu F \qquad \textbf{(IV.6)}$$

La figure IV-28 représente le montage global du système

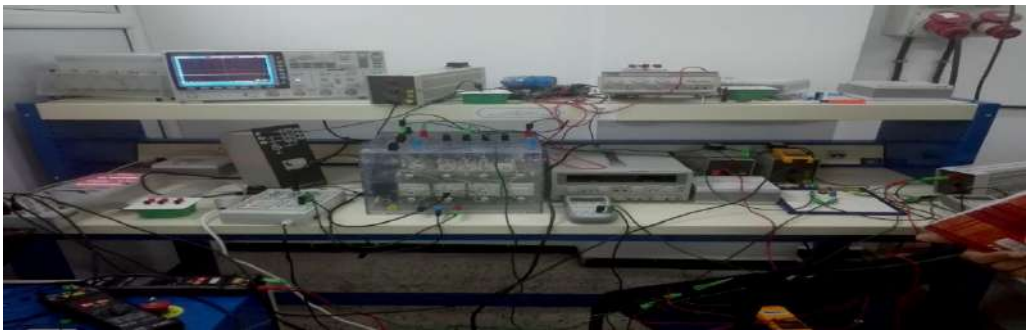


Figure IV- 28 : Montage global du système.

IV.4.2 Les mesures de courant et de tension

Les mesure du courant et de la tension à la sortie du panneau photovoltaïque I_{pv} et V_{pv} vont être prises avec une pince à courant - figure (IV.29) c'est une sonde différentielle de tension (atténuateur de tension), figure (IV.30). Les sorties de l'atténuateur de tension et de la sonde de courant vont être branchées à l'oscilloscope pour visualiser les signaux et ensuite connectées aux pins des entrées ADC responsable afin d'enregistrer les valeurs, respectivement de V_{pv} et I_{pv} .



Figure IV- 29 : Pence à courant FLUKE I30/I30s.

- **Descriptif de la pince ampérométrique :**La pince ampérométrique I30s AC/DC est destinée aux oscilloscopes et aux multimètres numériques pour effectuer des mesures précises

non-intrusives des courants continus et alternatifs et des formes d'ondes complexes. L'utilisation de la technologie de l'effet de Hall permet à la pince I30s de mesurer avec précision des courants entre 5 mA et 30 A avec une résolution de 1 mA sur la gamme des fréquences de courant continu jusqu'à 100 kHz.



Figure IV- 30: Sonde Différentielle de tension GDP-50.

- **Descriptif de la sonde DP-50 :**La sonde DP-50 convertit le signal d'entrée haute tension en signal de basse tension pour l'affichage sur n'importe quel oscilloscope et assurer également l'isolation galvanique. Ces caractéristiques sont comme suis :

- Fabricant : GW INSTEK
- Type d'accessoires de mesure : sonde d'oscilloscope
- Bande de fréquence : ≤100MHz, ≤50MHz (100:1)
- Atténuateur : 100:1/200:1/500:1/1000:1
- Tension d'entrée max : 6.5kV
- Genre de sonde : active, différentielle
- Source d'alimentation : 9V DC
- Utilisation des appareils de mesure pour oscilloscopes GW Instek
- Impédance d'entrée : 54MΩ/1,2pF
- Poids brut: 1067.1 g.

IV.4.3 Implémentation de la méthode P&O

Une fois l'acquisition de données est faite, Le signal de commande est récupéré par la sortie MLI (Pulse Width Modulation PWM) qui existe sur le panneau de control de la dSpace. Nous avons utilisé différents appareillages, les ampèremètres et voltmètres pour la mesure des courants et tensions, le luxmètre pour la mesure de l'ensoleillement et de la température, et un oscilloscope pour visualiser le comportement de la largeur d'impulsion de la commande.

IV.4.3.1 Modulation de Largeur d'Impulsion

La définition d'une impulsion, dans le domaine physique, est la suivante : "Variation brusque d'une grandeur physique suivie d'un retour rapide à sa valeur initiale"[26]. Le principe de la méthode MLI repose sur l'échantillonnage du signale contenant l'information devant être transmise, nommé signal modulant, qui devient par suite une série d'impulsion à largeur définie en fonction de l'amplitude du signal modulant aux instants d'échantillonnage.

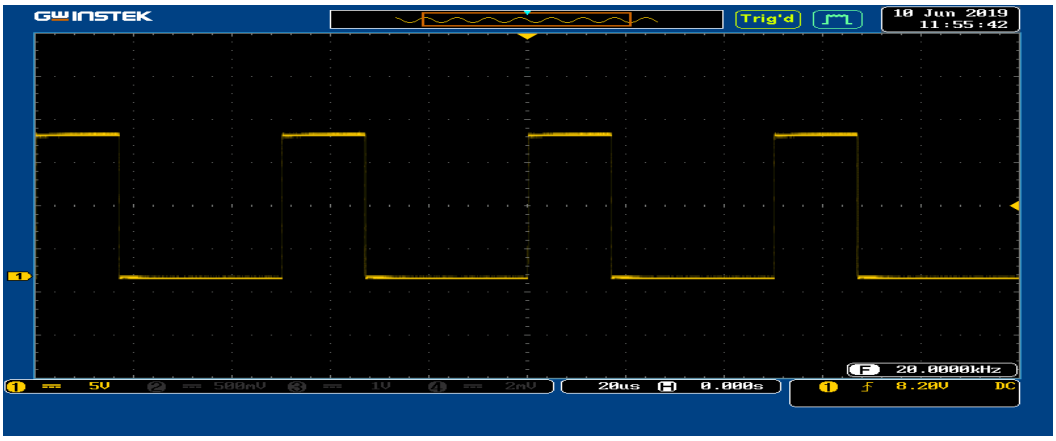


Figure IV- 31 : Signal MLI appliquée sur la mosfet par un rapport cyclique de 0.35.

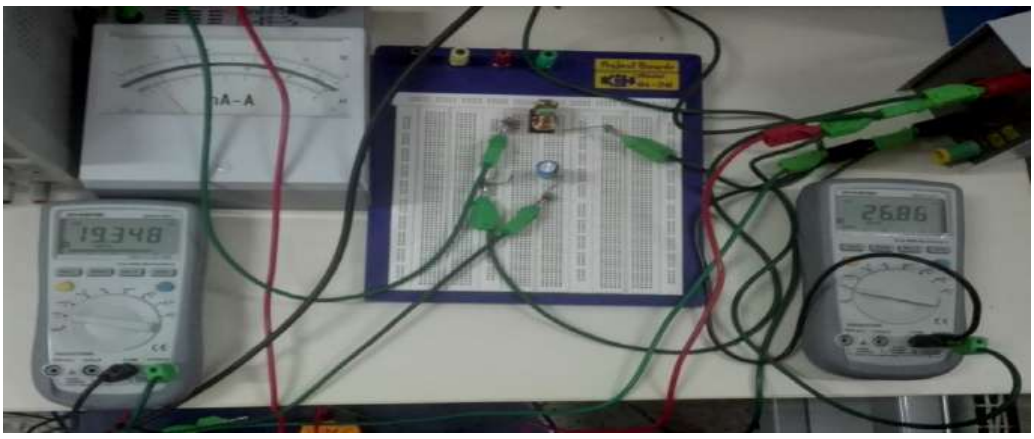


Figure IV- 32: Comparaison entre la tension d'entrée et tension sortie.

IV.4.3.2 L'influence sur la charge

Les figures IV.33 et IV.34 ci-dessous montre le courant, tension transmise à la charge en fonction de temps qui passe par un convertisseur boost qui augmentée la tension par la variation de rapport cyclique de 0.35 qui commandée par la commande de P&O sous les conditions STC T=33°C, G= $600W / m^2$.

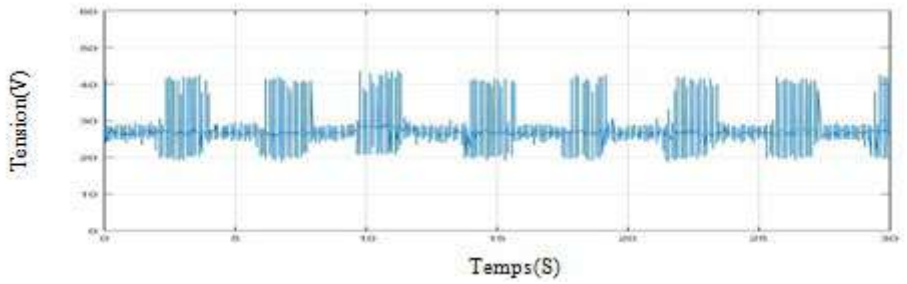


Figure IV- 33 : Tension de sortie appliquée sur la charge.

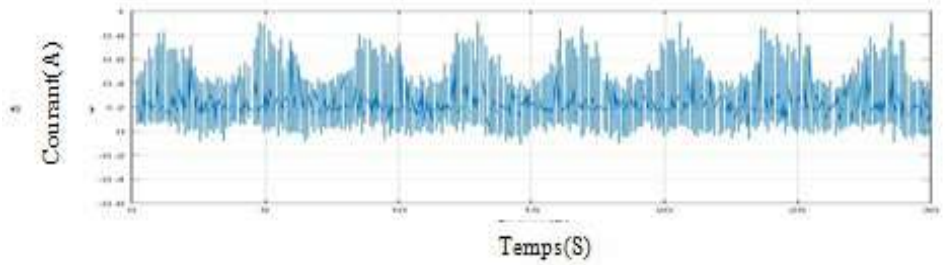


Figure IV- 34: Courant de sortie appliquée sur la charge.

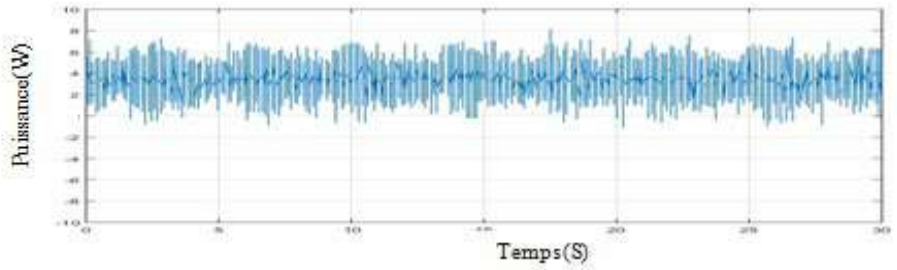


Figure IV- 35: Puissance de sortie transmise sur la charge.

- **L'influence de l'ombrage sur la tension de charge**

Les changements de l'insolation (ombrager) influence directement la valeur de la tension de charge car le panneau photovoltaïque dépend à la variation de l'éclairement il provoque une augmentation ou diminution de la tension absorbée par la charge. Les résultats sont présentéspar les figures IV-36 et IV-37 :

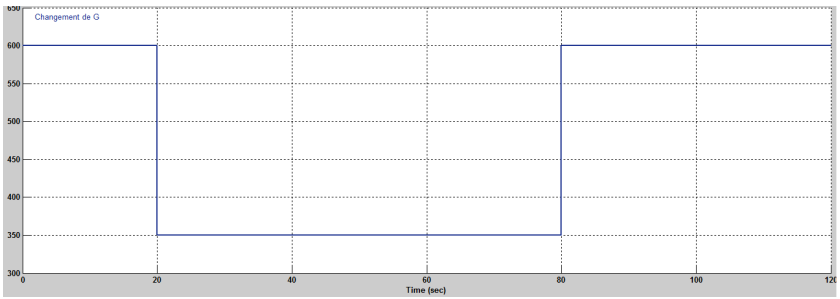


Figure IV- 36 : Effet d'ombrage.

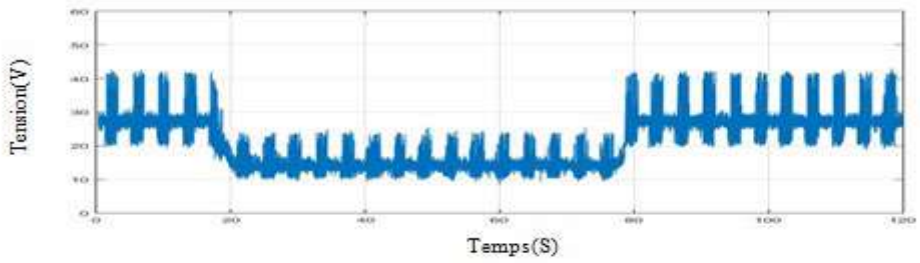


Figure IV- 37 : Tension absorbée par la charge dans de l'ombrage.

- **L'influence du changement de la valeur de la charge sur la tension de sortie**

La valeur de la charge influence directement la valeur de la tension de sortie.Le résultatde la figure IV-38 présente la variation de la valeur de la tension de sortie pour un changement de la résistance de 1000 ohm à 100 ohm.

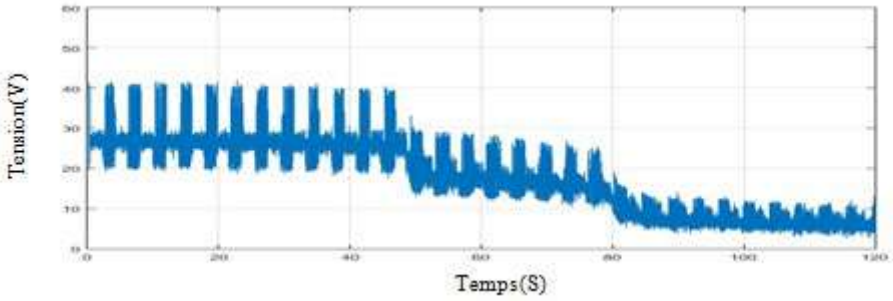


Figure IV- 38 : Tension absorbée par la charge lors du changement de la valeur de la charge.

IV.4.3.3 Comparaissant entre les résultats de simulation et les résultats obtenu par implémentation par dSpace

Dans ce travail nous avons fait fonctionner le système jusqu'à t=10s et comparée les résultatobtenus par implémentation et par simulation de la tension et du courant de sortie (tension,courant et puissance) dans les conditions**E=500 W/m²** et une température de **T= 33°C**. Nous avons obtenues les résultats suivants:

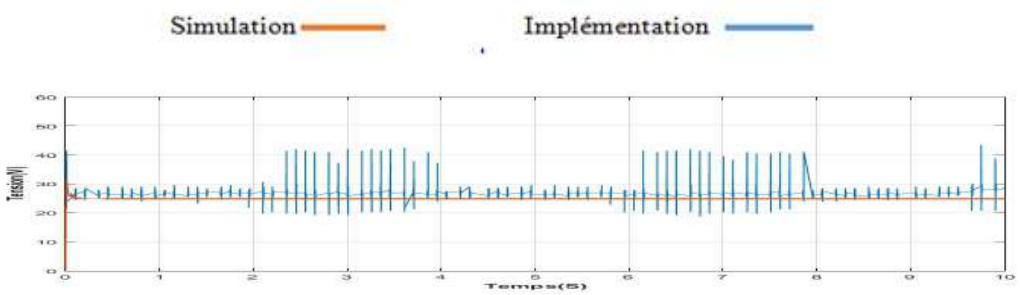


Figure IV- 39: Comparaison de la tension de sortie obtenue par implémentation et par simulation.

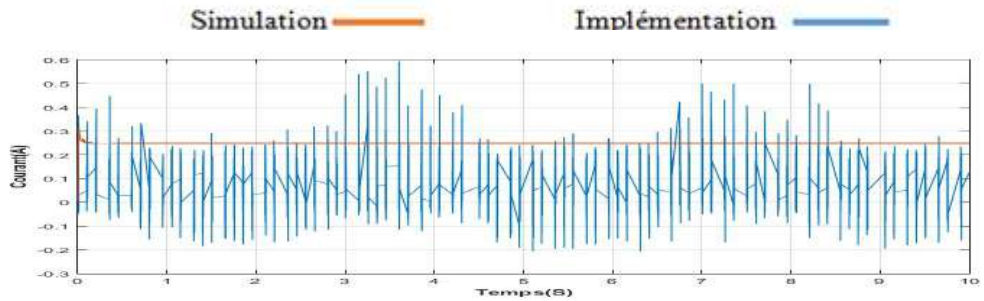


Figure IV- 40: Comparaison du courant de sortie obtenu par l'implémentation et par simulation.

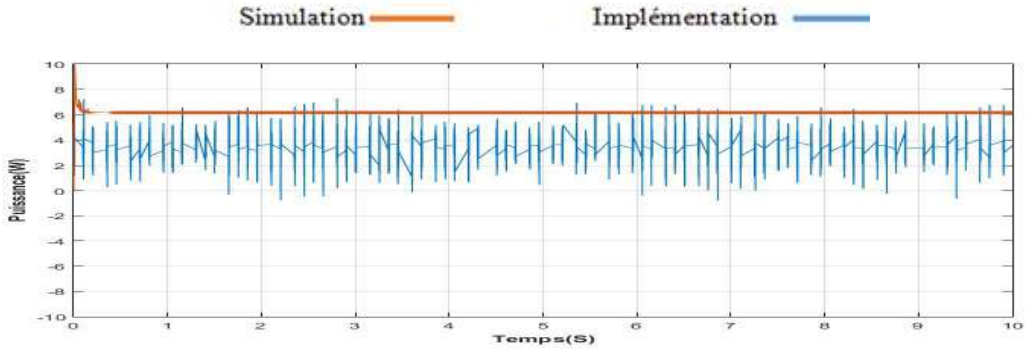


Figure IV- 41: Comparaison la puissance de sortie obtenue par implémentation et par simulation.

On remarque que pour les résultats expérimentaux, nous avons eu un bon résultat malgré les difficultés de la pratique (changements soit de température ou de l'éclairement, les périodes d'échantillonnage…).

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une implémentation sur dSpace pour visualisée les signaux en temps réel d'unsystèmephotovoltaïque commandé par la méthode P&O composée d'unpanneausolaire, de capteurs de courant et de tension, des appareilles des mesure pour la comparaissant,d'un convertisseur boost. Nous avons également tracé les caractéristiques courant-tension et puissance-tension du panneau solaire avec la méthode volt-ampèremètre, par dSpace et par simulation.

Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches se sont conduits aux énergies renouvelables. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

Notre travail c'est porté sur l'implémentation en temps réel d'un système photovoltaïque sur carte dSpace. Pour ce faire nous avons commencé au premier chapitre par étudier le principe de la conversion photovoltaïque ou on a présenté les différents types des cellules PV, l'influence de la température et de l'irradiation sur le rendement de cellule, les différentes associations des cellules.

En deuxième chapitre on a étudié les convertisseurs (DC-DC) en montrant le principe de fonctionnement et les formes des signaux, après on a introduit les principes de différentes techniques de commande MPPT.

Les simulations des différentes techniques de commande mentionnées ont été présentés au chapitre 3 après avoir passé par la modélisé du panneau solaire. Une étude comparative entre la (P&O), Incond et la logique floue a été réalisée sous différentes conditions de fonctionnement.

Nous avons tracé les caractéristiques courant-tension et puissance-tension du panneau solaire avec la méthode volt-ampèremètre, par dSpace et par simulation au chapitre 4. Une implémentation de la méthode de commande P&O sous dSpace a été également présenté et les résultats expérimentaux obtenus sont satisfaisants.

Références Bibliographiques

[1] : Pastor, A.C., 2006. Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques (phdthesis). INSA de Toulouse.

[2] : Cédric CABAL Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque Le 15 Décembre 2008, DOCTORAT, DE L'UNIVERSITE DE TOULOUSE Délivré par l'Université Toulouse III – Paul Sabatier.

[3] : MENADI Abdelkrim Commande Par Les Techniques Intelligentes D'un Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau Soutenue publiquement le 2016 Du diplôme de Doctorat LMD Université Mohamed Khider – Biskra Spécialité : Génie Electrique Option Estimation et contrôle des systèmes.

[4] : Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques le 05 Mars 2015, DOCTORAT, UNIVERSITE FERHAT ABBES - SETIF 1 UFAS(ALGERIE)

[5] : Le photovoltaïque fonctionnement et technologies novembre 2010.

[6] : DESIGN PROCESS OPTIMISATION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS.
By Brian Goss October 2015 Loughborough University

[7] :https://www.habiter-autrement.org/12.energies/contributions-12/Intoduction-aux-systemes-photovoltaiques.pdf

[8] : Les caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques [WWW Document], 2018. URL https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696 (accessed 6.25.18)

[9] : Manuel de formation pour l'Installation et la Maintenance de petits systèmes photovoltaïques, https://unmundosalvadorsoler.org/_Files/foro/Manuel%20Pratique%20de%20petits%20syste%CC%80mes%20photovoltai%CC%88ques.pdf

[10] : Les caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques [WWW Document], 2018. URL https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696 (accessed 6.25.18).

[11] : SMA, Approvisionnement en énergie solaire des sites isolés et systèmes de secours, alimentant un centre de formation professionnelle aux technologies solaires , Mise en service : 2009, Source : juwi Solar GmbH.

[12] : Sahar GHANDOUR THÈSE Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE Spécialité : Micro et Nano Electronique Arrêté ministériel 7 août 2006.

[13] : R. D. Middlebrook and S. Cuk, "A General Unified Approach to Modeling Switching Power Converter Stages," In IEEE PESC Rec., pp. 18–34, Cleveland, OH, USA, 1976.

[14] : BELKAID ABDELHAKIM THESE Présentée à la Faculté de Technologie Département d'Electrotechnique Pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT EN SCIENCES Option: Electrotechnique THEME Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome *19/10/2015.*

[15] : AbdullahM. Noman, Khaled E. Addoweesh, and Hussein M. Mashaly Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume 2013, Article ID 549273, 11 pages http://dx.doi.org/10.1155/2013/549273 Research Article DSPACE Real-Time Implementation of MPPT-Based FLC Method.

[16] : J. Fadat, *Chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque, Commande MPPT*, La Revue 3EI n° 43 – Décembre 2005, ESIEE-Amiens 14 Quai de la Somme – BP 100 – 80 082

[17] : H. BUHLER, "Réglage Par Logique Floue", Presses Polytechniques et Universitaires Romandes Lausanne. (1994).

[18] : A. Menadi, S. Abdeddaim, A. Betka, M.T. Benchouia Real Time Implementation of A Fuzzy Logic Based Mppt Controller for Grid Connected Photovoltaic System INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH A.Menadi et al. Vol.5, No.1, 2015.

[19] : N. Aouchiche , M.S. Aït Cheikh et A. Malek, Poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque par les méthodes de l'incrémentation de conductance et la perturbation & observation Division Energie Solaire Photovoltaïque Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16340, Algiers, Algeria 2 Département d'Electronique, Ecole Nationale Polytechnique Avenue Hassen Badi, El Harrach, Algiers, Algeria (reçu le 10 Mai 2013 – accepté le 30 Septembre 2013).

[20]: User's Guide: Hand pyranometer with display A/S Søren Frederiksen, ØlgodTel. +45 7524 4966 sflab@sflab.dk

[21]: www.langlois-france.com Tél. 05 56 75 13 33 Fax 05 56 75 56 85 info@langlois-france.com PRODUITS GARANTIS 2 ANS.

[22]: M. Zelechowski, Space Vector Modulated Direct Torque Controlled (DTC SVM) Inverter Fed Induction Motor Drive , ThŁse Doctorat, Warsaw University of Technology, Poland 2005.

[23] J.C. BEKALE and F. TARTARIN, Etudier et RØaliser des Applications Temps Réel pour une Carte DSP DS1104 , Projet Technique, 2004.

[24] : MENADI Abdelkrim, Commande Par Les Techniques Intelligentes D'un Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau, Soutenue publiquement le …/…/2016. Doctorat LMD, Université Mohamed Khider – Biskra Spécialité : Génie Electrique, Option : Estimation et contrôle des systèmes

[25] : "Data Acquisition and Signal Processing", Indian Institute of Technology, Bombay Department of Mechanical Engineering.

[26] : M. HADEF, "Contrôle Direct du Couple des Machine Synchrone Avec et Sans Capteur Mécanique", Mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira, Novembre 2002

Annexes

Annexe A : Panneau photovoltaïque.



Solar

Photovoltaics is our passion

ET Module

ET-M53620 20Wp

EFFICIENCY

- Low voltage-temperature coefficient ensures high-temperature operation
- Exceptional low-light performance combined with high sensitivity to light enables excellent energy delivery

MATERIALS

- Highest quality, high-transmission tempered glass provides enhanced stiffness and impact resistance
- Advanced EVA encapsulation system with triple-layer back sheet meets the most stringent safety requirements for high-voltage operation
- A sturdy, anodized aluminum frame allows modules to be easily roof-mounted with a variety of standard mounting systems
- Ultra reliable bypass diodes prevent damage through overheating due to shaded or defective cells

BENEFITS

- Manufactured in an ISO 9001:2000 certified plant
- High efficiency, high safety, high reliability
- Output power tolerance of +/-3%
- 25-year limited warranty on power output, 5-year limited warranty on materials and workmanship

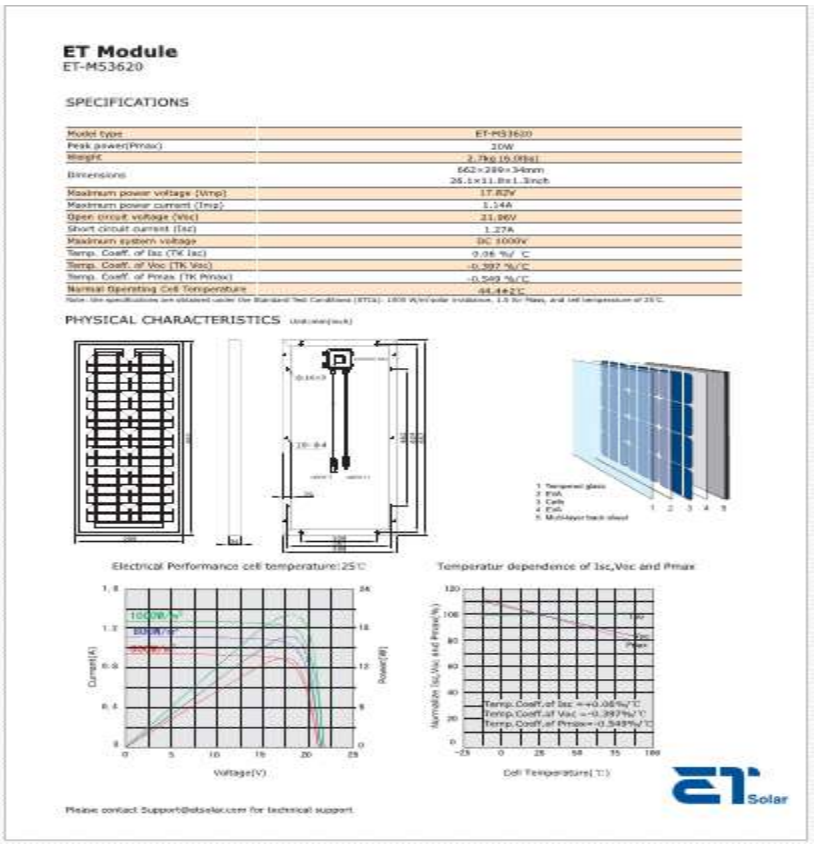
CE

ET SOLAR GROUP www.etsolar.com

ET Solar China

ET Solar USA

ET Solar Europe



ET Module
ET-M53620

SPECIFICATIONS

Model type	ET-M53620
Peak power(Pmax)	20W
Weight	2.7kg (6.0lbs)
Dimensions	662×289×34mm 26.1×11.8×1.3inch
Maximum power voltage (Vmp)	17.82V
Maximum power current (Imp)	1.14A
Open circuit voltage (Voc)	21.96V
Short circuit current (Isc)	1.27A
Maximum system voltage	DC 1000V
Temp. Coeff. of Isc (TK Isc)	0.06 %/ °C
Temp. Coeff. of Voc (TK Voc)	-0.397 %/°C
Temp. Coeff. of Pmax (TK Pmax)	-0.549 %/°C
Normal Operating Cell Temperature	44.4±2°C

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Electrical Performance cell temperature:25℃

Temperatur dependence of Isc,Voc and Pmax

Please contact Support@etsolar.com for technical support.

Annexe B : onduleur de tension

N°	Function	Voltage level	Max Current level
0	Earth connection	0V	30 A
1	Fan power supply	230V/50Hz	1 A
2	Thermal trip	15V	5 A
3	Rectifier input	230 / 400V	30 A
4	DC rectifier outputs	600 VDC (Red is positive, Blue is negative)	30 A
5	DC IGBT inverter inputs	600 VDC (Red is positive, Blue is negative)	30 A
6	AC IGBT inverter + chopper outputs	400 VAC / 800 VDC	30 A
7	PWM input of inverter	C-MOS logic 0/15 V (shield is internally connected to driver's 0V), 0V =open IGBT, 15 V = closed IGBT	1 A
8	PWM input of brake chopper	C-MOS logic 0/15V (shield is internally connected to driver's 0V), 0V =open IGBT, 15 V = closed IGBT	1 A
9	Error output	C-MOS logic 0/15V (shield is internally connected to driver's 0V)	1 A
10	15V driver power supply	15V	5 A
11	0V driver power supply	15V	5 A
12	Temperature sensor	0-5V	1 A



IGBT converter

Content of the « Didactic controller »

Content of the IGBT converter (ref : IG15) :

- ✓3 dual IGBT modules
- ✓1 brake chopper IGBT module
- ✓1 3-phase rectifier module
- ✓1 capacitor bank 1100µF/800Vdc
- ✓ Snubbers
- ✓1 SKHI driver board (control and protection)
- ✓1 forced air-cooled heat sink
- ✓ Galvanic isolation

Content of the real-time control unit (ref : IG10) :

- ✓1 Real-time control and acquisition board
- ✓1 Control board for IGBT
- ✓1 User interface with pre-programmed control laws

Annexe C : générateur

375W DUAL RANGE D.C. POWER SUPPLY



SPD-3606

CE

FEATURES

- Three Independent, Isolated Output
- CH1/CH2 : Dual Range Output of 30V/6A or 60V/3A to Cover Wide Application
- CH3 Adjustable Output : 0.1~5V/3A
- High Efficiency Power Conversion (Up to 25% Than Traditional Power Supply)
- Remote Control Output On/Off
- OVP to Protect the DUT
- OTP to Protect SPD-3606 and Reduce the Repair Rate
- Automatically Switching AC 115V/230V Source
- Fully Safety Design: Reverse Polarity, CH3 Overload Protection, Safe Output Setting , CC/CV Mode
- High Power Density: Compact Size, Light Weight
- Low Fan Acoustic Noise with Fan Speed Control Circuit

High Economic value D.C. Power Supply

SPD-3606 DC power supply provides 375W capability, three isolated outputs with dual-range for CH1/CH2, highly efficient power conversion, low noise, highly reliability, thorough protection design, and compact size. SPD-3606 creates a new bench mark for satisying main stream power supply demand.

Dual-Range

CH1/CH2 of SPD-3606 offer dual-range output either at 30V/6A or 60V/3A per channel to accommodate broad application in one unit. With the auto Series/Parallel tracking operation, SPD-3606 is able to provide the master output at 30V/12A, 60V/6A, or 120V/3A. One SPD-3606 can cover three-output applications and wide combinations of voltage/current output.

High Efficiency and High Power Density

High power conversion efficiency lets SPD-3606 consume less energy and align with global environment protection concern. Besides, the high power densities make SPD-3606 weigh less than half and occupy much less space than equal power rating linear power supply , which is used to be quite heavy and bulky.

Thorough Design of Protection

To avoid the damage caused by improper operation to SPD-3606 and DUT, SPD-3606 provides numerous protection features such as reverse polarity protection, OVP (Over Voltage Protection) and OTP (Over Temperature Protection)In case the wrong AC Power is connected, SPD-3606 automatically selects can cope with it by switching 115V/230V source internally.

Manual or Remote Output on/Off Control

SPD-3606 provides Output on/off function. User can preset the voltage/current value and check the connection between DUT and power supply is ready. Then users could control output on/off by manual switching or by remote connection. SPD-3606 also provides volume guard function. It is an optional item which replaces the regular Voltage/Current knobs to prevent accidentally changing the output level. It is useful for automated testing at fixed output level, such as assembly line inspection.

APPLICATIONS

- R&D Design and Verification
- QA Verification
- Production Test



FOUR FEATURES

1. Three Independent, Isolated Output
2. Dual Range Output of 30V/6A or 60V/3A
3. Remote Control Output On/Off
4. Voltage/Current protection Knob(Option)

GW INSTEK

Made to Measure

www.gwinstek.com.tw

Annexe D : GBF (générateur de basse fréquence)

AIM & THURLBY THANDAR INSTRUMENTS

TG120



20MHz function generator

- 0.2Hz to 20MHz frequency range
- 10mV to 20V pk-pk from 50Ω, plus TTL/CMOS output
- DC offset control with zero detent
- Variable symmetry control
- External sweep input
- Very low cost

TG120 Low-cost 20MHz function generator

An essential instrument

The function generator is one of the most versatile instruments available.

It can generate a variety of precision waveshapes over a range of frequencies from mHz to MHz. It can provide a wide range of controlled amplitudes from a low impedance source and maintain constant amplitude as the frequency is varied.

Voltage control of frequency allows FM modulation to be introduced or can provide a swept frequency source for such tasks as frequency response testing.

20MHz from a low-cost generator

Most lower cost function generators use a technology which enables them to operate up to no more than 2MHz.

The TG120 utilises an alternative technology which retains its waveform quality right up to 20MHz.

Variable symmetry for pulse and ramp waveforms

The TG120 provides switchable bi-directional variable symmetry which enables variable duty cycle pulse waveforms and sawtooths to be generated.

Sweep mode operation (external)

The TG120 can be operated in sweep mode by connecting an external sweep voltage. A sweep range of at least 20:1 can be achieved.

Wide range level control

The TG120 provides a main output with a maximum emf of 20V pk-pk from a 50Ω source.

An amplitude vernier with a range of 26dB is combined with two -20dB switched attenuators to provide levels down to 10mV pk-pk. Variable DC offset of ±10V is available via a centre detent control.

An auxiliary output provides a fixed 0 to +5V level suitable for driving both TTL and CMOS loads.

Key features

- 0.2Hz to 20MHz frequency range
- 10mV to 20V pk-pk from 50Ω
- TTL/CMOS auxilliary output
- DC offset control with zero detent
- Variable symmetry control
- External sweep input

Technical Specifications

FREQUENCY

Frequency Range:	0.2Hz to 20MHz in 8 overlapping decade ranges with fine adjustment by a vernier.
Vernier Range:	>10:1 on each range.
Vernier Accuracy:	Typically ±5% of full scale.

SWEEP MODE (EXTERNAL)

Input Impedance:	82 kΩ
Sweep Range:	Typically > 20:1
Input Sensitivity:	Typically 0 to 2V for 10:1 sweep
Max. Input Voltage:	±10V
Max. Slew Rate of sweep voltage:	0.1V/µs

OPERATING MODES

(Specifications apply for the top decade of each frequency range and output 10V peak-to- peak into 50Ω termination).

SINE

Distortion:	Typically 2% on 200, 2k and 20k ranges.
Amplitude Flatness:	±0.2dB to 200kHz; ±2dB to 20MHz.

TRIANGLE

Linearity:	Typically 99% on kHz ranges.

SQUAREWAVE

Rise and Fall Times:	<20ns

DC

Range:	±10V from 50Ω

SYMMETRY

Symmetry Range:	Typically variable from 1:6 to 6:1 up to 500kHz.

OUTPUTS

50Ω

Three switch-selectable ranges with 26dB vernier control within each range.

0dB Range:	1V to 20V peak-to-peak (0.5V to 10V into 50Ω).
-20dB Range:	100mV to 2V peak-to-peak (50mV to 1V into 50Ω)
-40dB Range:	10mV to 0.2V peak-to-peak (5mV to 0.1V into 50Ω)
DC Offset Range:	±10V from 50Ω. DC offset plus signal peak limited to ±10V (±5V into 50Ω). DC offset plus waveform attenuated proportionally in -20dB and -40dB position.

TTL/CMOS

Capable of driving 4 standard TTL loads.

GENERAL

Power:	230V or 115V nominal 50/60Hz, adjustable internally; operating range ±14% of nominal; 30VA max. Installation Category II.
Operating Range:	+5°C to +40°C, 20% to 80% RH.
Storage Range:	-10°C to +60°C
Environmental:	Indoor use at altitudes to 2000m, Pollution Degree 1.
Electrical Safety:	Complies with EN61010-1.
EMC:	Complies with EN61236.
Size:	280(W) x 82(H) x 230(D) mm, (10.3 x 3.4 x 9.2") excluding feet.
Weight:	1.5 Kg (3.3lb).

Thurlby Thandar Instruments Ltd. operates a policy of continuous development and reserves the right to alter specifications without notice.

Designed and built in Europe by

TTi ltd

Thurlby Thandar Instruments Ltd.
Globe Road, Huntingdon, Cambs. PE29 7DR England
Tel: +44 (0)1480 412451 Fax: +44 (0)1480 450409
Email: info@aimtti.com Web: www.aimtti.com

0100-0002 Iss. 1A

Annexe E: capture de l'irradiation

User's Guide: Hand pyranometer with display

24.10.05 Ae 4890.20



Description

The instrument is designed for field measurements of global solar irradiance. It is supplied with a digital display for direct readout of the irradiance in watts per square meter. Two 4 mm safety jack terminals are provided so that the signal can, if required, be used by a datalogger. The device is powered by a 9 volt block battery (provided).

Operation

The instrument is very easy to use. It is switched on using the on/off button, the silicon cell detector is oriented to the direction of interest, and the global irradiance in watts per square meter can be read directly from the digital display. It is important to orient the detector in the proper direction. To obtain a value for solar irradiance on a horizontal surface, it should be placed on a horizontal surface with no shadow covering the detector. If the global irradiance on for example a solar collector is desired, then the detector should be oriented so that it is parallel to the surface of interest. Note that the instrument is not designed for permanent outdoor installation but for field measurements.

Calibration

Each instrument is individually calibrated in sunlight using a Kipp-Zonen CM21 pyranometer as a reference instrument. Under typical conditions the accuracy of the instrument is within +/-5% of full scale. The precision of the instrument is +/- 1 watt per square meter. The user can make fine adjustments of the calibration if required by means of a trim potentiometer accessible through a small circular aperture on the rear of the instrument.

Technical data

Dimensions: 185 x 108 x 56 mm.

Power supply: 9V block battery.

Measuring range: 0-1999 W/m².

Resolution: 1 W/m².

Accuracy: +/-5% of full scale.

Sample application:

The instrument can be used in laboratory exercises and projects to measure the solar global irradiance in watts per square meter. When measuring the performance of for example a solar cell module, the efficiency of the module can be found. Here is an example:

A solar cell module has an area of 0.5 square meters, and it supplies af voltage of 20 volts and a current of 3.5 amperes when operating at the maximum power point. The hand pyranometer shows that the irradiance is 1000 watts per square meter. The output of the module is then 20 volts times 3.5 amperes = 70 watts, i.e. 140 watts per square meter. The module efficiency is therefore equal to 140 watts divided by 1000 watts per square meter = 14%.

A/S Søren Frederiksen, Ølgod
Viaduktvej 35 · DK-6870 Ølgod
Tel. +45 7524 4966
Fax +45 7524 6262
sflab@sflab.dk
www.sflab.dk

Frederiksen

Annexe F : capture de température



ST613 est un thermomètre à deux entrées thermocouples type K pour la mesure des températures dans la gamme –50°C à 1300°C.
La résolution est de 0,1°C sur toute la plage -50°C à 1000°C.
Le double affichage indique les températures sur chacune des sondes, ou la différence de température entre les deux sondes.

ref. ST613

	PRECISION	
GAMME	T1 et T2	ΔT = T1-T2
-50 à -100°C	0,5% + 2°C	0,5% + 1°C
-100 à 1300°C	0,15% + 1°C	0,5% + 1°C

- Affichage : 10 000 points
- Unités de température : °C, °F, °K
- Capture de la valeur Max
- Moyenne des températures enregistrées sur une période réglable de 1s à 99min 59s
- Alimentation : pile 9V standard à pressions
- Arrêt automatique
- Grands digits 17 mm
- Dimensions : 165 x 76 x 43 mm 400g

Accessoires fournis
2 sondes avec manche thermocouple type K : tube inox Ø3,2mm



Annexe G: Interface de Conversion analogique / numérique



Annexe H : Rhéostat 100ohms, 1.8A



Rhéostat 100 Ohms - 320 W

Ref. 42400006

Résistance variable de puissance 320 W (nominale), soit 640 W maxi. Variable jusqu'à 100 ohms.

Le rhéostat est un appareil servant à introduire une résistance variable dans un circuit électrique et permettant ainsi de modifier l'intensité du courant. Il peut être utilisé comme résistance fixe ou comme diviseur de tension.
Ce rhéostat à curseur est intégré dans un boîtier protégé contre les contacts, et permet de réaliser des expériences dans des circuits de petites et basses tensions.

- Douille de terre intégrée.
- NORMES : IP 20 et EN61010-1
- Courant nominal : 1,8 A

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Tolérance de résistance : 10 % de la valeur nominale
Puissance admissible : 320 W (mode continu), 640 W (max. 15 min)
Tension max. admiss. : 600 V
Connexions : douilles de sécurité de 4 mm
Dimensions : 446 mm x 93 mm x 150 mm
Masse : 2,85 kg à 3,25 kg

Annexe I : programme de traçage des figure control desk vers matlab

```
%Programme de rйcupйration de donnйes sous Matlab
%nom du fichier test.mat
%le fichier doit кtre placй dans le rйpertoire de travail de Matlab
load yac1.mat; % pour charger les donnйes
t = yac1.X.Data; % crйation du vecteur temps
variable_1=yac1.Y(1).Data; %rйcupйration des variables
variable_2=yac1.Y(2).Data;
variable_3=yac1.Y(3).Data;
%ainsi de suite
%**************************%
%*****tracй des courbes*****%
plot(t, variable_1);grid;
figure;
plot(t, variable_2);grid;
figure;
plot(t, variable_3);grid;
figure;
%fin
```

Annexe j : Rhéostat 1000ohms, 0.8A

Rhêostat à curseur 1000 Ohm

Référence produit



Masse	2.76 kg
Brand	3B Scientific
Réf. Article	U17356 [1003068]

Description

Rhéostat à curseur en boîtier protégé contre les contacts, pour des expériences réalisées dans des circuits de petites et basses tensions et destinées à être utilisées comme résistances série réglables en continu pour régler l'intensité électrique, comme résistances fixes ou comme diviseurs de tension ; avec douille de terre intégrée.

Tolérance de résistance : 10% de la valeur nominale
Puissance admissible : 320 W (mode continu), 640 W (max. 15 min)
Tension max. admiss. : 600 V
Connexions : douilles de sécurité de 4 mm
Dimensions : 446 mm x 93 mm x 150 mm
Masse : 2,85 kg à 3,25 kg

Résistance (Ohm): 1000
I continue en A: 0,57
Intensité électrique (max. 15 min.) en A: 0,8

Annexe k : programme de logique floue

```
          name: 'floue55'
          type: 'mamdani'
     andMethod: 'min'
      orMethod: 'max'
  defuzzMethod: 'centroid'
     impMethod: 'min'
     aggMethod: 'max'
         input: [1x2 struct]
        output: [1x1 struct]
          rule: [1x25 struct]
```

Annexe k : oscilloscope





GW Instek | GDS-3502

GW INSTEK

Oscilloscope numérique, 500MHz, 2 voies, 4GEch/s, 25[illegible] 8 bits

Code Testoon : GWGDS-3502 Série : GDS-3000, GDS 3000, GDS3000

Référence commande : GDS-3502 Marque : GWInstek

Oscilloscope numérique (DSO).
Nombre de voies: 2.
Bande passante: 500 MHz.
Fréquence d'échantillonnage: 4 GEch/s max.; 2 GEch/s par voie.
Profondeur mémoire: 25 kpts.
Résolution verticale: 8 bits.
Large écran couleur 8".
Mode "split-screen": permet d'afficher toutes les voies simultanément et indépendamment.
Mode de persistence.
Nombreuses fonctions et mesures automatiques.
En option: analyse/décodage de bus séries I2c, SPI, UART, analyse de puissance.
[illegible]RS232 et LAN en standard. GPIB via adaptateur USB-GPIB en option.
Voir plus

AJOUTER AU PANIER