

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de la Technologie

Mémoire Présenté

Pour l'obtention de Diplôme

Master

En AUTOMATIQUE

Spécialité : Automatique et Informatique Industrielle

Thème

**Implémentation de la Technique MPPT à
base de la logique floue sur carte Arduino**

Présenté par

Mr. GRINOU Nadjib Ellah
Mr. BENZAADA Mohamed Achref

Jury :

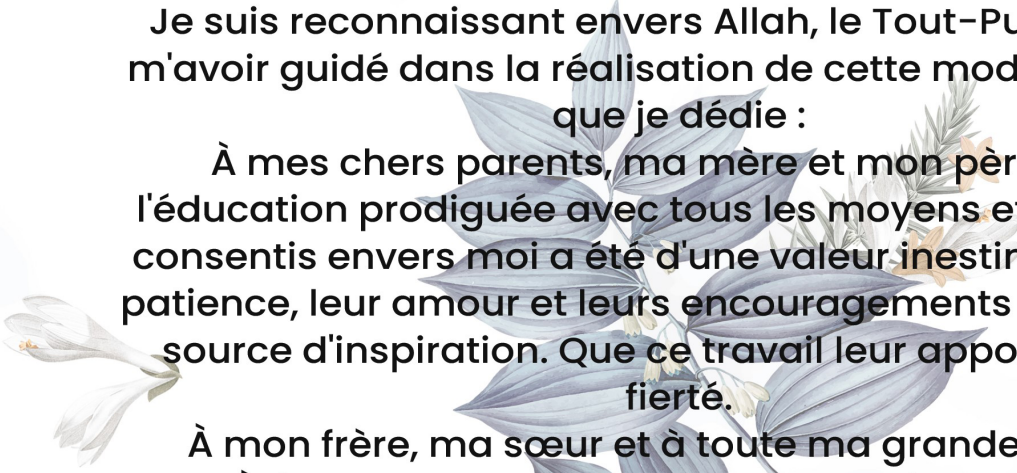
Mr. KERRACI Abdelkader	UDBKM	Président
Mr. BLAIFI Sidali	UDBKM	Examinateur
Mr. MAHDAB Salim	UDBKM	Encadrant

Année Universitaire 2022/2023



Dédicace

Je suis reconnaissant envers Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir guidé dans la réalisation de cette modeste tâche, que je dédie :



À mes chers parents, ma mère et mon père, dont l'éducation prodiguée avec tous les moyens et sacrifices consentis envers moi a été d'une valeur inestimable. Leur patience, leur amour et leurs encouragements ont été une source d'inspiration. Que ce travail leur apporte joie et fierté.

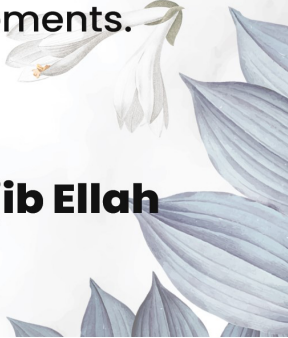
À mon frère, ma sœur et à toute ma grande famille.

À l'ensemble des enseignants du département d'automatique, en particulier à mon encadreur, Mahdab Salim,

J'aimerais également dédier ce travail à tous mes amis, en particulier ceux de la spécialité automatique et informatique industrielle 2022/2023, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables durant cette formation.

À Monsieur Said Zerouati et Redouane, l'ingénieur de laboratoire des vibrations, qui ont également nous aidé pour la réussite de ce travail.

À tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de ma vie universitaire, je leur adresse mes sincères remerciements.



Grinou Nadjib Ellah




Dédicace

Je souhaite exprimer ma gratitude envers Dieu tout-puissant pour m'avoir aidé à accomplir cette humble tâche, que je dédie :

- À mes chers parents, ma mère et mon père, qui m'ont offert une éducation inestimable, avec tous les moyens et sacrifices consentis envers moi. Leur patience, leur amour et leurs encouragements ont été inestimables. Que ce travail leur apporte joie et fierté.

À tous mes chers frères, sœurs et à ma famille.



À tous mes enseignants, en particulier à mon encadreur, Mahdab Salim, à qui je ne pourrai jamais exprimer suffisamment ma gratitude. Vous resterez à jamais un symbole de sagesse et de bravoure dans ma mémoire.

Je dédie également ce travail à tous mes amis de l'Université Djilali Bounaama

en général, et plus particulièrement à ceux de la section automatique et informatique industrielle 2022/2023. Ensemble, nous avons partagé des souvenirs inoubliables au cours d'une formation qui nous a ouvert les yeux sur le monde.

J'aimerais également dédier ce travail à mon binôme, Grinou Nadjib, avec qui j'ai collaboré étroitement et qui a contribué de manière précieuse à la réussite de ce projet.

À tous mes enseignants qui ont donné le meilleur d'eux-mêmes durant mes études.

À tous ceux qui m'ont apporté leur aide tout au long de ma vie universitaire.



Bensaada Mohamed Achref

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier "**ALLAH**" tout puissant de nous avoir donné la force et le courage, la volonté de faire ce travail.

Nous tenons à remercier vivement Mr. MAHDAB Salim qui nous a fait l'honneur d'être notre encadrant qui s'est montré entièrement disponible pour nous aider et nous orienter.

Nos respects et notre gratitude vont également aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis notre premier cycle d'études jusqu'à la fin de notre parcours universitaire.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements à tous les membres de nos familles, en particulier à nos parents, pour leur précieuse aide et leur soutien inconditionnel.

Enfin, Nous ne pouvons terminer ce remerciement sans mentionner tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à cette expérience pour Leur soutien, leurs conseils et leurs encouragements .

Résumé

Notre travail se focalise sur l'étude, la simulation et l'implémentation pratique d'un système PV basé sur la commande MPPT. L'objectif principal de ce mémoire est de simuler et mettre en œuvre concrètement deux algorithmes pour le suivi du point de puissance maximale, tels que l'algorithme P&O classique et l'algorithme MPPT basé sur la logique floue pour contrôler le système. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé un système photovoltaïque comprenant un panneau solaire RG-P80W et un convertisseur BOOST commandé par une carte Arduino UNO. Les résultats ont démontré la robustesse de la logique floue par rapport à la méthode P&O classique.

Mots clés : Algorithme MPPT, logique floue, P&O, système PV, Convertisseur BOOST, Arduino UNO.

ملخص

يركز عملنا على دراسة ومحاكاة والتنفيذ العملي لنظام كهروضوئي على اساس تقنية تتبع نقطة الاستطاعة القصوى. الهدف الرئيسي من هذه المذكرة هو محاكاة وتنفيذ خوارزميتين لتتبع أقصى نقطة للاستطاعة خوارزمية الكلاسيكية P&O والخوارزمية القائمة على المنطق الضبابي للتحكم في النظام. لتحقيق هذا الهدف قمنا ببناء نظام كهروضوئي يحتوي على لوح شمسي RG-P80W، محول رافع، استخدم الاردوينو اونو للتحكم في النظام. أظهرت النتائج متانة الخوارزمية المبنية على اساس المنطق الضبابي مقارنة بالخوارزمية الكلاسيكية P&O.

الكلمات الرئيسية : تقنية تتبع نقطة الاستطاعة العظمى، المنطق الضبابي ، الاضطراب و المراقبة (P&O)، نظام كهروضوئي، محول رافع للتوتر، اردوينو.

Abstract

This work focuses on the study, simulation and practical implementation of a PV system based on MPPT control. The main objective of this thesis is to simulate and concretely implement two algorithms for maximum power point tracking such as the classical P&O algorithm and the fuzzy logic based MPPT algorithm to control the system. To achieve this objective we set up a photovoltaic system comprising an RG-P80W solar panel and a BOOST converter controlled by an Arduino UNO board. The results demonstrated the robustness of fuzzy logic compared with the conventional P&O method.

Keywords : MPPT algorithm, fuzzy logic, P&O, PV system, boost converter, Arduino UNO.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	iii
Résumé	iv
Table des matières	v
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	x
Liste des Notations et Abréviations	xii
Introduction générale	1
1 Généralité sur carte Arduino	2
1.1 Introduction	2
1.2 Historique	2
1.3 Plateforme ARDUINO	2
1.4 Carte Arduino	3
1.5 Types de cartes Arduino	3
1.6 Domaines d'utilisation des cartes Arduino	3
1.7 Critère de choix	4
1.8 Composition d'Arduino UNO	4
1.8.1 Partie matérielle (Hardware)	4
1.8.2 Partie programmation (Software)	7
1.9 Conclusion	9
2 Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT)	10
2.1 Introduction	10

2.2	Point de puissance maximale PPM	11
2.3	Techniques de la commande MPPT	11
2.3.1	Méthode Perturbation et Observation (P&O)	12
2.3.2	Méthode incrémentation de la conductance (INC)	14
2.4	Commande par logique floue	16
2.4.1	Introduction	16
2.4.2	Commande floue	16
2.4.3	Contrôleur floue	16
2.5	Autres Méthodes	23
2.6	Conclusion	23
3	Simulation	24
3.1	Introduction	24
3.2	Matlab/simulink	24
3.3	Système photovoltaïque	24
3.3.1	Panneau photovoltaïque	25
3.4	Convertisseur DC-DC	26
3.4.1	Convertisseur Boost	27
3.4.2	Dimensionnement convertisseur BOOST	28
3.4.3	Simulation d'un convertisseur Boost sous matlab	29
3.5	Simulation des techniques MPPT	30
3.5.1	Perturbation et observent (P&O)	30
3.5.2	Commande par logique floue	31
3.6	Simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT	32
3.6.1	Simulation sous des conditions standards	34
3.6.2	Simulation avec changement d'Irridation	38
3.7	Interprétation des résultats	42
3.8	Conclusion	42
4	Implémentation pratique	43
4.1	Introduction	43
4.2	Conception et réalisation d'un système PV	43
4.2.1	Panneau photovoltaïque	44
4.2.2	Carte Arduino	44
4.2.3	Capteur de courant	44
4.2.4	Capteur de Tension	44
4.2.5	Hacheur Survolteur (BOOST)	45
4.3	Réalisation du système	47

4.4	Résultats de tests pratiques et discussions :	47
4.4.1	Test pratique de l’hacheur « boost »	47
4.4.2	Implémentation du système	49
4.5	Conclusion	55
	Conclusion générale	56
	Annexe	57
	Bibliographie	62

Table des figures

1.1	Carte Arduino UNO	4
1.2	Microcontrôleur ATMeg 328	5
1.3	Interface Arduino IDE	7
1.4	Structure d'un programme Arduino	8
2.1	Connexion directe PV-charge	10
2.2	Point de puissance maximale	11
2.3	Principe de la commande MPPT	12
2.4	Principe de la Technique P&O	12
2.5	Organigramme de l'algorithme P&O	13
2.6	Principe de la méthode INC	14
2.7	Organigramme de l'algorithme INC	15
2.8	Structure d'un contrôleur flou	17
2.9	Formes des fonctions d'appartenance	17
2.10	Valeurs linguistiques des entrée	18
2.11	Interface Fuzzy inference Systeme	19
2.12	Fonction d'appartenance de l'entrée 'longueur'	19
2.13	Fonction d'appartenance de l'entrée 'poids'	20
2.14	Fonction d'appartenance de la sortie 'classement'	20
2.15	Forme des règles	22
2.16	Surface floue	22
3.1	Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT	25
3.2	Paramètres du panneau photovoltaïque	25
3.3	Influence de l'éclairement sur la caractéristique I(V)	26
3.4	Influence de l'éclairement sur la caractéristique P(V)	26
3.5	Schéma d'un hacheur parallele	27
3.6	Schéma block d'un convertisseur BOOST	29

3.7	Tension d'entré et de sortie d'un BOOST	29
3.8	Tension d'entré et de sortie d'un BOOST	30
3.9	Schéma block de la technique P&O	30
3.10	Fonctions d'appartenance pour les l'entrées et la sortie	31
3.11	Schéma block de la commande par logique floue	32
3.12	Schéma globale (GPV,BOOST,Commande)	33
3.13	Puissance délivré par le module PV	34
3.14	Tension délivré par le module PV	34
3.15	Courant délivré par le module PV	35
3.16	Puissance de sortie du système	35
3.17	Tension de sortie du système	35
3.18	Courant de sortie du système	36
3.19	Puissance délivré par le module PV	36
3.20	Tension délivré par le module PV	36
3.21	Courant délivré par le module PV	37
3.22	Puissance de sortie du système	37
3.23	Tension de sortie du système	37
3.24	Courant de sortie du système	38
3.25	Variation d'irradiation	38
3.26	Puissance délivré par le module PV	38
3.27	Tension délivré par le module PV	39
3.28	Puissance de sortie du système	39
3.29	Tension de sortie du système	39
3.30	Puissance délivré par le module PV	40
3.31	Tension délivré par le module PV	40
3.32	Puissance de sortie du système	40
3.33	Tension de sortie du système	41
3.34	Variation de la puissance du module PV sous le changement d'irradiation avec deux commande P&O et FLC	41
3.35	Variation de la puissance de sortie du système sous le changement d'irradiation avec la commande P&O et FLC	41
4.1	Système proposé	43
4.2	Capteur de Courant Acs712	44
4.3	Capteur de Tension	45
4.4	Hacheur BOOST réalisé	46
4.5	Système réalisé	47
4.6	Programme Arduino pour un rapport cyclique 50%	48

4.7	Tension d'entrée et de sortie de l'hacheur	48
4.8	Organigramme de l'algorithme P&O	49
4.9	Organigramme de l'algorithme floue	49
4.10	Puissance courant et tension obtunue	51
4.11	Tension PV	51
4.12	Courant PV	51
4.13	Puissance PV	52
4.14	Puissance courant et tension obtunue avec l'algorithme floue	53
4.15	Tension PV avec l'algorithme floue	54
4.16	Courant PV avec l'algorithme floue	54
4.17	Puissance PV avec l'algorithme floue	54

Liste des tableaux

2.1	Règles de Base	21
3.1	Règle d'inférence de la commande par logique floue	32
4.1	Paramètre du module photovoltaïque utilisées	44
4.2	Composants de l'hacheur	46
4.3	Différents composants du système	47
4.4	Valeurs V_{pv} , I_{pv} , P_{pv}	50
4.5	Valeurs V_{pv} , I_{pv} , P_{pv} obtunue avec l'algorithme floue	53

Liste des Notations et Abréviations

Liste des Notations

D	Rapport cyclique.
d	Diode.
f	fréquence de découpage .
I_l	Courant traversant l'inductance.
I_{pv}	Courant délivré par le module PV.
L	Inductance
P_s	puissance de sortie.
P_{pv}	puissance délivré par le module PV .
R_{ch}	charge résistive.
T	Période .
V_e	Tension d'entrée d'hacheur
V_{pv}	Tension délivré par le module PV.
V_s	Tension de sortie d'hacheur.
ΔI_l	ondulation du courant dans l'inductance.
ΔV_s	ondulation de la tension de sortie.

Liste des Abréviations

DC	Courant Continu.
$DC - DC$	Hacheur survolteur.
FLC	Commande par logique floue.
INC	Incrementation de l'inductance
$MPPT$	Suivi du point de puissance maximale.
PPM	Point de puissance maximale.
PV	Photovoltaïque.
$P\&O$	Perturbation et observation

Introduction Générale

L'énergie solaire représente l'une des sources d'énergie renouvelable les plus abondantes et prometteuses de notre époque. Elle est captée au moyen de panneaux solaires qui convertissent la lumière solaire en électricité utilisable. Ces panneaux solaires sont constitués de cellules photovoltaïques qui contiennent des matériaux semi-conducteurs, tels que le silicium. Ces matériaux ont la capacité de générer un courant électrique lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire.

L'installation de photovoltaïque PV se développe rapidement malgré tout, les systèmes de génération de PV ont deux problèmes majeurs qui sont liés à une faible efficacité de conversion d'environ 9% à 12% notamment dans les conditions d'irradiation à faible et que la quantité d'énergie électrique générée par des panneaux photovoltaïques varie de façon continue avec des conditions météorologiques . [1]

Pour l'optimisation de la puissance générée par les panneaux solaires. Nous avons examiné l'utilisation d'un contrôleur spécifique, conçu pour suivre le point de puissance maximale des systèmes photovoltaïques PV. Notre objectif est de réaliser une implémentation de l'algorithme MPPT basé sur la logique floue afin d'améliorer les performances d'un système PV.

Notre mémoire est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons une généralité sur la plateforme Arduino et le microcontrôleur de l'arduino UNO que nous avons choisi pour l'implémentation pratique.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter le principe de point de puissance maximale et l'étude théorique de quelques méthodes MPPT : P&O classique, INC ainsi que la commande par logique floue.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation du système photovoltaïque comprenant le panneau solaire, le convertisseur DC-DC BOOST et la commande MPPT, sous l'influence de l'irradiation. avec deux commandes différentes et procéderons à une comparaison.

Le dernier chapitre présent les principales étapes de la réalisation d'un système photovoltaïque et l'implémentation pratique de deux algorithmes MPPT : P&O et l'algorithme basé sur la logique floue sur une carte Arduino UNO pour commander le système.

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

Généralité sur carte Arduino

1.1 Introduction

Les applications automatiques peuvent être divisées en deux groupes distincts : le traitement de l'information et la commande. La première englobe les domaines tel que l'informatique, les télécommunications, les mesures, tandis que la seconde concerne la gestion de l'information par le biais d'instructions, générés par des systèmes électroniques tels que les microprocesseurs et les microcontrôleurs. [2]

Les cartes Arduino basées sur les microcontrôleurs ATmega sont des outils qui ont prouvés leurs fiabilités pour la commande des systèmes et l'implémentation des algorithmes. Ils permettent de résoudre des problèmes complexes et optimiser l'efficacité des systèmes, Ce chapitre fournira un aperçu général de la plateforme Arduino, et son histoire et architecture matériels et logiciels.

1.2 Historique

L'histoire d'Arduino remonte à l'année 2003, lorsque le concepteur italien Massimo Banzì et l'étudiant en informatique David Cuartielles ont développé une plateforme de prototype open source pour permettre aux étudiants de créer des projets électroniques de manière plus accessible. La première version d'Arduino, appelée Arduino 1.0, a été lancée en 2005. Elle était basée sur une puce microcontrôleur ATmega8 d'Atmel et était programmée à l'aide du logiciel open source Arduino IDE. Depuis lors, Arduino est devenu un écosystème en constante évolution comprenant de nombreuses cartes et accessoires, ainsi qu'une communauté active de développeurs, de makers et d'utilisateurs. Arduino est devenu populaire pour sa simplicité d'utilisation, sa polyvalence et sa capacité. [3]

1.3 Plateforme ARDUINO

Arduino est une plateforme électronique à code source ouvert utilisée pour construire des projets interactifs. Elle utilise une carte microcontrôleur programmable pour faire fonctionner différentes pièces électroniques, notamment des moteurs, des capteurs, des actionneurs et des lumières...

Grâce à son interface simple la plateforme Arduino est accessible aux débutants. De plus, elle est évolutive, ce qui vous permet d'ajouter des éléments matériels pour des projets plus complexes. Elle a été utilisée dans le domaine de l'éducation, loisirs et des affaires, elle a été aussi utilisée pour créer des œuvres d'art interactives, de la robotique et des systèmes automatisés. En résumé, Arduino est une plateforme électronique accessible, extensible et d'un coût raisonnable qui permet de créer des projets pour résoudre des problèmes, explorer de nouvelles technologies ou simplement exprimer sa créativité et son sens de l'innovation.

1.4 Carte Arduino

Généralement Un module Arduino est construit autour d'un microcontrôleur ATMEL ,AVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un boot loader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire . [4]

1.5 Types de cartes Arduino

il existe une plusieurs versions du module Arduino. voici quelques gammes :

- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3). [5]

1.6 Domaines d'utilisation des cartes Arduino

Les cartes Arduino peuvent être utilisées dans une grande variété de projets électroniques, allant de projets simples à des projets plus complexes. Elles sont utilisées dans de nombreux domaines, notamment :

- Projets de domotique : les cartes Arduino peuvent être utilisées pour contrôler l'éclairage, les thermostats, les portes, les volets...

- Projets de robotique : les cartes Arduino sont largement utilisées dans les projets de robotique en raison de leur capacité à contrôler les moteurs, les capteurs, les actionneurs.
- Projets d’Internet des objets (IoT) : les cartes Arduino peuvent être utilisées pour créer des appareils connectés à Internet, tels que des capteurs environnementaux, des systèmes de surveillance...
- Projets de contrôle de véhicules : les cartes Arduino peuvent être utilisées pour contrôler les systèmes d’éclairage, les systèmes de navigation, les systèmes audio, etc. dans les véhicules.
- Projets de contrôle de drones : les cartes Arduino peuvent être utilisées pour contrôler les mouvements, la caméra, la transmission vidéo, etc. dans les drones.
- Projets éducatifs : les cartes Arduino sont largement utilisées dans les programmes éducatifs pour enseigner les bases de la programmation et de l’électronique.

1.7 Critère de choix

Nous avons opté pour la carte ARDUINO UNO car ses performances sont plus adéquates pour contrôler le fonctionnement de notre système. De plus, son prix reste raisonnable.

1.8 Composition d’Arduino UNO

La carte Arduino Uno est l’une des cartes les plus populaires de la famille Arduino. Elle est largement utilisée dans de nombreux projets électroniques en raison de sa simplicité d’utilisation.

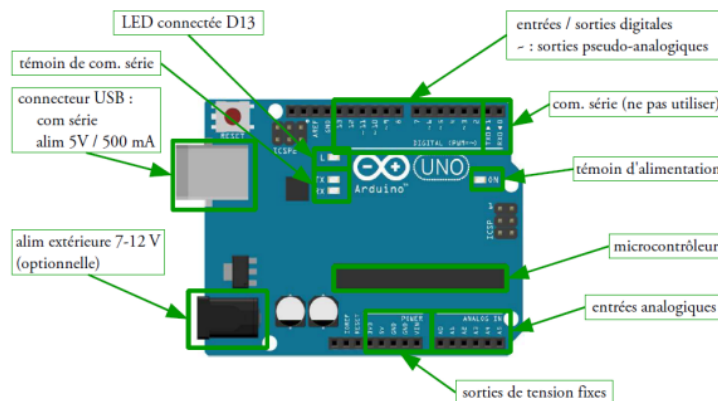


FIGURE 1.1 – Carte Arduino UNO [2]

1.8.1 Partie matérielle (Hardware)

1.8.1.1 Microcontrôleur ATmega328

l’ATmega328 c’est Le Microcontrôleur de la carte Arduino Uno. Il s’agit d’un microcontrôleur ATMEL 8 bits basé sur l’architecture AVR. Voici quelques unes de ses caractéristiques principales.

- **FLASH** = Mémoire Flash de 32 Ko pour le stockage du programme.
- **SRAM** : Mémoire SRAM de 2 Ko pour le stockage des données.
- **EEPROM** : EEPROM de 1 Ko pour le stockage de données non volatiles..
- **Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien)** : 3 ports PortB, PortC, PortD (soit 23 broches en tout I/O)
- **Timers/Counters** : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits) Chaque timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB)
- **Plusieurs broches multi-fonctions** : toutes les broches ont plusieurs fonctions différentes, choisies par programmation. Elles ont donc plusieurs noms sur le brochage. Par exemple, les broches PB1, PB2, PB3, PD3, PD5, PD6 peuvent servir de sortie PWM (Pulse Width Modulation), c'est-à-dire des sorties qui joueront le rôle de sorties analogiques. Elles correspondent aux broches des connecteurs 3,5,6,9,10 et 11. Cet autre rôle possible est lié aux timers et ces broches sont alors appelées OCxA ou OcxB dans la documentation. Ce sont les mêmes broches, mais pour une autre fonction.
- **PWM** : 6 broches OC0A(PD6), OC0B(PD5), OC1A(PB1), OC1B(PB2), OC2A(PB3), OC2B(PD3) Les broches du PORTC peuvent être converties par un convertisseur Analog toDigital.
- **Analog to Digital Converter (résolution 10bits)** : 6 entrées multiplexées ADC0(PC0) à ADC5(PC5).
- **bus I2C** : le bus est exploité via les broches SDA(PC5)/SCL(PC4).
- **Port série (USART)** : Interface pour la communication série via les broches TXD(PD1)/RXD(PD0).
- **Comparateur Analogique** : broches AIN0(PD6) et AIN1 (PD7) peut déclencher interruption. [6]

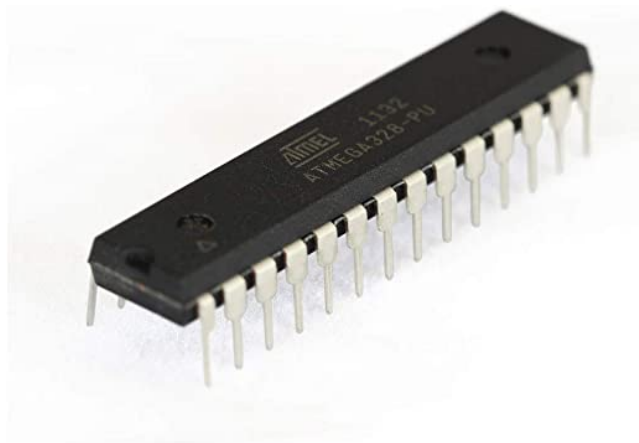


FIGURE 1.2 – Microcontrôleur ATMeg 328 [6]

1.8.1.2 Applications des microcontrôleurs

- Informatique (souris, modem, ...)
- Vidéo (appareil photos numérique, caméra numérique, ...)
- Contrôle des processus industriels (régulation, pilotage, supervision, ...)
- Appareil de mesure
- Automobile (ABS, GPS, airbag, ...)
- Multimédia (téléviseur, carte audio, carte vidéo, MP3, ...)
- Electroménager (Lave-vaisselle, four micro-onde, ...)

1.8.1.3 Les ports de communications

La carte Arduino UNO offre de multiples possibilités de communications avec des périphériques externes.

- L'Arduino uno possède une communication série UART grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX). On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries)
- SPI (Serial Peripheral Interface) : L'Arduino Uno dispose de quatre broches dédiées à la communication SPI (MOSI, MISO, SCK, SS). Le protocole SPI est utilisé pour la communication série synchrone avec des périphériques tels que des capteurs, des écrans TFT, des cartes SD,...

1.8.1.4 E/S Numériques

L'Arduino Uno dispose de 14 broches d'E/S numériques qui peuvent être configurées en tant qu'entrées ou sorties. Chaque broche peut être contrôlée individuellement pour lire ou écrire une valeur numérique, avec une tension de sortie de 5V pour le niveau haut et de 0V pour le niveau bas. chaque broche d'E/S numérique peut fournir un courant maximal de 40 mA, et que la somme des courants de toutes les broches ne doit pas dépasser 200 mA.

-**Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée)** : les Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM de 8-bits à l'aide de l'instruction `analogWrite()`.

-**I2C** : les Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C , disponible en utilisant la librairie «Wire.h» .

-**Interruptions Externes** : Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. avec l'instruction `attachInterrupt()` .

1.8.1.5 E/S Analogiques

La carte Uno est équipé également de 6 broches d'E/S analogiques, numérotées de A0 à A5, qui permettent de lire des valeurs de tension analogiques. Chaque broche analogique peut lire des valeurs de tension comprises entre 0V et 5V, et convertir cette valeur en une valeur numérique de 10 bits, soit une plage de 0 à 1023.

1.8.1.6 Alimentation

La carte Arduino Uno peut être alimentée de différentes manières. Elle peut être alimentée via le port USB en la reliant à un ordinateur ou à un chargeur USB. Elle peut également être alimentée en utilisant une source d'alimentation externe de 3V à 12V connectée au connecteur d'alimentation de la carte. La carte Uno dispose également d'un régulateur de tension intégré qui permet d'alimenter la carte avec une tension d'entrée allant jusqu'à 20V.

1.8.2 Partie programmation (Software)

1.8.2.1 Langage de programmation

Les microcontrôleurs Arduino sont programmés à l'aide d'un langage de programmation basé sur C/C++. Le code source, qui est écrit dans un fichier texte (Sketch) avec l'extension ".ino", est ensuite converti en code binaire exécutable par le microcontrôleur. L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino, qui propose des bibliothèques de développement, est une interface utilisateur graphique pour créer, construire et charger du code vers le microcontrôleur Arduino, Il existe plusieurs versions de l'Arduino IDE compatibles avec Windows, MacOS et Linux.

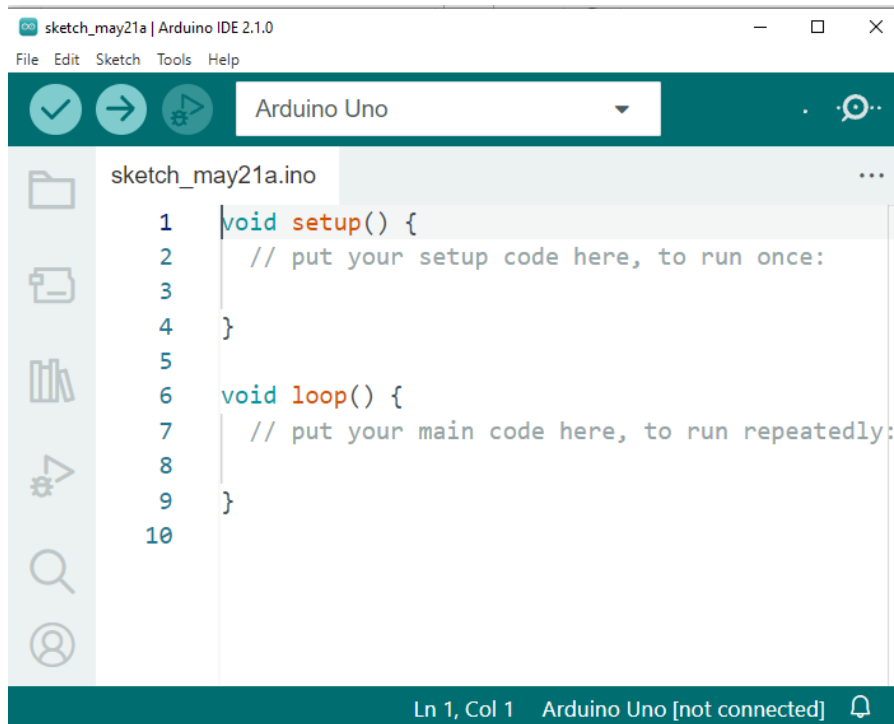


FIGURE 1.3 – Interface Arduino IDE

1.8.2.2 Structure du Programme

La structure d'un programme Arduino est généralement divisé en trois parties La partie déclaration des variables et les fonctions principales la fonction `setup()` et la fonction `loop()`

- Déclarations des variables : dans cette partie les variables globales utilisées dans le programme Arduino sont déclarées.
- La fonction `setup()` n'est exécutée qu'une seule fois. elle est utilisée pour initialiser les broches d'entrée/sortie, les bibliothèques externes et tout autre paramètre nécessaire à la configuration initiale du système.
- La fonction `loop()` est exécuté indéfiniment (Loop = boucle). Cette fonction contient généralement le code principal du programme, qui permet de réaliser une série d'actions en continu. Dans cette boucle, on peut effectuer des lectures de capteurs, contrôler des sorties, réaliser des calculs,..

- La ligne de commentaires : `// ...` tout texte après les deux slashes est un commentaire.
- Le bloc de commentaires : `/* */` tout texte entre les deux étoiles est un commentaire, le texte peut s'étendre sur plusieurs lignes. [7]

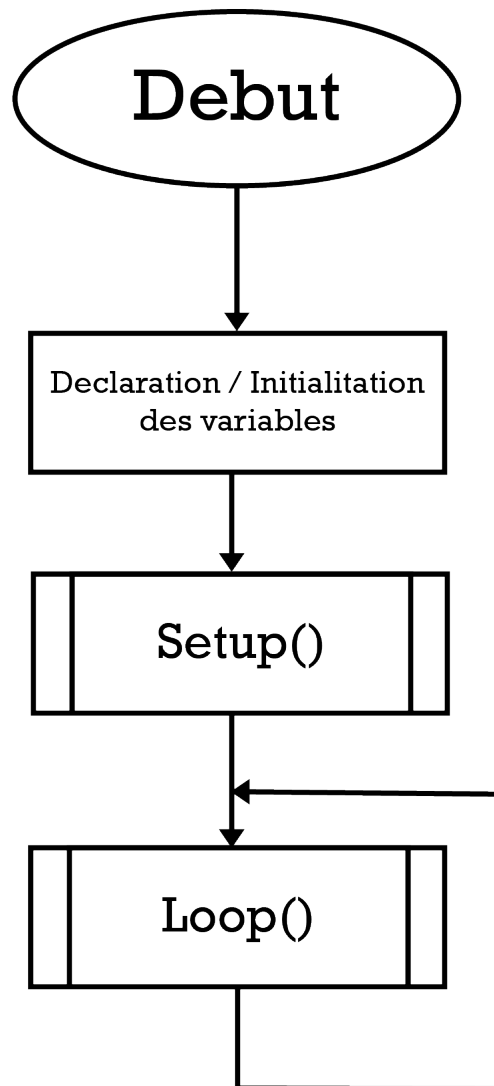


FIGURE 1.4 – Structure d'un programme Arduino

1.8.2.3 Etapes de l'implémentation sur Arduino

- La création d'un (Sketch).
- L'écriture du programme ensuite enregistrement.
- La vérification de la syntaxe et la correction des erreurs.
- Le chargement dans le microcontrôleur.

1.9 Conclusion

Ce chapitre a présenté une introduction générale à la plateforme Arduino, en expliquant sa définition, son histoire. et Nous avons abordé notre choix, qui s'est porté sur ARDUINO UNO son hardware et software . Nous avons vu que les microcontrôleurs, tels que l'ATmega328 utilisé dans Arduino Uno qui jouent un rôle important dans la commande des systèmes électroniques et la mise en œuvre d'algorithmes.

Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT)

2.1 Introduction

L'installation direct d'un générateur photovoltaïque composé d'un module photovoltaïque connectés avec une charge qui consomme directement l'énergie produite. Cette installation ne permet pas le GPV de fonctionner à sa puissance maximale. [8] Ce GPV ne fonctionne efficacement que par temps ensoleillé, car l'intensité de l'éclairage et la valeur de la charge ont toutes deux impacts significatifs sur le courant fourni à la charge et la puissance.

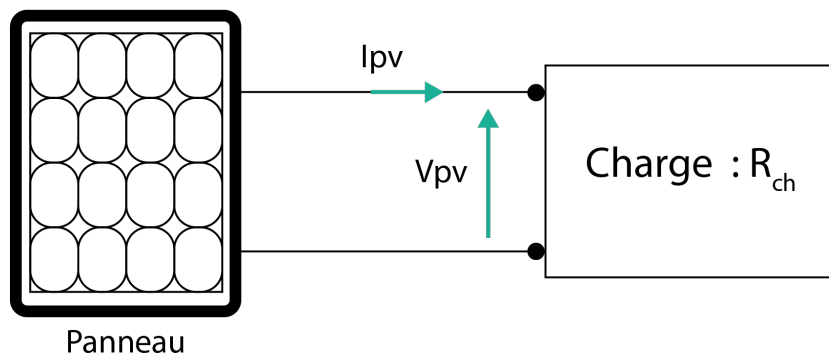


FIGURE 2.1 – Connexion directe PV-charge

La caractéristique $I(V)$ que présente un GPV est non linéaire, la production de la puissance varie fortement en fonction de l'éclairement, de la température et de la nature de la charge connectée. Chaque charge à son propre comportement et selon les caractéristiques de cette dernière, un très fort écart peut être trouver entre la puissance du générateur et celle réellement transférée à la charge. En conséquence, en mode connexion directe, les performances des GPV se dégradent. [9]

Pour le GPV travail a sa puissance maximale il faut ajouter une adaptation qui pourra être un convertisseur DC-DC commandé par un mécanisme d'ajustement qui s'appelle MPPT, ce dernier permet de maintenir le GPV à son point de puissance maximale indépendamment des circonstances entourant le générateur.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes techniques de MPPT en mettant l'accent sur les techniques les plus couramment utilisées dans les applications photovoltaïques. Nous allons également discuter des avantages et des inconvénients de chaque technique.

2.2 Point de puissance maximale PPM

Le point de puissance maximale (PPM) d'un générateur photovoltaïque est le point de la courbe Puissance-tension (P-V) où le panneau peut produire la puissance maximale. Le PPM est important car il détermine la puissance maximale qui peut être obtenue du GPV dans des conditions spécifiques, telles que l'intensité de la lumière et la température, l'ombrage, l'orientation et l'angle du panneau par rapport au soleil.

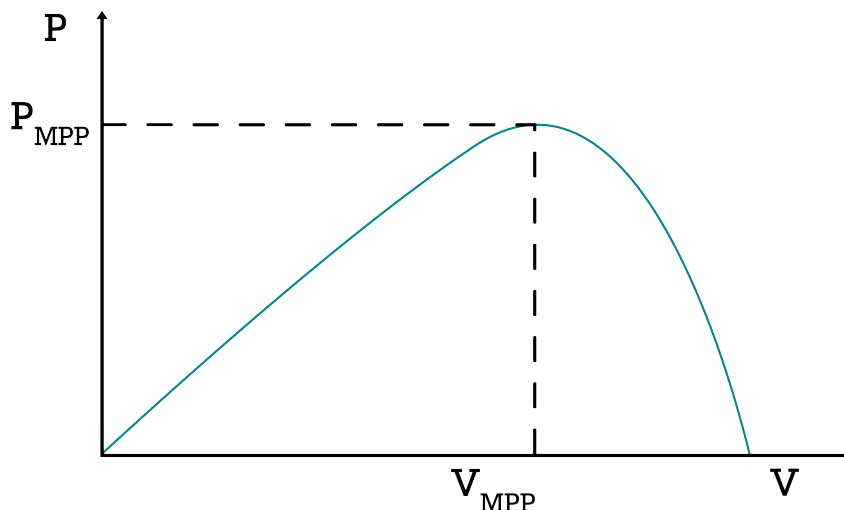


FIGURE 2.2 – Point de puissance maximale

2.3 Techniques de la commande MPPT

Pour suivre le PPM d'un générateur photovoltaïque, des techniques de suivi du point de puissance maximale MPPT sont utilisées dans le contrôleur de charge pour réguler la puissance de sortie. Ces techniques MPPT ajustent la tension et le courant de fonctionnement du GPV afin de le maintenir à son PPM, ce qui maximise la puissance de sortie et l'efficacité du système photovoltaïque.

Chacune de ces techniques de contrôle MPPT a ses propres avantages et inconvénients, et la méthode choisie dépendra des systèmes et les conditions environnementales, du coût et de la complexité d'implémentation [9]

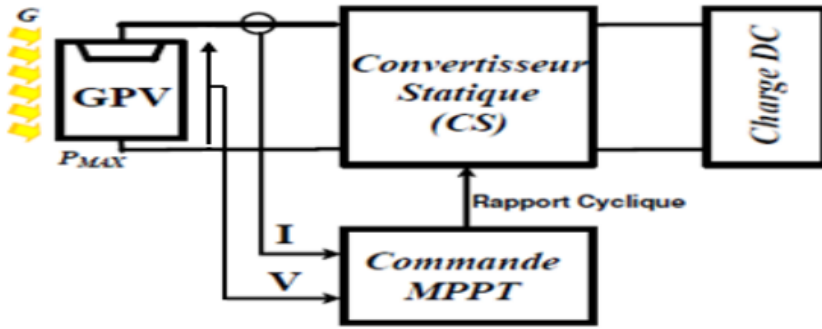


FIGURE 2.3 – Principe de la commande MPPT [15]

Dans ce travail Nous nous intéressons aux techniques parmi les plus utilisés qui sont :

2.3.1 Méthode Perturbation et Observation (P&O)

L'une des méthodes les plus utilisées parce qu'elle est simple et facile à implémenter, consiste à modifier les paramètres d'entrée du convertisseur statique la tension V_{pv} , et le courant I_{pv} puis à observer comment la modification affecte la puissance de sortie du système. Leur principe consiste à appliquer une petite perturbation de tension en modifiant le rapport cyclique du convertisseur statique, puis en observant la direction de la variation de la puissance de sortie du panneau solaire. si à tout instant 'K' la puissance $P(K)$ et tension $V(K)$ de la sortie de GPV est supérieure à la précédente calculée $P(K-1)$ et $V(K-1)$, puis la direction de la perturbation est maintenue sinon il est inversée.

- l'algorithme introduit une perturbation sur la tension de fonctionnement dans une direction donnée

- Si $\frac{dv}{dt} > 0$ le point de fonctionnement approche au ppm et l'algorithme continuera la perturbation dans la même direction.
- Si $\frac{dv}{dt} < 0$ le point de fonctionnement s'éloigne au ppm donc l'algorithme inverse la direction de la perturbation.
- Si $\frac{dv}{dt} = 0$ le point de fonctionnement est au PPM.

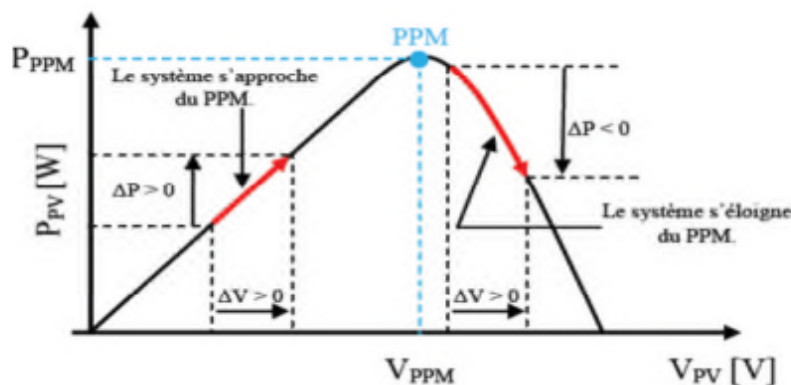


FIGURE 2.4 – Principe de la Technique P&O [16]

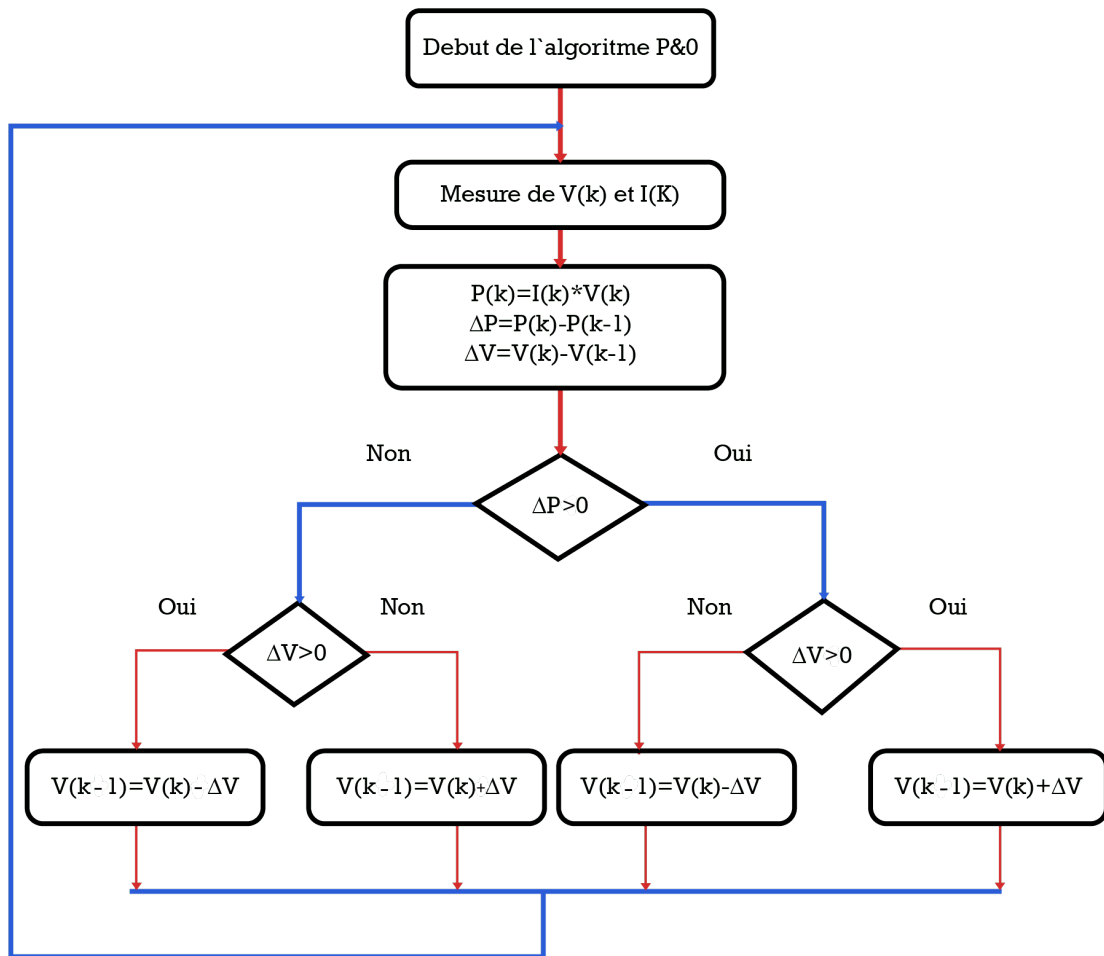


FIGURE 2.5 – Organigramme de l'algorithme P&O

2.3.1.1 Avantages et inconvénients de la méthode Perturbation et Observation

2.3.1.2 Avantages

— Cette méthode est relativement simple à implémenter.

2.3.1.3 Inconvénients

- La méthode P&O peut être instable et avoir des oscillations autour du point de puissance maximale.
- La méthode P&O est sensible aux variations des conditions d'ensoleillement, ce qui peut affecter sa précision et son efficacité.

2.3.2 Méthode incrémentation de la conductance (INC)

Le principe de cette méthode est basé sur la connaissance de la valeur de la conductance $G = \frac{I}{V}$ et l'incrément de la conductance $\frac{\Delta I}{\Delta V}$ pour en déduire la position du point de fonctionnement par rapport PPM.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dV \cdot I}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (2.2)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dP}{dV} = G + \Delta G \quad (2.3)$$

- Si l'incrément de conductance $\frac{\Delta I}{\Delta V}$ est supérieur à l'opposé de la conductance ($-G$), on diminue le rapport cyclique. [10]

le point de fonctionnement est gauche du PPM

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad (2.4)$$

- Si l'incrément de conductance est inférieur à l'opposé de la conductance, on augmente le rapport cyclique. [10]

le point de fonctionnement est sur l droite du PPM

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad (2.5)$$

- Ce processus est répété jusqu'à atteindre le PPM, ou la dérivée de la puissance est égale à zéro [10]

le point de fonctionnement est sur le ppm

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (2.6)$$

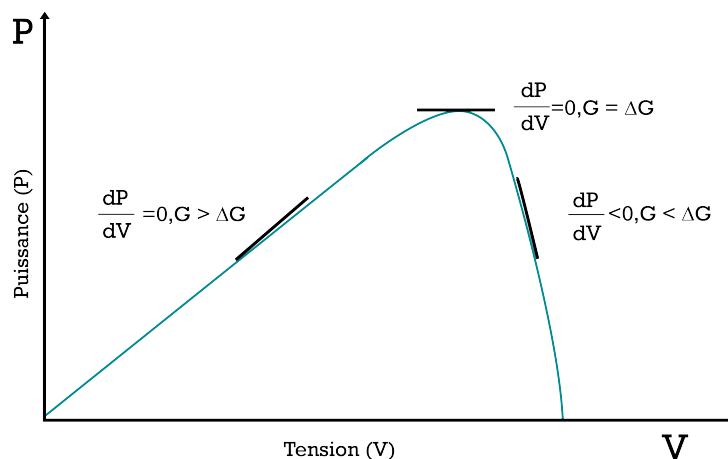


FIGURE 2.6 – Principe de la méthode INC

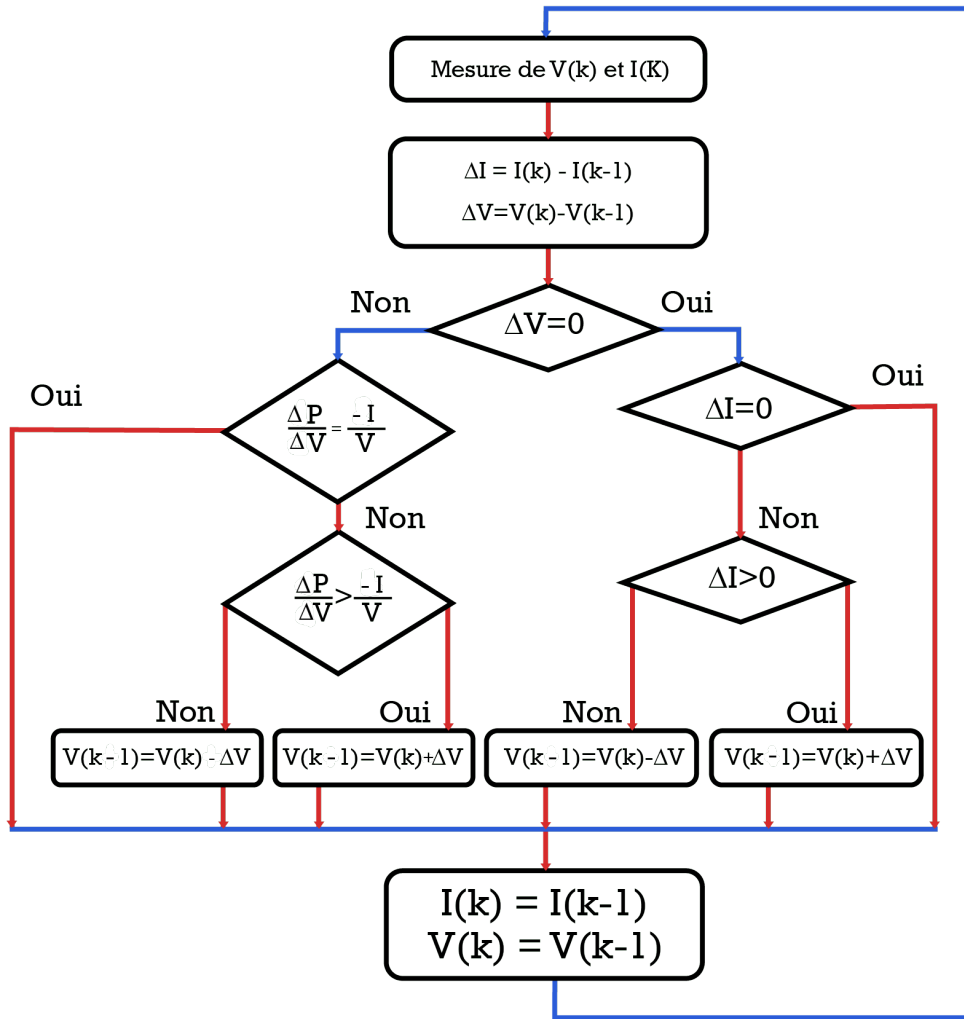


FIGURE 2.7 – Organigramme de l’algorithme INC

2.3.2.1 Avantages et inconvénients de la méthode de l’incrément de la conductance

2.3.2.2 Avantages

- La méthode INC permet de suivre rapidement et précisément le point de puissance maximale, même en cas de variations rapides des conditions météorologiques et des charges connectées.

2.3.2.3 Inconvénients

- La méthode INC peut être plus complexe à implémenter

2.4 Commande par logique floue

2.4.1 Introduction

La théorie de la logique floue a été introduite par Prof Lutfi Zadeh en 1965, pour étudier les systèmes qu'on ne peut pas décrire avec précision. Elle est basée sur une approche qualitative plutôt que quantitative. [11]

La logique floue est une logique qui substitue à la logique binaire une logique fondée sur des variables pouvant prendre outre les valeurs (vrai 1) ou (faux 0) avec une certaine probabilité (un certain degré d'appartenance). La logique floue est une technique bien connue pour les automaticiens par «contrôle flou» pour ses applications dans la commande de procédés, Tout comme un contrôleur (ou correcteur) classique, le contrôleur flou s'insère dans la boucle de régulation et calcule des lois de commande à appliquer au procédé suivant une ou plusieurs consignes.

2.4.2 Commande floue

Les commandes basées sur la logique floue sont de plus en plus populaires grâce à l'évolution des microcontrôleurs. [12] Les performances que la commande floue peut apporter par comparaison avec les commandes classiques, sont essentiellement dues à la méthode de conception de ces régulateurs. En effet, ces derniers ne nécessitent pas la connaissance des modèles mathématiques du système. Par contre ils ont besoin d'un ensemble de règles basées essentiellement sur les connaissances d'un opérateur qualifié manipulant le système. [13]

Cette commande a été utilisée dans les systèmes de poursuite du point de puissance maximale (MPPT) en raison de sa robustesse. Elle permet d'améliorer les performances en prenant en compte les variations et les incertitudes des conditions environnementales, sans nécessiter une connaissance précise du modèle mathématique à réguler.

2.4.3 Contrôleur floue

C'est un système de commande basé sur la théorie des ensembles flous, le principe de cet algorithme de contrôle ne traite pas une relation mathématique bien définie mais utilise des inférences avec plusieurs règles se basant sur des variables linguistiques. Il apprécie les variables d'entrées de façon approximative (faible, élevée, loin, proche), fait de même pour les variables de sorties (freinage léger ou fort) et édicte un ensemble de règles permettant de déterminer les sorties en fonction des entrées. [14]

Un contrôleur floue comprend généralement quatre parties essentielles pour son fonctionnement. Ces parties du contrôleur flou travaillent ensemble pour prendre des décisions en utilisant des entrées floues et générer une sortie précise pour contrôler le système.

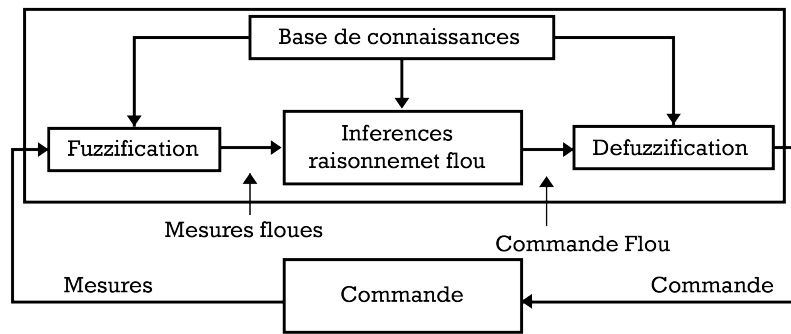


FIGURE 2.8 – Structure d'un contrôleur flou

2.4.3.1 Fuzzification

La fuzzification est une étape essentielle dans le processus de contrôle flou. Elle consiste à convertir les entrées numériques d'un système en termes flous ou linguistiques afin de les rendre compatibles avec les règles de contrôle flou. Les entrées sont souvent divisées en un ensemble de variables linguistiques. Chaque variable linguistique est ensuite associée à une fonction d'appartenance qui désigne pour chaque valeur numérique son degré d'appartenance aux différents ensembles flous. Les fonctions d'appartenance peuvent prendre diverses formes, telles que des fonctions triangulaires, trapézoïdales ou gaussiennes :

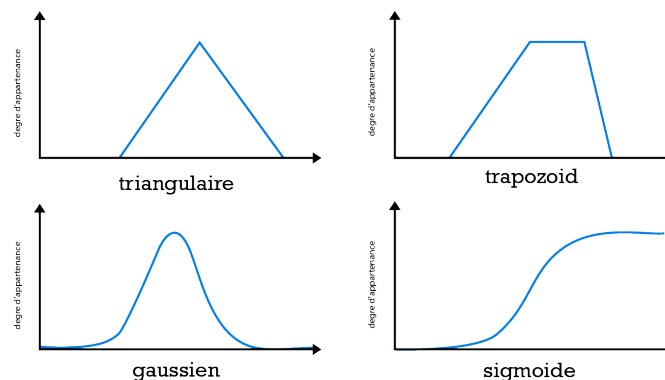


FIGURE 2.9 – Formes des fonctions d'appartenance

On représente les variables linguistiques par leurs fonctions d'appartenances. Donc à chaque sous-ensemble flou A_i est associée une fonction d'appartenance $\mu_{A_i}(x)$ où x est la variable linguistique. Tel que, à chaque point x a associé une valeur précise de $\mu_{A_i}(x)$, qui désigne, le degré d'appartenance de x à A_i . [15]

- **Fonction Triangulaire** Elle est définie par les paramètres a, b, c, qui déterminent les coordonnées des trois sommets. [15]

$$\mu(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \tag{2.7}$$

- **Fonction trapézoïdale** Elle est définie par quatre paramètres a, b, c, d, qui déterminent les coordonnées des quatre sommets. [15]

$$\mu(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \tag{2.8}$$

- **Fonction sigmoïde** Elle est définie par deux paramètres a, b. [15]

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}} \tag{2.9}$$

- **Fonction gaussienne** Elle est définie par deux paramètres σ , m. [15]

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \tag{2.10}$$

Considérons un système flou à deux entrées (poids et longueur) et une seule sortie (classement) Les variables d'entrées peut être divisée en trois variables Floue telles que :



FIGURE 2.10 – Valeurs linguistiques des entrée

Les variables d'entrée du système proposé sont le changement de la longueur et le poids, tandis que la variable de sortie du contrôleur flou est le type de classe. Les limites des fonctions d'appartenance entrée-sortie utilisées dans le système sont déterminées en fonction de la connaissance sur le système. Les **Figure (2.11)** , **(2.12)**, **(2.13)** présente les fonctions d'appartenance correspondantes pour chaque changement des entrées et de la sortie.

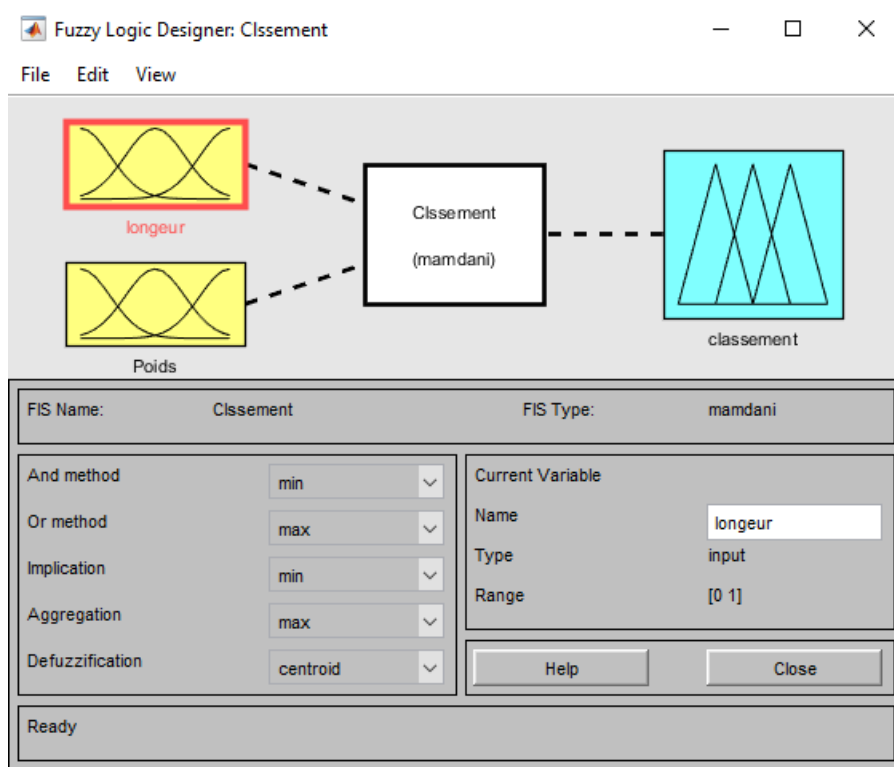


FIGURE 2.11 – Interface Fuzzy inference Systeme

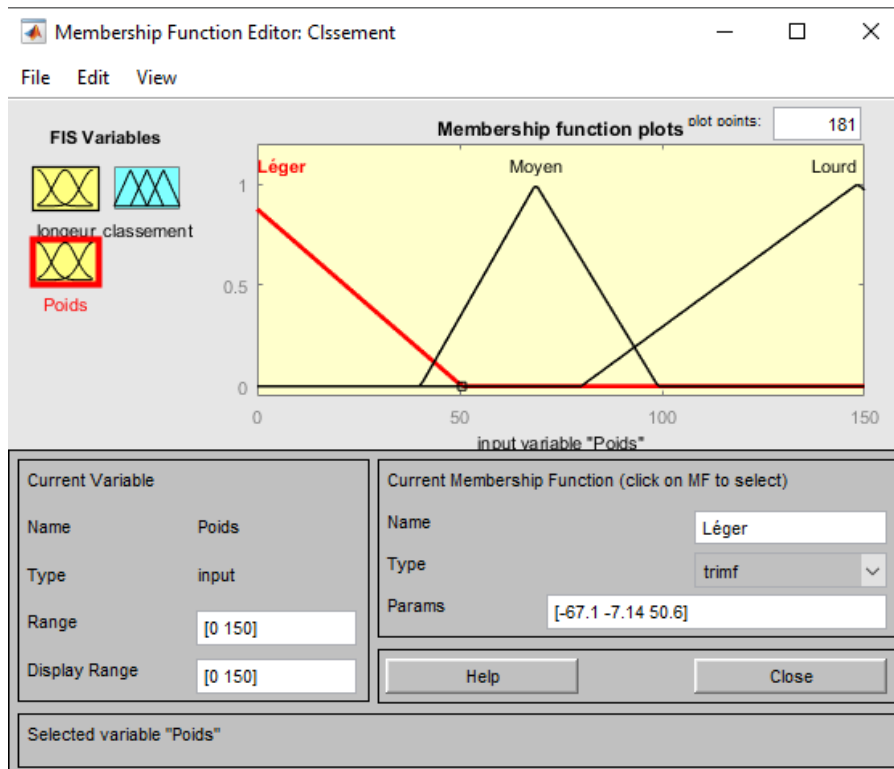


FIGURE 2.12 – Fonction d'appartenance de l'entrée 'longueur'

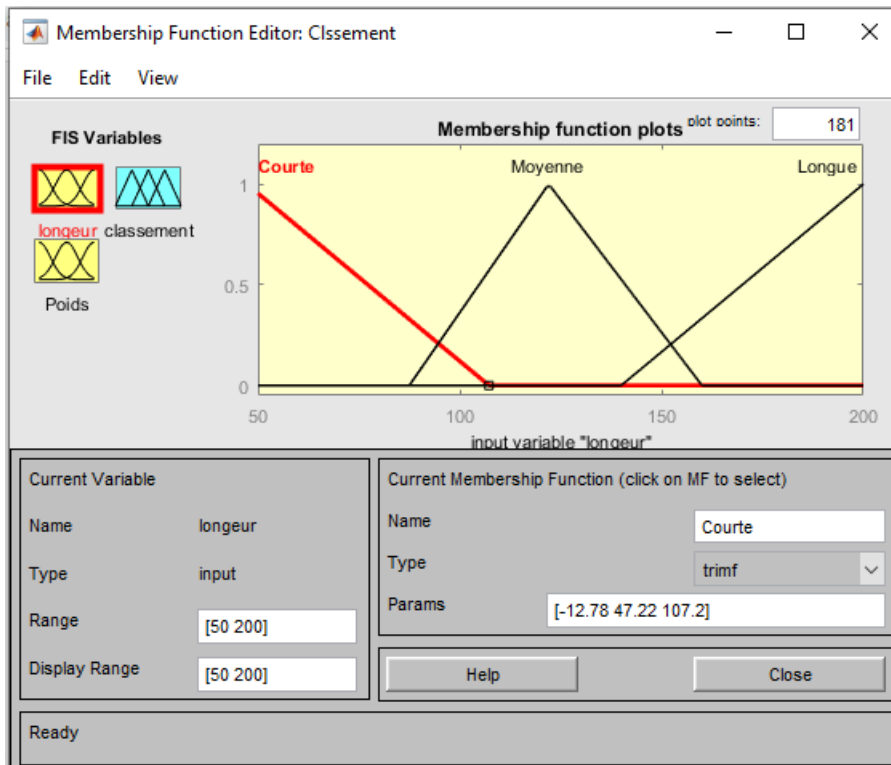


FIGURE 2.13 – Fonction d'appartenance de l'entrée 'poids'

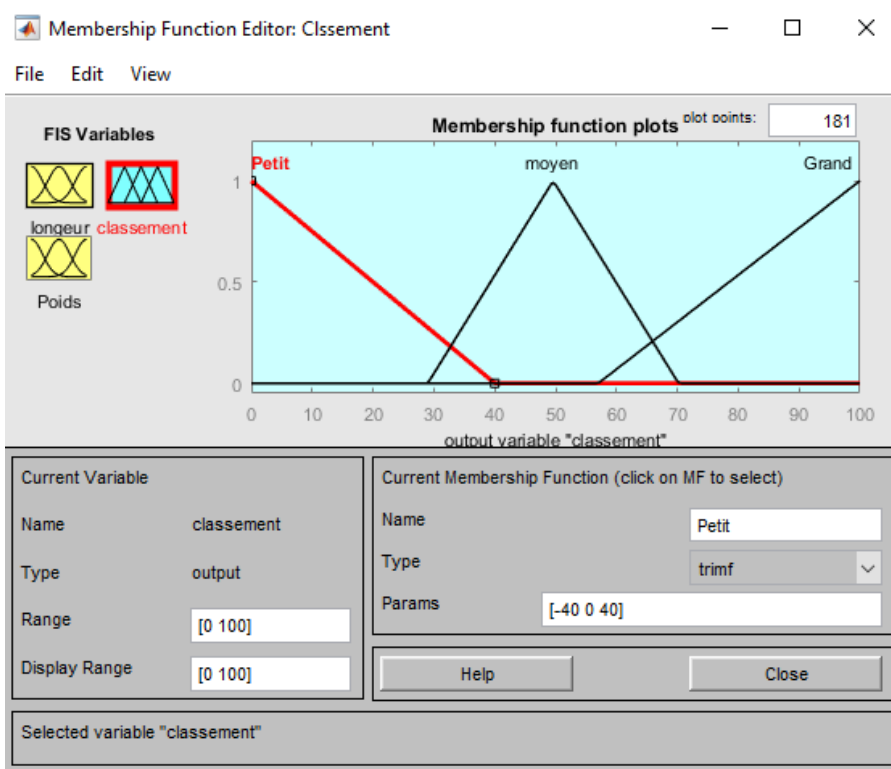


FIGURE 2.14 – Fonction d'appartenance de la sortie 'classement'

2.4.3.2 Base de connaissance

La base de règles c'est L'ensemble des règles reliant les variables floues d'entrée et de sortie à l'aide de divers opérateurs .

Une base de connaissances d'un contrôleur floue est une collection de règles logiques floues qui définissent le comportement du système contrôlé. Cette base de connaissances est utilisée pour prendre des décisions en fonction des entrées floues et des variables de sortie. La base de connaissances peut également contenir des fonctions d'appartenance, qui définissent la mesure dans laquelle une entrée donnée appartient à une sous-ensemble floue particulier.

2.4.3.3 Inférences (Raisonnement floue)

Le moteur d'inférence est le véritable cerveau du contrôleur floue C'est le mécanisme qui applique les opérations d'inférence à partir des règles, l'opération consiste à admettre une proposition en vertu de sa liaison avec d'autres propositions tenues pour vraies à partir de la base des règles et des sous-ensembles floues.

La combinaison de ces règles doit être en *<< Ou >>* et *<< Et >>* .

Dans notre exemple on utilisé «Et» :

- Si le poids est "léger" ET la longueur est "courte", ALORS le classement est "petit".
- Si le poids est "léger" ET la longueur est "moyenne", ALORS le classement est "petit".
- Si le poids est "léger" ET la longueur est "longue", ALORS le classement est "moyen".
- Si le poids est "moyen" ET la longueur est "courte", ALORS le classement est "petit".
- Si le poids est "moyen" ET la longueur est "moyenne", ALORS le classement est "moyen".
- Si le poids est "moyen" ET la longueur est "longue", ALORS le classement est "moyen".
- Si le poids est "lourd" ET la longueur est "courte", ALORS le classement est "moyen".
- Si le poids est "lourd" ET la longueur est "moyenne", ALORS le classement est "Grand".
- Si le poids est "lourd" ET la longueur est "longue", ALORS le classement est "Grand".

Longueur	Poid		
	léger	moyen	lourd
court	Petit	Petit	Moyene
moyenne	Petit	Moyen	Grand
longue	Moyen	Moyen	Grand

TABLE 2.1 – Règles de Base

2.4.3.4 Défuzzification

La défuzzification est le processus de conversion d'une sortie floue (une fonction d'appartenance floue) en une valeur numérique ou un ensemble de valeurs numériques, qui peuvent être utilisées comme commandes pour un système réel . Il exist plusieurs methode : centre de gravité,moyenne des maximas bissecteur de la surface.

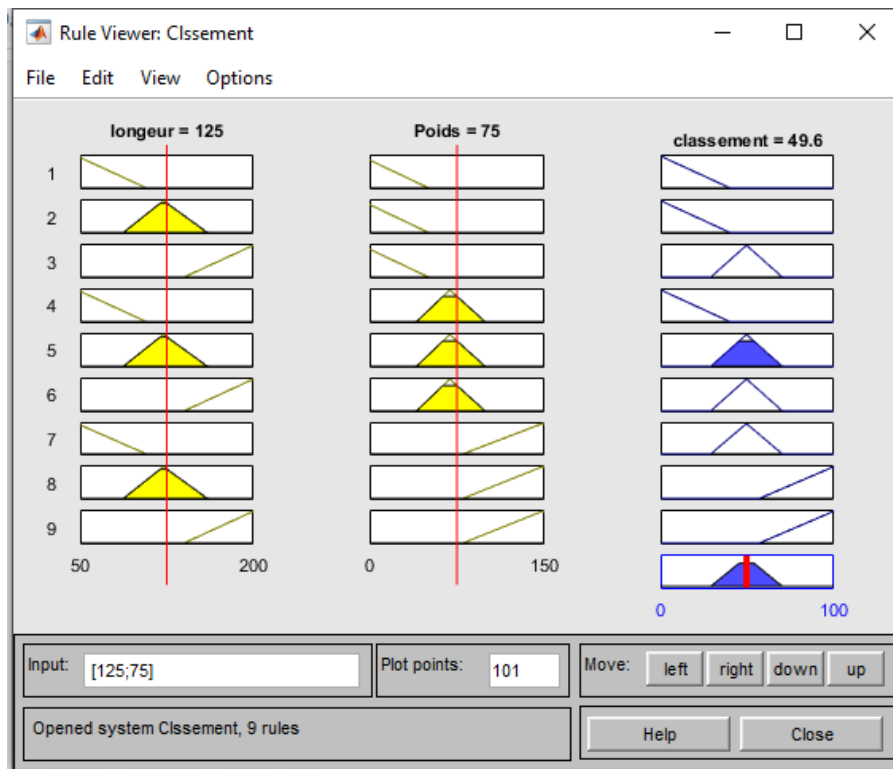


FIGURE 2.15 – Forme des règles

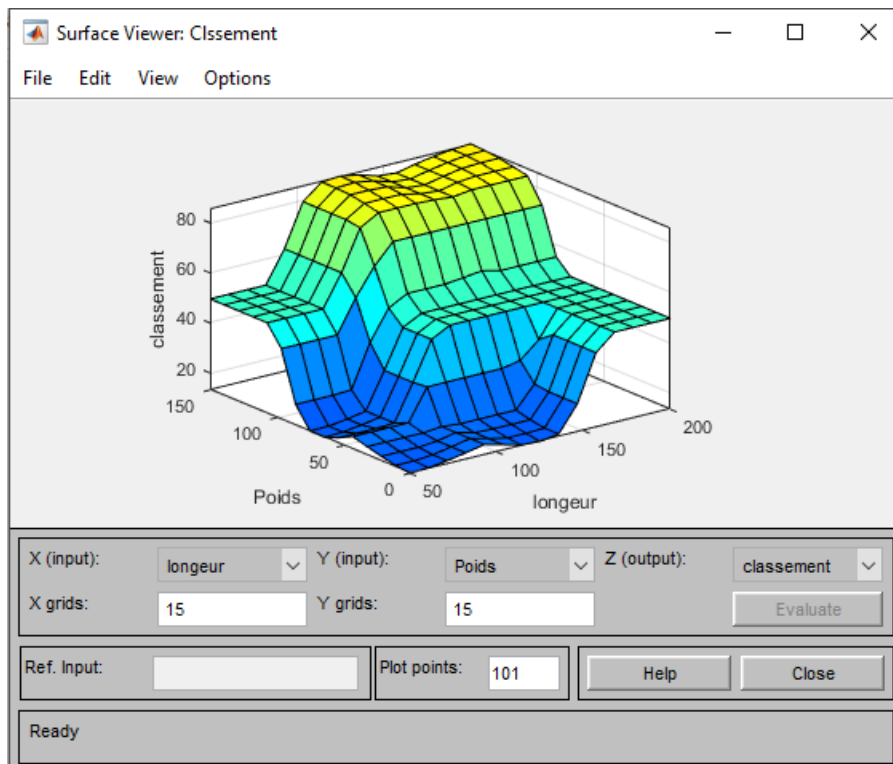


FIGURE 2.16 – Surface floue

2.4.3.5 Les Avantages et les Inconvénients de la Commande floue

2.4.3.6 Avantages

- La théorie est simple et s'applique à des systèmes complexes.
- Nécessitent pas la connaissance des modèles mathématiques du système.
- Robustesse.

2.4.3.7 Inconvénients

- Performances dépendent de connaissance des système

2.5 Autres Méthodes

Il existe dans la littérature d'autres algorithmes MPPT plus complexes qui font parfois appel à des techniques nouvelles, On peut citer : [16]

- Les Algorithmes à base de réseau de neurones
- Méthode (Hill Climbing)
- L'algorithme de la capacité parasite (Parasitic Capacitance)
- La méthode de balayage du courant (Current Sweep)

2.6 Conclusion

La technique MPPT est une approche prometteuse pour la commande des systèmes photovoltaïques, car elle est capable de suivre rapidement les changements de conditions météorologiques et de fournir une puissance de sortie optimale. La logique floue est un outil puissant pour la commande de systèmes complexes et incertains, offrant des avantages tels que la précision et la robustesse .

Dans ce Chapitre Nous avons présenter le principe de la recherche du point de puissance maximale , nous avons détaillé les méthodes MPPT les plus courantes à savoir la méthode P&O et la méthode INC, ainsi que la commande basée sur la logique floue. Ce dernier nous servira de support. A partir de l'implémentation qui nous mettrons en œuvres dans la suite.

Simulation

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes étapes nécessaires pour réaliser une simulation d'un système photovoltaïque à l'aide d'outil MATLAB SIMULINK, nous allons commencer par rappeler les principaux constituants du système photovoltaïque, puis nous aborderons la simulation des deux techniques MPPT que nous avons étudiées dans le chapitre précédent. L'objectif sera de tester le système sous différentes conditions d'irradiation pour évaluer ses performances.

3.2 Matlab/simulink

Matlab Simulink est un environnement de simulation de systèmes dynamiques, largement utilisé dans les domaines de l'ingénierie, . Il permet de modéliser, simuler et analyser des systèmes dynamiques continus et discrets, tels que les systèmes de contrôle, les systèmes de traitement du signal, Simulink fournit une interface graphique intuitive pour construire des modèles de système en utilisant des blocs préconstruits, et permet également la création de blocs personnalisés en utilisant le code Matlab, et les résultats peuvent être visualisés et analysés en utilisant des outils de traçage et de mesure intégrés. Nous avons basé dans notre travail sur cet outil pour l'étude de système photovoltaïque

3.3 Système photovoltaïque

Le système étudié est constitué par panneau photovoltaïque et le convertisseur DC-DC comme etape d'adaptations source-charge et la commande.

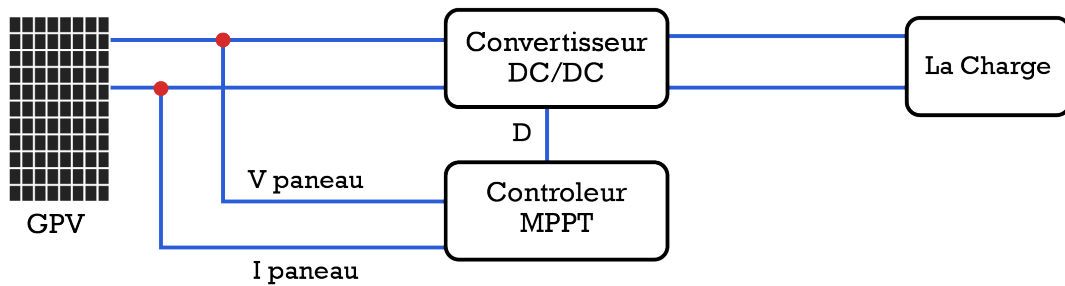


FIGURE 3.1 – Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT

3.3.1 Panneau photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque est décrit par ses caractéristiques électriques, le courant en fonction de la tension $I = f(V)$, **figure(3.3)**. Cette modélisation est généralement utilisée pour approximer la sortie du générateur (tension, courant) en fonction de deux entrées qui sont la température et l'éclairement reçu par le capteur générateur. [17]

Dans cette étude, nous avons procédé à la simulation du panneau photovoltaïque RG-P80W qui se compose de 36 cellule La **figure(3.2)** ci-dessous illustre les Paramètres du panneau utilisé dans cette étude.

Array data	
Parallel strings	1
Series-connected modules per string	1

Module data	
Module:	User-defined
Maximum Power (W)	79.975
Cells per module (Ncell)	36
Open circuit voltage Voc (V)	21.5
Short-circuit current Isc (A)	5.25
Voltage at maximum power point Vmp (V)	17.5
Current at maximum power point Imp (A)	4.57
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.367
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.058

Model parameters	
Light-generated current IL (A)	5.2879
Diode saturation current IO (A)	2.1901e-10
Diode ideality factor	0.97686
Shunt resistance Rsh (ohms)	38.5546
Series resistance Rs (ohms)	0.27834

FIGURE 3.2 – Paramètres du panneau photovoltaïque

Les caractéristiques $I=f(V)$, $P=f(V)$ du panneau photovoltaïque sous le changement d'irradiation.

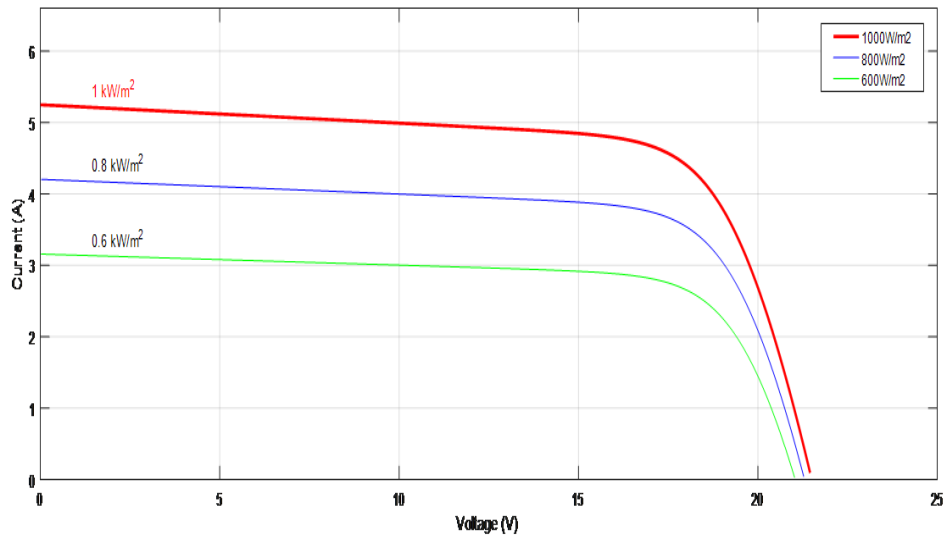


FIGURE 3.3 – Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I(V)$

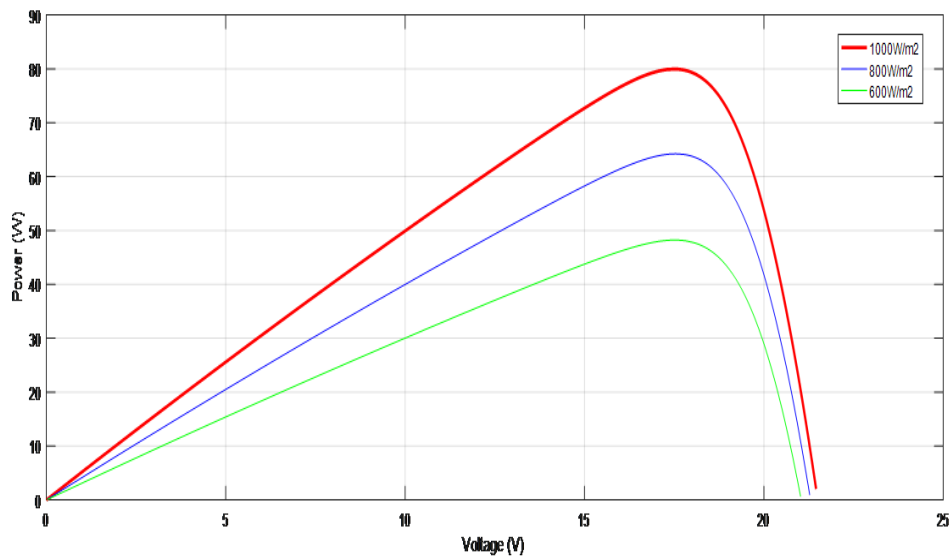


FIGURE 3.4 – Influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$

3.4 Convertisseur DC-DC

Les convertisseurs statiques DC-DC, également connus sous le nom de hacheurs, sont des circuits électroniques de puissance utilisés pour convertir une tension continue (DC) d'un niveau à un autre niveau de tension.

Le rôle principal du convertisseur DC-DC dans un système photovoltaïque est de réguler la tension et le courant de sortie du panneau solaire pour les adapter aux besoins de la charge. Le panneau solaire est généralement caractérisé par une tension et un courant de sortie variables en fonction des conditions d'ensoleillement et de la température. Le convertisseur DC-DC permet d'ajuster cette tension et ce courant pour fournir à la charge une tension et un courant constants, adaptés à ses besoins.

Il existe trois familles principales de convertisseurs statiques DC-DC :

- Hacheur abaisseur (Buck)
- Hacheur élévateur (Boost)
- Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-Boost)

Dans ce travail, nous nous concentrons sur le convertisseur boost.

3.4.1 Convertisseur Boost

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle est un type de convertisseur DC-DC qui permet d'augmenter la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée. Dans un système photovoltaïque, le convertisseur boost est utilisé comme adaptateur pour extraire le maximum de puissance de GPV

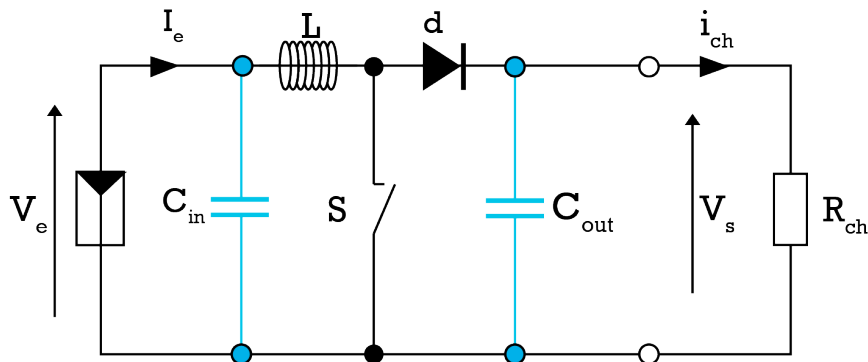


FIGURE 3.5 – Schéma d'un hacheur parallèle

Lorsque le commutateur S est activé, la tension de la charge chute immédiatement à zéro si le condensateur C_{in} est déchargé. Le courant I_{ch} circule à travers l'inductance L suivant l'équation : [18]

$$\frac{dI_{ch}}{dt} = \frac{V_e}{L} \quad (3.1)$$

Lorsque S est désactivé, l'inductance L se trouve en série avec le générateur et sa f.e.m s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant I_{ch} traversant l'inductance traverse ensuite la diode d, le condensateur C_{in} et la charge. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers le condensateur. Le courant décroît ensuite progressivement, car $V_s > V_e$: [18]

$$\frac{dI_{ch}}{dt} = \frac{V_e - V_s}{L} \quad (3.2)$$

La diode d permet d'éviter la décharge du condensateur $C_i n$, lorsque le commutateur est activé. Le condensateur est supposé assez grand pour pouvoir lisser la tension de la charge. La tension de la charge est donnée par : [18]

$$V_s = \frac{T}{t_{\text{off}}} \cdot V_e \quad (3.3)$$

$$V_s = \frac{1}{1-D} \cdot V_e \quad (3.4)$$

Avec le rapport cyclique $D = \frac{t_{\text{on}}}{T}$ ($0 < D < 1$).

3.4.2 Dimensionnement convertisseur BOOST

Le dimensionnement d'un convertisseur survolteur "boost" dépend de plusieurs facteurs, tels que la tension d'entrée, la tension de sortie, le courant de sortie.

$$P_{pv} = 80\text{w} \quad V_{pv} = 17.5\text{v} \quad I_{pv} = 4.57\text{A} \quad V_s = 34\text{v} \quad P_s = 80\text{w}$$

— Pour une fréquence de découpage de 1k Hz

Rapport cyclique :

$$D = 1 - \frac{V_{pv}}{V_s} = 0.485 = 48.5\% \quad (3.5)$$

La Charge :

$$R = \frac{V_s^2}{P_s} = 14.4 \Omega \quad (3.6)$$

On déterminer les ondulations ΔI_L et ΔV_s :

$$\Delta I_L = 0.2 \cdot I_s \cdot \frac{V_s}{V_e} = 0.91\text{A} \quad (3.7)$$

$$\Delta V_s = 10 \% V_s = 3.4\text{V} \quad (3.8)$$

L'inductance [19] :

$$L = \frac{V_e(V_s - V_e)}{\Delta I_L \cdot f \cdot V_s} = 9.3\text{mH} \quad (3.9)$$

Condensateurs [19] :

$$C_{\text{in}} \geq \frac{I_s \cdot D^2}{0.02(1-D) \cdot f \cdot V_{pv}} \geq 3060 \mu\text{F} \quad (3.10)$$

$$C_{\text{out}} \geq \frac{V_s \cdot D}{f \cdot \Delta V_s \cdot R} \geq 336 \mu\text{F} \quad (3.11)$$

3.4.3 Simulation d'un convertisseur Boost sous matlab

La figure (3.6) représente le schéma block d'un hacheur BOOST

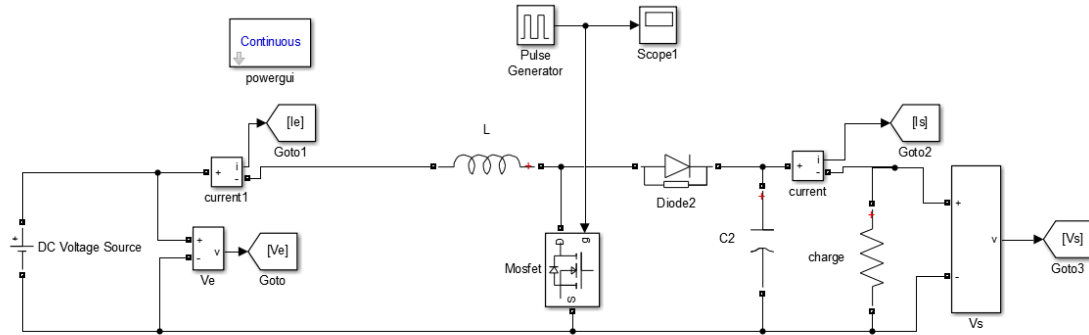


FIGURE 3.6 – Schéma block d'un convertisseur BOOST

pour une tension d'entrée $V_e = 17.5V$ et un rapport cyclique $D = 50\%$ la tension de sortie est presque égale a $34V$.

$$V_s = \frac{1}{1 - D} \cdot V_e \tag{3.12}$$

$$V_s = \frac{1}{1 - 0.5} \cdot 17.5 \tag{3.13}$$

$$V_s = 33.98v \tag{3.14}$$

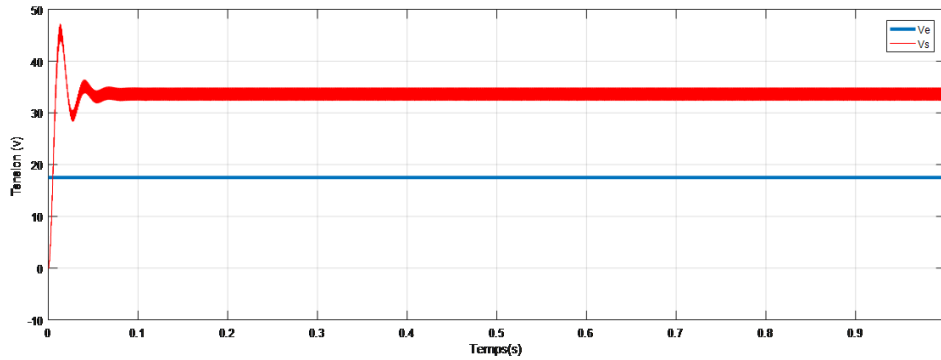


FIGURE 3.7 – Tension d'entrée et de sortie d'un BOOST

-Pour un rapport cyclique $D = 25\%$

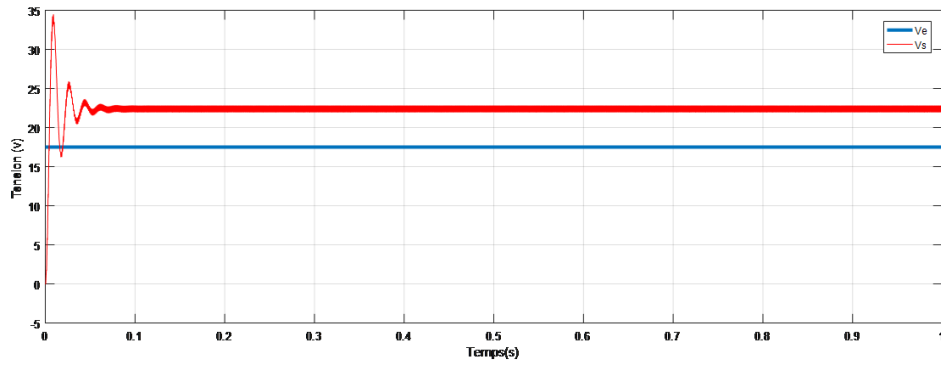


FIGURE 3.8 – Tension d’entrée et de sortie d’un BOOST

On remarque que : La diminution du rapport cyclique D entraîne une diminution de la tension de sortie, qui reste toujours supérieure à la tension d’entrée.

$$V_s = \frac{1}{1 - 0.25} \cdot 17.5 \quad (3.15)$$

$$V_s = 23.33v \quad (3.16)$$

Donc Ce résultat confirme la relation entre la tension d’entrée et la tension de sortie dans l’équation (3.4)

3.5 Simulation des techniques MPPT

3.5.1 Perturbation et observent (P&O)

En se basant sur l’organigramme P&O du chapitre précédent, nous avons accompli cet schéma bloc

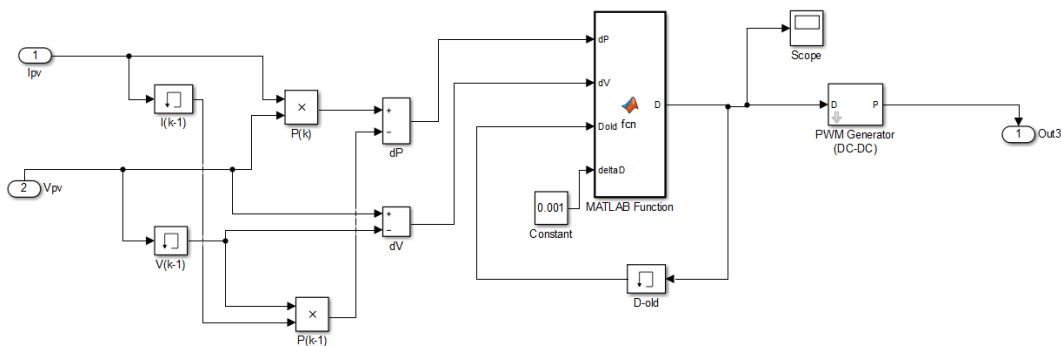


FIGURE 3.9 – Schéma block de la technique P&O

3.5.2 Commande par logique floue

Pour mettre en place l'algorithme MPPT flou, il est nécessaire de suivre trois étapes, à savoir la Fuzzification, l'inférence et la Défuzzification.

Dans notre étude, nous considérons deux variables d'entrée à l'instant k : l'erreur $E(k)$ et le changement de l'erreur $dE(k)$.

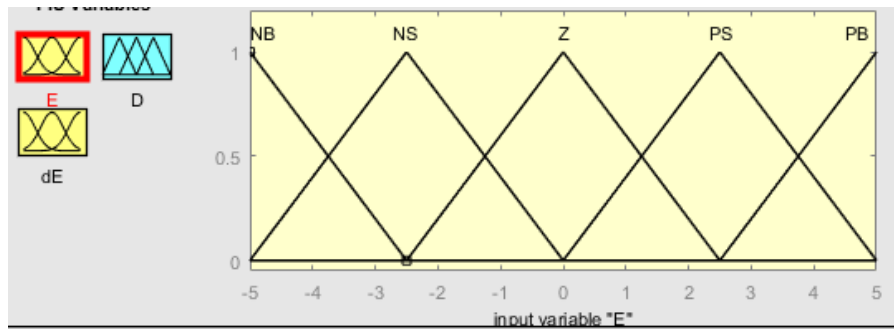
$$E(k) = \frac{P(k) - P(k - 1)}{V(k) - V(k - 1)} \quad (3.17)$$

$$dE(k) = E(k) - E(k - 1) \quad (3.18)$$

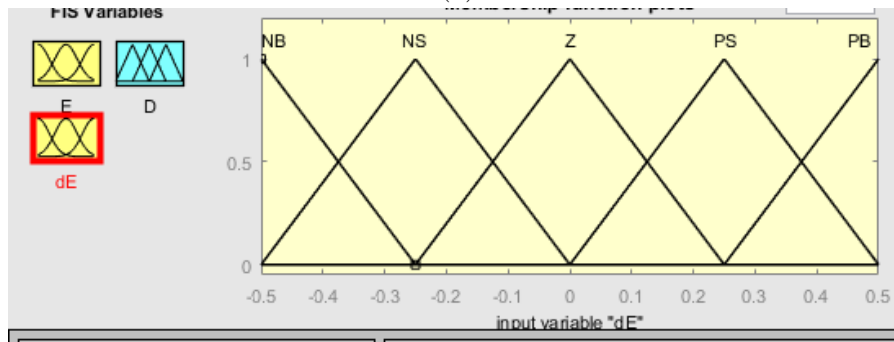
les variations du rapport cyclique dépendent de la différence de position entre le point de fonctionnement et un PPM. Ainsi, dès que ce dernier s'approche du PPM, les incréments appliqués à D s'affinent jusqu'à atteindre le PPM.

On a considéré cinq variables floues pour chaque variable du système

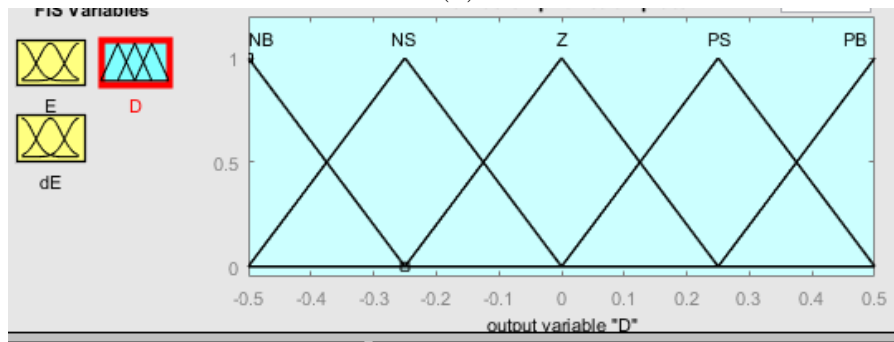
NB : negative-big, **NS** : negative-small, **Z** : zero, **PS** : positive-small, **PB** : positive-big,



(a)



(b)



(c)

FIGURE 3.10 – Fonctions d'appartenance pour les l'entrées et la sortie

E	dE				
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PS	PB	NB	NB	NS
NS	PS	PS	NS	NS	NS
Z	Z	Z	Z	Z	Z
PS	NS	NS	PS	PS	PS
PB	NS	NB	PB	PB	PS

TABLE 3.1 – Règle d’inférence de la commande par logique floue

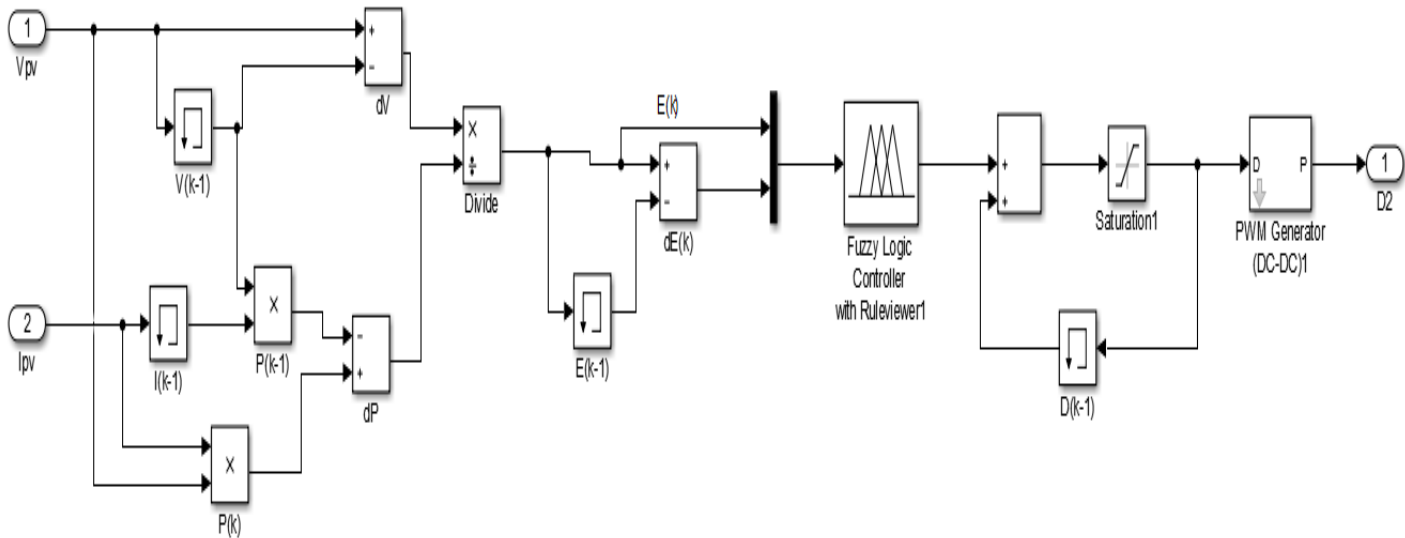


FIGURE 3.11 – Schéma block de la commande par logique floue

3.6 Simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT

Dans cette simulation, nous avons effectué deux tests différents : le premier sous des conditions standards, et le deuxième avec un changement d’irradiation. Nous avons utilisé deux méthodes : la méthode P&O et la méthode mppt floue

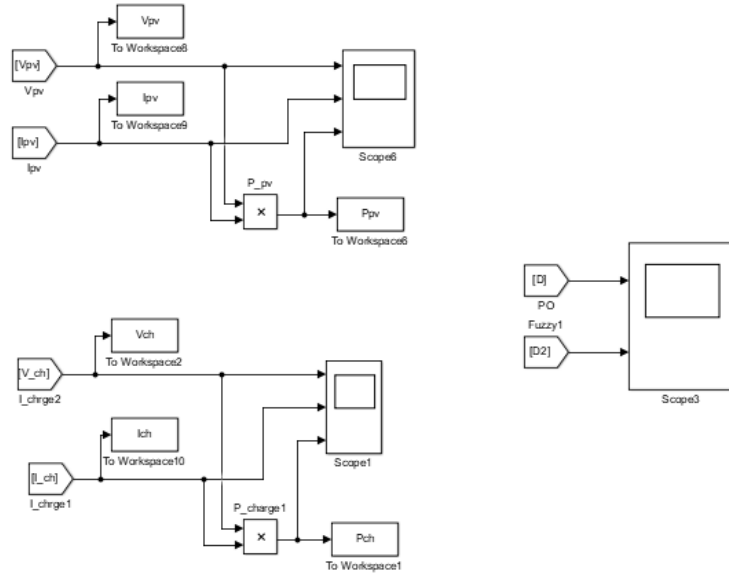
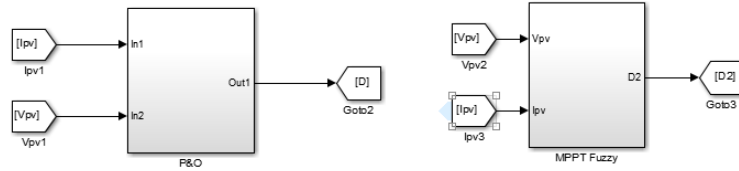
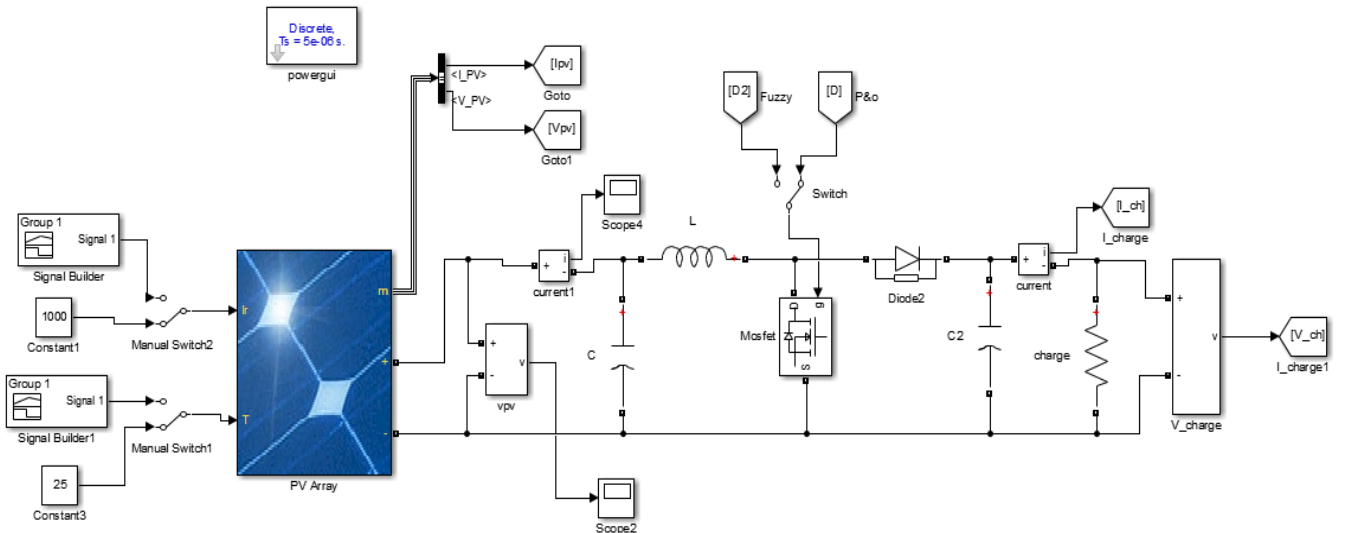


FIGURE 3.12 – Schéma globale (GPV,BOOST,Commande)

3.6.1 Simulation sous des conditions standards

Les valeurs d'irradiation et de température sont fixées à : $G = 1000 \text{ W/m}^2$ et $T = 25^\circ\text{C}$.

Les résultats de simulation sont représentés par les figures suivantes.

Ces figures représentent les tensions d'entrée et sortie du système ainsi le courant d'entrée et aux bornes de la charge et la puissance délivré par le module PV et la puissance de sortie du système.

3.6.1.1 La méthode P&O

Les figures suivantes représentent les résultats de simulation du système adapté par la commande(P&O) :

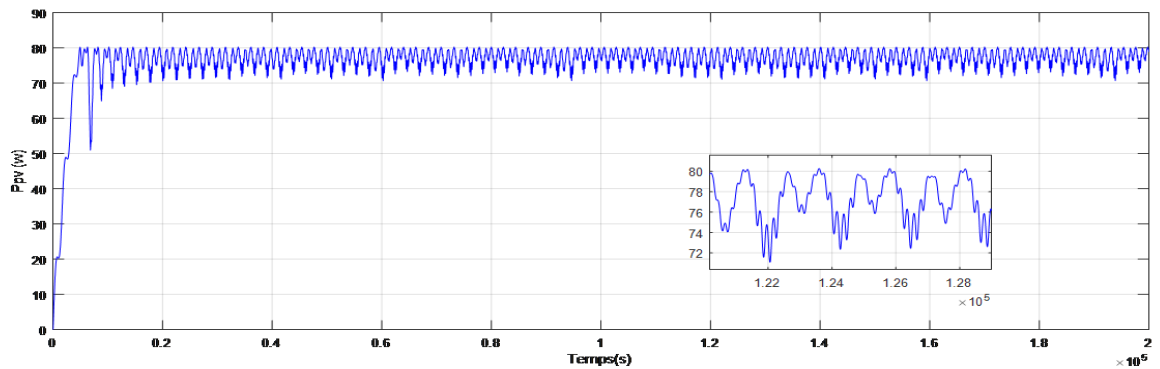


FIGURE 3.13 – Puissance délivré par le module PV

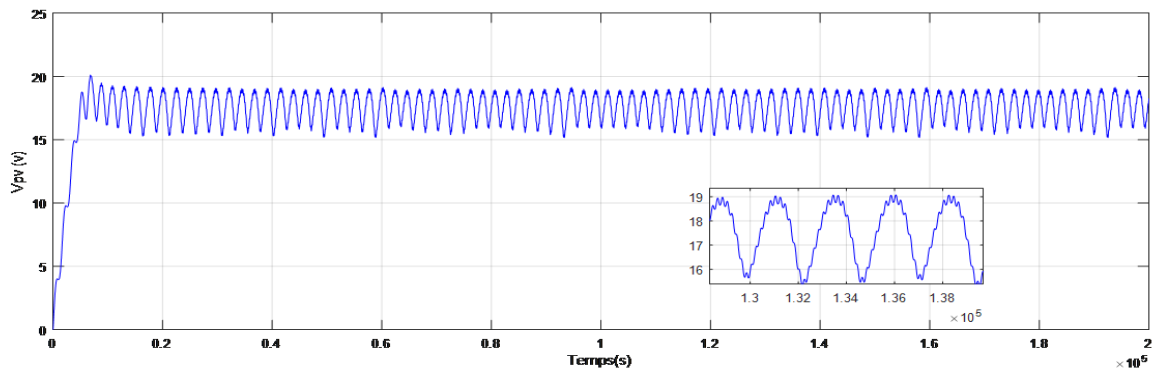


FIGURE 3.14 – Tension délivré par le module PV

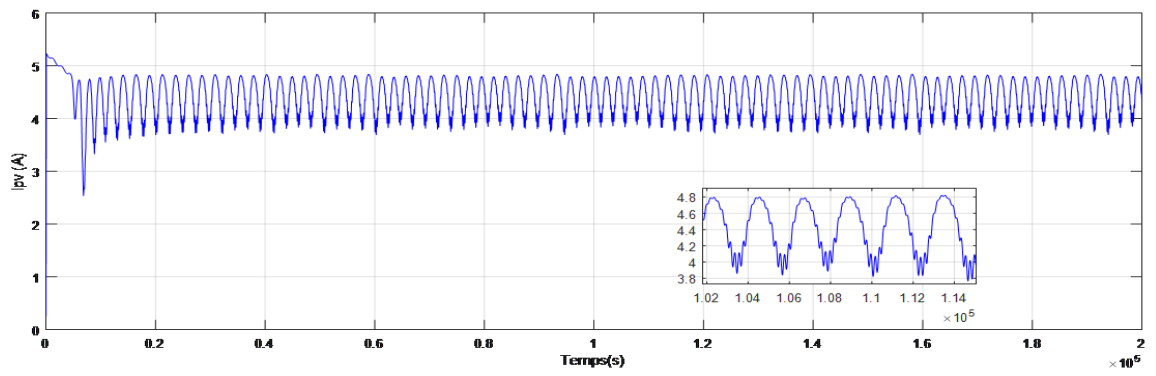


FIGURE 3.15 – Courant délivré par le module PV

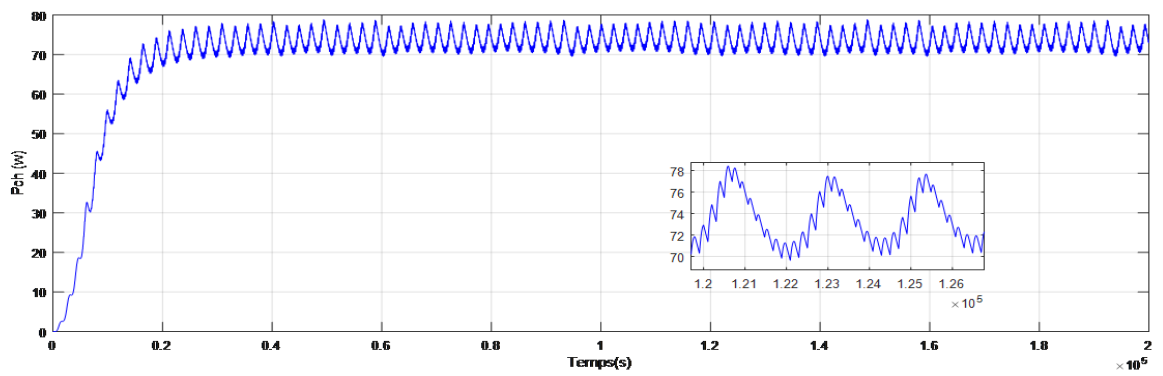


FIGURE 3.16 – Puissance de sortie du système

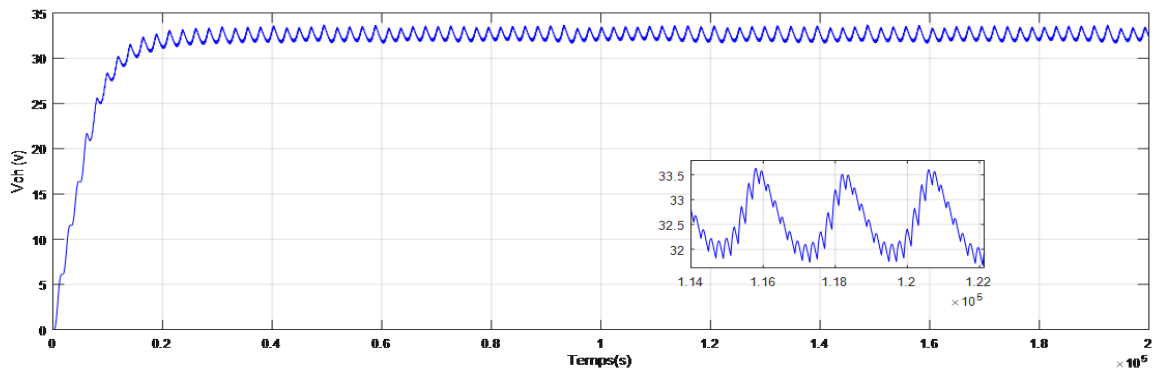


FIGURE 3.17 – Tension de sortie du système

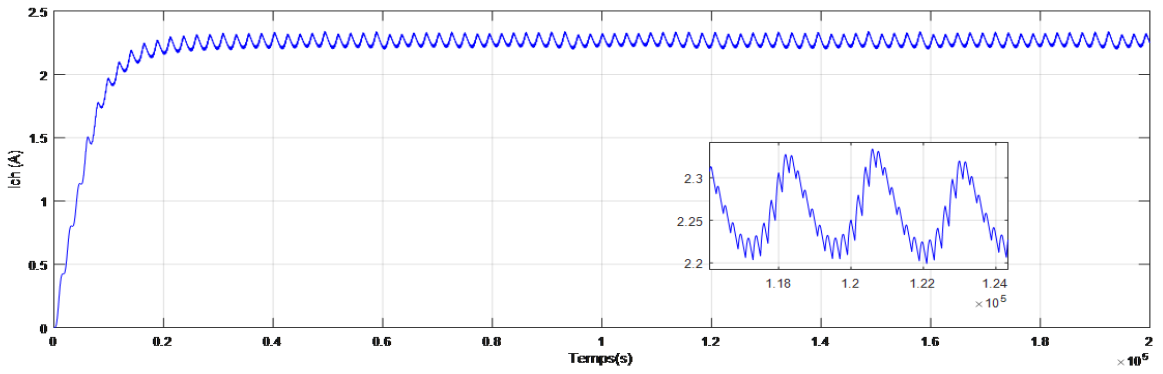


FIGURE 3.18 – Courant de sortie du système

3.6.1.2 La Commande MPPT Floue

Les figures suivantes représentent les résultats de simulation du système adapté par la commande MPPT Floue :

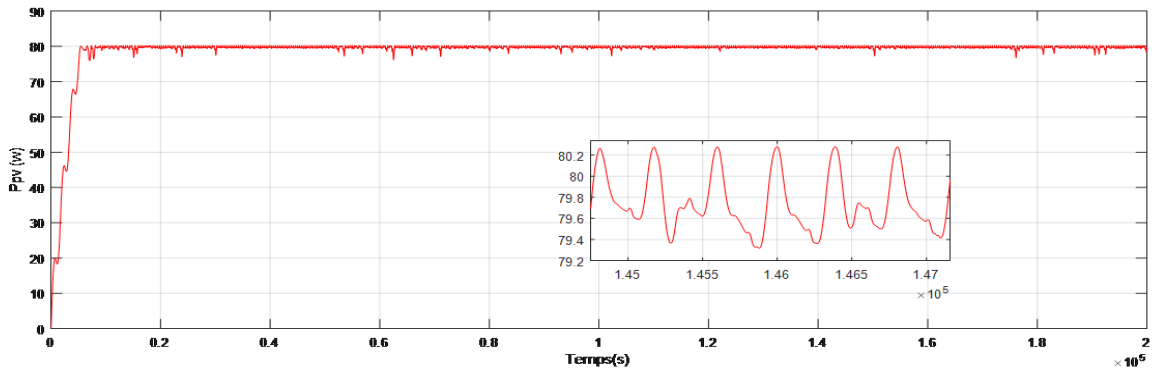


FIGURE 3.19 – Puissance délivré par le module PV

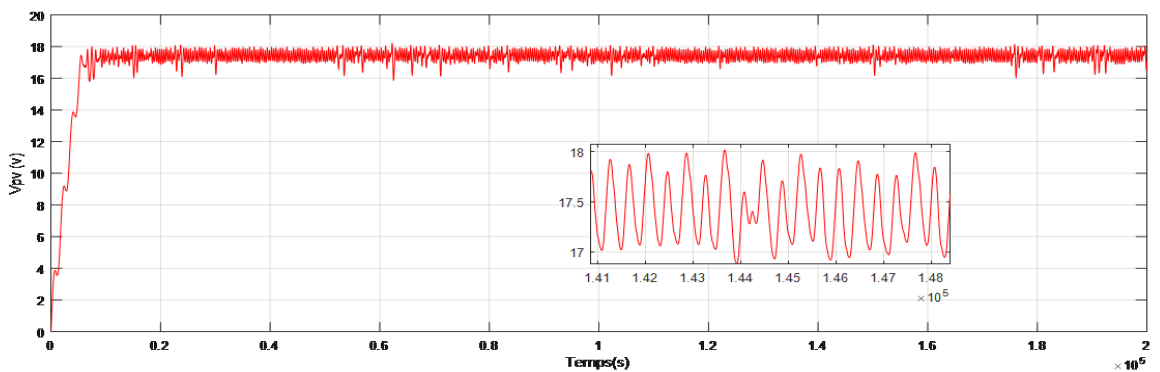


FIGURE 3.20 – Tension délivré par le module PV

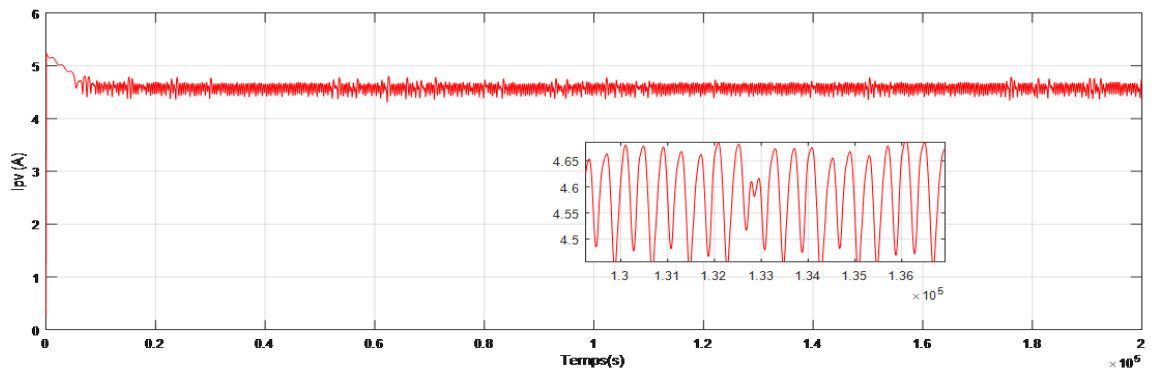


FIGURE 3.21 – Courant délivré par le module PV

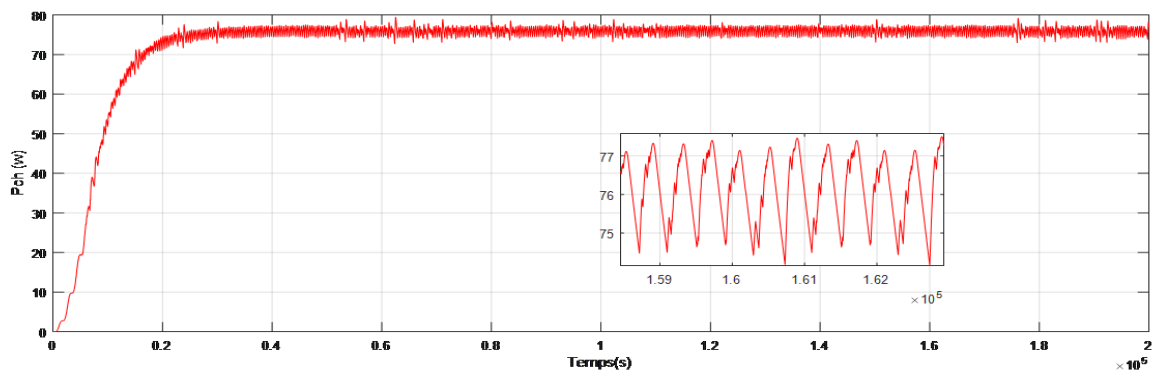


FIGURE 3.22 – Puissance de sortie du système

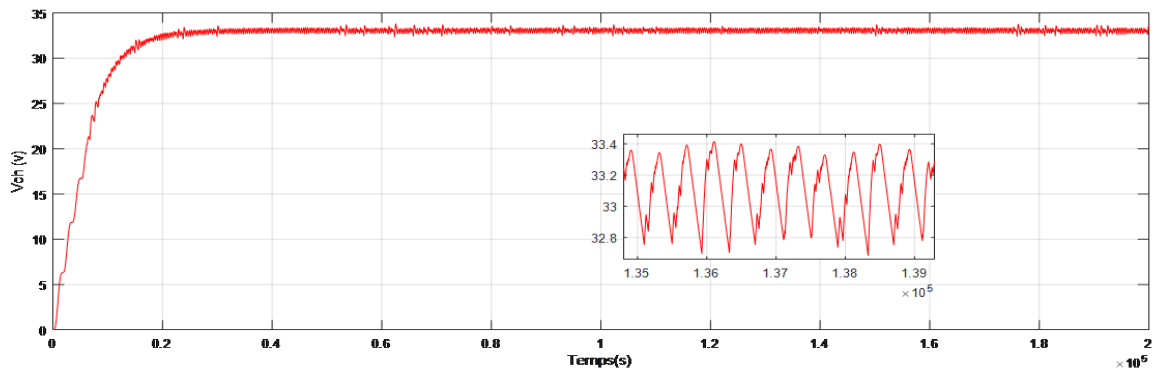


FIGURE 3.23 – Tension de sortie du système

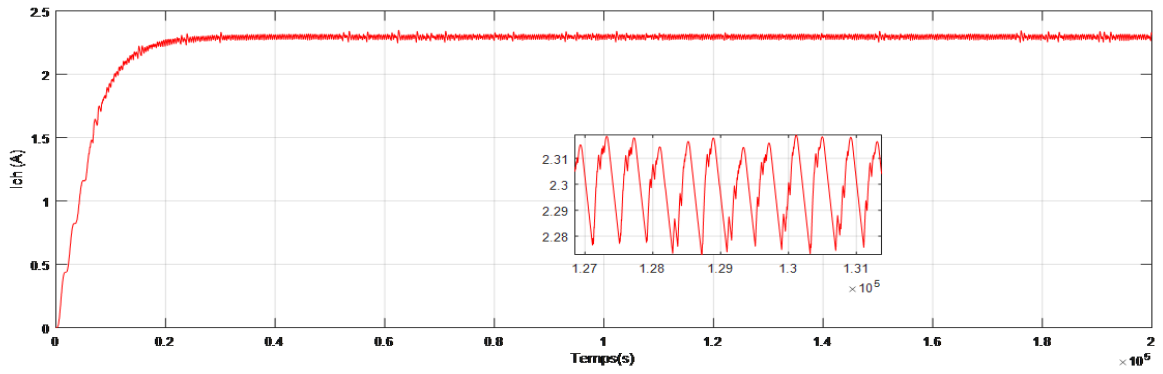


FIGURE 3.24 – Courant de sortie du système

3.6.2 Simulation avec changement d'Irradiation

Dans ce cas on va simulé le système sous à un changement d'irradiation avec une température constante de 25°C cette variation d'irradiation est illustré dans la figure (3.25).

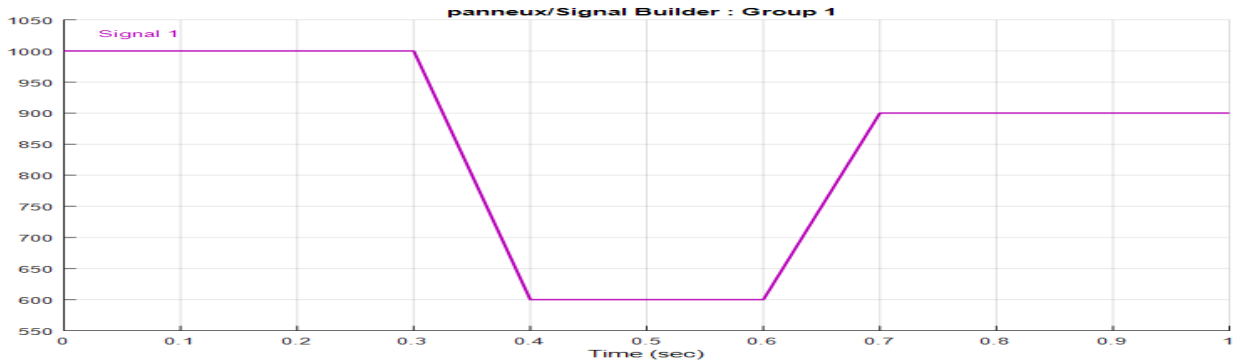


FIGURE 3.25 – Variation d'irradiation

3.6.2.1 La méthode P&O

Les résultats obtenus par la commande P&O sont donnés par les figures ci-dessous :

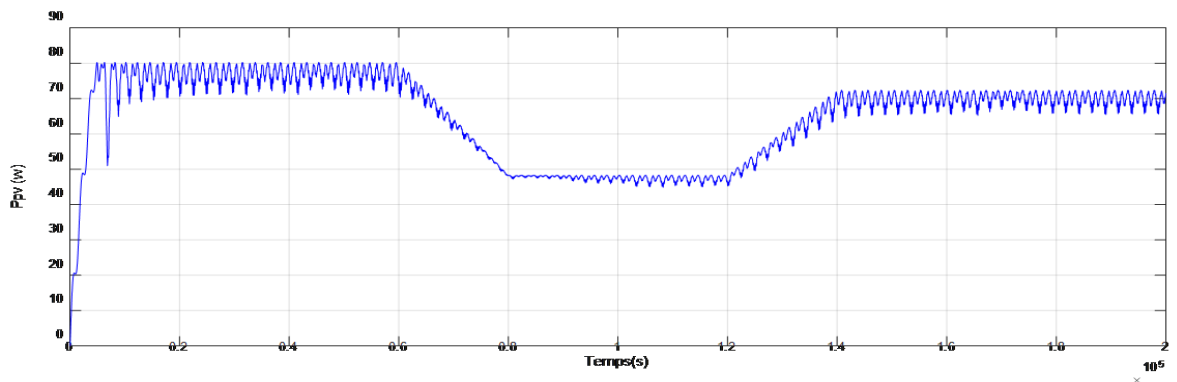


FIGURE 3.26 – Puissance délivré par le module PV

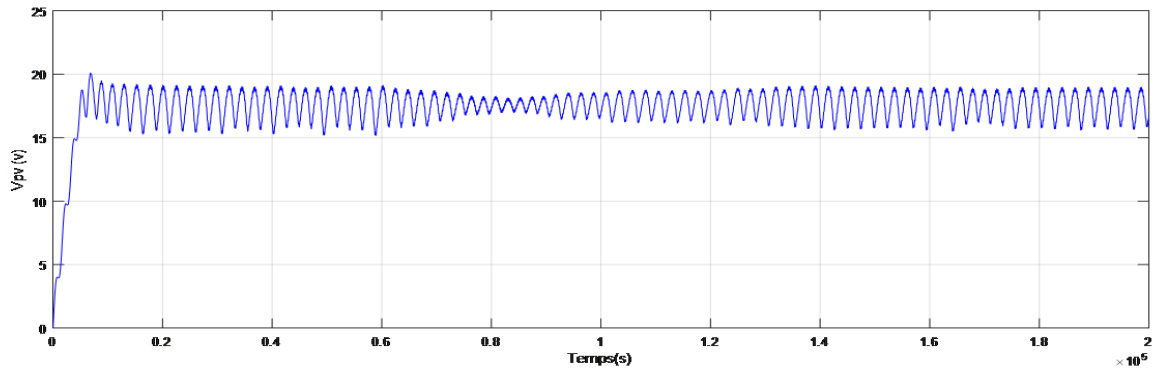


FIGURE 3.27 – Tension délivré par le module PV

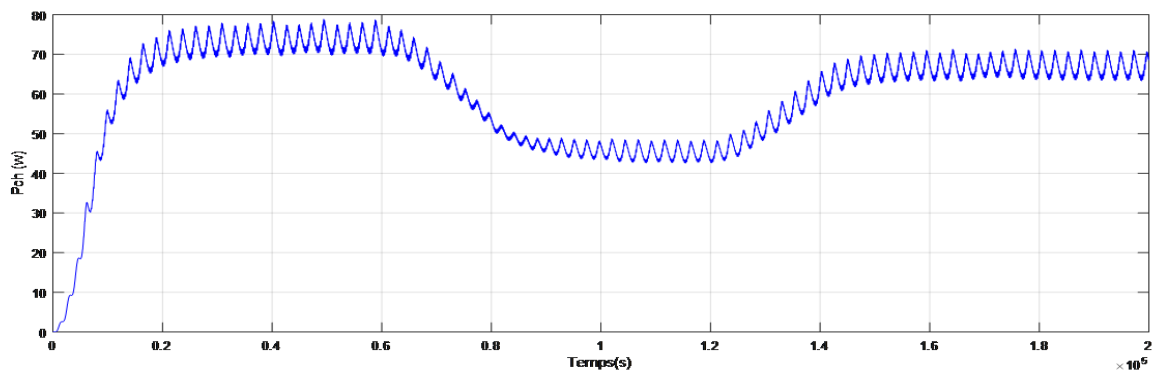


FIGURE 3.28 – Puissance de sortie du système

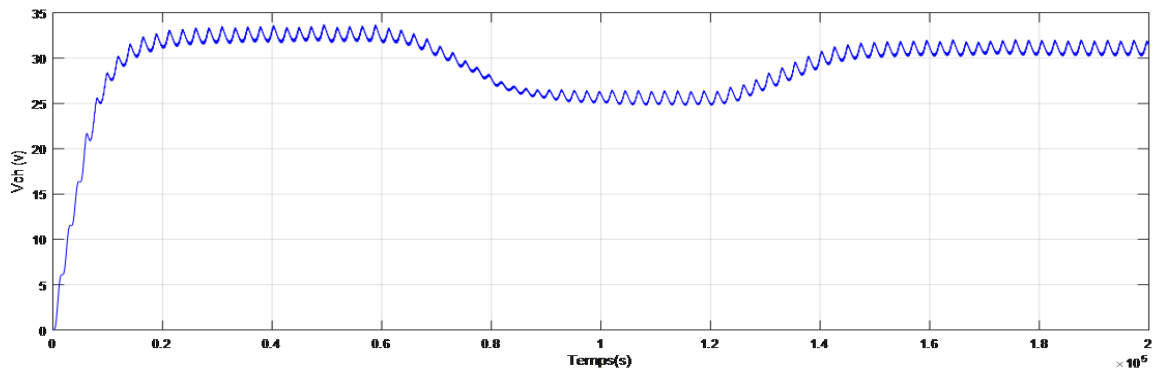


FIGURE 3.29 – Tension de sortie du système

3.6.2.2 La Commande MPPT Floue

Les résultats obtenus par la commande MPPT Floue sont illustrée par les figures ci-dessous :

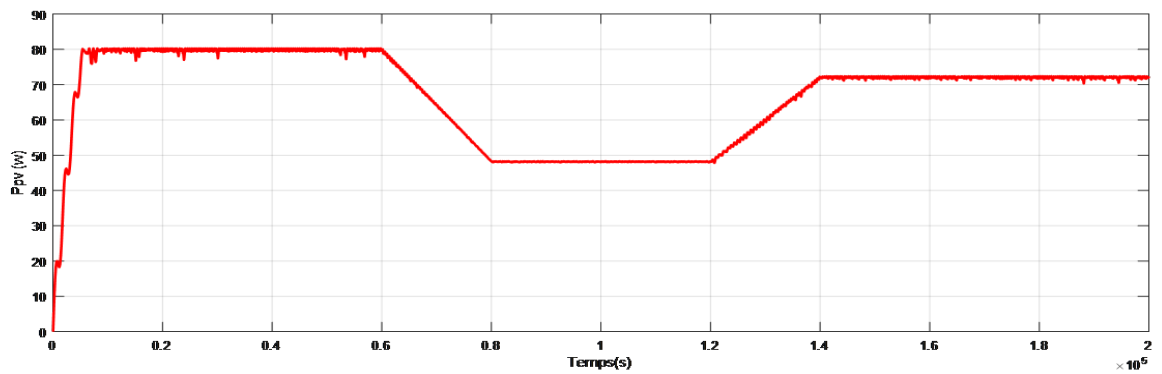


FIGURE 3.30 – Puissance délivré par le module PV

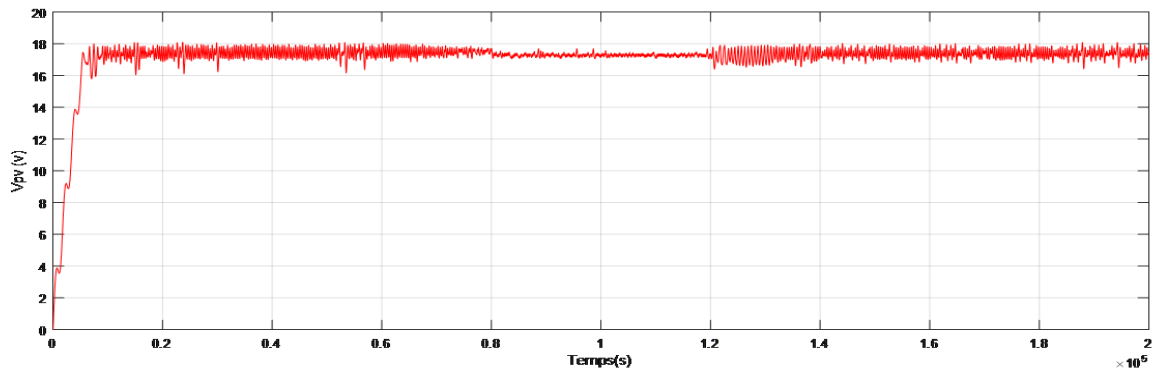


FIGURE 3.31 – Tension délivré par le module PV

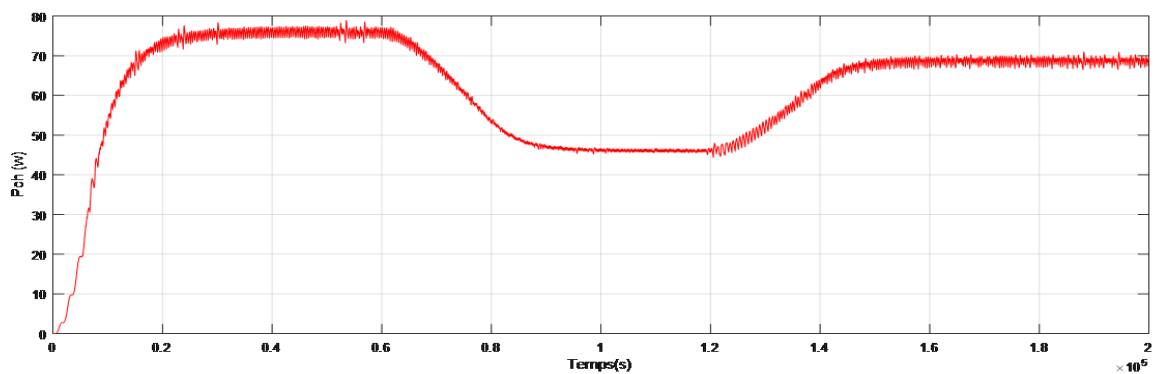


FIGURE 3.32 – Puissance de sortie du système

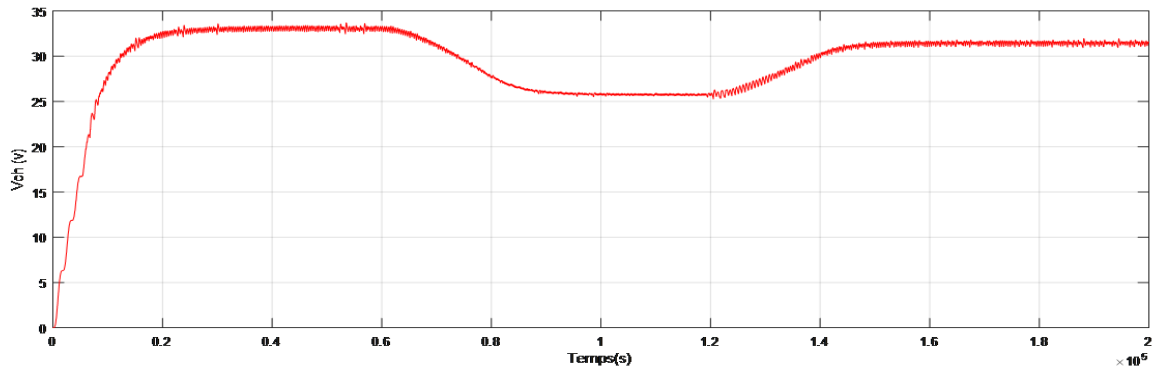


FIGURE 3.33 – Tension de sortie du système

3.6.2.3 Comparaison entre les deux Commande P&O et MPPT Floue

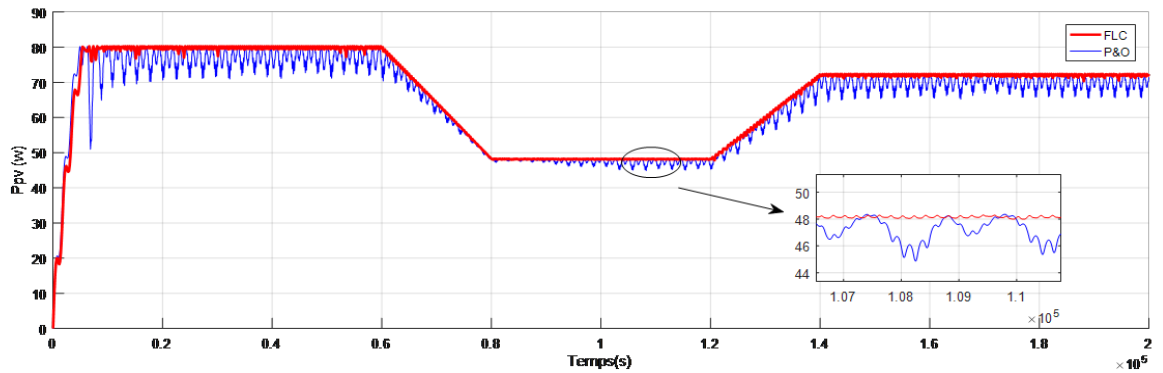


FIGURE 3.34 – Variation de la puissance du module PV sous le changement d’irradiation avec deux commande P&O et FLC

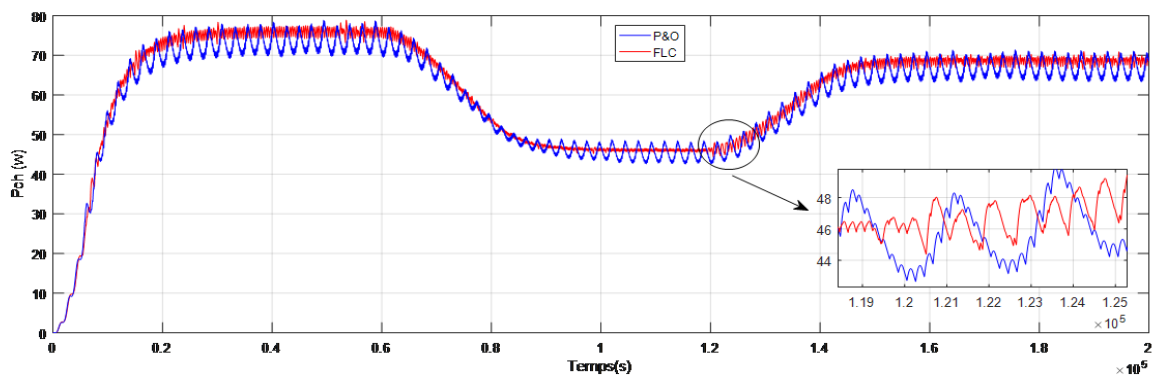


FIGURE 3.35 – Variation de la puissance de sortie du système sous le changement d’irradiation avec la commande P&O et FLC

3.7 Interprétation des résultats

Dans une première étape, nous avons utilisé la méthode P&O et la méthode MPPT floue pour simuler notre système photovoltaïque dans des conditions spécifiques : une température de $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ et un éclairement de $G = 1000 \text{ W/m}^2$. Nous avons observé que notre système fournissait 80 W de puissance. Cela prouve que les deux commandes permettent au système de fonctionner à sa puissance maximale dans ces conditions.

Il est important de noter qu'avec la méthode P&O, des oscillations peuvent se produire autour du point de puissance maximale (PPM) du système. Cependant, malgré ces oscillations la commande P&O reste efficace pour maintenir le système à sa puissance maximale.

Dans la deuxième étape, nous avons simulé le système sous un changement d'irradiation. Nous avons constaté que les deux commandes P&O et MPPT floue, ont répondu de manière adéquate aux nouvelles conditions de fonctionnement du système (**Figure 3.35**). Cela démontre leur capacité à s'adapter aux variations de l'éclairement et à maintenir le système à son point de puissance maximale.

D'après les résultats de simulation obtenus, il est évident que la commande par logique floue présente de meilleurs résultats par rapport à la méthode P&O. On remarque que la commande floue conduit à l'absence d'oscillations dans le régime permanent du système et à un temps de réponse plus rapide. Cela permet d'atteindre plus rapidement le point de puissance maximale (PPM) du système.

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la simulation sous MATLAB/SIMULINK pour tester et optimiser un système photovoltaïque équipé d'un module photovoltaïque, un convertisseur boost et d'une commande MPPT.

Les résultats de la simulation ont montré que les deux méthodes MPPT permettent au système de fonctionner à son point de puissance maximale, mais que chacune présente des avantages et des inconvénients en fonction des conditions d'irradiation.

Implémentation pratique

4.1 Introduction

Après avoir examiné les aspects théoriques et conceptuels dans les chapitres précédents, nous passerons à la mise en œuvre. Ce dernier chapitre se concentre sur la réalisation du système photovoltaïque commandé par Arduino en utilisant deux algorithmes. l’algorithme P&O classique et la logique floue, comme méthodes de contrôle MPPT. Nous allons présenter les différentes étapes nécessaires pour l’implémentation, y compris le choix des composants.

4.2 Conception et réalisation d’un système PV

Le système photovoltaïque proposé se compose de deux circuits essentiels. Le premier est le circuit de puissance, qui comprend un convertisseur BOOST alimentant une charge résistive. Le deuxième est le circuit de commande MPPT, qui comprend un Arduino Uno ainsi que des capteurs de courant et de tension.

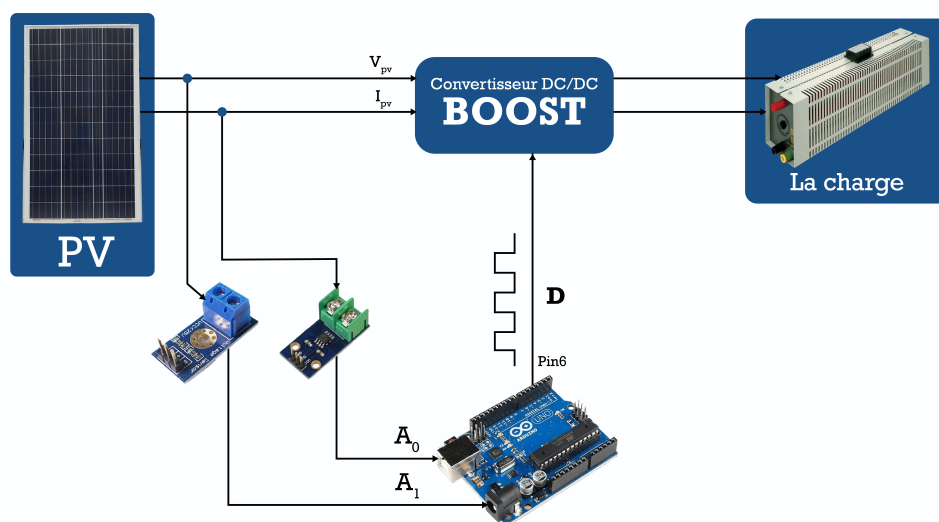


FIGURE 4.1 – Système proposé

4.2.1 Panneau photovoltaïque

Le panneau PV utilisé dans ce système est un module de type "RAGGIE RG-P80W". Il fournit une puissance maximale de 80 W sous un éclairage de 1000 W/m² et une température de 25°C.

Puissance maximale	80w
Tension à puissance maximale (V _{mp})	17.5V
Courant à puissance maximale (I _{mp})	4.57A
Tension en circuit ouvert (V _{oc})	21.5V
Courant de court-circuit (I _{sc})	5.25A
Cellules	36

TABLE 4.1 – Paramètre du module photovoltaïque utilisées

4.2.2 Carte Arduino

Nous utilisons une carte Arduino Uno pour la commande MPPT, tel que nous avons vu dans le premier chapitre.

4.2.3 Capteur de courant

Le capteur ACS712 utilise le principe de l'effet Hall pour mesurer le champ magnétique généré par le courant électrique traversant le conducteur. Il est doté d'un élément magnétique sensible intégré qui détecte les variations du champ magnétique et les convertit en une tension proportionnelle au courant mesuré.

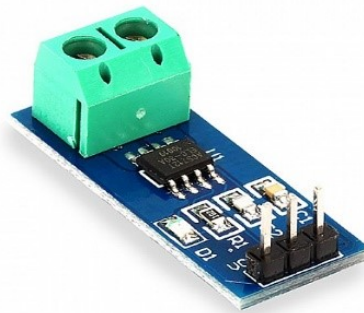


FIGURE 4.2 – Capteur de Courant Acs712

4.2.4 Capteur de Tension

Le module de diviseur de tension présenté dans la Figure (IV.7) est conçu pour détecter des alimentations allant jusqu'à 25V. Il est basé sur le principe du diviseur de résistance. Ce module de détection de tension permet de réduire la tension d'entrée cinq fois. Étant donné que la tension d'entrée analogique de l'Arduino est de 5V, la tension d'entrée maximale du module de détection ne doit pas dépasser $25V/5=5V \times 5=25V$ [20].

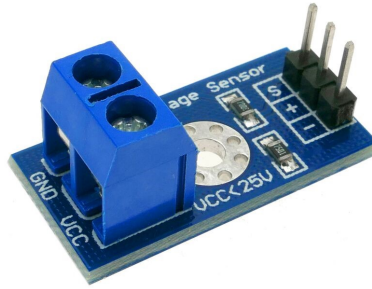


FIGURE 4.3 – Capteur de Tension

4.2.5 Hacheur Survolteur (BOOST)

Le convertisseur Boost assure l'adaptation et la conversion de puissance entre la source et la charge. Il est contrôlé par un système de commande basé sur le microcontrôleur Arduino UNO, à travers le circuit de protection. Pour assurer une isolation entre la partie commande et la partie puissance, nous utilisons un optocoupleur. Cet optocoupleur permet de séparer électriquement les signaux de commande d'arduino et la partie puissance du convertisseur.

4.2.5.1 Transistor

Le choix de transistor est essentiel pour qu'il puisse supporter le courant maximal fourni à la charge. Nous avons choisi le MOSFET "IRF840" qui peut fonctionner avec une tension V_{DSS} allant jusqu'à 500V et un courant I_d pouvant atteindre 40A. (voir ANNEXE B).

4.2.5.2 Diode

Le rôle de diode est d'éviter le retour du courant provenant de la charge, la diode choisie doit être rapide et pouvant supporter le courant maximal fourni à la charge. Dans ce travail, nous avons utilisé une diode Schottky SR560 qui présente une tension de blocage inverse 60V et un courant maximale de 5A (voir ANNEXE A).

4.2.5.3 Bobine

Le choix de l'inductance est crucial pour assurer le bon fonctionnement de l'hacheur. En effet une inductance trop faible ne permettrait pas son fonctionnement, tandis qu'une inductance trop élevée entraînerait d'importantes pertes de puissance.

4.2.5.4 Condensateur

Pour filtrer les variations de tension d'entrée et de sortie, nous utilisons deux condensateurs en entrée et en sortie. Les valeurs des capacités sont calculées en fonction des niveaux d'ondulation souhaités.

4.2.5.5 Optocoupleur

Un optocoupleur, également connu sous le nom d'isolateur optique, est un dispositif électronique utilisé pour isoler électriquement deux circuits : le circuit de commande et le circuit de puissance. Nous avons utilisé dans notre travail un optocoupleur 4N35 (voir Annexe D).

Mosfet	IRF840
Diode	SR560
Inductance	600uH
Condensateurs charge	Cin= 1000uF , Cout=1000uF

TABLE 4.2 – Composants de l'hacheur

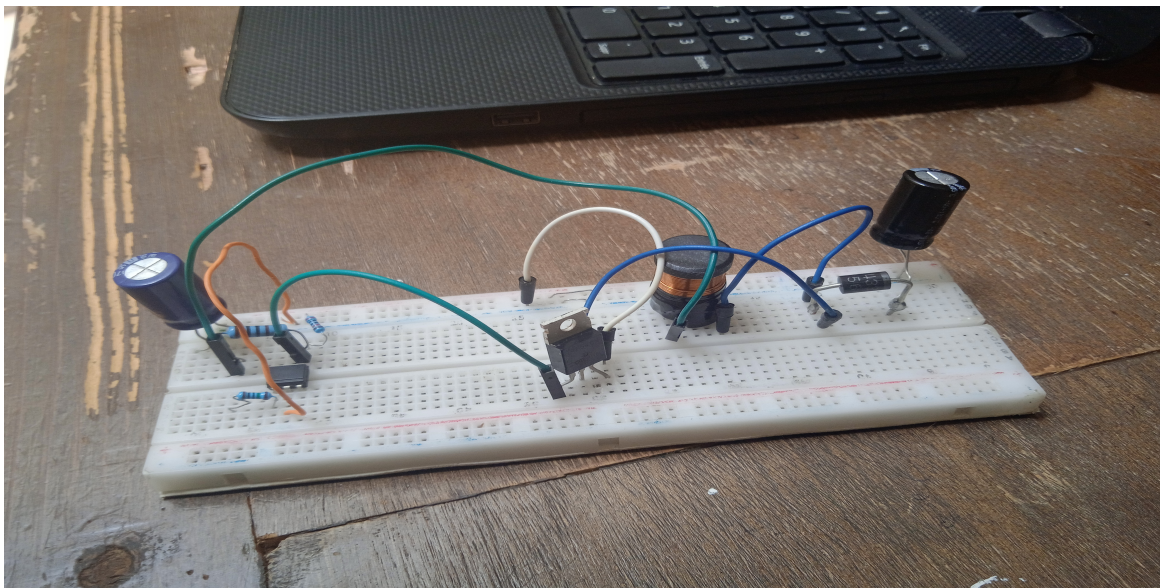


FIGURE 4.4 – Hacheur BOOST réalisé

4.3 Réalisation du système

Les figures (4.3) (4.4) illustre le système PV réalisé et ces différents composants.

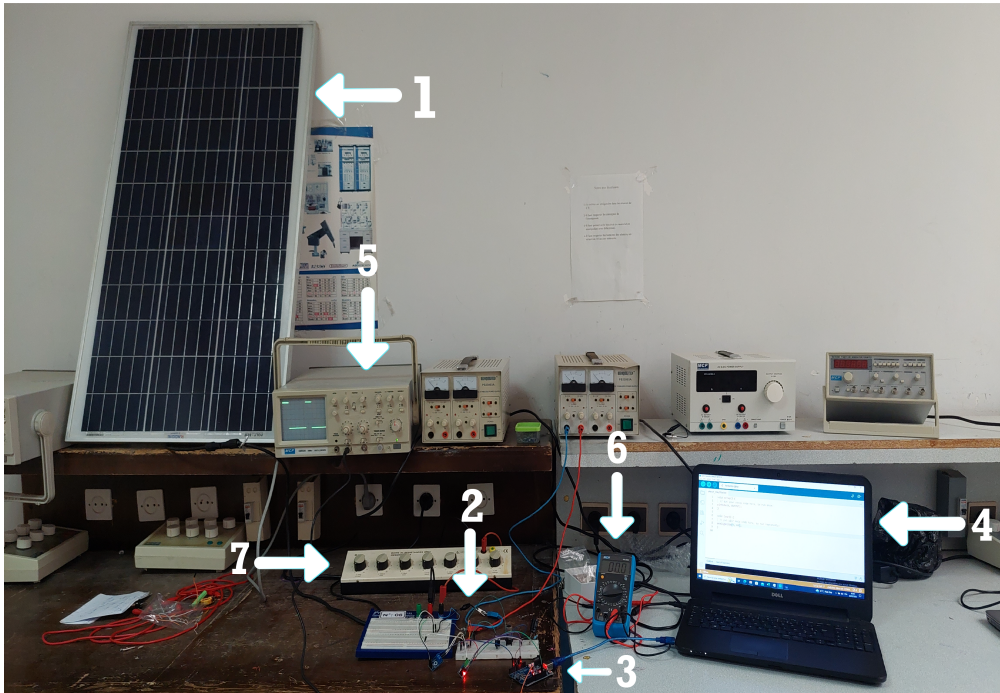


FIGURE 4.5 – Système réalisé

1	Panneau (RG-P80W)
2	BOOST
3	Carte Arduino UNO
4	PC
5	Oscilloscope
6	Multimetre
7	La Charge

TABLE 4.3 – Différents composants du système

4.4 Résultats de tests pratiques et discussions :

4.4.1 Test pratique de l'hacheur « boost »

Dans un premier temps, nous avons testé le hacheur avec une tension d'entrée de 10V et un rapport cyclique de 50%. La figure ci-dessus présente les tensions d'entrée et de sortie du hacheur.



```
1 int PWM= 6;
2
3 void setup()
4 {
5   pinMode(PWM, OUTPUT);
6 }
7
8 void loop() {
9
10  analogWrite(6, 127.5); // Pour un Rapport Cuclique de 50%
11 }
12
```

FIGURE 4.6 – Programme Arduino pour un rapport cyclique 50%

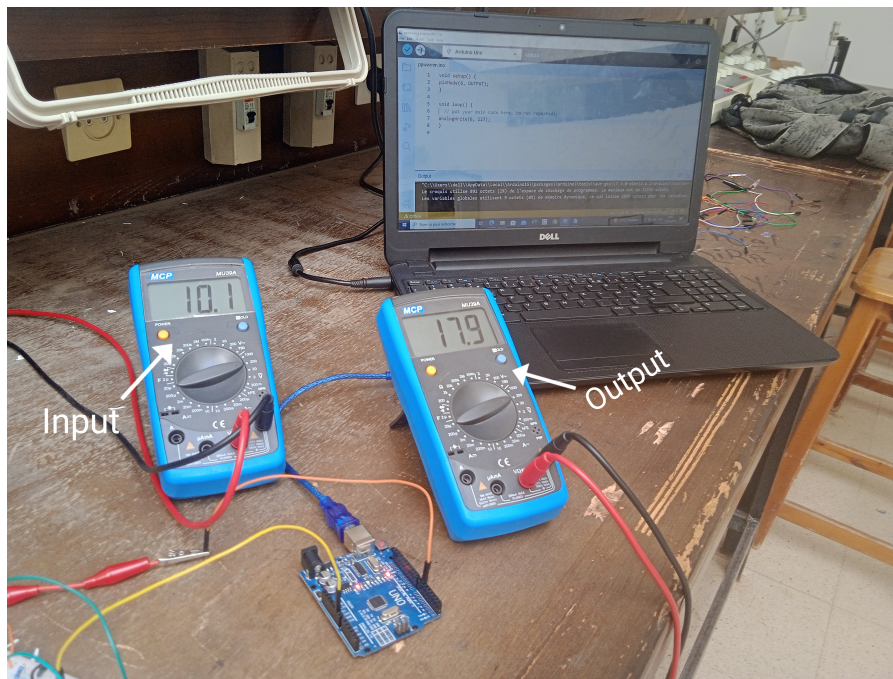


FIGURE 4.7 – Tension d'entrée et de sortie de l'hacheur

Nous pouvons constater que le hacheur donne de bons résultats.

4.4.2 Implémentation du système

Les figures illustrent les organigrammes des algorithmes implémenté sur la carte Arduino UNO.

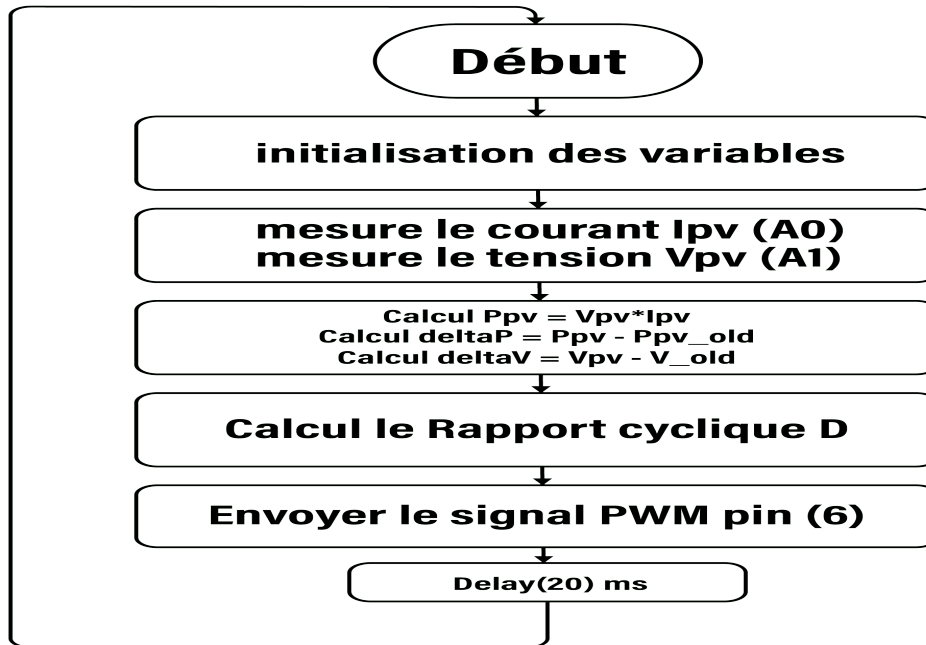


FIGURE 4.8 – Organigramme de l’algorithme P&O

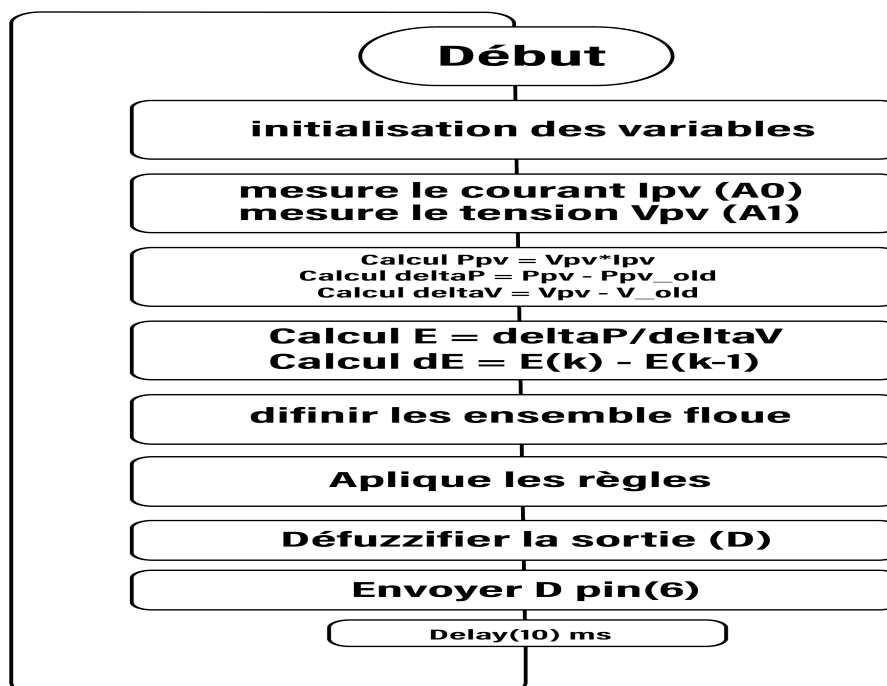


FIGURE 4.9 – Organigramme de l’algorithme floue

Différentes expérimentations ont été menées dans des conditions météorologiques variées afin de mesurer les grandeurs tension, courant, puissance à l'aide d'un multimètre et l'outil Serial Monitor.

Les résultats obtenus à l'aide de l'outil Serial Monitor d'Arduino sont présentés dans les tableaux suivants.

4.4.2.1 Algorithme P&O

Lors des premiers tests, nous avons obtenu ces résultats et avons observé des ondulations de courant en raison de la fréquence de commutation de sortie de l'Arduino Uno, qui était d'environ 1 kHz.

Vpv	Ipv	Ppv
12.56	1.49	18.73
8.97	1.15	10.3
9.29	1.54	14.3
5.28	1.2	6.32
2.17	1.1	2.39
1.00	1.54	1.54
11.39	1.05	11.97
10.22	0.9	9.24
13.00	1.39	18.11
9.53	1.2	11.41
8.68	1.44	12.51
7.48	0.71	5.3
11.68	1.49	17.41
11.73	1.34	15.77
6.33	1.05	6.65
5.65	1.49	8.42
9.80	0.86	8.38
11.00	1.3	14.24
12.88	1.05	13.53
13.32	1.44	19.2
12.73	1.44	18.36
12.12	0.9	10.96
13.29	1.44	19.17
10.92	1.05	11.48
13.27	1.49	19.78
12.95	1.64	21.21
11.80	1.05	12.4
7.80	1.15	8.95
12.44	1.05	13.07
12.66	1.54	19.49
12.32	1.44	17.76

TABLE 4.4 – Valeurs Vpv, Ipv, Ppv

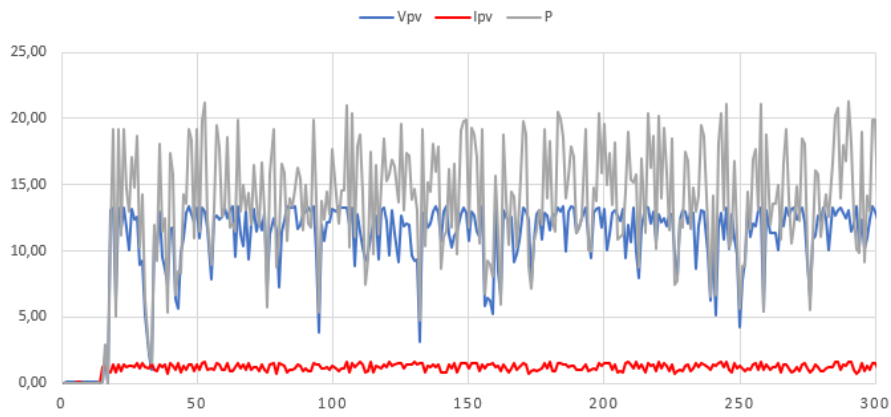


FIGURE 4.10 – Puissance courant et tension obtenue

Nous avons essayé de travailler avec une fréquence de commutation de 7 kHz, mais l'influence des conditions météorologiques et de l'ombre n'a donné que ces résultats.

Nous avons testé le convertisseur boost avec une fréquence de commutation de 7 kHz. nous avons constaté que le convertisseur fonctionne très bien et augmente la tension d'entrée à 28 volts.

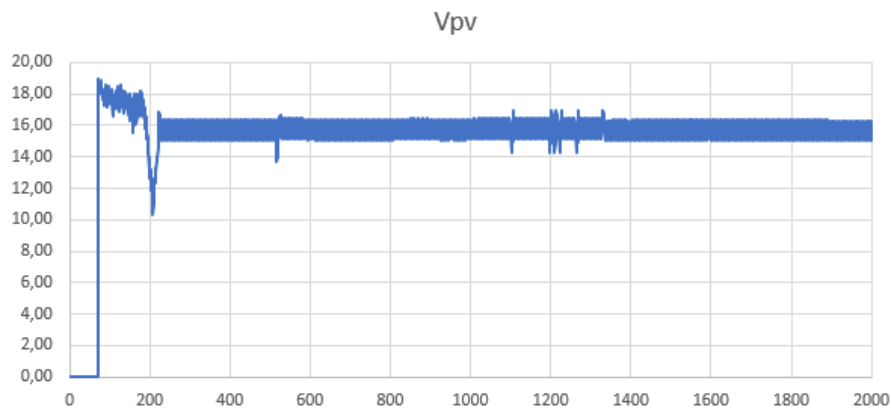


FIGURE 4.11 – Tension PV

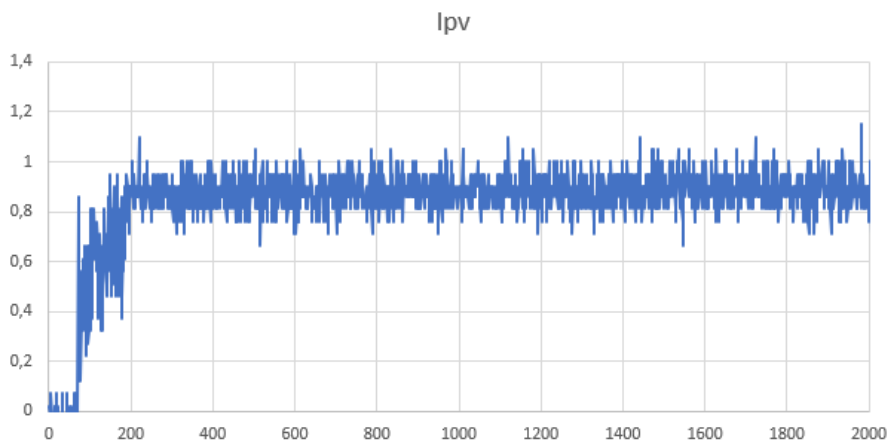


FIGURE 4.12 – Courant PV

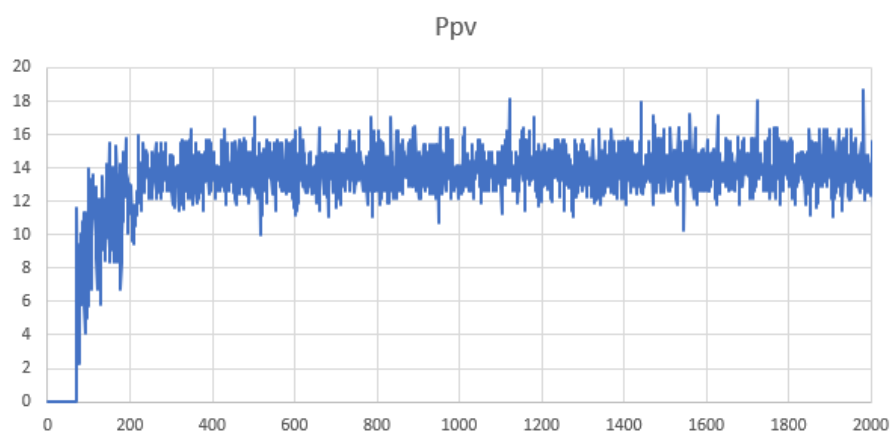


FIGURE 4.13 – Puissance PV

On observe la présence d'oscillations autour de la valeur optimale du point de puissance. Ces oscillations sont principalement causées par les fluctuations des conditions environnementales telles que l'intensité lumineuse, la température et la présence d'ombrage

4.4.2.2 Algorithme à base de la logique floue

Les premier tests obtunue avec algorithme floue donnees ces résultats

Vpv	Ipv	Ppv
17.06	1.78	30.43
13.44	0.81	10.84
14.76	1.39	20.56
17.11	0.81	13.8
7.31	1.44	10.54
17.69	0.86	15.13
8.46	1.39	11.78
17.99	1.2	21.54
17.20	1.69	29.01
12.59	0.95	11.99
15.35	1.44	22.13
16.98	0.81	13.7
6.67	1.64	10.92
17.62	0.9	15.93
8.53	1.44	12.3
18.11	1.05	19.03
17.35	1.64	28.41
10.97	0.95	10.46
15.76	1.59	25.04
16.81	0.76	12.74
6.16	1.49	9.18
17.47	0.81	14.09
8.55	1.59	13.59
17.96	1.05	18.87
17.60	1.49	26.23
8.48	0.9	7.67
16.94	1.78	30.21
15.66	0.86	13.4

TABLE 4.5 – Valeurs Vpv, Ipv, Ppv obtunue avec l’algorithme floue

La figure illustre la puissance ,tension et courant délivré par le paaneau

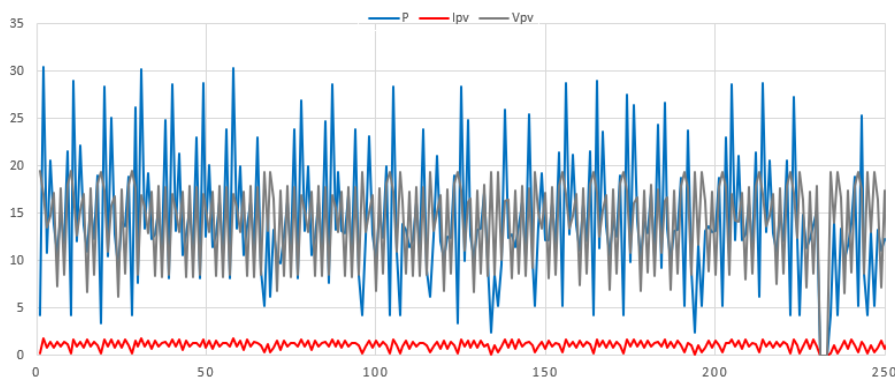


FIGURE 4.14 – Puissance courant et tension obtunue avec l’algorithme floue

Nous avons observé une puissance maximale de 30.43 W générée par notre panneau photo-

voltaïque, en prenant en compte les différentes variations météorologiques qui ont un impact significatif sur la tension et par conséquent sur la puissance produite.

et la complexité de la logique floue, qui nécessite une fréquence élevée, ne correspond pas aux capacités de notre l'Arduino Uno.

On constate que le convertisseur Boost fonctionne très bien et permet d'amplifier la tension d'entrée avec les deux algorithmes.

Les résultats de l'algorithme MPPT floue avec une fréquence de commutation de 7 kHz

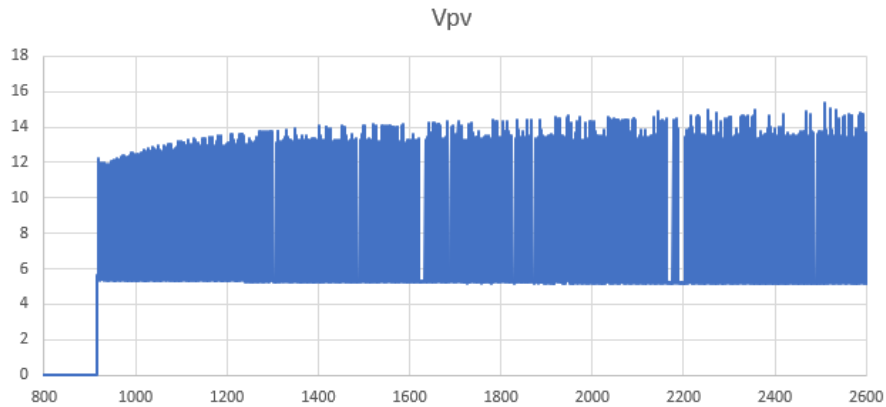


FIGURE 4.15 – Tension PV avec l'algorithme floue

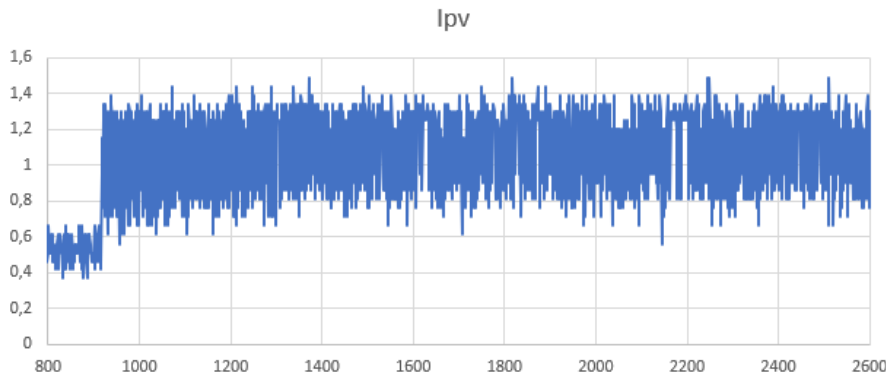


FIGURE 4.16 – Courant PV avec l'algorithme floue

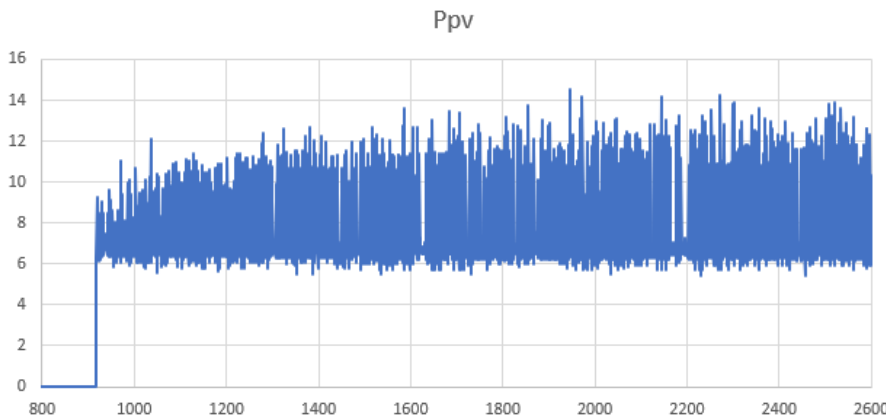


FIGURE 4.17 – Puissance PV avec l'algorithme floue

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé un système PV et la mise en œuvre pratique de deux algorithmes de suivi du point de puissance maximale (MPPT), à savoir l'algorithme P&O classique et l'algorithme MPPT basé sur la logique floue. Nous avons utilisé la carte Arduino pour contrôler le système et nous avons effectué plusieurs tests pour évaluer les performances des deux algorithmes. Les résultats obtenus ont montré que le hacheur réalisé était capable d'augmenter la tension avec les deux algorithmes.

Cependant, un problème est apparu en ce qui concerne la fréquence de commutation. Une fréquence élevée était nécessaire, ce qui était incompatible avec la fréquence de sortie de l'Arduino Uno.

Conclusion Générale

Dans ce travail on s'est intéressé à l'étude des différentes techniques de suivi du point de puissance maximale MPPT pour les applications photovoltaïques. et la réalisation pratique qui consiste sur l'implémentation d'une algorithmme MPPT basé sur logique floue sur carte Arduino pour controlé hacheur survolteur BOOST.

Le travail a été subdivisé en quatre chapitre :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté un aperçu général de la plateforme Arduino et nous avons donné une description détaillée de la carte Arduino UNO qui est utilisée dans cette implémentation.

Nous avons présenté dans le deuxième chapitre le principe de point de puissance maximale et les différentes techniques MPPT et la commande par logique floue.

Dans le troisième chapitre, nous avons utilisé l'outil MATLAB SIMULINK pour effectuer une simulation d'un système photovoltaïque. Ce système comprenait un module photovoltaïque RG-P80W et un hacheur BOOST. Nous avons mis en œuvre deux techniques de commande MPPT, à savoir la méthode P&O (perturbation et observation) et la commande par logique floue. Nous avons comparé les performances des deux techniques et analysé les résultats obtenus. Les résultats ont confirmé la robustesse de la commande par logique floue par rapport à la méthode P&O classique.

Le quatrième chapitre a été consacré à la réalisation pratique d'un système photovoltaïque. Dans un premier temps, nous avons présenté les différents composants du système PV, tels que le module PV, les capteurs de tension et de courant utilisés. Ensuite, nous avons réalisé un hacheur BOOST et implémenté deux algorithmes, P&O et MPPT floue sur la carte Arduino Uno pour commander le système.

Plusieurs tests pratiques ont été menés pour concrétiser le but de notre travail qui est la réalisation d'un système PV et l'implémentation des algorithmes MPPT ce qui nous a donné de bons résultats avec la logique floue par rapport à la méthode P&O classique.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire ouvre des voies d'amélioration comme suit :

- Utiliser une carte de commande plus puissante que l'Arduino UNO, telle que la carte DSPACE ou un microcontrôleur plus puissant.

- Utiliser un driver avant d'attaquer le MOSFET car le signal à la sortie des optocoupleurs est faible.

Annexes

Annexe A



ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV_{RMS} Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

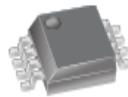
FEATURES AND BENEFITS

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



TÜV America
Certificate Number:
L8V 15 05 54214 038
CB 13 06 54214 026

PACKAGE: 8-Lead SOIC (suffix LC)



Not to scale

DESCRIPTION

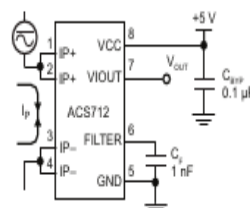
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

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

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

Continued on the next page...

Typical Application



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

Annexe B



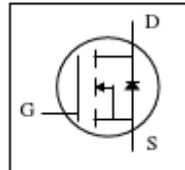
**Advanced Power
Electronics Corp.**

IRF840

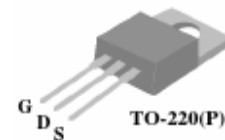
RoHS-compliant Product

*N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE
POWER MOSFET*

- ▼ Ease of Paralleling
- ▼ Fast Switching Characteristic
- ▼ Simple Drive Requirement



BV_{DSS}	500V
$R_{DS(ON)}$	0.85 Ω
I_D	8A



Description

APEC MOSFET provide the power designer with the best combination of fast switching , lower on-resistance and reasonable cost.

The TO-220 and package is universally preferred for all commercial-industrial applications. The device is suited for switch mode power supplies ,DC-AC converters and high current high speed switching circuits.

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Rating	Units
V_{DS}	Drain-Source Voltage	500	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	± 20	V
$I_D@T_c=25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	8	A
$I_D@T_c=100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	5.1	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current ¹	32	A
$P_D@T_c=25^\circ\text{C}$	Total Power Dissipation	125	W
	Linear Derating Factor	1	W/°C
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ²	320	mJ
I_{AR}	Avalanche Current	8	A
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to 150	°C
T_J	Operating Junction Temperature Range	-55 to 150	°C

Thermal Data

Symbol	Parameter	Value	Unit
R_{thj-c}	Thermal Resistance Junction-case	Max. 1.0	°C/W
R_{thj-a}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 62	°C/W

Data & specifications subject to change without notice

200430071-1/4

Annexe C



SR520 - SR560

PRV : 20 - 60 Volts
I_o : 5.0 Amperes

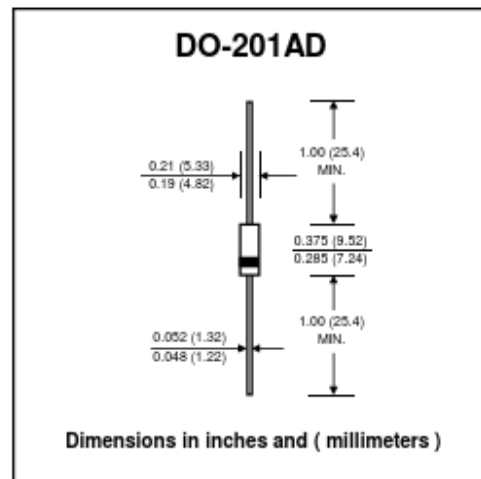
FEATURES :

- * High current capability
- * High surge current capability
- * High reliability
- * High efficiency
- * Low power loss
- * Low cost
- * Low forward voltage drop
- * Pb / RoHS Free

MECHANICAL DATA :

- * Case : DO-201AD Molded plastic
- * Epoxy : UL94V-O rate flame retardant
- * Lead : Axial lead solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- * Polarity : Color band denotes cathode end
- * Mounting position : Any
- * Weight : 1.1 grams

SCHOTTKY BARRIER RECTIFIER DIODES



MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	SR520	SR530	SR540	SR550	SR560	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	20	30	40	50	60	V
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	14	21	28	35	42	V
Maximum DC Blocking Voltage	V _{DC}	20	30	40	50	60	V
Maximum Average Forward Current 0.375", 9.5mm Lead Length See Fig. 1	I _{F(AV)}	5.0					A
Maximum Peak Forward Surge Current, 8.3ms single half sine wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	150					A
Maximum Forward Voltage at I _F = 5 A (Note 1)	V _F	0.57		0.70		V	
Maximum Reverse Current at T _a = 25 °C	I _R	10					mA
Rated DC Blocking Voltage (Note 1) T _a = 100 °C	I _{R(1)}	50		25		mA	
Junction Temperature Range	T _J	- 55 to + 150					°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	- 55 to + 150					°C

Note :

(1) Pulse Test : Pulse Width = 300µs, Duty Cycle = 2%.

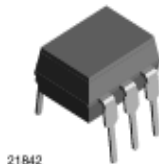
Annexe D



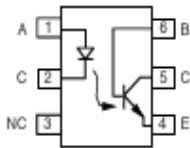
4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



170824-6

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC

RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	6	V
Forward current		I _F	50	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	1	A
Power dissipation		P _{diss}	70	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EB0}	7	V
Collector current		I _C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	70	mW
COUPLER				
Isolation test voltage		V _{iso}	5000	V _{RMS}
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

Bibliographie

- [1] SEDRATI youcef et NOUAR hatem. « implémentation de l'algorithme p&o pour un système photovoltaïque ». *Mémoire de MASTER, UNIVERSITE KASDI MERBAH-Ouargla*, 2016.
- [2] AGHILES ABED et HASSINA KACI MOUSSA. « conception et réalisation d'un système de régulation à base d'un microcontrôleur ». *Mémoire de MASTER, Université Mouloud Ammeri De Tizi-Ouzou*, 2018.
- [3] Historique du projet arduino. <https://fr.flossmanuals.net/arduino/historique-du-projet-arduino/>.
- [4] KRAMA Abdelbasset et GOUGUI Abdelmoumen. « etude et réalisation d'une carte de contrôle par arduino via le système androïde ». *Mémoire de MASTER, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA*, 2015.
- [5] S.V.D.REYVANTH. « pid controller using arduino ». *BACHELOR OF TECHNOLOGY, ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING*, 2013.
- [6] Microcontrôleurs 3A SAGI. « carte arduino uno microcontrôleur atmega328 ». *Polytech Angers*, 2020.
- [7] Le système arduino. https://sti2d.ecolelamache.org/le_systeme_arduino.html consulté le :13.02.2023, February 2023.
- [8] AOUN Nouar. « etude et modelisation des differents modeles de la cellule photovoltaïque etablis sur base de valeurs nominales ». *Mémoire de MAGISTER ,UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE*, 2010.
- [9] Mohamed Lakhdar LOUAZENE. « contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation dans les zones sahariennes – application zone de ouargla ». *Thèse de Doctorat, UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR - BATNA*, 2015.
- [10] M. H. HORSIN et B.MULTON. « energie électrique : génération photovoltaïque ». *éd, paris : Culture Sciences de l'Ingénieur*, 2020.
- [11] Himour Yacine. « cours commande intelligente m2 aii ». *université khemis miliana*, 2022-2023.
- [12] RUGAMBA Jean Vainqueur et MANIRUMVA Eloge. « etude et optimisation d'un système pv en utilisant des mppt à base des algorithmes intelligents ». *Université Ibn Khaldoun de Tiaret*, 2021.
- [13] R SADOUNI. « cours commande intelligente spécialité master 2 automatique et systèmes ». *Université de Ghardaia*, December 2019.
- [14] MOUSSAOUI MOURAD. «scontroleur flou testable ». *Thèse de MAGISTER ,UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF*, 2009.

- [15] ZAOUI Abdelbassit et Lahbib Abdelhamid. «contrôle mppt dans les systèmes photovoltaïque pour des techniques intelligent « logique floue »». *MEMOIRE DE MASTER , UNIVERSITÉ AHMED DRAIA-ADRAR*, 2021.
- [16] BOUKLI hacene omar. «conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur mppt pour une meilleure gestion énergétique». *Thèse magister Université Abou-bekr Belkaid de Tlemcen*, 2011.
- [17] BOUDERHEM BRAHIM et SALHI YOUNES. « conception et réalisation d'un hacheur boost mppt à base d'une carte arduino application pv ». *Mémoire de Master , UNIVERSITE KASDI MERBAH -OUARGLA*, 2017.
- [18] AZI Ahmed. « contribution au développement d'un outil d'aide au diagnostic de performances des mppt dans la chaine de conversion photovoltaïque ». *Mémoire Master Université Kasdi Merbah, Ouargla*, 2016.
- [19] BOUZIANI Ammar et OMAR Ahmed. «implémentation de la mppt (pando) à pas variable sur une carte arduino uno ». *Mémoire de MASTER, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA*, 2018.
- [20] HADJ ZOUBIR Noria et Afef DJILANI. « etude et réalisation d'un hacheur boost destiné à la conversion photovoltaïque ». *Mémoire de MASTER ,UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET*, 2018.