



كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيات

DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Master

Réalisé par :

Ben ali mohammed elhabib

Krobba ahmed houssam eddine

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Électrotechnique

Option : Electromécanique

THEME

Etude de l'asservissement d'un panneau photovoltaïque avec un régulateur intelligent

Les jurys:

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BOUCHIBA OUMELKHEIR	MCA	Présidente
BIRANE MOUHOU	MCA	Examineur
HADJADJ MEROUANE	MCB	Promoteur
NOUREDDINE LAHCENE	MCA	Co-promoteur

Remerciements

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à :

ALLAH premièrement et Monsieur Hadjaj marouan, Notre encadreur.

Pour avoir accepté de nous encadrer, et dont les conseils, la disponibilité et l'orientation ont rendu possible la réalisation de ce mémoire.

Les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Corps enseignant du Département d'électrotechnique.

Tous ce qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. .

***Je dédie
cet
ouvrage***

A

***Ma famille, mes
proches et à ceux qui
me donnent de
l'amouret de la
vivacité.***

***A tous mes amis qui
m'ont toujours
encouragé. Mes
frères Abdou, Yacine
et Abir et l'école
TPSS et à qui je
souhaite plus de
succès***

***A tous ceux que
j'aime***

Sommaire

Introduction générale	10
-----------------------------	----

CHAPITRE I

I.Généralité sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque	12
I.1 INTRODUCTION :	12
I.2 Energie solaire photovoltaïque :	12
I.3 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque :	13
I.4 Type de rayonnement solaire :	13
I.5 La conversion de la lumière en électricité :	14
I.6 Les notions nécessaires pour la conversion photovoltaïque.....	14
I.7 La cellule photovoltaïque :	15
I.7.1 Définition :	15
I.7.2 Les différents types des cellules photovoltaïques :	15
I.7.3 Modélisation de la cellule Photovoltaïque.....	16
I.7.4 La puissance maximale :	18
I.7.5 Les conditions STC (standard test condition) de la cellule PV :	18
I.8 Paramètres caractéristiques d'un panneau photovoltaïque :	18
I.9 Composition d'un panneau solaire :	19
I.10Types d'installation de panneaux solaires :	19
I.11Importance de la poursuite solaire :	21
I.12Trajectoire apparente du soleil :	21
I.13Conclusion.....	23
II.Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT).....	21
II.1.1 Introduction.....	22
II.1.2 Définition :	22



II.1.3 Techniques MPPT :	22
II.1.4 Algorithme P&O :	23
II.2 Les convertisseurs DC-DC (hacheurs) :	24
II.2.1 Comparaison des montages :	24
II.2.2 Convertisseur boost :	25
II.2.3 Commande des convertisseurs DC-DC :	28
II.3 Contrôleur de logique floue :	29
II.3.1 Définition de la logique floue :	29
II.4 Résultats ET simulation :	33
II.4.1 SIMULATION :	33
II.4.2 Résultats :	36
II.5 Conclusion :	38
III.Asservissement d'un servomécanisme de position	39
III.1.....INTRODUCTION :	40
III.1. PARAMETRES DE POSITION :	40
III.2LES COORDONEES GEOGRAPHIQUE DE LA TERRE :	40
A.longitude	40
B.latitude	41
III.3 LES COORDONNEES HORAIRE :	41
III.4DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DE SUIVEUR SOLAIRE :	43
III.5L'ASSERVISSEMENT D'UN SERVOMECHANISME DE POSITION :	43
III.5.1 Représentation de système servomécanisme :	43
III.5.2 Les équations de système.	44
III.5.3 Les équations électriques [1] :	45
III.5.4 Les équations mécaniques :	45
III.5.5 Fonction de transfert de système :	47
III.5.6 Les valeurs numériques :	48



III.5.7	L'équation de caractéristique de système :	48
III.5.8	Critère de stabilité de Routh Hurwitz :	48
III.5.9	La condition de la stabilité :	49
III.5.10	Tableau de Routh pour plusieurs valeurs de k_a :	49
III.6	Test de schéma fonctionnel de position :	50
III.6.1	Le régulateur PID :	50
III.6.2	Le régulateur PID floue :	50
III.6.3	Les fonctions d'appartenance :	51
III.6.4	Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue :	52
III.7	Simulation et résultats :	54
III.7.1	Simulation :	54
III.7.2	Les résultats :	55
III.8	CONCLUSION :	56
IV.	Résultats de simulation de l'étude d'un servomécanisme de position.....	57
IV.1	INTRODUCTION.....	58
IV.1.1	OBJECTIF DE SIMULATION.....	58
IV.2	PARTIE SIMULATION (MATLAB_SIMULINK).....	61
IV.2.1	L'INTERRUPTEUR PROGRAMMABLE :	61
IV.3	Résultats de simulation globale	64
IV.4	REALISATION D'UN SUIVEUR DE SOLEIL	67
IV.4.1	Arduino	67
IV.4.2	Logiciel de programmation	68
IV.4.3	Servomoteur	69
IV.4.4	Capteur LDR	71
IV.4.5	Principe de fonctionnement.....	71
IV.4.6	Câble USB.....	73
IV.4.7	Carte de commande de suiveur solaire	73
IV.4.8	Câblage	75

□	IV.4.9 L'organigramme.....	75
	IV.5 Conclusion :	78
	V.CONCLUSION GENERALE :	79
	Résumé.....	80

- Liste des figures :

Figure.I. 1: Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée	14
Figure.I. 2: Cellule monocristalline, b. cellule poly-cristalline, C. cellule amorphe	16
Figure.I. 3: Schéma d'une cellule solaire.	16
Figure.I. 4: Composition d'un panneau solaire photovoltaïque [11].	19
Figure.I. 5: Les panneaux photovoltaïques fixes	20
Figure.I. 6: Suiveur solaire photovoltaïque	20
Figure.I. 7 Principe général de la commande du suiveur [5].	21
Figure.I. 8: Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut.	22
Figure.I. 9: Les positions de soleil.	22

Figure.II. 1: Algorithme P&O	23
Figure.II. 2: convertisseur DC/DC	24
Figure.II. 3: Schéma des bases de contrôleur de logique floue	29
Figure.II. 4: Entrée du changement de tension FLC	31
Figure.II. 5: Entrée au FLC comme changement de puissance	31
Figure.II. 6: Sortie du FLC comme changement de rapport cyclique	31
Figure.II. 7: GPV et du convertisseur avec deux techniques MPPT différentes MATLAB / Simulink. ...	34
Figure.II. 8: Contrôleur MPPT P&O-MATLAB / Simulink.	34
Figure.II. 9: MATLAB / Simulink - contrôleur mppt P&O avec hacheur boost.	35
Figure.II. 10: MATLAB / Simulink - contrôleur de logique floue FLC	35
Figure. II. 11: MATLAB / Simulink - contrôleur de logique floue FLC liée avec hacheur boost	36
Figure.II. 12: MATLAB / Simulink –La tension de sortie mppt p&o et floue	36
Figure.II. 13: MATLAB / Simulink –Le courant de sortie MPPT P&O et floue	37
Figure.II. 14: MATLAB / Simulink –La puissance de sortie mppt p&o et floue	37

Figure.IV. 1 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT [15].	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 2 MATLAB / Simulink-schéma du command MPPT	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 3. Scénario de changement d'éclairage	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 4. Scénario de changement de température	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 5. Changement de tension, de courant et la puissance par l'effet du changement de la lumière et de la température	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 6 Constitution de la carte Arduino UNO	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 7 Servomoteur chinois "9 grammes".	Error! Bookmark not defined.
Figure. IV. 8 : Symbole et Capteur LDR.	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 9: Circuit équivalent du capteur LDR utilisé	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 10: Câble USB type A/B (Arduino UNO).	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 11: Carte de commande de suiveur solaire	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 12: Le circuit de suiveur solaire	Error! Bookmark not defined.
Figure.IV. 13: Interface du logiciel Arduino.	Error! Bookmark not defined.



- Liste des tableaux :

Tableau.I. 1 :les performances des différents types présentent actuellement sur le marché.....	16
Tableau.II. 1:Caractéristique des montages en mode conduction continu et discontinu.	25
Tableau.II. 2:Règles implémentées dans le contrôleur de logique floue	32
Tableau.III. 1:Tableau de Routh	50
Tableau.III. 2: Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue pour le gain k_p	52
Tableau.III. 3 : Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue pour le gain k_i.	52
Tableau.III. 4 : Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue pour le gain k_d.	53
Tableau.IV. 1Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO	Error! Bookmark not defined.

Introduction générale:

Une source d'énergie est renouvelable c'est le cas de toute énergie existant sur terre à l'échelle de la vie humaine. Parmi les systèmes fonctionnant avec les énergies renouvelables, on cite les systèmes solaires : le plus important est le solaire photovoltaïque. Vu l'augmentation de la population et le développement économique : la demande d'énergie devrait se renforcer.

L'énergie solaire permet de fabriquer l'énergie et l'électricité grâce aux panneaux photovoltaïque ou les centrales solaires thermiques. Les trois éléments essentiels à une installation photovoltaïque : des panneaux solaires, un hacheur, une batterie, un servomécanisme, un onduleur et un compteur...

Ces éléments permettent de récupérer l'énergie transmise par le soleil, de la transformer en électricité puis de la distribuer à l'ensemble des clients connectés au réseau.

Le problème d'un accouplement satisfaisant entre un générateur photovoltaïque continu et ne est pas vraiment résolu totalement.

Un obstacle qui se trouve dans ces types d'accouplement est le problème du transfert de la puissance maximale du GPV à la charge qui peine souvent d'une mauvaise adaptation. Pour un bon fonctionnement on doit associer le point de puissance maximale (PPM), avec une commande dit (maximum power point tracking) (MPP).

L'objectif essentiel du présent travail est d'étudier l'ensemble d'un système photovoltaïque associer avec un servomécanisme commandé par deux types de commande MPPT conventionnel et MPPT floue. Le but d'utiliser ces deux types de commandes est pour produire une puissance maximale quel que soit les conditions climatiques (température et rayonnement).

La méthodologie effectuée dans ce modeste mémoire s'est articulée autour de quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre : Description générale sur les systèmes photovoltaïques.

Le deuxième chapitre : Mise en évidence des différents deux types de commandes MPPT conventionnel et MPPT floue.

Le troisième chapitre : Description de la commande d'un moteur à courant continu commandé par PDI conventionnel et PID floue.

Le quatrième chapitre : dans ce chapitre on va aborder simulation des panneaux solaires associer avec le convertisseur DC-DC et un servomécanisme. A la fin du ce chapitre une partie importante sera consacrer à la commande d'un servomécanisme commandé par la carte Arduino.

Finalement, nous terminerons ce travail par une conclusion générale et différentes perspectives de recherches qui nous semblent intéressantes pour la continuité de ce travail.

Ce Projet de Fin d'Études vise à étudier en profondeur les panneaux photovoltaïques, en se concentrant sur leur conception, leur fonctionnement et leur efficacité énergétique. L'objectif principal est d'optimiser les performances des panneaux solaires afin de maximiser la production d'énergie renouvelable avec l'utilisation des régulateurs intelligent qui base sur la logique floue.

Le premier chapitre de ce PFE consistera en une revue approfondie de la littérature sur les panneaux photovoltaïques, en mettant l'accent sur les avancées récentes en matière



de matériaux, Cela permettra de comprendre les principaux principes physiques qui sous-tendent le fonctionnement des panneaux solaires.

Le deuxième chapitre est sur les techniques de suivi du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking - MPPT) utilisées dans les systèmes photovoltaïques. L'objectif principal de ce chapitre est de comprendre les principes et les avantages du MPPT

Nous abordé la logique floue et le MPPT qui base sur la logique floue

Dans le troisième nous fait une comparaison de réponse du régulateurs PID et PID floue sur la vitesse et la position du moteur DC de servomécanisme de position

Et dans le quatrième chapitre nous avons fait la simulation de système PV-MPPT et nous avons réalisé le suiveur solaire par l'utilisation de l'ARDUINO

I. Généralité sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque

I.1 INTRODUCTION :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques et photovoltaïques.

Les sources d'énergie issues indirectement de l'énergie solaire sont notamment l'énergie hydraulique, dérivée de l'énergie cinétique de l'eau dont le cycle dépend de l'énergie thermique du Soleil ; l'énergie éolienne, provenant de l'énergie cinétique du vent, lui-même lié à l'échauffement et à l'évaporation de l'eau générés par le Soleil, la rotation de la Terre et la force de Coriolis ; l'énergie hydrolienne et l'énergie des vagues, liées aux mouvements des océans et des cours d'eau ; le bois énergie et l'énergie de la biomasse ainsi que la géothermie de très basse température, provenant des couches superficielles du sol réchauffées par le Soleil.

L'énergie solaire est ainsi l'une des principales formes d'énergies renouvelables. On peut ajouter, à des échelles de temps plus longues, les combustibles fossiles, provenant de matières organiques créées par photosynthèse (charbon, pétrole, gaz naturel...) auxquelles s'ajoute l'énergie biochimique de la matière organique vivante.

I.2 ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

L'utilisation de l'électricité générée par les panneaux photovoltaïques ne se limite pas aux bâtiments. Comme les surplus sont envoyés sur le réseau public, cette énergie peut être consommée par n'importe quel appareil.

L'engouement pour le solaire photovoltaïque est notable partout sur la planète. La Californie souhaite installer des capteurs sur 100 000 toits par année au cours de dix prochaines années. L'Allemagne possède le même genre d'objectif, mais constitue déjà le chef de file dans le domaine puisque, tel que mentionné précédemment, le pays produisait 39 % de l'énergie solaire mondial en 2004 (Baril, 2008). La France veut mettre en place des centrales solaires photovoltaïques dont la puissance cumulée s'élèvera à 300 MW et vise à atteindre un total de 5 400 MW d'ici 2020 (AFP, 2008). Le Japon se bat aussi pour demeurer dans les leaders. Pourtant, à l'exception de la Californie, ces pays ne possèdent pas un potentiel solaire beaucoup plus grand que le Québec.

I.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

❖ **Avantage**

- ✓ Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- ✓ Génère l'énergie requise.
- ✓ Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- ✓ L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- ✓ La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- ✓ Entretien minimal.
- ✓ Aucun bruit.

❖ **Inconvénients**

- ✓ La fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- ✓ Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles. Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.

I.4 TYPE DE RAYONNEMENT SOLAIRE :

Etant absorbé et diffusé en traversant l'atmosphère seule une fraction modifiée du rayonnement solaire parvient à la surface de la terre se composant de 3 différents types de rayonnements :

- **Le rayonnement direct** : Rayonnement provenant du soleil en ligne droite du seul disque solaire, il est nul lorsque le soleil est complètement couvert par les nuages.
- **Le rayonnement diffus** : Radiation solaire arrivant sur la surface de la terre après déviation de la lumière par les nuages et les molécules diverses, elle est donc nulle que la nuit.
- **Le rayonnement réfléchi (albédo)** : Radiation solaire incidente réfléchie par une surface. Le rayonnement global est donc la somme des 3 rayonnements directs, diffus, et réfléchi

comme illustrer dans la figure si dessous [3].

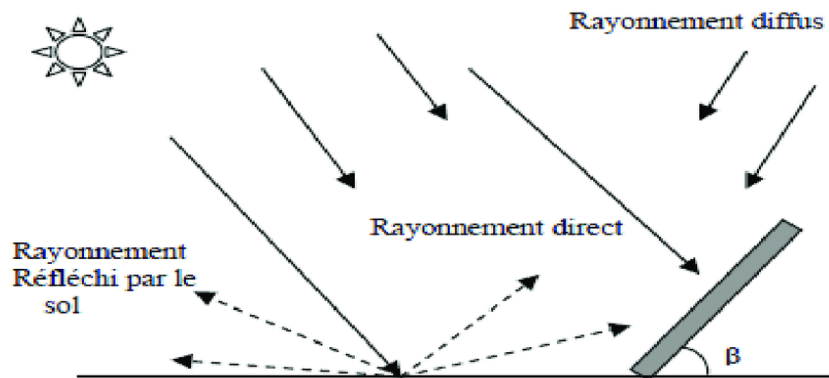


Figure.I. 1: Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée

I.5 LA CONVERSION DE LA LUMIERE EN ELECTRICITE :

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité elle se produit dans des matériaux semi-conducteurs énergie sous forme de courant continu et ainsi directement utilisable :

- Dans un isolant électrique : les électrons de la matière sont liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer.
- Dans un conducteur électrique (un fil de cuivre par exemple) : les électrons sont totalement libres de circuler et permettent le passage d'un courant.
- Dans un semi-conducteur : la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes.

I.6 LES NOTIONS NECESSAIRES POUR LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

Pour définir c'est quoi la conversion photovoltaïque il est important de rappeler les différents types des matériaux électriques tel que :

a. Un conducteur

Est un matériau qui conduit aisément le courant électrique et les meilleurs conducteurs sont des matériaux constitués d'un seul élément comme le cuivre, l'argent, l'or et l'aluminium, ces éléments étant caractérisés par des atomes ayant un seul électron de valence faiblement lié à l'atome.

b. Isolants

Un isolant est un matériau qui ne conduit pas le courant électrique sous des conditions normales car la plupart des bons isolants sont des matériaux composés de plusieurs éléments, contrairement aux conducteurs.

c. Un semi-conducteur

- Est un matériau se situant entre le conducteur et l'isolant. Un semi-conducteur à l'état pur (Intrinsèque) n'est pas un bon conducteur ni un bon isolant.
- Les éléments uniques les plus utilisés pour les semi-conducteurs sont le silicium, le germanium et le carbone.
- Les semi-conducteurs à élément unique se caractérisent par des atomes à quatre électrons de valence. Tout matériau est constitué d'atomes. Ces atomes contribuent aux propriétés électriques d'un matériau, incluant son habileté à conduire le courant électrique [3].

I.7 LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :**I.7.1 Définition :**

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base du système. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir en l'électricité les ondes électromagnétique (rayonnement) émises par le soleil [10].

I.7.2 Les différents types des cellules photovoltaïques :

Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle :

- A.** Les cellules monocristallines : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12-16%), mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- B.** Les cellules poly-cristallines : Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible : (11% -13%).
- C.** Les cellules amorphes : Elles ont un faible rendement (8% - 10%), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans les produits de petite consommation tel que les calculatrices solaires ou encore les montres [4].

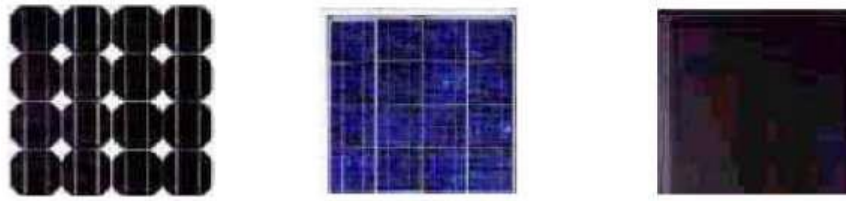


Figure.I. 2: Cellule monocristalline, b. cellule poly-cristalline, C. cellule amorphe .

Tableau.I. 1 :les performances des différents types présentent actuellement sur le marché

Technologie	Rendement typique	Influence de la température	Taux de dégradation
Monocristallin	12 à 16 %	-0.442% par C^0	-0.38% par an
Poly cristallin	11 à 13 %	-0.416% par C^0	-0.35% par an
Amorphe	8 à 10 %	-0.175% par C^0	-1.15% par an

I.7.3 Modélisation de la cellule Photovoltaïque

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque peut être représenté sous diverses variantes.

La configuration de la figure I.3 peut être considérée comme la plus usuelle (Standard). Elle comporte une source de courant variable, monté en parallèle avec une diode D caractérisant la jonction et une résistance R_p (résistance parallèle) simulant les courants de fuites de la jonction, et en série avec une autre résistance R (résistance série) représentant les diverses résistances de contacts et de connexions, elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur [4].

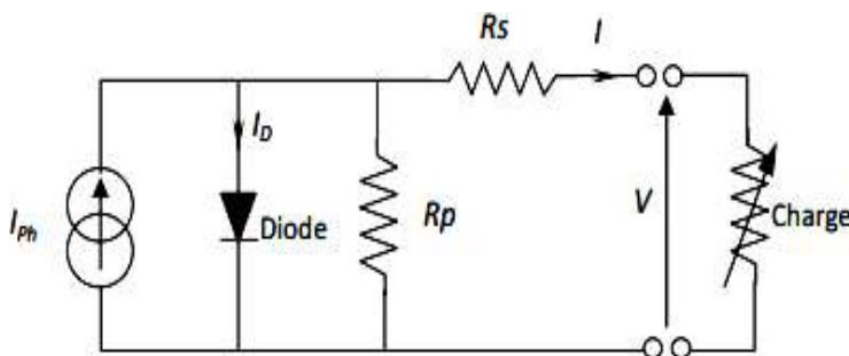


Figure.I. 3: Schéma d'une cellule solaire.

I ; V : Le courant et la tension du GPV.

R_s ; R_p : La résistance série et parallèle.

I_D : le courant de saturation inverse (ou courant de diode).

I_{ph} : la photo courant.

q : La charge de l'électron $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

n : Le facteur de qualité de la cellule.

K : La constante de Boltzmann $= 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

L'expression du courant I fourni par la cellule est donné par l'équation suivante:

$$I = I_{ph} - I_D - \frac{V - R_s I}{R_p} \quad \text{I.1}$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{V + R_s I}{n k T} \right)} - 1 \right] - \frac{V - R_s I}{R_p} \quad \text{I.2}$$

T : La température de fonctionnement en Kelvin.

Généralement, la résistance parallèle (R_p) est très grande par rapport à la résistance série (R_s), son effet est donc très faible de telle sorte que l'on peut la négliger. Ce modèle, qui est largement utilisé qui est donné par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{n k T}\right) - 1 \right] \quad \text{I.3}$$

Les grandeurs électriques du GPV sont données sous la forme suivant :

$$I_{sc} = NP \cdot I_{sc}$$

$$I_0 = N \cdot I_0$$

$$V = NP \cdot V$$

$$R_s = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s$$

N_s et N_p sont respectivement le nombre de cellules en série et le nombre de cellules parallèle [4].

I.7.4 La puissance maximale :

La puissance électrique disponible aux borne d'une cellule photovoltaïque est égale le produit du courant continue I fourni par la tension continue V .

$$P = V * I$$

P : La puissance générée par la cellule photovoltaïque.

V : La tension mesurée aux bornes de la cellule photovoltaïque.

I : Le courant fourni par la cellule photovoltaïque [4].

I.7.5 Les conditions STC (standard test condition) de la cellule PV :

Les conditions d'essai homogènes sont mises en place pour permettre de comparer la puissance de différents panneaux solaires.

Rayonnement 1 000W/m².

Température 25 degrés Celsius.

AM 1,5 (AM = Air Mass ; cette indication chiffre l'épaisseur de l'atmosphère [3].

I.8 PARAMETRES CARACTERISTIQUES D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE :

Les paramètres des cellules photovoltaïques (I_{cc} , V_{co} , FF, η) extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques [3].

- Puissance nominale : 20 W.
- Tension nominale : 12 V.
- Tension à puissance maximum : 18 V.
- Courant à puissance maximum : 1,11 A.
- Puissance nominale : 20 W.

- Tension en circuit ouvert : 22,3 V.
- Courant de court-circuit : 1,13 A

❖ Rendement de conversion :

Le rendement des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance.

Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_{in} . $\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}}$ Avec P_{in} : Puissance incidente [3].

I.9 COMPOSITION D'UN PANNEAU SOLAIRE :

La composition d'un panneau solaire comprend plusieurs parties. La partie mécanique est un ensemble de cellules photovoltaïques encapsulées dans de l'EVA, un châssis en aluminium, une coque arrière en 'Tedlar', une plaque de verre côté soleil. Une partie électrique permet de connecter le panneau solaire à l'installation [11].

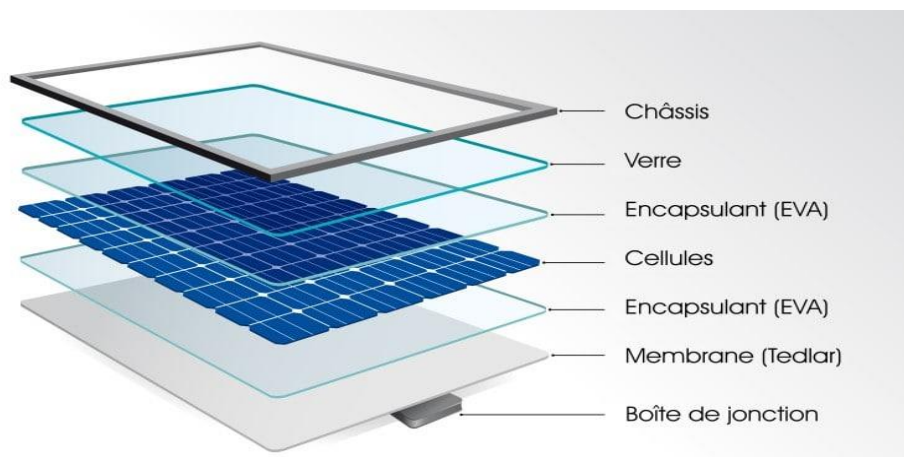


Figure.I. 4:Composition d'un panneau solaire photovoltaïque [11].

I.10 TYPES D'INSTALLATION DE PANNEAUX SOLAIRES :

A. Panneau solaire fixe

En fonction des inclinaisons des panneaux solaires : Le système avec équerres qui permet de fixer ses panneaux solaires sur une surface plane tels que les toitures plates, le sol.



Figure.I. 5: Les panneaux photovoltaïques fixes

B. Panneau solaire suivant la position du soleil (suiveur solaire)

Il s'agit de plusieurs panneaux solaires accrochés à un mât qui possède un moteur et deux axes lui permettant de pivoter et donc de suivre le soleil. Ce système permet de capter plus de rayons solaires et de produire plus d'électricité donc d'avoir un meilleur rendement.



Figure.I. 6: Suiveur solaire photovoltaïque

B.1. Les avantages d'utiliser un suiveur solaire

- ✓ Augmentation de la production de 25% par rapport à une installation fixe orientée vers le sud.
- ✓ Installation possible en l'absence de toiture ou de toiture mal orientée.

- ✓ Grande compacité grâce au rendement élevé et puissance maximale [12].

B.2. Principe de travail de suiveur solaire

Le suiveur solaire qui existe s'appuie sur le même principe de poursuite, illustré dans la figure (I.7). La technique utilisée pour cette étude repose sur la différence d'éclairement incident sur les capteurs de lumière photorésistance ou LDR (Light-Dépendent-Résistor) séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV. Le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs en calculant leurs différences, puis renvoie des impulsions au moteur pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaire [5].

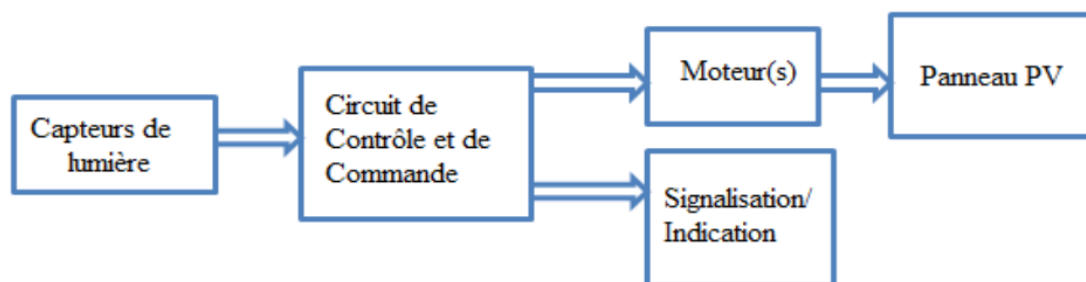


Figure.I. 7 Principe général de la commande du suiveur [5].

I.11 IMPORTANCE DE LA POURSUITE SOLAIRE :

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques préjudiciables. Une installation fixe, orientée dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance croît très lentement tout le matin et diminue fortement l'après-midi [5].

I.12 TRAJECTOIRE APPARENTE DU SOLEIL :

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente dépend de la latitude (hauteur) et la longitude (azimut) du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90 dans l'hémisphère nord). Quant à la longitude, c'est également

un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich en se déplace vers l'est figure (I.9) [5].

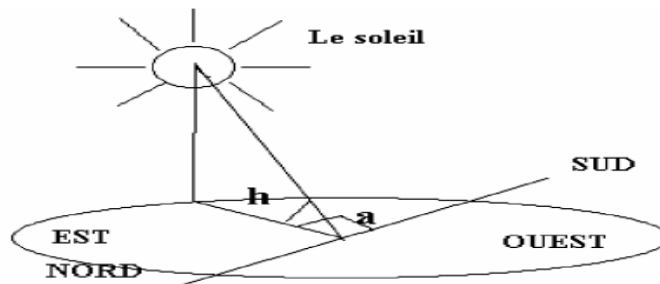


Figure.I. 8: Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut.

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons **figure (I.9)**. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses.

Une installation fixe, orientée, dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi. Une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue.

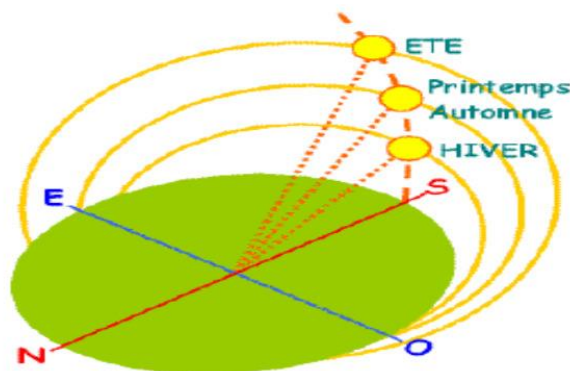


Figure.I. 9: Les positions de soleil.

Pour capter les rayons solaires par le suiveur il faut utiliser les photorésistances dans l'installation [5].

I.13 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons clarifié certaines formes de production d'énergie électrique à partir du rayonnement solaire, qui est la plus importante des énergies renouvelables et propres en termes d'environnement.

Nous avons également fourni des informations sur la trajectoire du soleil au cours des quatre saisons et sur certains types de cellules solaires qui composent le panneau solaire, ainsi que sur le type approprié de panneaux solaires capables d'absorber la plus grande quantité de rayons lumineux pour donner la plus grande quantité de l'énergie électrique (le suiveur solaire), ainsi que le capteur photosensible nécessaire pour déterminer la position du soleil.

II. Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT)

II.1.1 Introduction

Le Maximum Power Point Tracking (MPPT), ou suivi du point de puissance maximale en français, est une technique utilisée dans les systèmes photovoltaïques pour maximiser l'efficacité de conversion de l'énergie solaire en électricité.

Lorsque des panneaux solaires sont exposés à la lumière du soleil, leur courbe de tension et de courant varie en fonction de l'intensité lumineuse et de la température ambiante. À tout moment, il existe un point de fonctionnement optimal, appelé point de puissance maximale (Maximum Power Point - MPP), où le panneau solaire peut produire la plus grande quantité d'énergie.

Le MPPT est un algorithme ou un dispositif électronique utilisé pour maintenir les panneaux solaires au point de puissance maximale,

II.1.2 Définition :

La méthode MPPT est utilisée pour contrôler un convertisseur électronique DC / DC inséré entre le générateur photovoltaïque et la charge pour atteindre la puissance maximale que le générateur photovoltaïque peut produire. C'est-à-dire elle permet au panneau solaire de fonctionner à son point de puissance maximale, ou plus précisément, à la tension optimale pour une puissance de sortie maximale. L'objectif est de varier le point de fonctionnement électrique du module afin que tous les modules soient capables de fournir la puissance maximale disponible à la température et à l'irradiation disponibles.

II.1.3 Techniques MPPT :

Les techniques MPPT sont utilisées dans les systèmes PV pour maximiser la puissance de sortie du générateur PV en suivant le MPP en continu qui dépend de la température et de l'irradiation appliquées au panneau. Il existe différentes techniques pour suivre le point de puissance maximale [5] - [6].

Les techniques populaires sont :

- 1) Méthode de perturbation et d'observation (P&O)

- 2) Méthode de conductance incrémentale
- 3) Courant de court-circuit fractionnaire
- 4) Tension fractionnée en circuit ouvert
- 5) Logique floue
- 6) Réseaux de neurones

Le choix de l'algorithme repose sur plusieurs facteurs, tels que la complexité, le temps requis pour suivre le point de puissance maximale (MPP) et le coût de mise en œuvre. Dans le présent travail, on va utiliser l'algorithme P&O et le contrôleur basé sur la logique floue afin de réaliser le suivi du MPP.

II.1.4 Algorithme P&O :

Dans cet algorithme, une petite erreur est introduite dans le système en raison de la puissance des modifications du module. Si le changement de puissance est positif, la perturbation se poursuit dans cette direction. Après le point MPP, la puissance à l'instant suivant diminue, puis les 5 perturbations s'inversent. À l'état d'équilibre, l'algorithme oscille autour du point de crête.

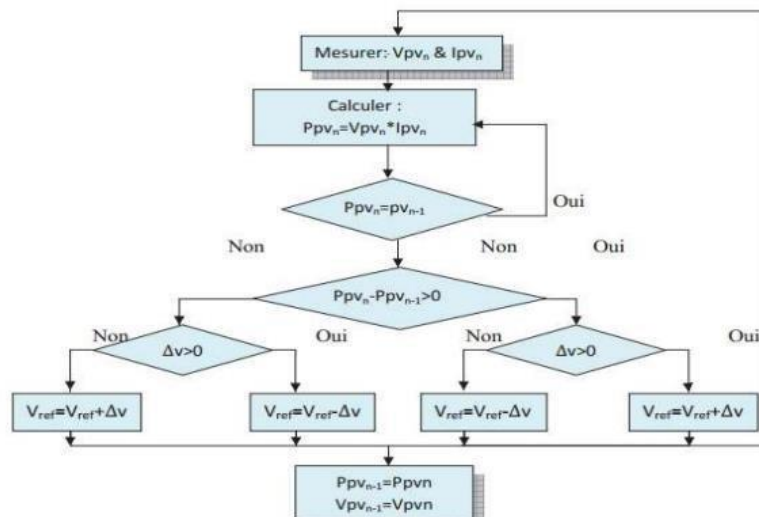


Figure.II. 1: Algorithme P&O

II.2 LES CONVERTISSEURS DC-DC (HACHEURS) :

Un convertisseur continu\continu (DC/ DC) est le hacheur permettant de convertir une énergie à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue. [15]

Ils sont souvent utilisés comme une interface d'adaptation qui assure la poursuite du point de puissance maximale selon des stratégies de contrôle spécifiques. [16]

Les panneaux solaires et la charge peuvent être soit de nature capacitive (source de tension), soit de nature inductive (source de courant). La charge peut être de nature résistive aussi. [16]

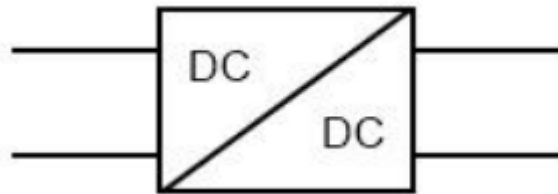


Figure.II. 2:convertisseur DC/DC

Les circuits des hacheurs se composent de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Le commutateur est réalisé avec un dispositif semi-conducteur, habituellement un transistor MOSFET ou un IGBT. [3, 9, 17].

Les types de convertisseurs DC-DC généralement utilisés sont : le convertisseur élévateur de tension (hacheur parallèle ou boost , hacheur survolteur) , abaisseur de tension (hacheur série ou buck , hacheur dévolteur) et élévateur abaisseur de tension (hacheur série-parallèle ou buck-boost). Dans ce qui suit nous rappelons brièvement leur principe de fonctionnement en mode de fonctionnement continu [12].

II.2.1 Comparaison des montages :

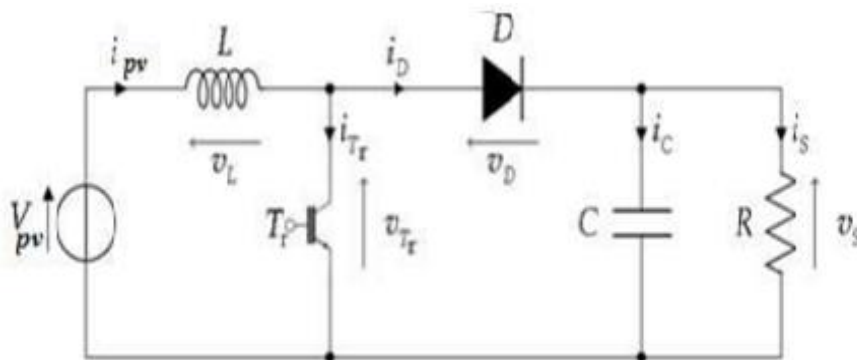
Le tableau (II.1) résume les gains en tension et les contraintes sur les interrupteurs des différents montages.

	<i>Boost</i>	<i>Buck</i>	<i>Buck – Boost</i>
Gain en tension	$\frac{1}{1 - \alpha}$	α	$\frac{\alpha}{1 - \alpha}$
$V_{K_{max}}$ $ V_{d_{max}} $	$\frac{V_e}{1 - \alpha} + \frac{\Delta V_s}{2}$	V_e	$\frac{V_e}{1 - \alpha} + \frac{\Delta V_s}{2}$
$i_{k_{max}}$ $i_{D_{max}}$	$\frac{I_s}{1 - \alpha} + \frac{\alpha \cdot V_e}{2 \cdot L \cdot f}$	$I_s + \frac{\alpha(1 - \alpha)V_e}{2 \cdot L \cdot f}$	$\frac{I_s}{1 - \alpha} + \frac{\alpha \cdot V_e}{2 \cdot L \cdot f}$
Courant de source	Continu	Discontinu	Discontinu

Tableau.II. 1:Caractéristique des montages en mode conduction continu et discontinu.

II.2.2 Convertisseur boost :

Dans notre étude on va établir le convertisseur boost, ou hacheur parallèle, qui forme une alimentation à découpage permet de convertir une tension continue en une autre tension continue de valeur plus forte. La figure II.3 représente le schéma de base d'un convertisseur boost dont nous allons utiliser dans la simulation.



Le principe de fonctionnement d'un convertisseur boost il se compose de deux phases distinctes selon l'état des interrupteurs T_r et D :

II.2.2.1 La phase active :

- Quand l'interrupteur T_r est fermé et l'interrupteur D est ouvert pendant la durée $[0, \alpha T]$ (état passant), le courant dans l'inductance va augmenter, ce qui engendre une énergie magnétique

stockée dans la bobine. D'autre part, durant cette phase la diode la charge est déconnectée par ce que la diode est bloquée.

- La tension aux bornes de la diode D est égale à $V_D = V_{Tr} - V_s$. Comme l'interrupteur Tr est fermé, on a $V_{Tr} = 0$ ce qui implique $V_D = -V_s$. La diode est donc bloquée puisque $V_s > 0$.

Dans ces conditions :

La tension aux bornes de l'inductance est alors :

$$V_{pv} = L \cdot \frac{dI_L}{dt} > 0 \quad (\text{II.2})$$

A la fin de l'état passant, le courant I_L exprimée par :

$$I_L = \frac{V_{pv}}{L} \tau + I_{Lmin} \quad (\text{II.3})$$

II.2.2.2 La phase de roue libre :

Pendant le temps $t \in [\alpha T, T]$, l'interrupteur s'ouvre, l'inductance est alors en série avec le générateur et sa tension s'ajoute à celle du générateur : Ce qui explique l'effet de survolteur. L'énergie cumulée dans l'inductance plus l'énergie venant de la source vont charger la capacité.

La tension aux bornes de l'inductance est alors :

$$V_L = V_{pv} = L \cdot \frac{dI_L}{dt} < 0 \quad (\text{II.3})$$

La variation du courant I_L durant l'état bloqué sera donc égale à :

$$I_L = \frac{V_{pv} - V_s}{\tau} (t - \alpha T) + I_{Lmax} \quad (\text{II.4})$$

II.2.2.3 Les expressions de V_s et I_s :

Par définition :

$$V_L = \frac{1}{T} \int_0^T V_L \cdot dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{\alpha T} V_{pv} \cdot dt + \int_{\alpha T}^T (V_{pv} - V_s) dt \right) = 0 \quad (\text{II.5})$$

Il est tout à fait clair que la tension aux bornes d'une inductance en régime permanent est nulle, donc on peut écrire :

$$(V_L) = \alpha V_{pv} + (V_{pv} - V_s)(1 - \alpha) = 0 \quad (\text{II.6})$$

Alors:

$$I_s = (V_s(t)) = \frac{V_{pv}}{1-\alpha} \quad (\text{II.7})$$

Est puisque le rapport cyclique α est compris entre 0 et 1 donc la tension de sortie V_s est nécessairement supérieure à la tension d'entrée. Si on suppose que le courant d'entrée est parfaitement continu, on peut écrire :

$$I_s = I_s(t) = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{pv} \cdot dt \quad (\text{II.8})$$

Ce qui conduit à ;

$$I_s = I_{pv} (1 - \alpha) \quad (\text{II.9})$$

II.2.2.4 L'expression de ΔI_L :

L'ondulation absolue du courant I_L est défini par $\Delta I_L = I_{L\max} - I_{L\min}$. A partir des relations

Précédentes, à $t=\alpha T$ on peut écrire $I_{L\max} = \frac{V_{pv}}{L} \alpha T + I_{L\min}$ on en déduit l'expression de

Suivante : $\Delta I_L = \frac{\alpha \cdot V_{pv}}{L \cdot f}$ Cette expression nous montre que l'ondulation en courant diminue lorsque la fréquence de commutation f et la valeur de l'inductance L augmentent.

Comme $V_{pv} = (1 - \alpha) \cdot V_s$ on peut écrire :

$$\Delta I_L = \frac{(1-\alpha) \cdot V_s}{L \cdot f} \quad (\text{II.10})$$

En résolvant $\frac{d\Delta I_L}{d\alpha}$ on trouve que l'ondulation en courant ΔI_L est maximale pour $\alpha = \frac{1}{2}$. Ce qui nous permet de déduire le dimensionnement de l'inductance L , à partir d'une ondulation en courant donnée, qui s'effectue à l'aide de l'équation suivante :

$$L \geq \frac{V_s}{4 \cdot f \Delta I_{L\max}} \quad (\text{II.11})$$

II.2.2.5 L'expression de la tension ΔV_s :

Pour déterminer l'expression de l'ondulation en tension ΔV_s , on doit suivre l'hypothèse que le courant I_s est parfaitement constant, donc on a la relation suivante $I_c = \frac{dV_s}{dt}$ or, pour $0 \leq t \leq \alpha T$ On a $I_c = -I_s$. La résolution de cette équation différentielle nous donne :

$$V_s = -\frac{I_s}{C}t + V_{smax} \quad (II.12)$$

A: $t = \alpha T$ on a:

$$V_s(\alpha T) = V_{smin} = -\frac{I_s}{C} \alpha T + V_{smax} \quad (II.13)$$

Et par suite on a:

$$\Delta V_s = V_{smax} - V_{smin} = \frac{I_s}{C} \alpha T \quad (II.14)$$

En fiant :

$$\Delta V_s = \frac{\alpha V_s}{R \cdot C \cdot f} \quad (II.15)$$

Le dimensionnement du condensateur C, à partir d'une ondulation en tension donnée, S'effectue à l'aide l'inéquation suivante :

$$C \geq \frac{\alpha_{max} \cdot V_s}{R \cdot \Delta V_s \cdot f} \quad (II.17)$$

II.2.3 Commande des convertisseurs DC-DC :

Dans le domaine de la production de l'énergie électrique par les systèmes PV (photovoltaïques), le principe de la commande d'un hacheur élévateur est basé sur la variation du rapport cyclique, en fonction d'une fraction (80 %) de la tension à vide d'une cellule solaire pilote. Autre mot dit, les principaux objectifs de contrôler le hacheur élévateur est de : Maintenir la tension de sortie du convertisseur V_s à une

tension optimale pour une puissance de sortie maximale.

A cet objectif, et comme nous avons parlé auparavant (pages 1-2), on propose d'utiliser la technique de commande logique floue, afin de réaliser une bonne commande.

II.3 CONTROLEUR DE LOGIQUE FLOUE :

Les contrôleurs de logique floue ont été largement utilisés dans les processus industriels au cours des dernières années en raison de leur nature heuristique associée à la simplicité, de l'efficacité et de la prise en compte de sa variable multi-règles pour la variation des paramètres linéaires et non linéaires du système. Le système flou est composé d'un système de règles basé sur la connaissance ; la partie principale de FLC est la connaissance de la base composée des règles If-Then.

L'objectif de cette partie du présent travail est de contrôler et de suivre la puissance maximale qui conduira par conséquent à un fonctionnement efficace du panneau PV. Pour concevoir le FLC, les variables qui représentent les performances dynamiques du système doivent être choisies comme entrée pour le contrôleur. Le schéma de principe de base mis en œuvre dans le contrôleur de logique floue est illustré à la figure suivante :

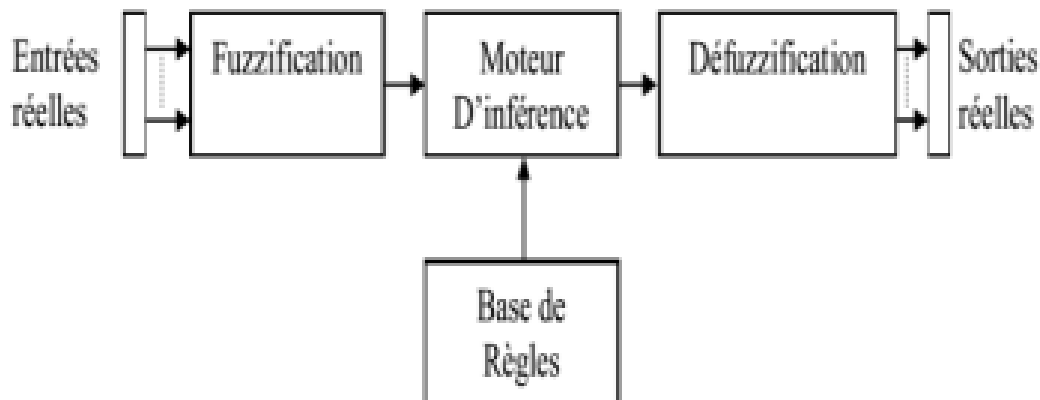


Figure.II. 3:Schéma des bases de contrôleur de logique floue

II.3.1 Définition de la logique floue :

La logique floue est une extension de la logique classique qui permet la modélisation des imperfections (défauts ou anomalies) des données et se rapproche dans une certaine mesure de la flexibilité du raisonnement humain. Cette méthode permet des définitions partielles ou

“floues” des règles de contrôle. Pour réaliser cette technique de contrôle on doit utiliser l’outil informatique (ordinateur) afin de modéliser le monde réel de la même façon que les personnes. Elle est préoccupée par la quantification et le raisonnement en utilisant un langage qui permet des définitions ambiguës (inexplicable ou louche) comme, beaucoup, peu, petit, haut, dangereux, etc. Elle s’occupe de situations où la question qui est posée et la réponse obtenue contiennent des concepts vagues (inexplicable).

Dans cette partie de travail, nous allons décrire un peu plus en détail la conception et fonctionnement d'un système flou. On va commencer par présenter les trois parties d'un système flou (fuzzification, moteur d'inférences et défuzzification). Nous détaillerons ensuite chacune de ces trois parties. Nous proposerons enfin un exemple simple afin d'illustrer un peu l’objectif de notre travail.

A. Fuzzification :

Dans l'étape de fuzzification, les variables d'entrée numériques sont calculées ou converties en variables linguistiques basées sur un sous-ensemble appelé fonction d'appartenance. Pour traduire la valeur du changement de tension et du changement de puissance, l'entrée floue « changement de puissance » et « changement de tension » est conçue avec sept variables floues appelées PB (Positive Big), PM (Positive Medium), NS (Negative Small), PS (petit positif), ZE (zéro), NM (moyen négatif), NB (grand négatif). Dans notre cas, le changement de tension et le changement de puissance sont les variables d'entrée dans le système proposé et la sortie du contrôleur de logique floue est le changement du rapport cyclique. La fonction d'appartenance de chaque variation variable de tension et de changement de puissance et de changement de rapport cyclique est représentée sur la figure. Les limites de la fonction d'appartenance d'entrée et de sortie appliquées dans le système sont déterminées par les connaissances antérieures du système concerné. Les figures suivantes montrent la variation des paramètres :

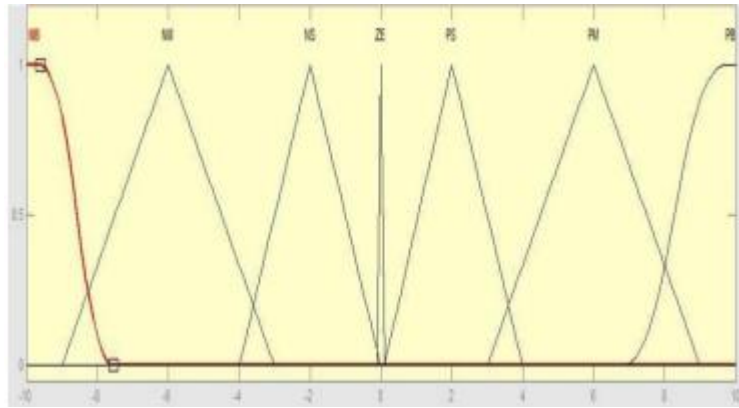


Figure.II. 4:Entrée du changement de tension FLC

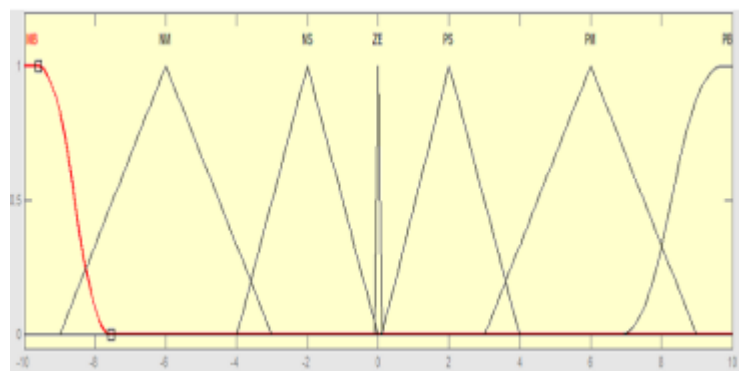


Figure.II. 5:Entrée au FLC comme changement de puissance

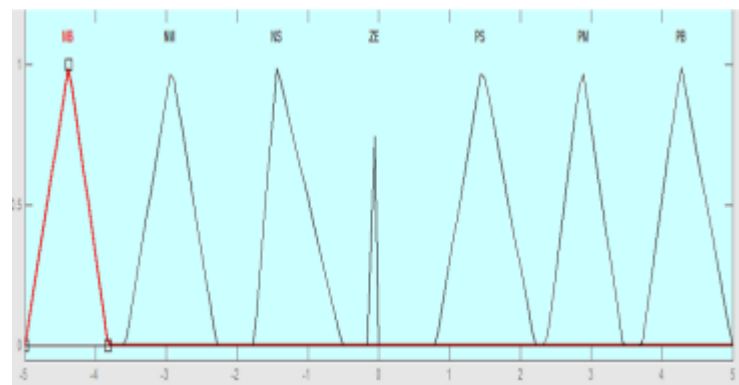


Figure.II. 6:Sortie du FLC comme changement de rapport cyclique

B. Système d'inférence :

L'algorithme de règle floue collecte un ensemble de règles de contrôle floue dans un ordre spécifique. Ces règles sont utilisées pour contrôler un système afin de répondre aux exigences de performances souhaitées et elles sont conçues à partir de la connaissance

experte du système sous contrôle. L'inférence floue du FLC est basée sur la méthode de Mamdani qui est associée à la composition max-min. Le système d'inférence dans un contrôleur à logique floue peut être subdivisé en trois parties :

1) Base de règles :

- Il se compose d'un certain nombre de règles If-Then pour le bon fonctionnement du contrôleur. Le côté If de la règle est appelé l'antécédent et le côté Then est appelé la conséquence. Ces règles peuvent être considérées comme des réponses similaires apportées par le processus des pensées humaines et le contrôleur utilise les variables d'entrée linguistiques, obtenir après fuzzification pour le fonctionnement des règles

2) Base de données :

- Elle comprend toutes les fonctions d'appartenance définies par l'utilisateur qui doivent être utilisées dans les règles.

3) Mécanisme de raisonnement :

- Il traite essentiellement les règles données et selon des règles particulières et une condition donnée nous fournit le résultat requis. Pour caractériser l'écart dynamique, on soumet le système considéré à une entrée rampe de pente a :

De même que précédemment on considère la réponse en régime permanent. L'écart dynamique est la différence entre la consigne et la réponse en régime permanent. On l'appelle également écart de traînage ou écart de poursuite [1-25].

La base de règles définit les règles pour la relation souhaitée entre les variables d'entrée et de sortie est illustré dans le tableau 2 :

Tableau.II. 2:Règles implémentées dans le contrôleur de logique floue

DP Dv	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PM	PS	NS	NS	NM	NB
NM	PM	NB	PS	NS	NS	NS	NM
NS	PS	PS	PS	NS	NS	NS	NS
ZE	NS	PS	NS	ZE	ZE	PS	NS
PS	NS	NS	NS	PS	PS	NS	PS
PM	NM	NS	NM	PS	PS	PM	PB
PB	NB	NM	PS	PS	PS	PM	PM

C. Défuzzification

L'entrée pour le processus de défuzzification est un ensemble flou et la sortie est un nombre unique qui doit être appliqué au système, pour la sortie finale souhaitée selon le système, une valeur non floue de sortie de contrôle est requise, donc une étape de défuzzification est obligatoire. Il existe différentes méthodes de défuzzification qui sont utilisées de nos jours, mais la méthode la plus courante est le centriole de l'aire et la bissectrice de l'aire. Dans le schéma proposé, la méthode de défuzzification

II.4 RESULTATS ET SIMULATION :

II.4.1 SIMULATION :

Dans ce qui suite on va présenter la simulation des de panneaux photovoltaïques commandés par deux techniques MPPT P&O et MPPT FLC.

La puissance de sortie du module PV et du convertisseur avec les deux techniques MPPT différentes est obtenue dans MATLAB / Simulink à un rayonnement de 1000 W/m² et une température de 25C.

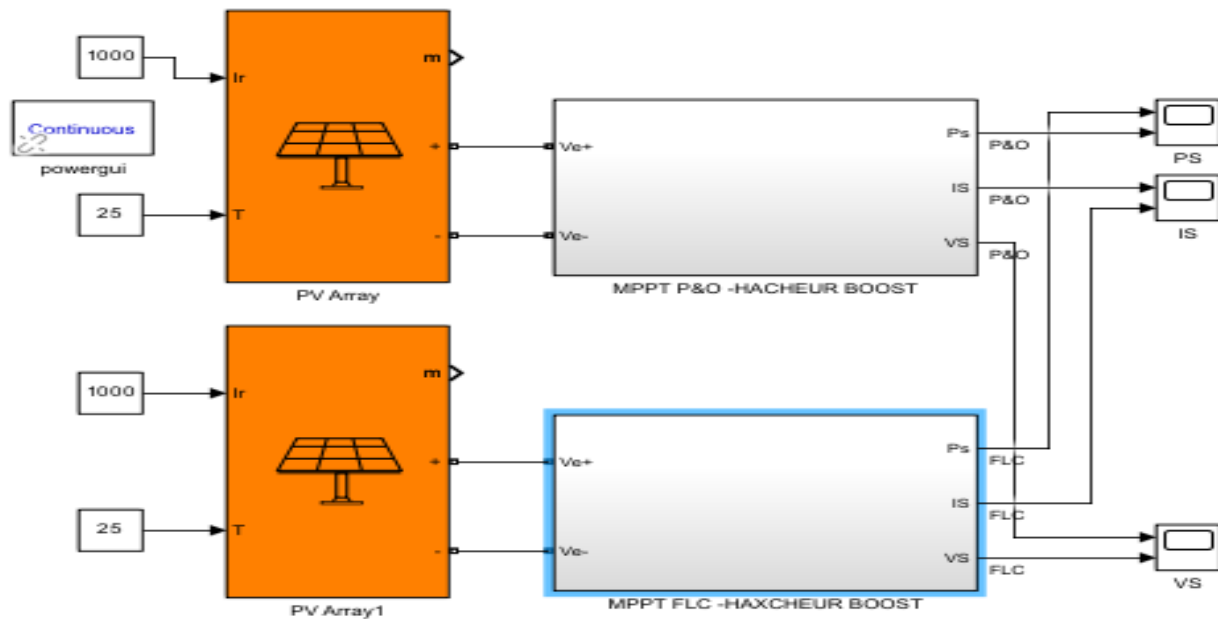


Figure.II. 7:GPV et du convertisseur avec deux techniques MPPT différentes MATLAB / Simulink.

II.4.1.1 Matlab / Simulink - MPPT basé sur P&O :

On a deux méthodes de création de cette commande MPPT P&O

La façon de mettre en œuvre le MPPT est d'utiliser une boucle de commande. Une boucle de commande est un système qui mesure une grandeur (appelée la grandeur de référence) et qui compare cette mesure à une valeur cible (appelée la grandeur de consigne). En fonction de la différence entre la grandeur de référence et la grandeur de consigne, la boucle de commande ajuste une grandeur de sortie (appelée la grandeur de commande) afin de ramener la grandeur de référence à la grandeur de consigne.

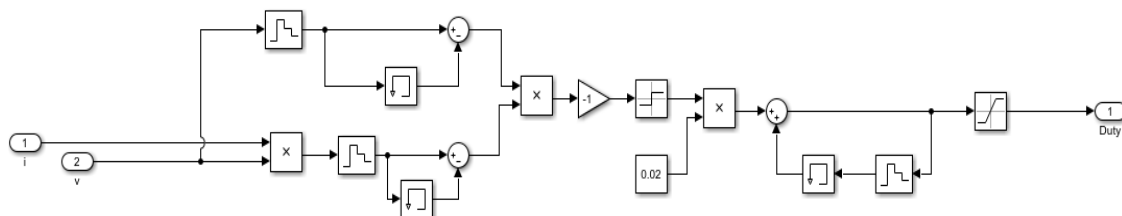


Figure.II. 8:Contrôleur MPPT P&O-MATLAB / Simulink.

La figure suivante montre le circuit globale de la simulation de ce qui pn parle auparavant :

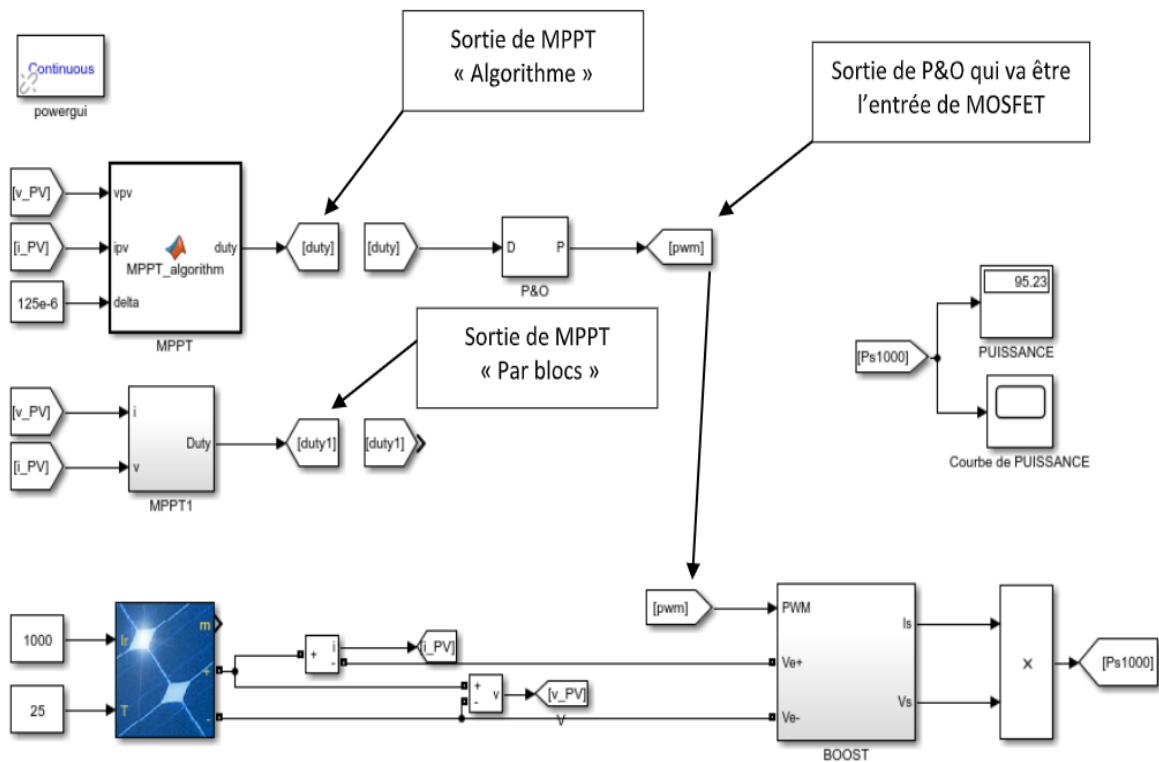


Figure.II. 9:MATLAB / Simulink - contrôleur mppt P&O avec hacheur boost.

II.4.1.2 Matlab / Simulink - MPPT basé sur la logique floue :

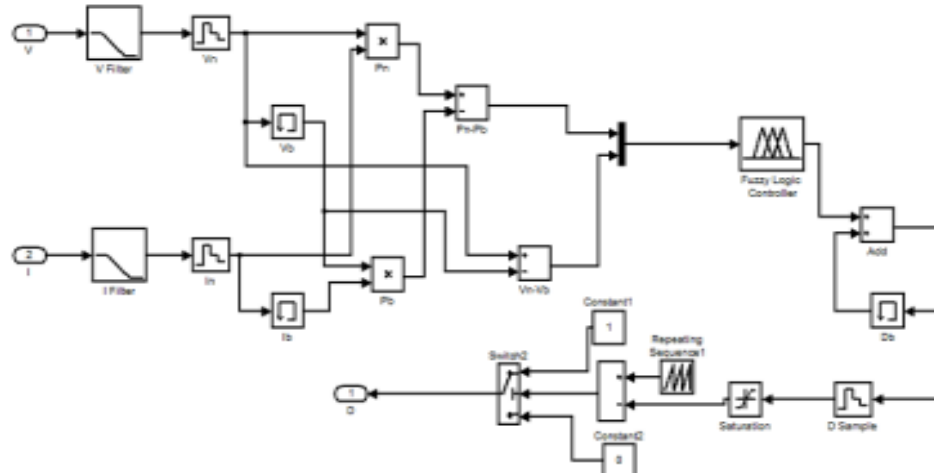


Figure.II. 10:MATLAB / Simulink - contrôleur de logique floue FLC

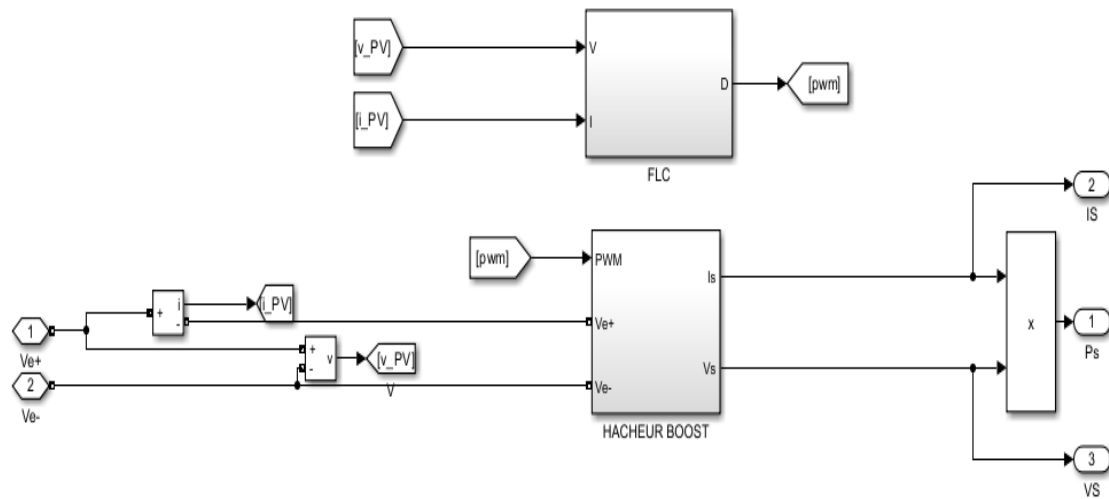


Figure. II. 11:MATLAB / Simulink - contrôleur de logique floue FLC liée avec hacheur boost

II.4.2 Résultats :

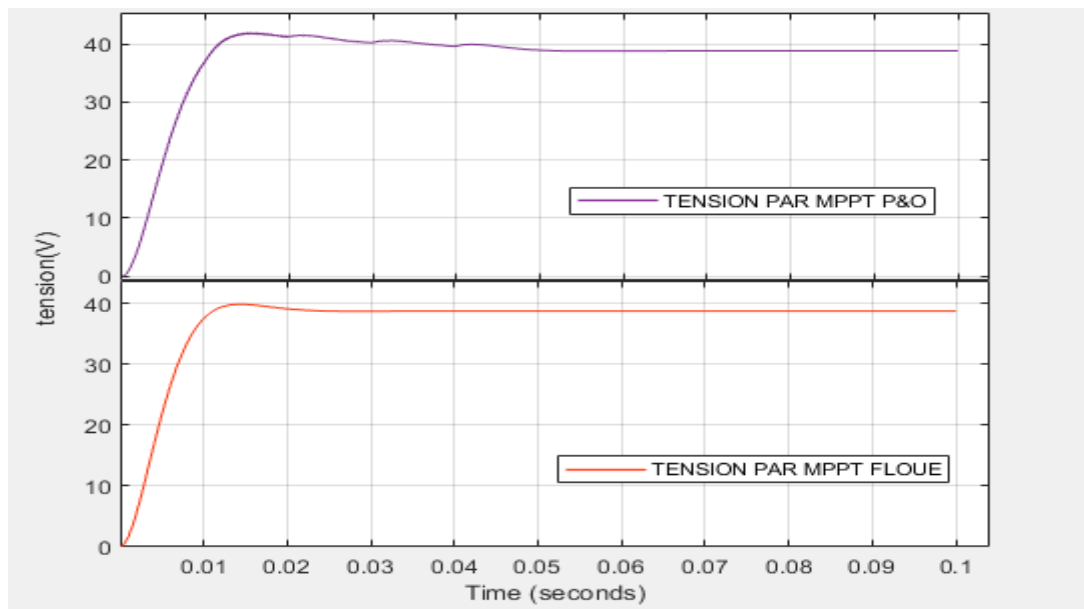


Figure.II. 12:MATLAB / Simulink –La tension de sortie mppt p&o et floue

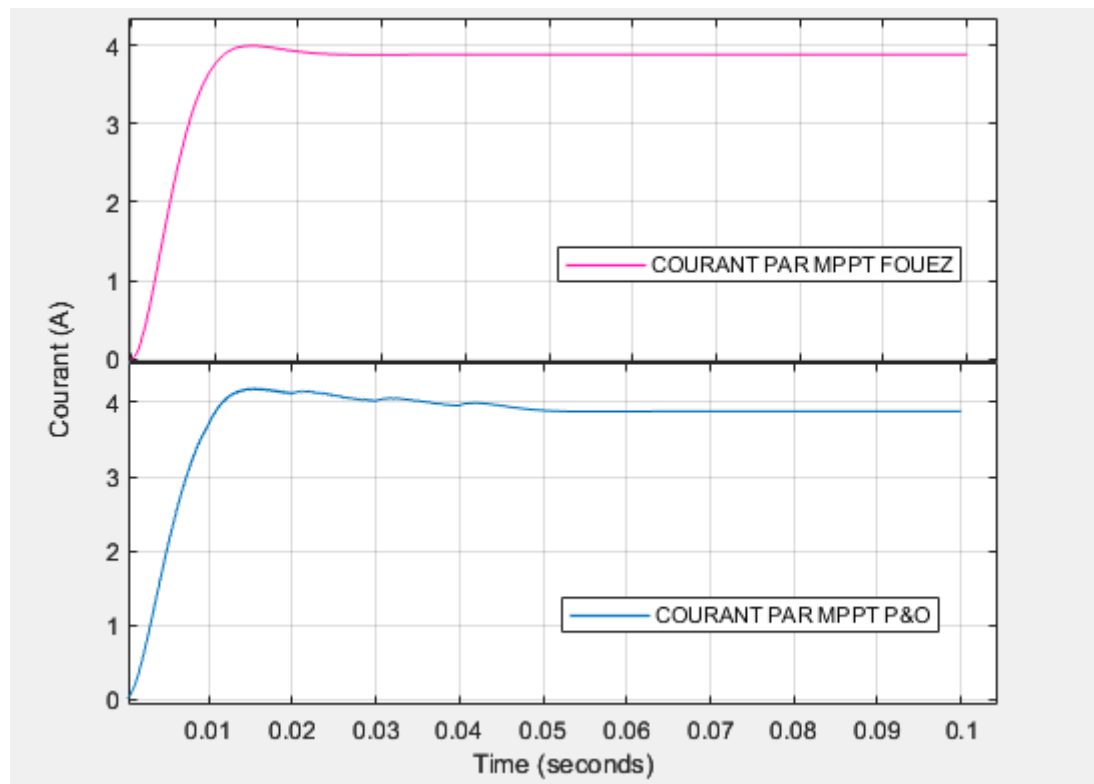


Figure.II. 13:MATLAB / Simulink –Le courant de sortie MPPT P&O et floue

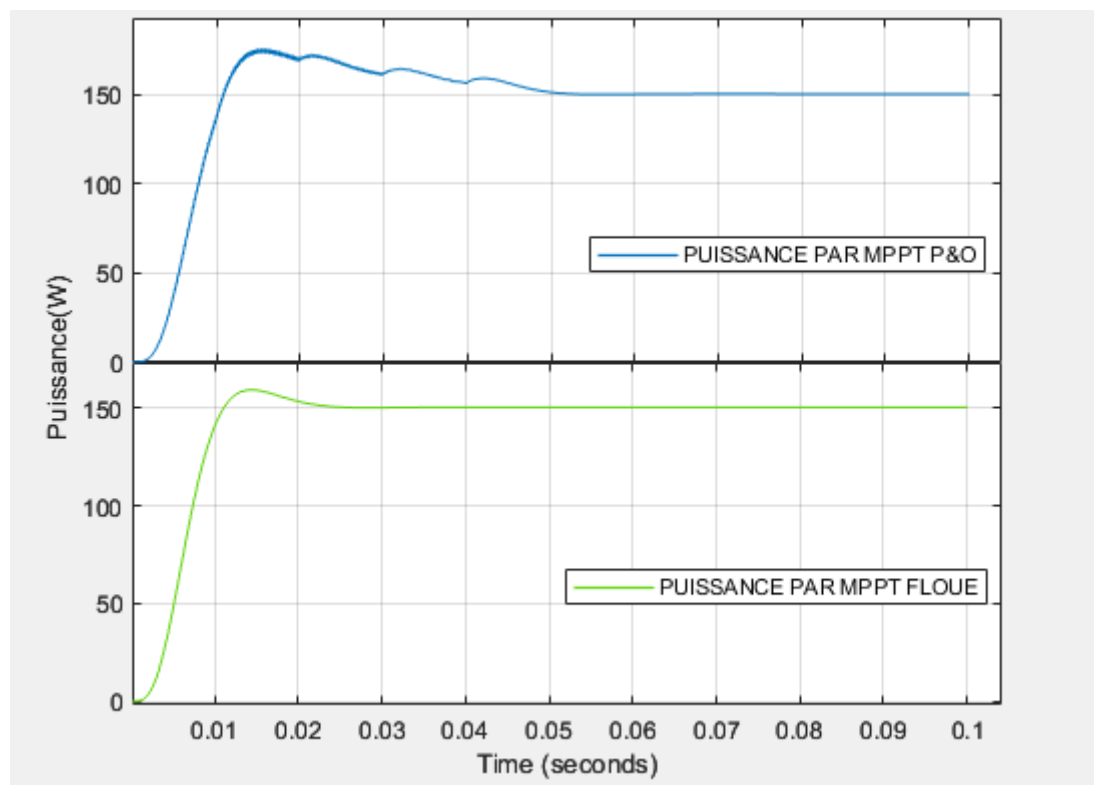


Figure.II. 14: MATLAB / Simulink –La puissance de sortie mppt p&o et floue

II.5 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons parlé à la modélisation du hacheur parallèle. Une brève présentation de la logique floue a été présentée dans le but de réaliser une étude comparative des deux méthodes de commande MPPT P&O avec MPPT floue.

Les caractéristiques V-I et P-V du module PV sont obtenues en utilisant MATLAB /Simulink à une température de 25 ° C et un rayonnement de 1000 W/m². L'analyse du contrôleur à logique floue et du MPPT basé sur P&O est fait et les résultats de la simulation sont présentés.

À partir des résultats de la simulation, on remarque clairement que le MPPT basé sur logique floue suit la puissance en continu avec moins de fluctuations et a également moins de dépassement avec un temps de suivi rapide par rapport à l'algorithme P&O MPPT.

III. Asservissement d'un servomécanisme de position

III.1 INTRODUCTION :

Le servomécanisme est un système qui régule automatiquement le fonctionnement d'un dispositif et lui imprime des variations suivant un programme établi à l'avance.

Pour modéliser un panneau solaire associé avec un servomécanisme, afin d'obtenir la puissance maximale MPPT, on doit considérer quelques phénomènes physiques (mouvement du globe terrestre, le rayonnement solaire, paramètres de position). A cet objectif, la modélisation d'un servomécanisme de position nécessite une compréhension de certains processus de déformation et de contrôler la qualité de produits (l'analyse temporelle, analyse fréquentielle). L'application de cette méthode dans une classe importante de problèmes exige l'utilisation d'un outil numérique pour étudier et manipuler ce système afin de maintenir sa stabilité et sa vitesse de réponse. Cette modélisation nécessite également des grandeurs optiques, thermiques, électriques et temporelles, ainsi que des analyses temporelles et fréquentielles.

III.1. PARAMETRES DE POSITION :

La Terre tourne autour du Soleil en une année et son plan de révolution définit le plan de l'écliptique. L'élément déterminant est que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même, qui reste toujours parallèle à lui-même, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique mais est incliné par rapport à cette perpendiculaire d'un angle de $\epsilon = 23^\circ$. Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre ne présente donc pas toujours la même configuration au soleil : on dit que l'exposition solaire de la terre change et c'est ce qui explique les saisons .

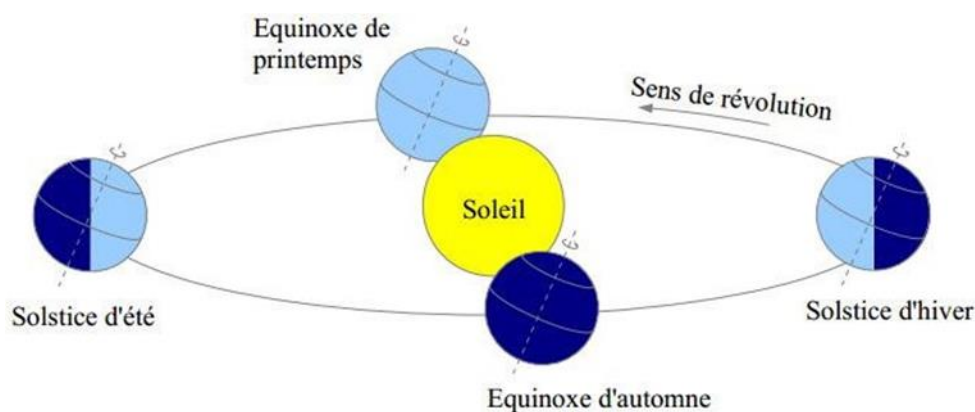


Figure.III. 1:Variation de position solaire par rapport à la terre .

III.2 LES COORDONEES GEOGRAPHIQUE DE LA TERRE :

Pour repérer un point à la surface de la terre, deux coordonnées sont nécessaires :

A. longitude

La longitude d'un lieu correspondant à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien origine le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention, on affecte du signe (+) les méridien situés à l'est, et du signe (−) les méridien situés à l'ouest. La longitude sera désignée ici par la lettre λ [5].

λ : est longitude.

B. latitude

La latitude d'un lieu correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à la latitude du pôle nord par latitude.

Et le pôle sud par la latitude (-90°). Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère Nord et le signe à tous les lieux de l'hémisphère Sud. La latitude sera désignée ici par la lettre ϕ [5].

ϕ : latitude.

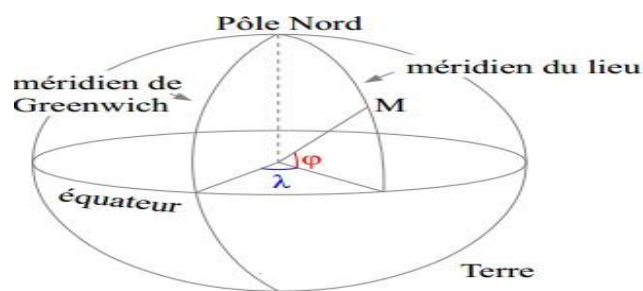


Figure.III. 2: Les coordonnées géographiques

III.3 . LES COORDONNEES HORAIRE :

A. La déclinaison solaire

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes ($-23^\circ 27'$ et $+23^\circ 27'$ environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule suivante :

$$\delta = 23.54 \sin(360 \cdot (284 + n) / 365)$$

n : est le nombre de jours dans l'année [5].

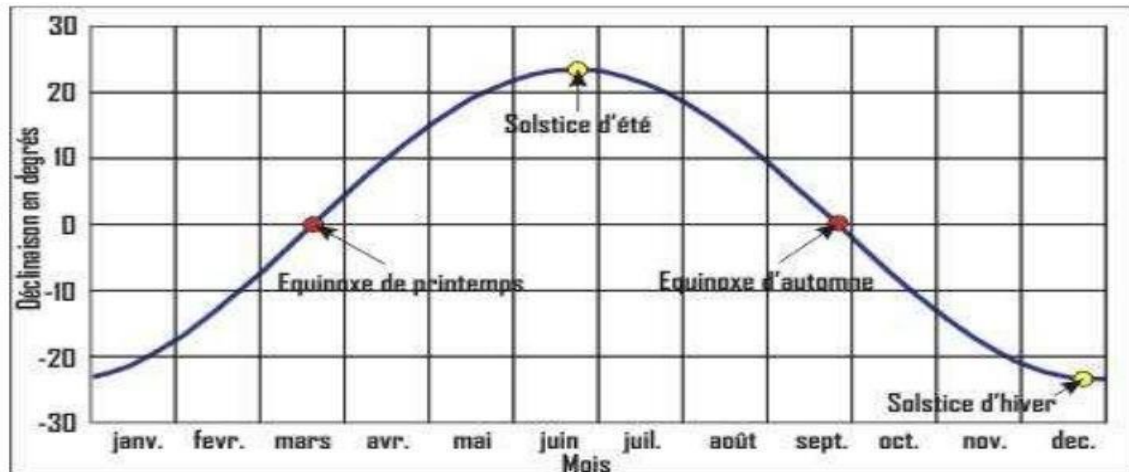


Figure.III. 3: La déclinaison du soleil en fonction des jours [5].

B. Angle horaire(w)

L'angle horaire du soleil c'est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passer par direction du soleil si l'on prend comme l'origine de méridien Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0 et 360 degrés, la valeur de l'angle horaire est nulle à midi, négative dans le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15 par heure [5].

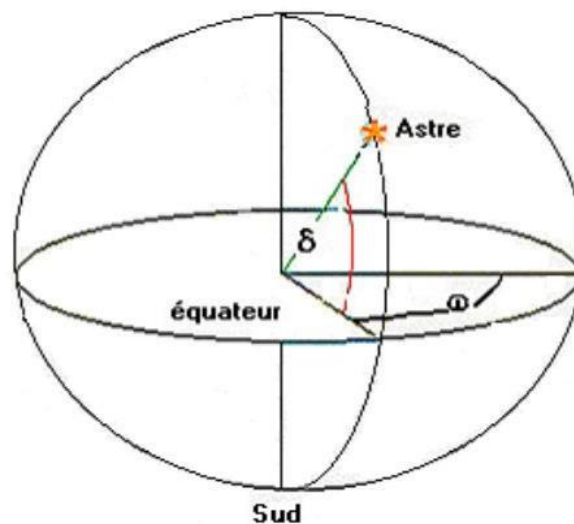


Figure.III. 4: les coordonnées horaires.

III.4 DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DE SUIVEUR SOLAIRE :

L'image suivante montre la structure mécanique d'un panneau solaire mobile. Ce système est constitué de deux parties mobiles :

- La première partie pour assurer le mouvement horizontal du panneau par rapport au soleil.

La deuxième partie est pour le déplacement vertical du panneau solaire (azimut) [5].



Figure. III. 5: Structure mécanique du suiveur solaire .

D'une manière générale, la régulation automatique de ce système, est l'ensemble des techniques qui permettent de contrôler une grandeur physique (ex. : température, vitesse, pression), afin d'avoir une puissance maximale, sans intervention humaine, pour la maintenir à une valeur donnée, appelée consigne .

III.5 L'ASSERVISSEMENT D'UN SERVOMECHANISME DE POSITION :

III.5.1 Représentation de système servomécanisme :

Le servomécanisme est un système de régulation d'un moteur électrique à courant continu à excitation séparée. C'est un des paramètres essentiels de l'étude préalable, pour un besoin électrique donné, plus d'énergie solaire reçue implique moins de panneaux solaires à installer et inversement.

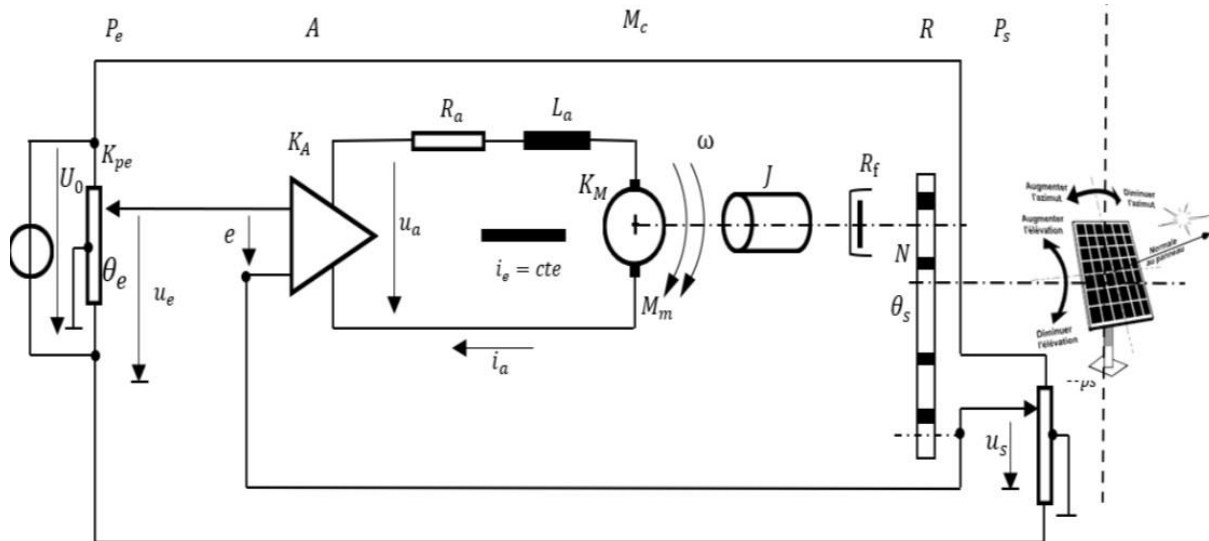


Figure.III. 6: Schéma d'un servomécanisme de position .

III.5.2 Les équations de système.

La mise en équations d'un système est une étape très importante. Pour réaliser cette modélisation on doit suivre la marche suivante :

- On décompose le système dynamique en sous-systèmes simples ;
- On met en équation chaque sous-système ;
- En allant de l'entrée du système vers la sortie.

On considère comme grandeur de référence l'image u_e de l'angle désirée θ_e et u_s comme grandeur de sortie (réglée) l'image de l'angle θ_s .

Le coefficient de proportionnalité entre la FEM $e(t)$ et la vitesse $\omega(t)$

$$e(t) = \frac{p}{a} N n \varphi(t) \quad \text{III.1}$$

$$n = \frac{m}{2\pi}$$

Avec

n : la vitesse en tr/s

ω : la vitesse en rd/s

N : nombres de spires

ϕ : le flux de Donc:

$$e(t) = \frac{p}{a} N \frac{\phi}{2\pi} m(t) = k_m m(t) \quad \text{III.3}$$

Le coefficient de proportionnalité entre le couple moteur M_m et le courant d'induite $i_a(t)$

$$p_e = EI_a = \frac{p}{a} N \frac{\phi}{2\pi} m I_a = k_m m I_a \quad \text{III.4}$$

Le couple moteur est proportionnel au courant de l'induit

$$C_m = M_m = \frac{p_e}{\omega} = k_m I_a \quad \text{III.5}$$

$$C_m(t) = M_m(t) = \frac{p_e}{\omega} = k_m I_a(t) \quad \text{III.6}$$

III.5.3 Les équations électriques [1] :

L'entrée du comparateur c'est la différence entre la tension d'entrée et la tension de sortie

$$s = U_e(t) - U_s(t) \quad \text{III.7}$$

Le signal d'erreur obtenu est amplifié en tension et en puissance par l'amplificateur :

$$U_a = k_a s = k_a (U_e(t) - U_s(t)) \quad \text{III.8}$$

Avec cette tension $U(t)$, on attaque l'induit du moteur à courant continu à excitation séparée qui est représenté par une résistance interne R_a , une inductance L_a et une FEM.

Ce moteur est à courant d'excitation constante, c'est-à-dire qu'il est commandé par l'induit (le circuit dont le temps de réponse est plus court) d'où l'équation électrique suivant :

$$U_a(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + e(t) \quad \text{III.9}$$

$$U_a(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + k_m m(t) \quad \text{III.10}$$

III.5.4 Les équations mécaniques :

L'équation mécanique du moteur :

$$R_f m + J \frac{dm}{dt} = C_m - C_r = M_m - M_r \quad \text{III.11}$$

Avec :

- R_f : Coefficient de frottement visqueux
- J : moment d'inertie du moteur
- ω : vitesse angulaire au radian par seconde
- C_m : couple moteur
- C_r : couple résistance

La position angulaire (t) sera donnée en fonction de la vitesse par :

$$m(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \rightarrow \theta(t) = \int m(t) dt \quad \text{III.12}$$

Le passage dans le plan complexe se fait par l'application de la transformée de Laplace de ces équations. Le système suivant montre toutes les équations nécessaires pour réaliser le circuit de commande :

$$\mathbf{L} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon(t) = U_e(t) - U_s(t) \\ U_a(t) = K_a \varepsilon(t) \\ R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_m \omega(t) = U_a(t) \\ C_m(t) = K_m I_a(t) \\ R_f \omega(t) + J \frac{d\omega}{dt} = C_m - C_r \\ \theta(t) = \int \omega(t) dt \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} E(p) = U_e(p) - U_s(p) \\ U_a(p) = K_a E(p) \\ R_a I_a(p) + L_a p I_a(p) + K_m \Omega(p) = U_a(p) \\ C_m = K_m I_a(p) \\ R_f \Omega(p) + J p \Omega(p) = C_m - C_r \\ \theta(p) = \frac{\Omega(p)}{p} \end{array} \right\}$$

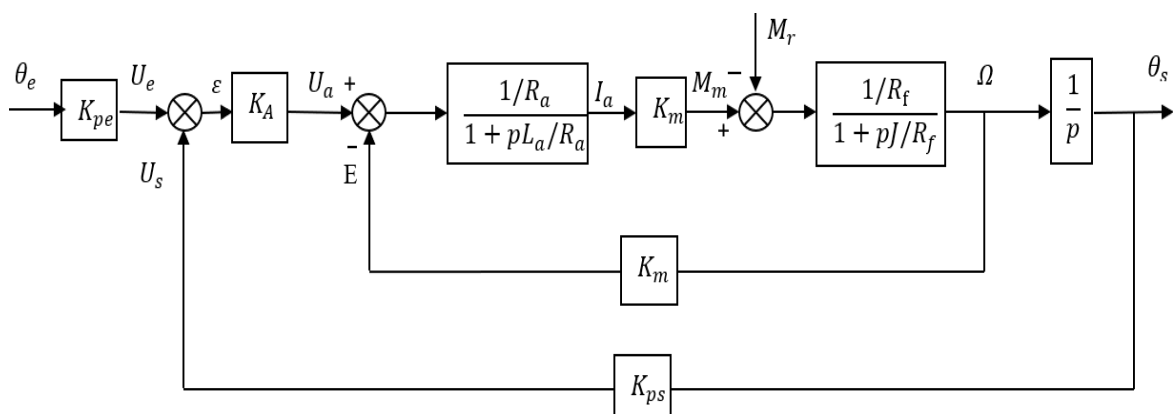
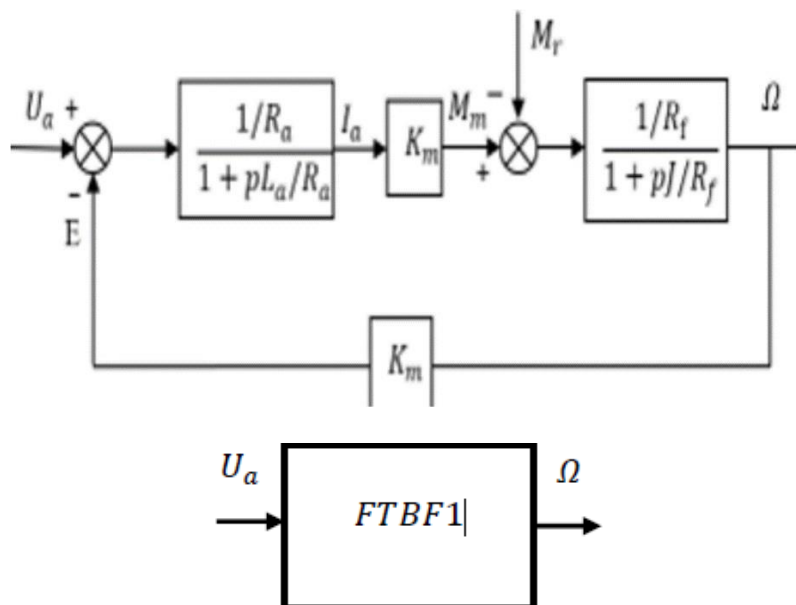


Figure.III. 7: Schéma fonctionnel détaillé de la régulation automatique de position .

III.5.5 Fonction de transfert de système [1] :

En utilisant le schéma fonctionnel pour déterminons la fonction de transfert: On simplifiée le schéma:



Avec: $M_r = 0$

$$FTBO2 = k_a * FTBF1 * \frac{1}{p} \rightarrow \frac{k_a k_m / R_a R_f}{p(Ap^2 + Bp + 1 + \frac{k_m^2}{R_a R_f})}$$

$$FTBF2 = k_e \frac{FTBO2}{1 + k_m * FTBO2} \quad \text{III.15}$$

$$\rightarrow FTBF(p) = \frac{k_v}{Ap^3 + Bp^2 + pC + k_v k_m}$$

$$k_e = 1 \quad \text{et} \quad k_v = \frac{k_a k_m}{R_a R_f} \quad \text{et} \quad C = (1 + \frac{k_m^2}{R_a R_f})$$

III.5.6 Les valeurs numériques :

$$k_s = 1 \text{ V/rad} \quad k_m = 1 \text{ Nm s/A} \quad L_a = 0.1 \text{ H} \quad J = 10 \text{ kgm}^2$$

$$R_a = 5\Omega \quad R_f = 2 \text{ Nm s/rad}$$

K_a = gain de l'amplificateur

III.5.7 L'équation de caractéristique de système :

L'application numérique nous permet de déterminer l'équation caractéristique du système :

$$0.1 * p^3 + 5.02 * p^2 + 1.1 * p + 0.1 k_a$$

III.5.8 Critère de stabilité de Routh Hurwitz :

On trouve le premier terme (B1) de la première colonne de la table de Routh Hurwitz en fonction de gain k_a [1].

p^3	0.1	1.1
p^2	5.02	0.1
p^1	B1	0
p^0	C1	0

$$B1 = \frac{(5.02 * 1.1) - (0.1 * 0.1 * K_a)}{5.02}$$

III.5.9 La condition de la stabilité :

Pour que le système soit stable il faut que les termes de la première colonne de la table de Routh soient de même signe (strictement positif), ce qui nous donne la condition de stabilité suivante [1].

$$0 < k_a < 552.2 = k_{cr}$$

Nous avons dans la marge de stabilité si : $k_a = k_{cr}$

III.5.10 Tableau de Routh pour plusieurs valeurs de k_a :

Pour faire le tableau de Routh pour plusieurs valeurs de k_a (gain d'amplificateur), nous notons un changement de signe pour $k_a = 570 > k_{cr}$.

$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*K_a)}{5.02}$	$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*1)}{5.02} = 1.0980$
$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*3)}{5.02} = 1.0940$	$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*8)}{5.02} = 1.0841$
$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*10)}{5.02} = 1.0801$	$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*30)}{5.02} = 1.0402$
$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*70)}{5.02} = 0.9606$	$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*100)}{5.02} = 0.9008$
$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*400)}{5.02} = 0.3032$	$B1 = \frac{(5.02*1.1)-(0.1*0.1*570)}{5.02} = -0.0354$

Tableau.III. 1:Tableau de Routh

Ka	1	3	8	10	30	70	100	400	570
p ¹	1.0980	1.0940	1.0841	1.0801	1.0402	0.9606	0.9008	0.3032	- 0.035 4
p ⁰	1	3	8	10	30	70	100	400	570

Dans le tableau III.1, nous résumons les valeurs de la première colonne de la table de Routh, pour plusieurs valeurs du gain d'amplificateur **ka**. Nous avons remarqué un changement de signe pour $k_a=560$ (supérieur à k_{cr}). Dans ce cas on peut dire que le système sera instable à partir cette valeur (valeur critique).

III.6 TEST DE SCHEMA FONCTIONNEL DE POSITION :

Cela se fait en définissant la valeur numérique requise et en effectuant des simulations pour assurer que le système arrive finalement à cette valeur par l'utilisation de deux régulateur différent, PID et PID floue.

III.6.1 Le régulateur PID :

Appelé aussi correcteur PID (proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques.

Les entrées : l'erreur

La sortie : les gains de PID (k_p k_i k_d)

III.6.2 Le régulateur PID floue :

Le contrôleur PID flou est un contrôleur proportionnel-intégral-dérivé qui utilise les principes du logiciel de logique floue comme forme de contrôle d'erreur dans les systèmes industriels. Dans le PID floue, le FLC ajuste les gains de PID afin d'arriver à la valeur de référence

Les entrées : l'erreur et le de/dt (le changement d'erreur)

La sortie : les gains de PID (k_p k_i k_d)

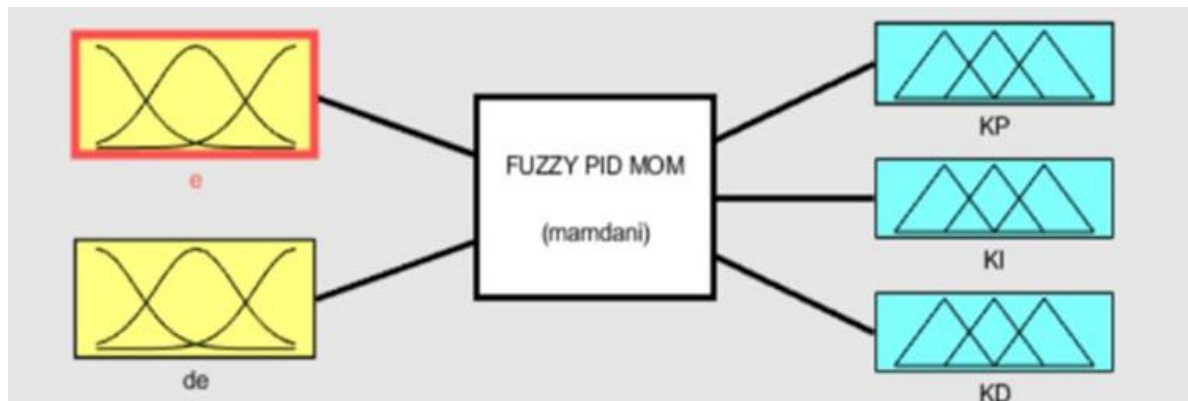


Figure.III. 8 Les inputs et les outputs de FLC

III.6.3 Les fonctions d'appartenance :

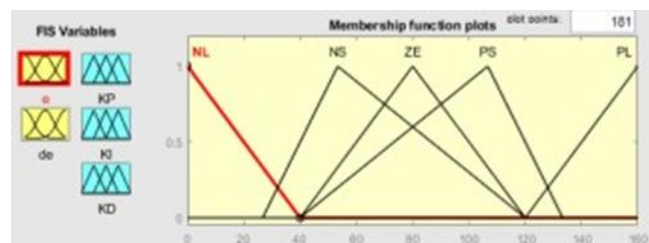


Figure.III. 9 Fonction d'appartenance d'erreur

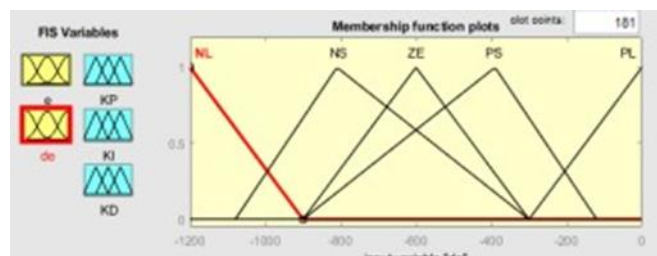


Figure.III. 10 Fonction d'appartenance de changement d'erreur

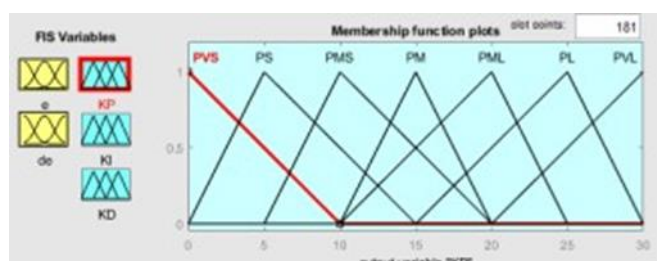
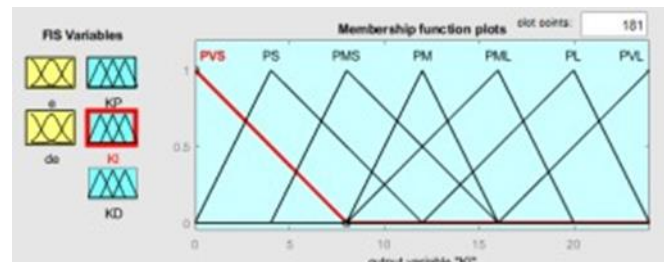
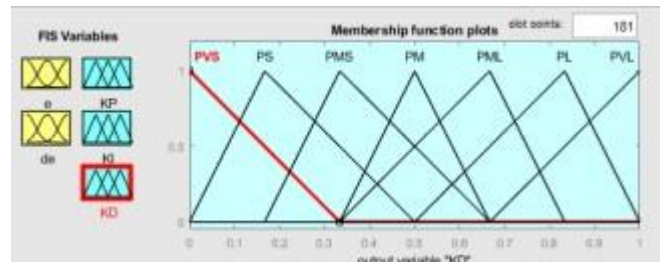


Figure.III. 11 Fonction d'appartenance de gain kp

Figure.III. 12 Fonction d'appartenance de gain k_i Figure.III. 13 Fonction d'appartenance de gain k_d

III.6.4 Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue :

e/de	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL
NS	PML	PML	PML	PL	PVL
ZE	PVS	PVS	PS	PMS	PMS
PS	PML	PML	PML	PL	PVL
PL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL

Tableau.III. 2: Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue pour le gain k_p

e/de	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	PM	PM	PM	PM	PM
NS	PMS	PMS	PMS	PMS	PMS
ZE	PS	PS	PVS	PS	PS
PS	PMS	PMS	PMS	PMS	PMS
PL	PM	PM	PM	PM	PM

Tableau.III. 3 : Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue pour le gain k_i .

e/de	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	PVS	PMS	PM	PL	PVL
NS	PMS	PML	PL	PVL	PVL
ZE	PM	PL	PL	PVL	PVL
PS	PML	PVL	PVL	PVL	PVL
PL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL

Tableau.III. 4 : Les règles implémentées dans le contrôleur de logique floue pour le gain k_d .

III.7 SIMULATION ET RESULTATS :

III.7.1 Simulation :

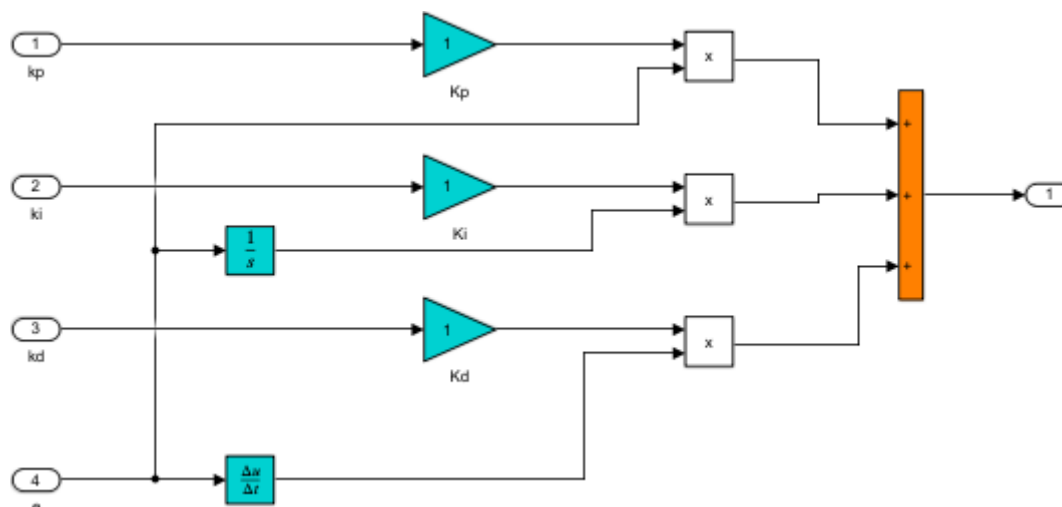


Figure.III. 15: MATLAB / Simulink-schéma block de PID

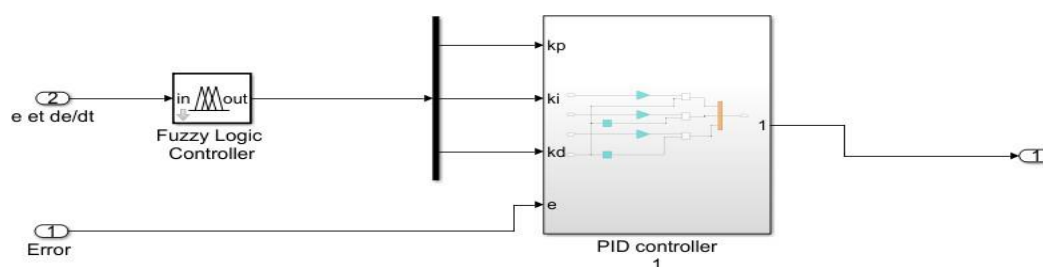


Figure.III. 14: MATLAB / Simulink-schema block de PID floue

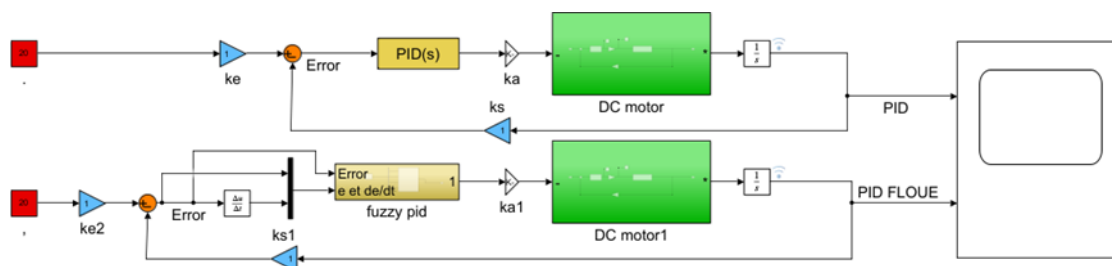


Figure.III. 16: MATLAB / Simulink-schéma block de

III.7.2 Les résultats :

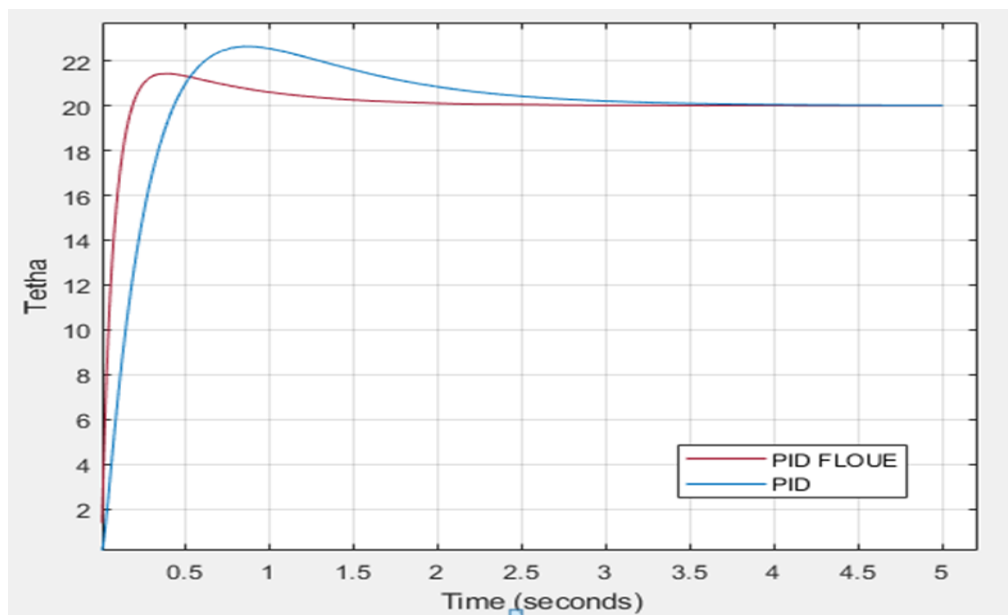


Figure.III. 17MATLAB / Simulink. Scoop de schéma de position de valeur fixe (20) avec PID et PID floue

Les résultats de la simulation montrent que les contrôleurs PID et PID floue permettent d'obtenir un bon comportement dynamique du moteur à courant continu.

On remarque clairement que le PID floue prouvé un suivi parfait et rapide de la position avec un dépassement courts et un temps de repense très, et une erreur nulle en régime permanent et donc de meilleures performances par rapport au contrôleur PID conventionnel.

III.8 CONCLUSION :

Dans le présent chapitre, nous nous sommes intéressés à quelques généralités sur les positions solaires et certains types de coordonnées nécessaires pour étudier le mouvement du soleil.

Nous avons présenté la structure du suiveur solaire et son routage horizontalement et verticalement. Puis nous avons expliqué le schéma du système, les lois et relations liées aux angles électriques et mécaniques pour l'automatisation du système.

Un peu de détail, a été présenté, sur le schéma bloc du système et la fonction de transferts et quelques données numériques pour l'homogénéité des grandeurs, et le critère de Roth pour la stabilité du système.

A la fin de ce chapitre, nous avons réalisé une étude comparative par simulation entre les deux types de régulateur (PID et PID floue), les résultats obtenus montrent que le PID floue donne des bonnes performances que le PID conventionnel

IV. Résultats de simulation de l'étude d'un servomécanisme de position

IV.1 INTRODUCTION

Les logiciels de simulations sont des outils puissants pour tester et évaluer l'exécution théorique des systèmes. Les conditions d'exécution du dispositif à tester peuvent être facilement contrôlables.

La simulation nous permet de passer de la conception du système théorique à la réalisation pratique avec plus d'assurance car les changements lors de la conception peuvent être faits facilement dans un système simulé, ceci nous permet d'expérimenter un ensemble large de variations et de choisir enfin la solution optimale.

Simulink tient compte de la division d'un système simulé en un certain nombre de sous-ensembles, Ces sous-ensembles peuvent être modélisés et examinés individuellement et interconnecté. Ceci permet d'établir des sous-ensembles physiques comme le panneau solaire, le convertisseur DC/DC, la commande MPPT et le servomécanisme....

Dans le présent chapitre nous allons donc pris dans notre travail un exemple d'étude et de simulation d'un panneau solaire rotatif automatiquement verticalement et horizontalement, par deux moteurs à courant continu, où nous allons intéresser par une étude comparative entre deux types de régulateurs PID conventionnel et PID basé sur la logique floue. On s'intéresse aussi par une autre étude comparant la différence entre la méthode MPPT obtenu par P&O conventionnel et P&O fuzzy logic.

Le travail présenté est enrichir par une partie expérimentale déroulant la commande d'un moteur à courant continu, en utilisant la carte arduino, afin de donner un aperçu pratique au servomécanisme utilisé pour avoir une puissance maximale par le panneau photovoltaïque.

IV.1.1 OBJECTIF DE SIMULATION

- Le modèle de la caractéristique courant-tension est non linéaire, avec des contraintes de température et d'ensoleillement qui varient d'une manière aléatoire ce qui nous confronte à un problème d'optimisation non linéaire.

- Le servomécanisme est un système qui régule automatiquement le fonctionnement d'un dispositif et lui imprime des variations suivant un programme établi à l'avance.
- Pour modéliser un panneau solaire associé avec un servomécanisme, afin d'obtenir la puissance maximale MPPT, on doit considérer quelques phénomènes physiques (mouvement du globe terrestre, le rayonnement solaire, paramètres de position). A cet objectif, la modélisation d'un servomécanisme de position nécessite une compréhension de certains processus de déformation et de contrôler la qualité de produits.

L'application de cette méthode dans une classe importante de problèmes exige l'utilisation d'un outil numérique pour étudier et manipuler ce système afin de maintenir sa stabilité et sa vitesse de réponse. Cette modélisation nécessite également des grandeurs optiques, thermiques, électriques et temporelles.

IV.1.2. Effet de variation d'éclairement et de température :

Pour mener une bonne étude et proche de la réalité. Nous suggérons de tester le changement climatique sur la performance du système. Les figures suivantes montrent une proposition de changement de l'éclairage et la température.

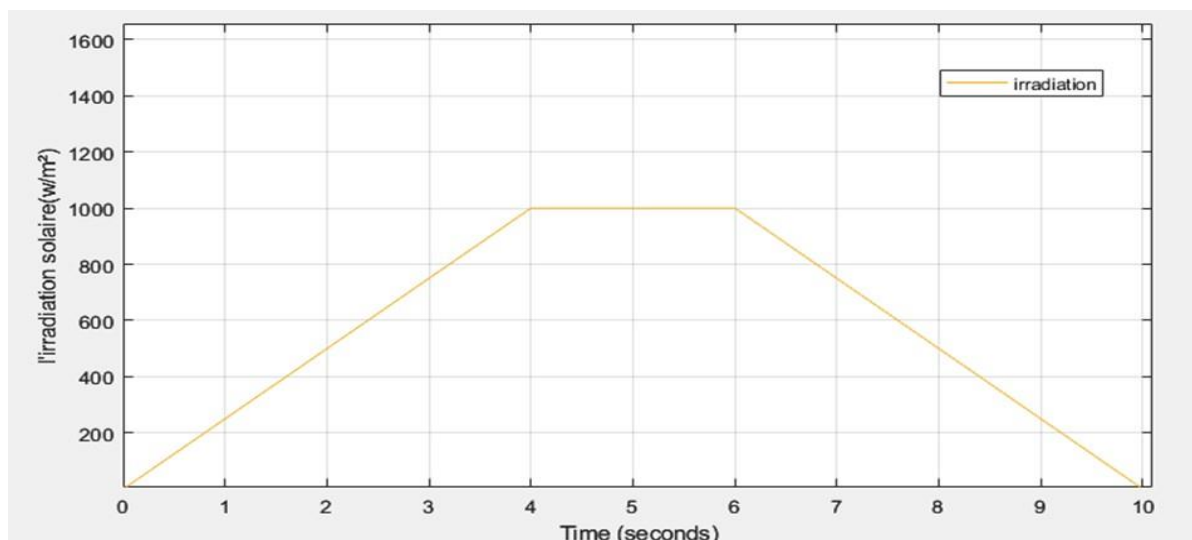
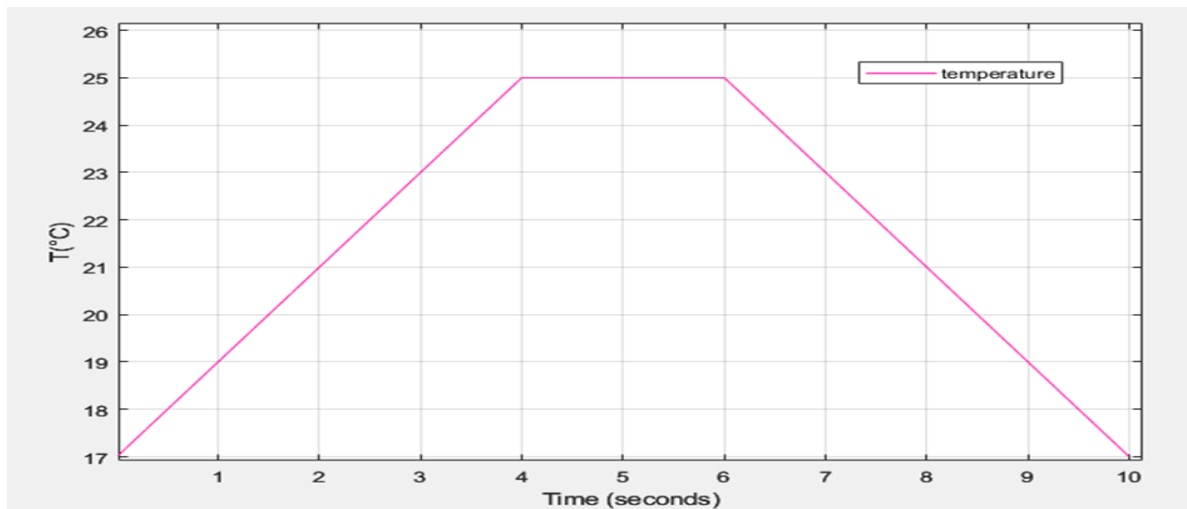


Fig.IV.2 : Trajectoire du changement d'éclairage sur le panneau photovoltaïque**Fig.IV.3 :** Changement de température sur le panneau photovoltaïque

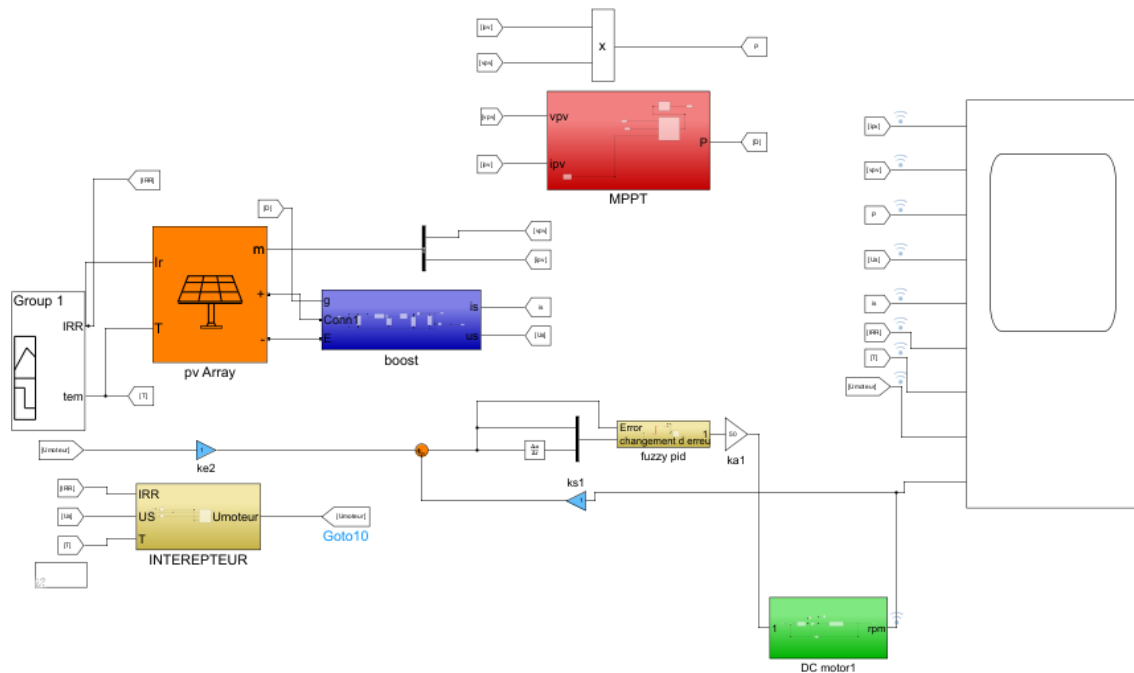


Fig.IV.4 : MATLAB / Simulink-schéma globale de la simulation

IV.2.1 L'INTERRUPTEUR PROGRAMMABLE :

Un interrupteur programmable est, comme son nom l'indique, un interrupteur qui va autoriser la mise en fonction d'appareils ou d'équipements automatiquement aux heures ou aux moments que vous choisissez grâce à une programmation. Dans cette partie du travail, nous allons utiliser l'interrupteur programmé pour contrôler l'alimentation du servomécanisme.

Lorsque la température et l'irradiation sont constant, cela signifie que la puissance de sortie de système PV-MPPT est en maximum power point, dans ce cas-là l'interrupteur doit passer à l'état ouvre pour arrêter le moteur dans cette position.

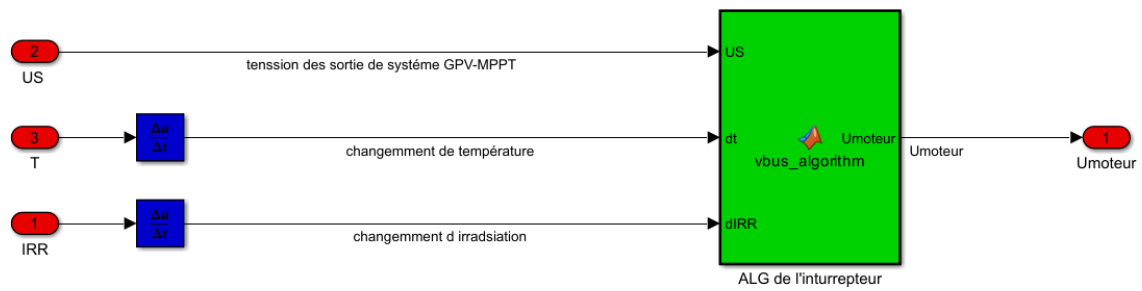
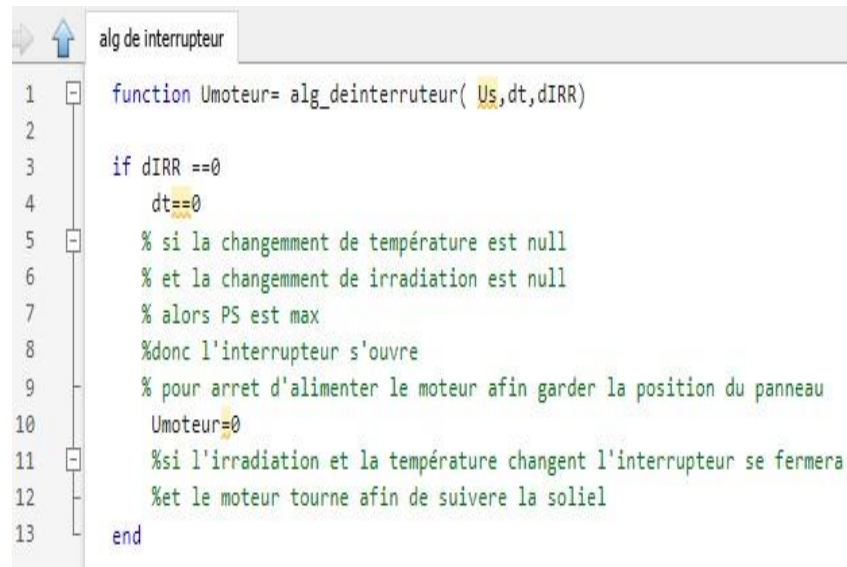


Fig.IV.5: MATLAB / Simulink-schéma du L'interrupteur programmé.



The image shows a MATLAB code editor window titled 'alg de interrupteur'. The code is as follows:

```
1 function Umoteur= alg_deinterruteur( Us,dt,dIRR)
2
3 if dIRR ==0
4     dt==0
5     % si la changement de température est null
6     % et la changement de irradiation est null
7     % alors PS est max
8     %donc l'interrupteur s'ouvre
9     % pour arret d'alimenter le moteur afin garder la position du panneau
10    Umoteur=0
11    %si l'irradiation et la température changent l'interrupteur se fermera
12    %et le moteur tourne afin de suivre la soliel
13 end
```

Fig.IV.6 : MATLAB / Simulink Le programme de l'interrupteur.

IV.3 Résultats de simulation globale : LA FIGURE SUIVANTE MONTRE LE CHANGEMENT DES GRANDEURS ELECTRIQUES ET MECANIQUE DU SYSTEME PV & SERVOMOTEUR

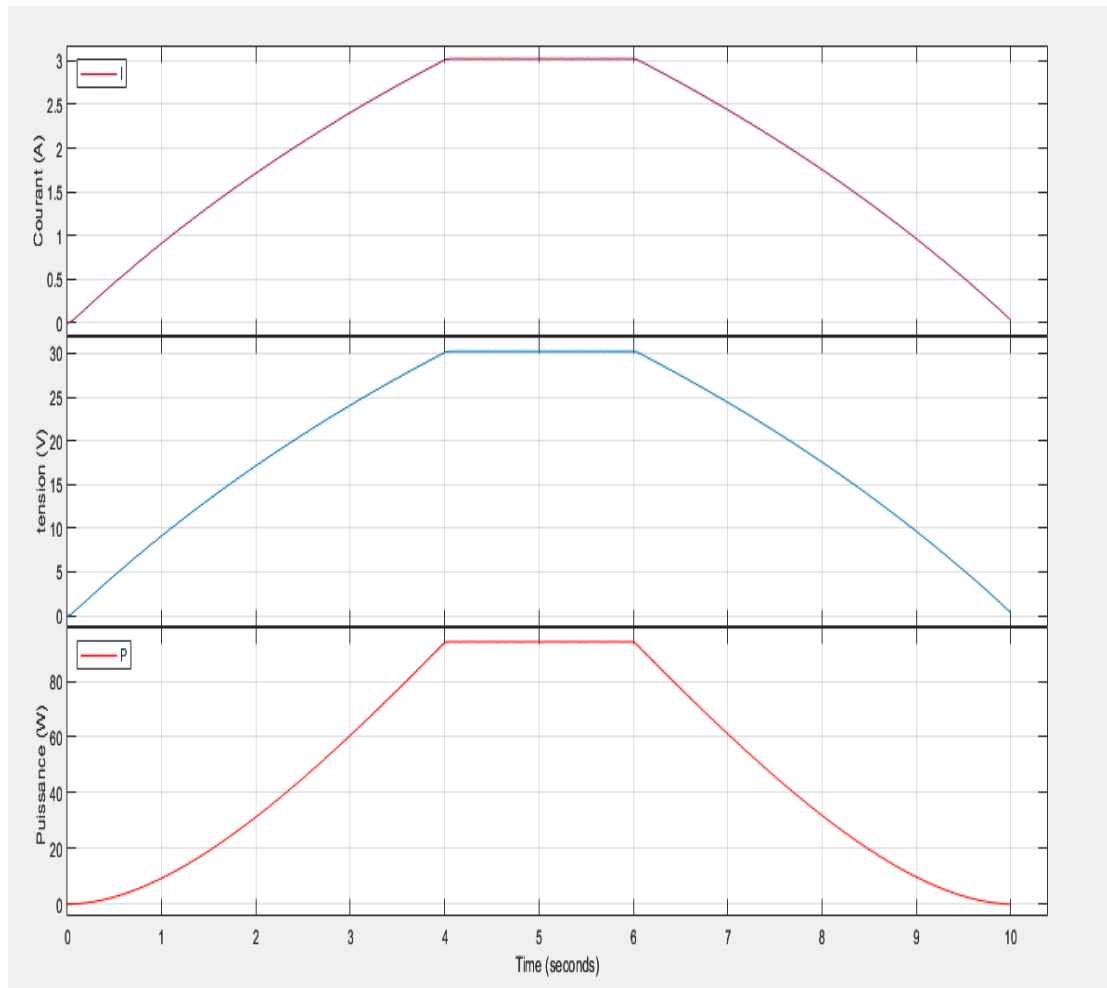


Fig.IV. 7 : Changement de tension, de courant et la puissance par l'effet du changement de la lumière et de la température

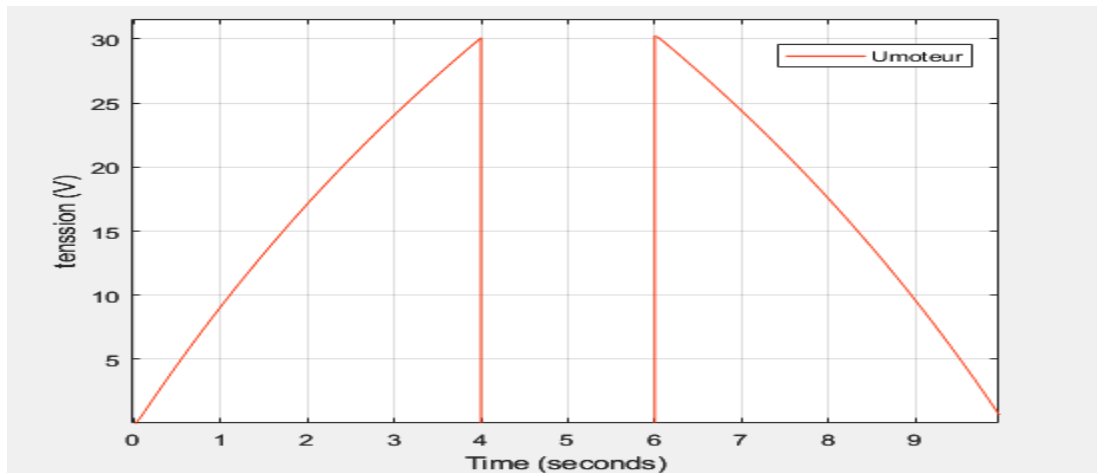


Fig.IV. 8 : La tension d'alimentation du moteur selon l'effet du changement de la lumière et de la température

Dans la figure suivante on va fixer la température et l'irradiation à l'instant 4s pour voir la réaction de vitesse du moteur. D'après cette figure on voit clairement que la vitesse du moteur tend vers 0 et le moteur s'arrêter dans le cas des conditions climatiques fixes.

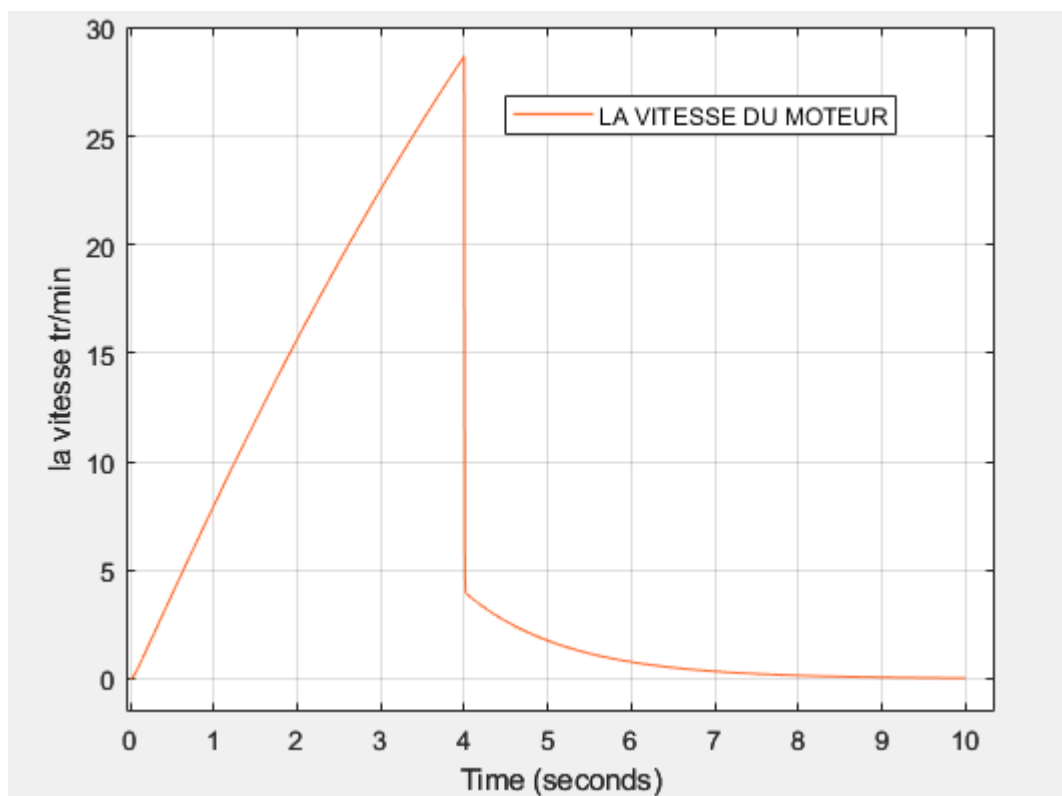


Fig. IV.9. La vitesse du moteur

IV.4 REALISATION D'UN SUIVEUR DE SOLEIL :

IV.4.1 Arduino :

Arduino est un circuit imprimé sur lequel se trouve un microprocesseur (calculateur) qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la charge de batteries, la domotique (le contrôle des appareils domestique (éclairage, chauffage...), le pilotage d'un robot, etc. C'est une plateforme basée sur une interface entrée/sortie simple et sur un environnement de développement utilisant la technique du Processing/Wiring. Arduino peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ces logiciels (ex: Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider). Les versions vendues actuellement sont pré-assemblées, des informations sont fournies pour ceux qui souhaitent assembler l'Arduino eux-mêmes.

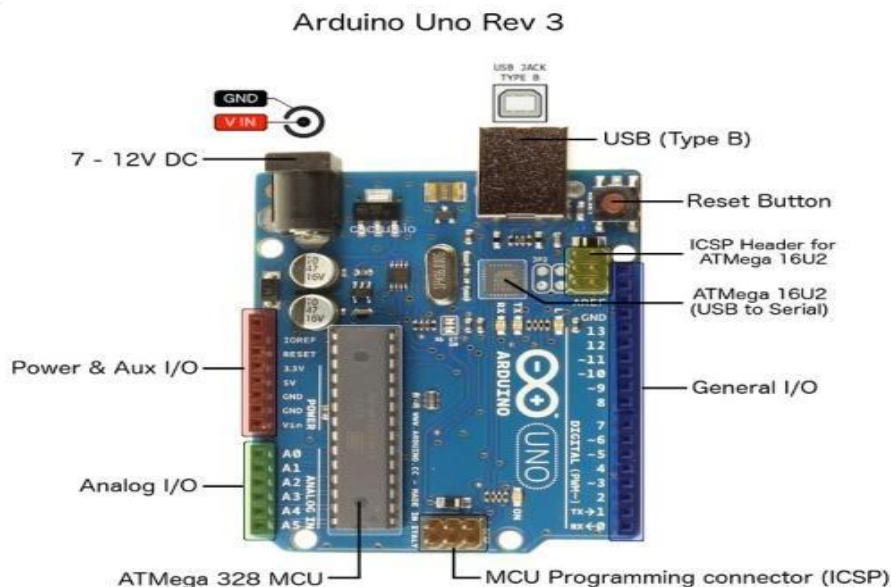


Fig. IV.10. Constitution de la carte Arduino UNO

IV.4.2 Logiciel de programmation :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java multiplateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware (et le programme) au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module)

Le langage de programmation est une variante du C/C++, allégée et restreinte à l'utilisation de la carte, de ses entrées/sorties et des bibliothèques associées. Toute personne habituée à ces langages peut facilement développer des programmes sur les plates-formes Arduino.

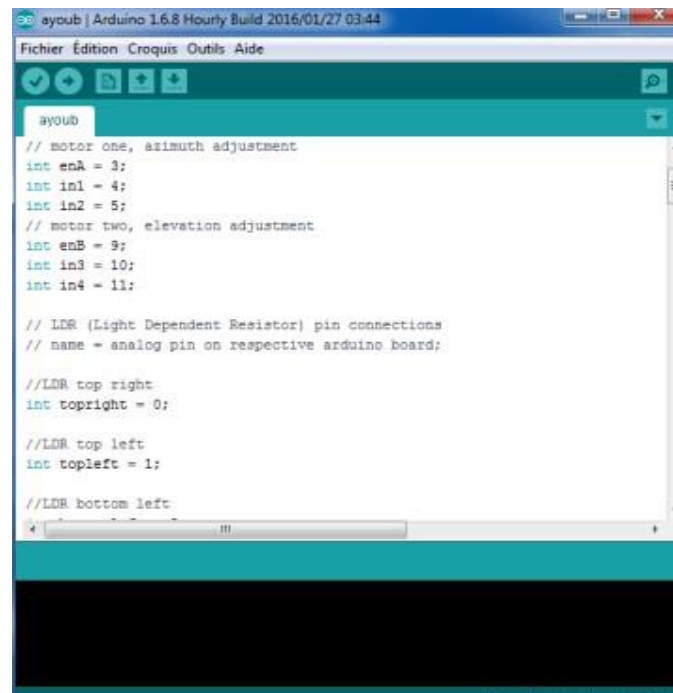


Fig. IV.11 : Interface du logiciel Arduino

IV.4.3 Servomoteur :

Les servomoteurs sont des moteurs un peu spécifiques, qui peuvent tourner avec une liberté d'environ 180° et garder de manière relativement précise l'angle de rotation que l'on souhaite obtenir. On utilise des servomoteurs couramment en modélisme pour contrôler des systèmes mécaniques (gouverne d'avion, accélérateur de moteur thermique, etc.). Les servomoteurs sont aussi couramment utilisés en robotique pour faire des minirobots, des actionneurs ou des indicateurs rotatifs.



Fig. IV.12 : Servomoteur chinois "9 grammes

IV.4.4 Capteur LDR

Une photo résistance LDR (Light Dépendent Résistor ou résistance dépendant de la lumière) est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle il est exposé. Les matériaux utilisés pour la construction sont généralement du Sulfure ou du Sélénium de Cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs. La principale utilisation de la photo résistance est la mesure de l'intensité lumineuse (Appareil photo, de comptage, système d'alarme ... etc). Elle est fortement concurrencée par la photodiode. Dans notre projet on a choisi d'utiliser la LDR grâce à son temps de réponse qui est beaucoup plus court.

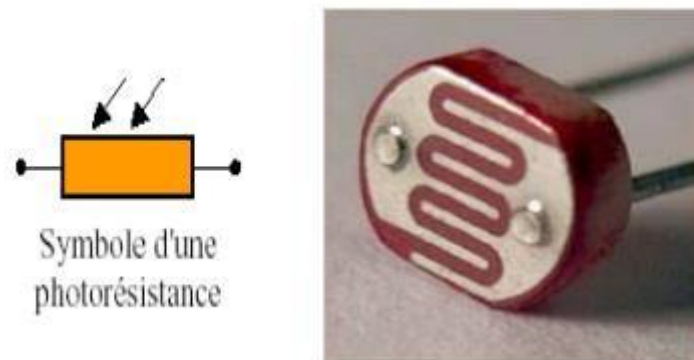


Fig. IV.13 : Symbole et Capteur LDR.

IV.4.5 Principe de fonctionnement

Un cristal à semi-conducteur à basse température contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente. De plus en plus d'électrons qui étaient immobiles dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction

A température ambiante si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons libres pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse. Pour convertir cette variation de la lumière en une tension on utilise le circuit diviseur de tension

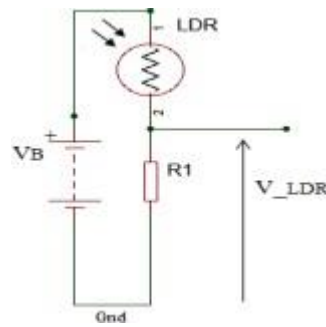


Fig. IV.14 : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé

IV.4.6 Câble USB

Le câble USB permet à la fois d'alimenter un projet Arduino, de programmer la carte (via Arduino IDE) mais aussi d'utiliser le Moniteur Série



Figure IV.15 : Câble USB type A/B (Arduino UNO).

IV.4.7 Carte de commande de suiveur solaire

Cette dernière étape est consacrée à l'implémentation matériels et test de la technique adoptée dans cette étude, c'est la partie électronique qui va assurer la commande de tout le système. Pour ce faire, il est indispensable d'identifier la technologie choisie ainsi que les blocs qui seront

utilisés. Notre choix s'est porté sur l'utilisation d'une carte Arduino UNO comme circuit intégré pour l'exécution du programme qui sera traduit en langage C, Une présentation de l'environnement logiciel est éventuellement décrite dans ce chapitre, expliquant la procédure

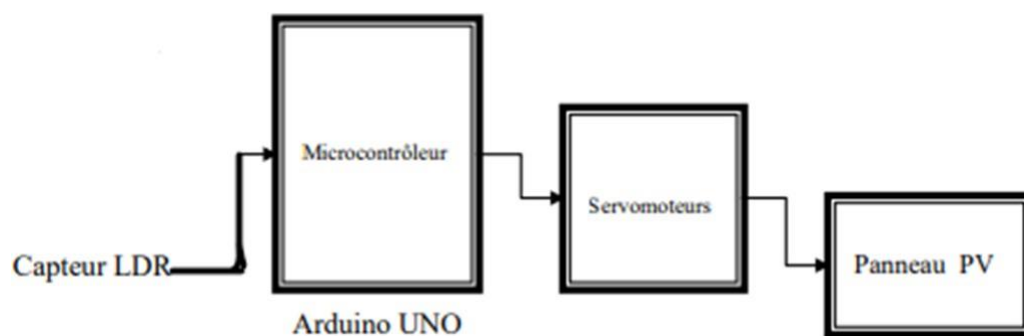


Fig. IV.16 : Carte de commande de suiveur solaire

IV.4.8 Câblage

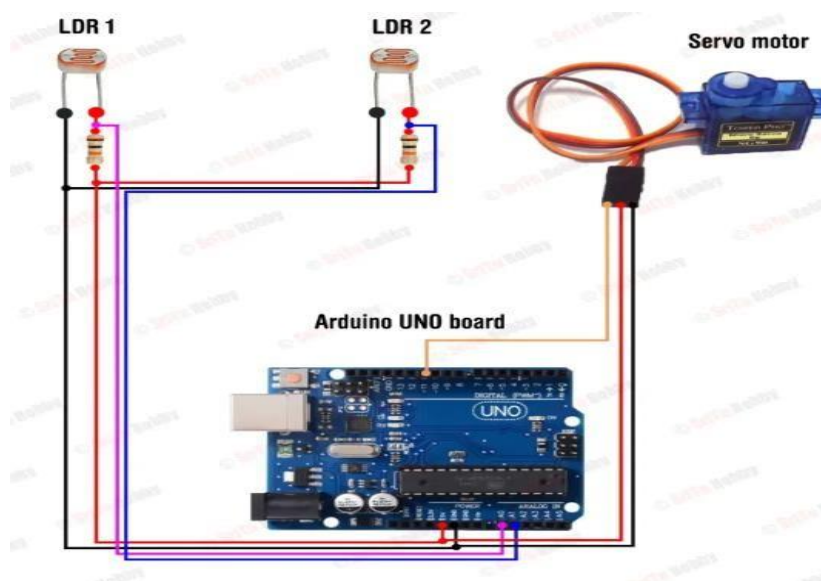
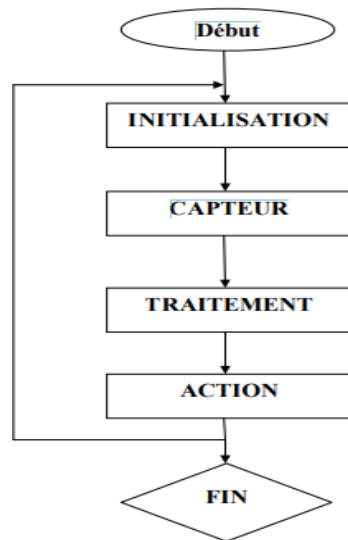
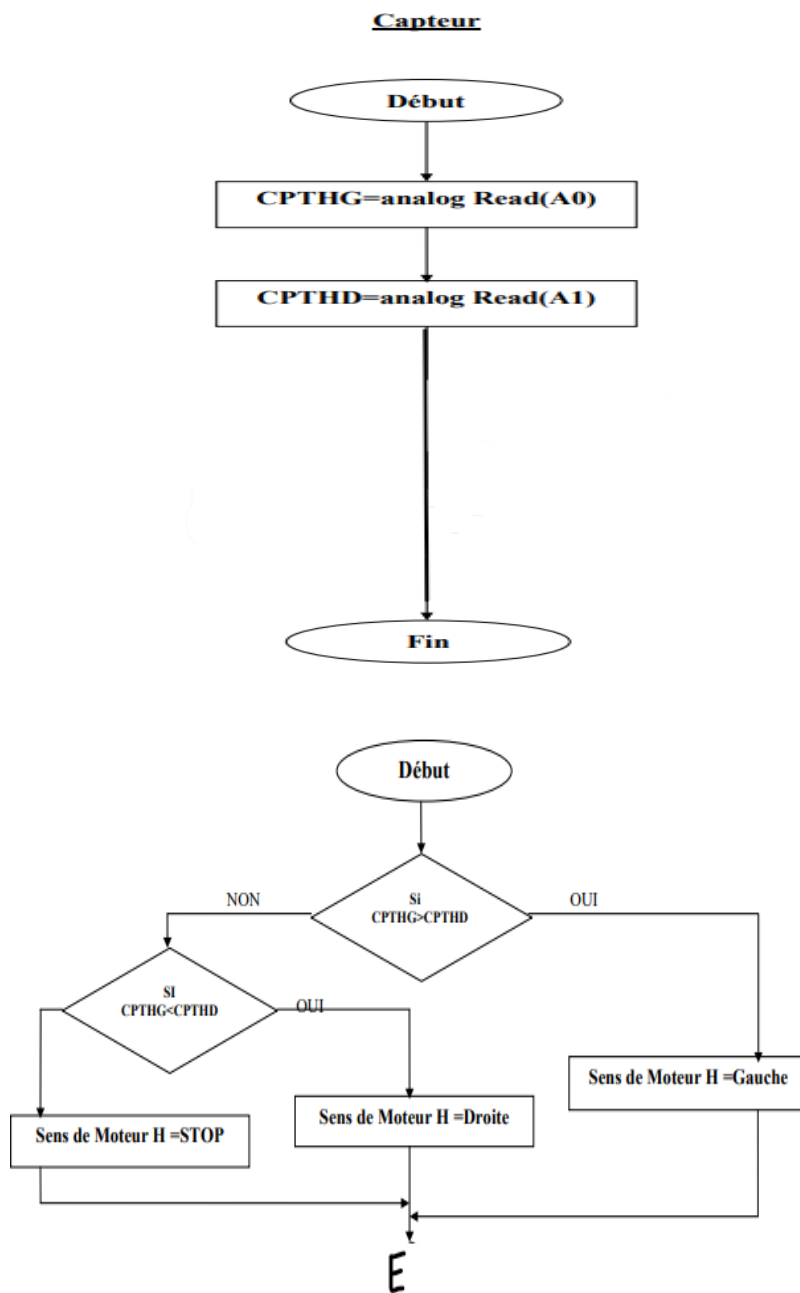


Fig. IV.17 : Le circuit de suiveur solaire

IV.4.9 L'organigramme



IV.6.6. Sous-programme



IV.5 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons fait la simulation du système PV-MPPT dans de nombreux cas possibles pour voir l'impact de changement d'irradiation et température sur le système

Ces systèmes offrent plusieurs avantages significatifs. Ils permettent d'optimiser la production d'énergie solaire, ce qui se traduit par une augmentation du rendement global du panneau photovoltaïque.

Un PV avec MPPT trouve le maximum de puissance possible. D'autre part la valeur maximale de puissance possible change en fonction de la stabilité de GPV et du mouvement du soleil.

Un système global comportant le PV avec MPPT trouve le maximum de puissance possible dans toutes les positions du soleil.

L'interrupteur joue un rôle très important dans la poursuite de position de puissance maximale car quand la température et la lumière sont constantes signifient que la puissance de sortie du système PV-MPPT trouve le point de puissance maximum. L'interrupteur s'ouvre et le moteur s'arrête à cette position.

Nous avons utilisé l'Arduino et nous avons parlé de ses fonctionnalités, et objets importants pour la notre réalisation de suiveur solaire.

V. CONCLUSION GENERALE :

L'asservissement d'un panneau photovoltaïque avec un régulateur intelligent représente une avancée technologique prometteuse dans le domaine de l'énergie renouvelable. Ce système permet d'optimiser la production d'énergie solaire, de gérer efficacement l'énergie produite et d'intégrer les panneaux solaires de manière plus intelligente dans les systèmes électriques. Il contribue ainsi à la transition vers un avenir plus durable et écologique en exploitant pleinement le potentiel de l'énergie solaire. Nous avons également fourni des informations sur la trajectoire de soleil, la structure et les différents types des panneaux solaires

Nous avons présenté la structure et l'installation horizontale/verticale du suiveur solaire.

Nous avons aussi discuté le schéma du système et les relations liées aux angles électriques et mécaniques pour l'automatisation du système.

Les résultats de la simulation révèlent que le MPPT basé sur la logique floue suit la puissance en continu avec moins de fluctuations et moins de dépassement que l'algorithme P&O MPPT avec un temps de suivi plus rapide.

Les résultats de la simulation montrent que le contrôleur PID et le contrôleur PID flou peuvent obtenir un bon comportement dynamique du moteur à courant continu.

Le PID flou présente un suivi de position parfait et rapide avec un dépassement court et un temps de réflexion très long, et aucune erreur en régime permanent, surpassant clairement les contrôleurs PID conventionnels. Dans la dernière partie du présent travail, une commande pratique d'un servomécanisme en utilisant la carte Arduino afin de réaliser un tracker solaire, a été déroulé de manière pratique, et nous avons réalisé une bonne commande

- **Les références :**

- Z.Guerdouch, A.Tebba, «*Asservissement d'un panneau solaire*», Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Électrotechnique, Université de Jijel, 2020.
- A.Dihaj, K.Zenguila, « Etude et réalisation d'un suiveur solaire photovoltaïque », Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master Physique Energétique, UNIVERSITE d'ADRAR, 2016.
- D.Amiri, M.Bouabdellah, «Modélisation et simulation d'un panneau solaire photovoltaïque », Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie électrique, Université de Saad Dahlab de Blida, 2020.
- F.Zaaboub, H.Laib, «Etude et simulation d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique et doté d'un FAP», Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2017.
- A.Sini Boukrout, M.Lamri, «Etude et conception d'un suiveur du soleil pour un générateur photovoltaïque», MÉMOIRE Pour l'obtention du Diplôme de MASTER ACADEMIQUE, Université A. M. OULHADJ – Bouira, 2017.
- http://www.jdotec.net/s3i/TD_Info/Routh/Routh.pdf
- R.Aili, A.Telait, «Modélisation et simulation sous MATLAB/SIMULINK d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT »
- https://www4.acnancy.metz.fr/cpgepmfepinal/Cours_TD_SII/Elec/cours_asservissement
- http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/TCircuits/GELE3132_Ch1.pdf
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Tracker_solaire
- <https://www.jade-technologie.com/composition-dun-panneau-solaire/>
- <https://tournesol.energy/le-fonctionnement-du-suiveur-solaire/>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement_\(automatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement_(automatique))
- : <https://www.geogebra.org/m/JtXavcTd>
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02902953/document>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l%27%C3%A9nergie_solaire
- [Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller \(arxiv.org\)](#)
- [\(PDF\) Comparaison de P&O et du contrôleur de logique floue dans MPPT pour Applications photovoltaïques \(PV\) à l'aide de MATLAB Simulink \(researchgate.net\)](#)

Résumé :

L'énergie solaire est une source importante d'énergies renouvelables. Afin de convertir les rayons solaires en énergie électrique, on doit utiliser des panneaux solaires pour absorber la lumière du soleil la convertir en énergie électrique.

Le but de ce travail est d'améliorer la production de l'énergie électrique par des panneaux solaires mobiles (suiveur solaire) afin de produire le maximum de puissance électrique. A cet effet, on propose d'étudier un système servomécanisme de position avec l'utilisation de régulateur intelligent

Les mots clés : panneau solaire photovoltaïque, MPPT, servomécanisme de position.

Abstract:

Solar energy is an important source of renewable energy. In order to convert sunlight into electrical energy, solar panels are used to absorb sunlight and convert it into electrical energy.

The aim of this work is to improve the production of electrical energy through mobile solar panels (solar tracker) in order to generate the maximum power output. For this purpose, we propose studying a position control servo-mechanism system with the use of intelligent regulation.

Keywords: photovoltaic solar panel, MPPT (Maximum Power Point Tracking), position control servo-mechanism

.Key words: photovoltaic solar panel, MPPT, position servomechanism.

ملخص

الطاقة الشمسية هي مصدر مهم للطاقة المتجددة. من أجل تحويل الأشعة الشمسية إلى طاقة كهربائية ، نستخدم الألواح الشمسية لامتصاص أشعة الشمس.

الغرض من هذا المشروع هو تحسين إنتاج الطاقة الكهربائية من الألواح الشمسية المتنقلة (الملاحقات الشمسية) باستخدام آلية موازنة الموقع والتحكم MPPT مقارنة بالنظام الثابت ، لتحقيق أقصى قدر من توليد الطاقة مع استخدام مصححات ذكية في عملنا ، قمنا بعمل آلية موازنة للموقع ومحاكاة نظام الألواح الشمسية المتنقلة (الملاحقات الشمسية). ونقوم بدراسة تباين الجهد والتيار وكمية الطاقة المولدة بواسطة الألواح الشمسية. والتي تعتمد على التغيرات في الطقس (الإضاءة ودرجة الحرارة).

الكلمات المفتاحية : الألواح الشمسية الكهربائية، آلية موازنة الموقع ،

.MPPT