الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية


MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique




**Mémoire de Fin d'Études**

**Présenté pour l'obtention du Diplôme de**

**Master en automatique**

Option : Automatique des systèmes

**THEME**

# Commande et poursuite de la puissance maximale d'un système photovoltaïque à base des techniques d'intelligences artificielles


**Préparé et présenté par :**

**Mr. MABREK Farouk**

**Mr. BERRABIA Lyes**

**Proposé et dirigé par :**

**Pr. Ahmed HAFAIFA**



**Promotion 2017/2018**

**Remerciements**

*Nous tenons à remercier en premier lieu notre encadreur Monsieur le* ***Professeur Ahmed HAFAIFA*** *d'avoir dirigé ce travail avec ses grandes qualités tant sur le plan humain que scientifique. Aussi, nous tenons à remercier tous les membres de jury pour avoir accepter de juger et examiner notre travail.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie électrique de l'Université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participés à notre formation.*

***Lyes berrabia et Mabrek farouk***

*Médéa Juin 2018*

**Dédicaces**

---

*Je dédie ce travail à :*

*A mon très cher père et à ma mère qui m'a éclairée mon chemin,*

*A mes frères et ma sœur,.*

*A mes amis.*

***Lyes berrabia***

*Médéa Juin 2018*

*A mon très cher père (que Dieu ait son âme ),*

*A ma mère qui m'a éclairée mon chemin,*

*A mes sœurs,*

*A mon amie abd el halim qui m'a beaucoup aidé et à ttous mes amis.*

***Mabrek farouk***

*Médéa Juin 2018*

**الملخص :**

قمنا بدراسة مساهمة تقنيات الذكاء الاصطناعي للتحكم الرقمي في الحد الاقصى للقدرة تتبع نقطة الطاقة العظمى في النظام الكهروضوئي ، سيتم إقتراح إستراتيجية تنظيمية للتحكم في حالة الشحن البطريات بالطاقة المنتجة من النظام كهروضوئي

هذا في سياق حماية النظام الكهروضوئي و ضمان شحن البطاريات عندما يكون المنظم تتبع نقطة الطاقة العظمى معيبا

**الكلمات المفتاحية:** الذكاء الاصطناعي ، تتبع نقاط الطاقة العظمى ، الخلايا الفولطاضوئية، البطاريات، تخزين الطاقة، الكفاءة، الطاقة الضوئية

**Résume :**

nous étudierons l'apport des techniques d'intelligence artificielle pour la commande numérique de la puissance maximale MPPT d'un système photovoltaique. Une stratégie de régulation sera proposée pour le contrôle de l'état de Charge des batteries avec l' energie de sortie de système photovoltaique examine. Cela, est dans le cadre de protéger le système photovoltaique et d'assurer la charge des batteries lorsque le régulateur MPPT est défectueux.

**Mots _clés :** intelligence artificielle, MPPT ,photovoltaique , batteries, stockage d'énergie, efficacité, energie photovoltaique

**Summary :**

we will study the contribution of artificial intelligence techniques for the numerical control of the maximum power MPPT of a photovoltaic system. A regulatory strategy will be proposed for monitoring the state of

Charge batteries with photovoltaic system output energy tests. This is in the context of protecting the photovoltaic system and ensuring the charging of the batteries when the MPPT regulator is defective.

Key words: artificial intelligence, MPPT, photovoltaics, batteries, energy storage, efficiency, photovoltaic energy

# Table des matières

Liste des figures.....IV
Liste des tableaux .....V
Liste des acronymes ..... VI
Liste des ACRONYMES .....VI
Introduction Générale .....01

## Chapitre I : introduction aux systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction .....4
I.2. Définition d'un système photovoltaïque.....4
I.2.1. Effet photovoltaïque.....4
I.3 Différents types de systèmes photovoltaïques.....5
I.4. Domaine d'application .....5
I.5. Avantages et Inconvénients de l'énergie PV .....6
I.5.1. Avantages de l'énergie PV .....6
I.5.2. Inconvénients de l'énergie PV .....7
I.6.2 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque .....7
I.6.3. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :.....8
I.6.4. Paramètres d'une cellule photovoltaïque .....9
I.6.4.1. Courant de court-circuit (Icc) .....9
I.6.4.2. Tension de circuit-ouvert (Vco).....10
I.6.4.3. Rendement énergitique .....10
I .6.4.4. Facteur de forme.....11
I.7 Type et rendement des cellules photovoltaïques .....11
I.8 générateur PV (GPV).....12
I.8.1. Caractéristique courant- tension .....13
I.8.2. Influence de l'éclairement et de la température : .....14
I.8.3. Influence de l'association série et parallèle des cellules PV.....16
I.8.4. Influence de l'association parallèle des cellules PV.....16

# Table des matières

I.9. Conclusion ..... 17

**Chapitre II : techniques d'intelligences artificielles pour la commande des systèmes**

II.1 Introduction ..... 19
II.2 Rappels des principes de la logique floue ..... 19
II.2.1 Ensembles flous ..... 20
II.2.2 Variables linguistiques ..... 21
II.2.3 Opérateurs sur les ensembles flous ..... 22
II.2.4 Fonctions d'appartenance ..... 22
II.3 Raisonnement en logique floue ..... 24
II.3.1Implication floue ..... 24
II.4 Réglage et commande de la logique floue ..... 25
II.5 Modèles flous ..... 25
II.5.1. Description du modèle de Takagi-Sugeno-Kang (TSK) ..... 26
II.5.2. Classification des phonèmes par inférences floues ..... 26
II.5.2.1. Identification des paramètres utilisés ..... 27
II.5.2.2. Mise en ouvre d'un SIF pour la classification des phonèmes de type voyelle : ..... 27
II.5.2.2.1. Base d'apprentissage ..... 28
II.5.2.2.2. Moteur d'inférence ..... 28
II.5.2.2.3. Fuzzification ..... 28
II.5.2.2.4. Défuzzification ..... 28
II.5.3 Base de règles floues (Règles d'inférence ) ..... 30
II.6 Prise de décision (inférence floue) ..... 30
II.7. Conclusion ..... 30

**Chapitre III : commande a base de logique floue pour de la puissance maximale d'un système photovoltaïque**

III.1. Introduction ..... 32

# Table des matières

III.2 Contrôleur MPPT flou ..... 32
III.2.1 La Fuzzification ..... 33
III.2.2 Méthode d'inférence floue ..... 35
III.2.3 La défuzzification ..... 36
III.3. Méthode MPPT de P&O (Perturbation et Observation) ..... 37
III.3.1 Structure de la commande « perturbation et observation ..... 37
III.4. Conclusion ..... 38

**Chapitre IV : Résultats et Applications**

IV.1 Introduction ..... 40
IV.2 L'outil Matlab/Simulink ..... 40
IV.2.1.Simpower ..... 40
IV.3 Système photovoltaïque proposée ..... 40
IV.4. Modèle du module photovoltaïque : ..... 41
IV.5. Système globale ..... 42
IV.6. Simulation du générateur PV ..... 42
IV.6.1. Simulation de la méthode MPPT P&O ..... 42
IV.6.1.1 Résultats de simulation de la commande MPPT P&O: ..... 44
IV.6.2 Simulation de la méthode MPPT floue ..... 48
IV.6.2.1 Résultats de simulation de la commande MPPT floue : ..... 49
IV.7.Conclusion ..... 52
Conclusion Générale ..... 53

# Liste des figures/tableaux

## Liste des figures

Figure I.1: Effet photovoltaïque ..... 5
Figure I.2 : Représentation schématique d'une cellule solaire ..... 8
Figure I.3 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV ..... 9
Figure I.4 : Rassemblement de la cellule PV ..... 13
Figure I.5: Caractéristique I =f (V) d'un module photovoltaïque ..... 14
Figure I. 6 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I=f(V) ..... 14
Figure I. 7 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique P=f(V) ..... 15
Figure I.8 : Influence de la température sur la caractéristique I=f(V) ..... 15
Figure I.9 Influence de la température sur la caractéristique P=f(V) ..... 16
Figure I.10: Caractéristique résultante d'un groupement en série de Ns cellules identiques ..... 17
Figure I.10: Caractéristique résultante d'un groupement en série de Ns cellules identiques ..... 17
Figure II.1: Exemple d'une variable linguistique 'Température' avec trois termes linguistiques ..... 20
Figure II.2.A: Exemple de fonction d'appartenance: Logique classique ..... 21
Figure II.2.B: Exemple de fonction d'appartenance: Logique Floue ..... 21
Figure II.3: Représentation graphique des termes linguistiques ..... 22
Figure II.4 Formes usuelles des fonctions d'appartenances ..... 24
Figure II. 4. Structure d'un SIF pour la classification des phonèmes ..... 27
Figure III.1 Le principe de la commande a Logique Floue ..... 32
Figure III.2 : Régulateur flou adapté ..... 33
Figure III.3 : Fonctions d'appartenance des variables d'entrées : (a) E et (b) dE. ..... 34
Figure III.4. Fonctions d'appartenance de la variable de sortie D ..... 34
Figure III.5 : Base des règles sous Matlab ..... 36
Figure III.6 : Résultat numérique fourni par le bloc d'inférence pou e = 0.349 et de=0.3 et D = 0.591 ..... 37

# Liste des figures/tableaux

Figure VI.1 schéma synoptique d'un système photovoltaïque contrôle par MPPT.....41
Figure IV.2. Système globale.....42
Figure IV.3 : simulation du module de PV.....42
Figure IV.4 : Bloc de Simulink pour MPPT. .....43
Figure IV.5 : Simulation de commande p&o.....43
Figure IV.6 : courant Ipv(A) et Ich(A).....44
Figure IV.7 : tension de Vpv et Vch.....44
Figure IV.8 : puissance Ppv(W) et Pch(W).....45
Figure IV.9 : rapport de cyclique D.....45
Figure IV.10 signale d'entrée l'irradiation.....46
Figure IV .11 signale d'entrée de la température (T).....46
Figure IV.12 : courant de Ipv (A) et Ich (A).....47
Figure IV.13: tension de Vpv (A) et Vch (A).....47
Figure IV.14 : puissance MPPT (P&O) GPV et la charge.....47
Figure IV.15 : rapport de cyclique de MPPT (P&O).....48
Figure IV.16 : Bloc de Simulink pour MPPT. .....48
Figure IV.17 Modèle de sous-système de Simulink MPPT flou. .....49
Figure IV.18 Courant de sortie I(t) du GPV et charge.....49
Figure IV.19 Tension de sortie V(t) du GPVet la charge.....50
Figure IV.21 Puissance de sortie P(t) de GPVet la Charge .....50
Figure IV.22: courant de MPPT floue GPV et la charge .....51
Figure IV.23 : tension de MPPT floue GPV et la charge .....51
Figure IV.24 : puissance de MPPT floue GPV et la charge.....51
Figure IV.25: rapport de cyclique de MPPT floue .....52

Liste des tableaux

Tableau I .1 : Différents types des cellules avec leur rendement .....12
Tableau IV.1 Caractéristiques du module PV YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b).....41

# Liste des ACRONYMES/Nomenclature

## Nomenclature

**Iph** : Le photo courant (A).

**Isat**: Courant de saturation (A).

**Rp** : Résistances parallèle shunt(Ω) .

**$R_s$** : Résistance série (Ω).

**S** : la surface du module photovoltaïque(m2)

**D** : le rapport de cyclique .

**Tc** : Température de jonction (°K).

**G** : L'éclairement de référence (1000 W/m²).

**Tref** : La température de référence (298 °K).

**Icc** : Le courant de court-circuit (A).

**Vco** : La tension de circuit ouvert (V).

**FF** : Facteur de forme.

**Ns** : Nombre de modules dans le panneau en série.

**Np** : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.

**Pmax** : La puissance maximale produite PV (W).

**Vmax** : Tension qui correspond à la puissance maximale (V).

**Imax**: Courant qui correspond à la puissance maximale (A).

**Vopt** : Tension optimale (V).

**Iopt** : Courant optimum (A).

**k :** coefficient de Boltzmann (1.38.10-23 J / K)

**PV**: Photovoltaïque.

## Liste des ACRONYMES

**GPV**: Générateur Photovoltaïque.

**FF**: Facteur de forme.

**MPPT**: Maximum Power Point Tracking.

**P&O :** Perturbation et Observation.

**LFC** : logique floue.

**RLF :** réglage par logique floue

**SIF :** systèmes d'inférence floue

**TSK :** Takagi-Sugeno-Kang

**CST :** conditions standards de test

# Introduction générale

Récemment, la croissance du besoin en énergie, ainsi que la pollution provenant de l'utilisation des énergies fossiles poussent le grand public à utiliser les énergies renouvelables. Dans ce contexte, l'énergie solaire photovoltaïque est l'une des plus importantes sources d'énergie renouvelable, qui présente un dénouement à nos problèmes de production d'énergie. De plus, cette énergie semble la plus prometteuse, non polluante et inépuisable. Néanmoins, la production de cette énergie est non linéaire et elle varie en fonction de l'intensité lumineuse et de la température.

Par conséquent, le point de fonctionnement du panneau photovoltaïque, PV ne coïncide pas toujours avec le point de puissance maximale. On utilise alors un mécanisme qui permet la recherche et la poursuite du point de puissance maximale, appelé 'maximal power point tracking', (MPPT afin que la puissance maximale soit générée en permanence [1-5]. Plusieurs travaux ont porté sur les systèmes photovoltaïques, ils ont essayé de développer des algorithmes permettant d'extraire le maximum d'énergie convertie par le panneau et alors qui permet un fonctionnement optimal du système photovoltaïque [6-9]. On trouve dans la littérature des algorithmes basés sur les méthodes suivantes, telles que: Perturbation & Observation 'P&O'…etc, où par intelligence artificielle comme la logique floue et d'autre techniques [10].

Dans ce mémoire, on analyse la modélisation et la simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque adapté par une commande numérique (commande MPPT), assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque. L'objectif de ce travail est commande et poursuit de la puissance maximale d'un système photovoltaïque a basée de logique floue et améliorer sa tension de sortie afin d'obtenir une bonne source qu'on peu utiliser comme un générateur d'électricité.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit:

✓ Le premier chapitre est réservé pour fait une généralité sur les générateurs photovoltaïques, est présente le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. En suite on fait un rappel sur les générateurs PV et leurs performances.

✓ Dans le deuxième chapitre, on étudie quelques types de l'intelligence artificielle, ( Logique floue), signifie que nous avons étudié les commandes MPPT basées sur le principe de l'intelligence artificielle (contrôleur logique floue).

✓ Dans le troisième chapitre présente la méthode utilisée pour la commande MPPT (logique floue et Perturbation & Observation 'P&O')

✓ Dans le quatrième chapitre, on fait une simulation par MATLAB SIMULINK de chaque élément du système PV réalisé (générateur photovoltaïque (YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b)),et commande MPPT (Perturbation & Observation 'P&O', Logique floue). étude les résultats de simulation pour les deux techniques de MPPT et on a fait une comparaison.

✓ Finalement, on termine ce travail par une conclusion générale sur l'ensembles des résultats obtenus.

# Chapitre I

# Introduction aux systèmes photovoltaiques

## I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque [1].

Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lors qu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [2].

## I.2. Définition d'un système photovoltaïque

Le nom Photovoltaïque vient du Grec est composé de deux parties:

- Photos : Lumière.
- Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta.

Ce phénomène fut découvert au 19ème siècle par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications [1, 3, 7].

### I.2.1. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "Semi-conducteurs" (le plus connu est le silicium utilisé pour les composants électroniques). Cet effet voltaïque a été constaté lorsque les photons heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière.

Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique recueilli par des fils métalliques très fins. Il suffit d'assembler des courants provenant de d'autres dispositifs similaires afin d'atteindre la puissance désirée pour des utilisations quelconques [6].

Plus précisément, comme le montre la **Figure I.1** et comme cela est expliqué, l'effet photovoltaïque est propre à la cellule (unité fondamentale de conversion). Dans le cas des panneaux photovoltaïque, les cellules sont réalisées a partir de deux couches de silicium, une dopée P (en général dopée au bore) et l'autre dopée N (en général dopée au phosphore).

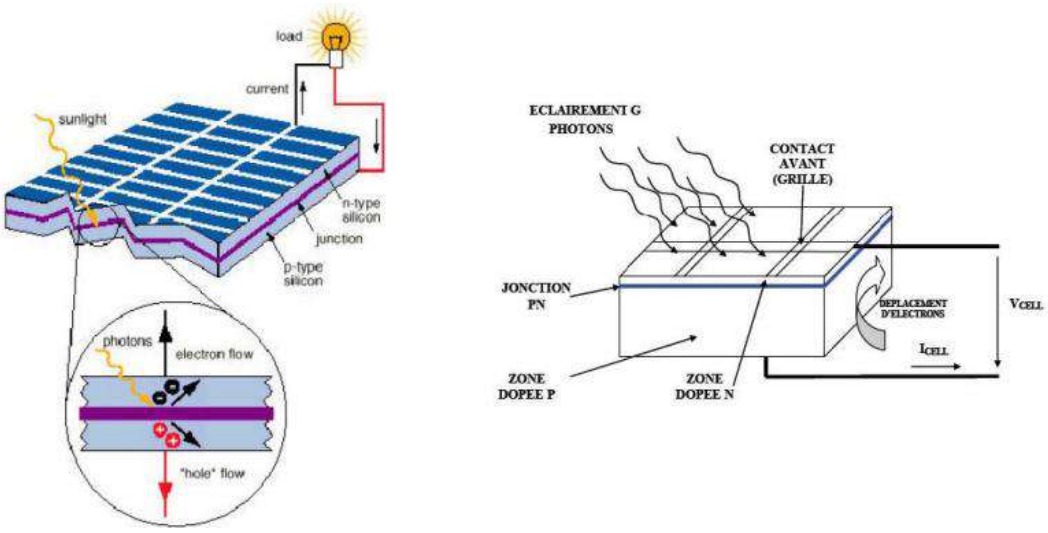



**Figure I.1: Effet photovoltaïque**

## I.3 Différents types de systèmes photovoltaïques

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux premiers

sont indépendants du système de distribution d'électricité, en les retrouvant souvent dans les régions éloignées.

## I.4. Domaine d'application

❖ **Domaine spatial :**

C'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires

pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante.

❖ **Télécommunications :**

Téléphonie rurale, radiotéléphonie,...

❖ **Sites isolés :**

Parcs nationaux, service des eaux et forêts, régions isolées, pays en voie de développement.

Pompage de l'eau, irrigation, domiciles, villages.

❖ **Acquisition de données** :

L'énergie photovoltaïque joue un rôle très important pour les stations isolées d'acquisition de données, vu la haute fiabilité de fonctionnement, l'autonomie, la moindre sensibilité à la foudre, la résistance extrême aux conditions naturelles, la maintenance légère et la longévité des équipements (25 ans).

❖ **Domaine du transport :**

Lampadaires, panneaux à messages variables, éclairage de panneaux, signalisation lumineuse routière et ferroviaire.

## I.5. Avantages et Inconvénients de l'énergie PV

### I.5.1. Avantages de l'énergie PV

- L'énergie PV est renouvelable et fiable car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles,
- Le caractère modulaire des panneaux PV permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt aux centaines de mégawatts,
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni comb²ustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé,
- La technologie PV présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant et n'entraîne aucune perturbation du milieu,

- Longue durée de vie des panneaux solaires et pas de risques électriques pour les usagers.

### I.5.2. Inconvénients de l'énergie PV

- La fabrication du module PV relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs PV ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Occupation d'un espace important pour les installations de grandes dimensions.

## I.6. Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant : les "grains" de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant.

Les cellules produisent de l'électricité chaque jour même si le ciel est nuageux : dans ce cas, le rendement est simplement moins élevé. Les cellules sont assemblées sous forme de panneaux photovoltaïques, panneaux qui sont encastrés sur ou dans la toiture des habitations.

La fabrication complexe demande une excellente maîtrise technique pour assurer dans la durée le meilleur rendement. L'assemblage de ces cellules solaires reliées les unes aux autres forme un module solaire (panneau solaire ou panneau photovoltaïque) [5].

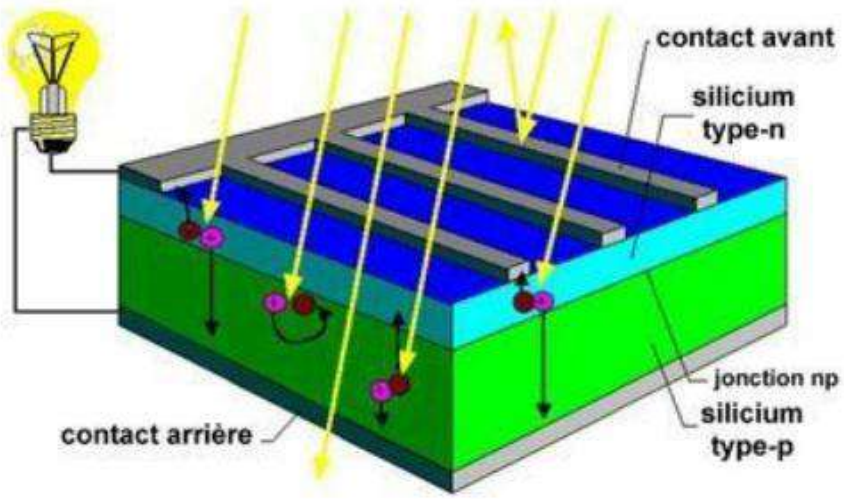



**Figure I.2 : Représentation schématique d'une cellule solaire [4]**

Une cellule photovoltaïque donc est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants : [5]

- Absorption des photons.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant : d'où l'intérêt des semi conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

### I.6.1. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

La Figure I.3 présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairement. Il correspond à un générateur de courant Iph monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma. Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique I =f (V) de la cellule [1]:

- La résistance série( $R_s$ ) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles;
- La résistance shunt ( $R_{shu}$ ) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

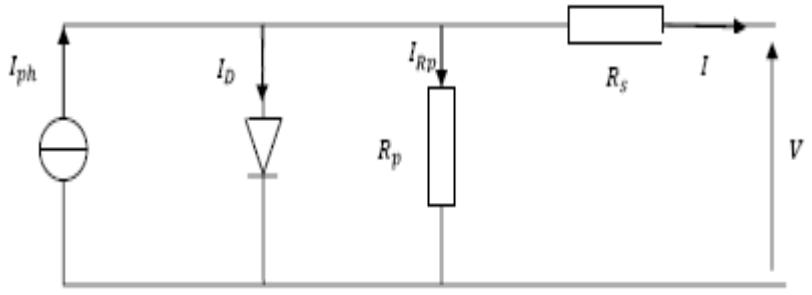



**Figure I.3 : Schéma équivalent électrique de la cellule PV [7]**

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par [1,3]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat}\left[\exp\left(\frac{e(v_{pv} + (I_{pv} * R_{ser}))}{nkT}\right) - 1\right] - \frac{v_{pv} + (I_{pv} * R_{ser})}{R_{shu}} \quad \text{(I.1)}$$

D'où : $I_{sat}$ : est le courant de saturation, **K** : est la constante de Boltzmann (1.381 $10^{-23}$ J/K) , **T** : est la température effective des cellules en Kelvin(K), **e** : est la charge de l'électron (e=1,6 $10^{-19}$ C), **n** :est le facteur d'idéalité de la jonction (1< n<3), $I_{pv}$ : est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, $v_{pv}$ : est la tension aux bornes de cette même cellule, $I_{ph}$ **:** est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court circuit), $R_{shu}$ **:** est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, $R_{ser}$ **:** est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions.

### I.6.2. Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de l'équation caractéristique. Les plus usuels sont les suivantes:

#### I.6.2.1. Courant de court-circuit (Icc)

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle, dans le cas idéal ( $R_{ser}$ nulle et $R_{shu}$ infinie), ce courant se confond avec le photo courant $I_{ph}$ dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation **(I.1),** on obtient:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat}\left[\exp\left(\frac{e\left(I_{cc} * \mathrm{R}_{ser}\right)}{nkT}\right) - 1\right] - \frac{\left(I_{cc} * R_{ser}\right)}{R_{shu}} \tag{I.2}$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme $I_{sat}\left[\exp\left(\frac{e\left(I_{pv} * R_{ser}\right)}{nkT}\right) - 1\right]$ devant $I_{ph}$ . L'expression approchée du courant de court-circuit est alors:

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{\left(1 + \frac{R_{ser}}{R_{shu}}\right)} \tag{I.3}$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$ ) **.**

### I.6.2.2. Tension de circuit-ouvert (Vco)

C'est la tension $v_{co}$ pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque):

$$0 = I_{cc} - I_{sat}\left[\exp\left(\frac{ev_{pv}}{nkT}\right) - 1\right] - \frac{v_{pv}}{R_{shu}} \tag{I.4}$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieur à :

$$v_{co} = v_T \ln\left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1\right] \tag{I.5}$$

### I.6.2.3. Rendement énergitique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellul $p_{\max}\left(I_{opt}, v_{opt}\right)$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{p_{\max}}{p_{inc}} = \frac{I_{opt} v_{opt}}{p_{inc}} \tag{I.6}$$

Avec $p_{inc}$ est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale des photopiles. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique .

### I .6.2.4. Facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule $p_{\max}\left(I_{opt}, v_{opt}\right)$ et le produit du courant de court-circuit $I_{cc}$ par la tension de circuit-ouvert $v_{co}$ (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule ; plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites $R_{ser} et R_{shu}$ . il est défini par :

$$FF = \frac{p_{\max}}{I_{cc} v_{co}} = \frac{I_{opt} . \mathrm{v}_{opt}}{I_{cc} v_{co}} \qquad \text{(I.7)}$$

### I.7 Type et rendement des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [7].

- **Cellules monocristallines :**

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le cout le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.

- **Cellules poly cristallines :**

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication st moins important, cependant leur rendement est plus faible.

- **Cellules amorphes :**

Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

- **Rendement d'une cellule :**

Le tableau suivant (I.2) présente les différents types de cellules avec leur rendement.

**Tableau I .1** : Différents types des cellules avec leur rendement. [8]

| **Technologie de cellules** | **Rendement en laboratoire** | **Rendement production** |
|---|---|---|
| **Silicium amorphe (a-Si)** | **13 %** | **5 à 9 %** |
| **Silicium poly cristallin (p- Si)** | **19 ,8 %** | **11 à 15 %** |
| **Silicium monocristallin (m-Si)** | **24,7 %** | **13 à 17 %** |

L'expression du rendement est donnée comme suite

$$\eta_{stc} = \frac{P_M}{E_{stc} * \mathrm{S}_{cellule}} \tag{I.8}$$

$\eta_{stc}$ est le rendement de la cellule photovoltaïque, $P_M$ Puissance produite par le générateur PV ; $E_{stc}$ : Eclairement absorbé par la cellule ; $\mathrm{S}_{cellule}$ : Surface de la cellule [m²]

## I.8 générateur PV (GPV)

La cellule PV est l'unité de base d'un panneau solaire, mais elle est destinée à produire une petite puissance de quelques watts. Le besoin de grandes puissances provoque la nécessité du rassemblement de cellules identiques pour former un module ou un panneau solaire, afin d'accroitre la puissance générée.

La **Figure I.4** présente un rassemblement typique de cellule PV. La mise en série de plusieurs cellules solaires permet d'augmenter facilement la tension, tandis que la mises-en Parallèle conduit à une sommation des courants en conservant la tension. Donc une combinaison série-parallèle est utilisée pour obtenir un PS aux caractéristiques désirées c'est-à-dire à une tension et un courant désirés.

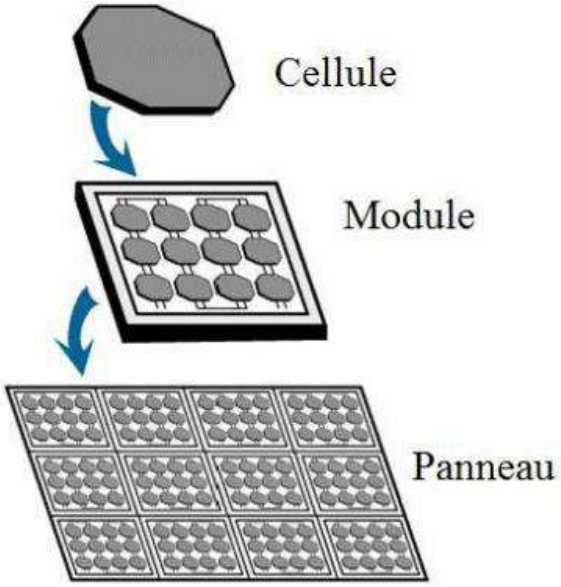



**Figure I.4 : Rassemblement de la cellule PV [5]**

La plupart des modules solaires PV destinés à un usage sont composés de 36 cellules rassemblées en série. Ces modules sont décomposés en sous-réseaux qui correspondent à un Compromis économique entre protection et perte d'une partie importante du PS en cas de défaut Partiel d'ombrage.

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules PV en série et / ou en Parallèle pour obtenir une puissance, un et un Vco désirés.

### I.8.1. Caractéristique courant- tension

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant tension. Le panneau photovoltaïque est donc à considérer comme une source de puissance. On s'aperçoit alors de l'existence d'un point Pm où la puissance se trouve être maximale. Il est sans aucun doute intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée. Certains régulateurs solaires réalisent donc une adaptation d'impédance pour qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracking (MPPT)) [9].

La caractéristique réelle et le schéma équivalent de la cellule sont représentés sur la **Figure I.3.** Les valeurs respectives des divers éléments du schéma équivalent déterminent les performances de la cellule réelle.

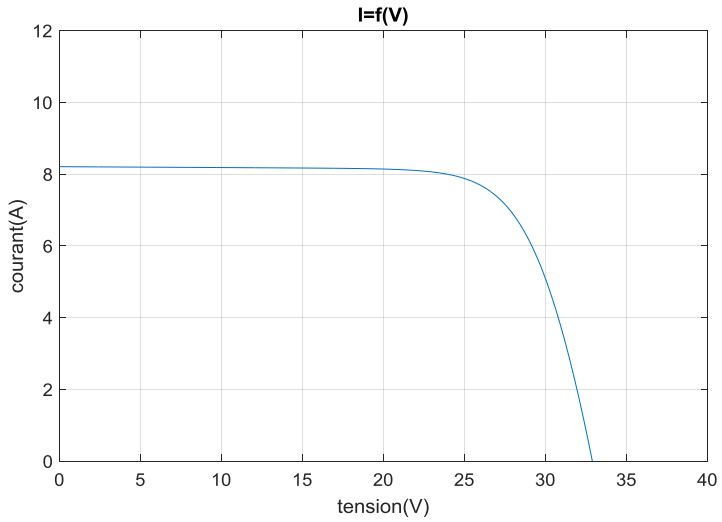



**Figure I.5: Caractéristique I =f (V) d'un module photovoltaïque**

**La caractéristique se divise en trois parties :**

La zone (a) où la cellule se comporte comme un générateur de courant Icc proportionnel à l'éclairement. La zone (b) où la cellule se comporte comme un générateur de tension Vco, et la zone (c) où l'impédance interne du générateur varie rapidement.

### I.8.2. Influence de l'éclairement et de la température :

La **Figure I.6** présente les caractéristiques d'une cellule solaire type, pour plusieurs intensités de rayonnement solaire. On remarque que le courant électrique, est directement proportionnel au rayonnement à ces niveaux d'éclairement. Par contre la tension est dégradée légèrement par rapport au courant, lorsque l'intensité de la lumière baisse.

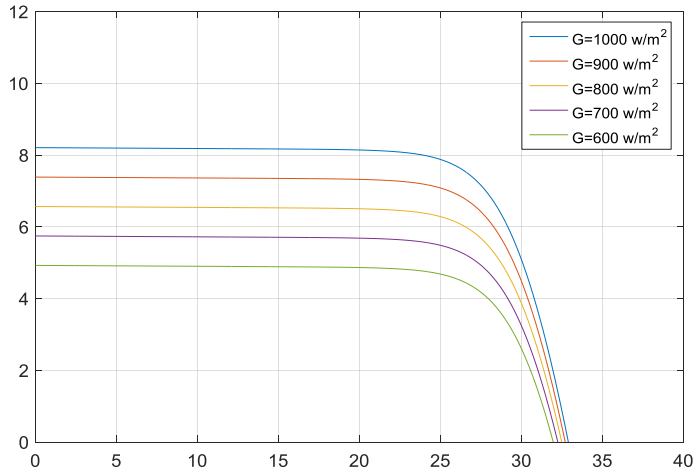



**Figure I. 6 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique I=f(V)**

La **Figure I.7** illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique P(V) [8].

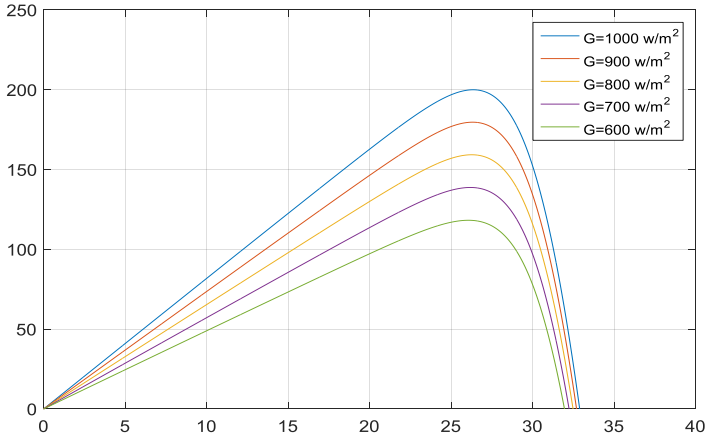



**Figure I. 7 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique P=f(V)**

L'influence de la température est très significative, ce qui nous conduit à une considération soigneuse, lors de la mise en marche des systèmes photovoltaïques. Sur la **Figure I.8**, on illustre l'effet de la température sur le comportement des photopiles. Elle montre une diminution considérable de la tension électrique délivrée avec l'augmentation de la température. Tandis que, le courant gagne quant à lui de l'intensité. Ceci peut être expliqué par la baisse du gap, ce qui provoque l'accroissement de la concentration des porteurs de charge, puisque la transition entre les niveaux devienne plus probable

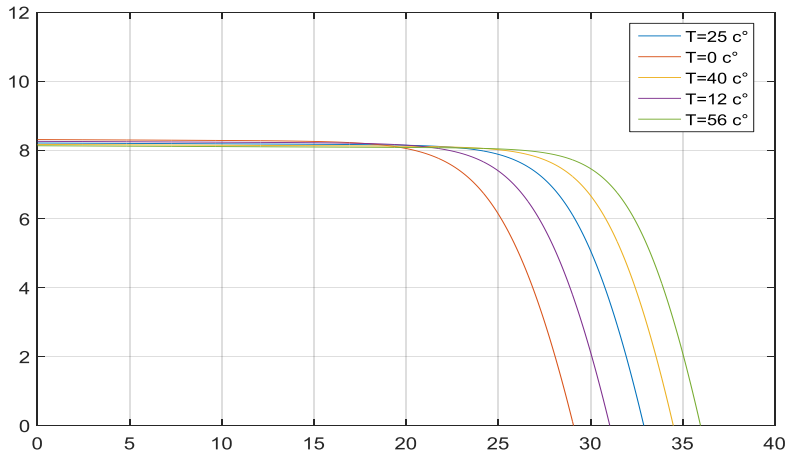



**Figure I.8 : Influence de la température sur la caractéristique I=f(V)**

**La Figure I.9** illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique P=fct(V) [8] .

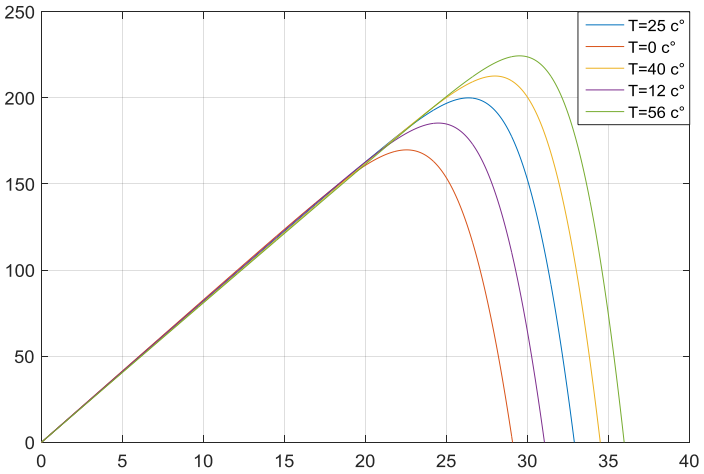



**Figure I.9 Influence de la température sur la caractéristique P=f(V)**

### I.8.3. Influence de l'association série et parallèle des cellules PV

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. [9]

La **Figure I.10** montre la caractéristique résultante (Iscc,Vsco) obtenue en associant en série (indices) ns cellules identiques (Icc,Vco), Ainsi que : $I_{SCC} = I_{CC}$ et $V_{SCO} = n_S * V_{SCO}$

### I.8.4. Influence de l'association parallèle des cellules PV

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. . [9]

La **Figure I.11** montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles ns cellules identiques. Tels que : $I_{PCC} = n_S I_{CC}$ et $V_{PCO} = V_{SCO}$

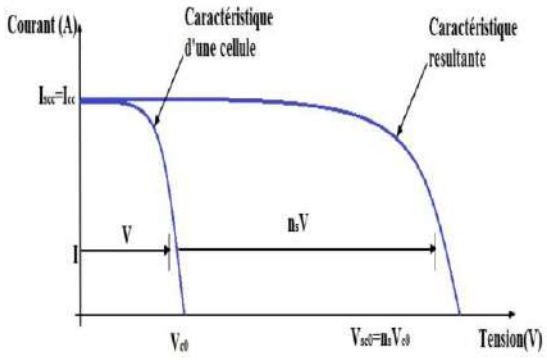



**Figure I.10: Caractéristique résultante d'un groupement en série de Ns cellules identiques**

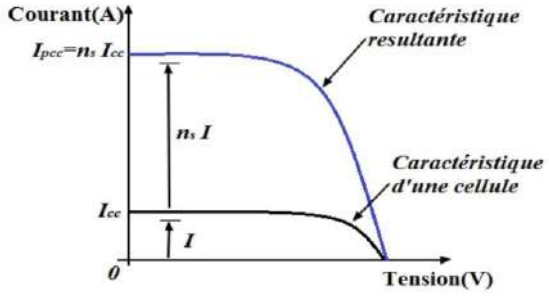



**Figure I.10: Caractéristique résultante d'un groupement en série de Ns cellules identiques**

### I.9. Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à présenter les différents composants d'un système photovoltaïque. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. On a fait ensuite un rappel sur les systèmes PV et leurs performances.

# Chapitre II

# Techniques d'intelligences artificielles pour la commande des systèmes

## II.1 Introduction

Plusieurs applications industrielles nécessitent l'utilisation des méthodes modernes de contrôle, permettant d'avoir une réponse rapide et des performances dynamiques élevées. Parmi ces méthodes, on cite le réglage par logique floue (RLF) laquelle est caractérisée par sa robustesse et son insensibilité à la variation des paramètres. La logique floue constitue aujourd'hui une approche alternative intéressante. Elle présente plusieurs avantages tels que le raisonnement proche de celui de l'homme, sa capacité à contrôler des performances dynamiques et ses qualités intéressantes de robustesse.

Aujourd'hui, les applications des SIF sont très nombreuses outre la commande, ils sont largement utilisés pour la commande, la modélisation, le diagnostic et la reconnaissance de formes. Pour une meilleure compréhension, nous présentons quelques notions de base de ces systèmes ainsi que leurs types et leurs caractéristiques.

Le but de ce chapitre est de présenter brièvement un rappel sur les ensembles flous et un aperçu général sur la logique floue, ainsi que son application pour la commande de systèmes photovoltaïques. Nous introduisons quelques notions de la logique floue et ses propriétés essentielles, puis la technique de réglage appliquée aux systèmes [10-11]. Les systèmes d'inférence floue (SIF) peuvent être considérés comme des systèmes logiques qui utilisent des règles linguistiques pour établir des relations entre leurs variables d'entrée et de sortie.

## II.2 Rappels des principes de la logique floue

Dans la perspective des sciences de l'ingénieur, nous pouvons admettre que dans les situations où les méthodes traditionnelles de modélisation à partir d'observations physiques s'avèrent non satisfaisantes, les sciences subjectives, particulièrement la logique floue, peuvent rendre beaucoup de services, dès lors que les connaissances sur la façon de résoudre un problème, de piloter un grand système, d'effectuer un réglage…etc. sont disponibles. Cela suppose que l'on sache définir des méthodes rigoureuses de représentation des connaissances. En pratique la résolution d'un problème concret peut avoir recours à l'utilisation conjointe des méthodes objectives traditionnelles et celles subjectives.

La logique floue offre un cadre formel, qui n'existait pas auparavant, pour mettre en œuvre de telles méthodes de façon rigoureuse. Ce chapitre est consacré à la présentation des bases

fondamentales de la logique floue ainsi que leurs utilisations pour représenter le raisonnement basé sur les expressions linguistiques [13-16].

Les notions de température moyenne ou de courant faible sont relativement difficiles à spécifier de manière précise. En logique floue, Le concept de variable linguistique, comme son nom le suggère, joue un rôle très important. C'est une variable dont les valeurs sont des mots ou de phrases au lieu de nombres. Par exemple, ' Température ' est une variable linguistique et l'ensemble des valeurs qu'elle peut prendre est appelé l'ensemble de termes (nuances), soient par exemple : Basse, Moyenne, Elevée. D'autres termes peuvent être construits à l'aide de modificateurs linguistiques tels que (très, plus ou moins, un peu…etc.). Chaque valeur linguistique (e.g., faible) est caractérisée par sa fonction d'appartenance (x) faible m qui associe à chaque valeur numérique x de 'Température', un degré qui reflète la vérité du sens faible **Figure II.1**.

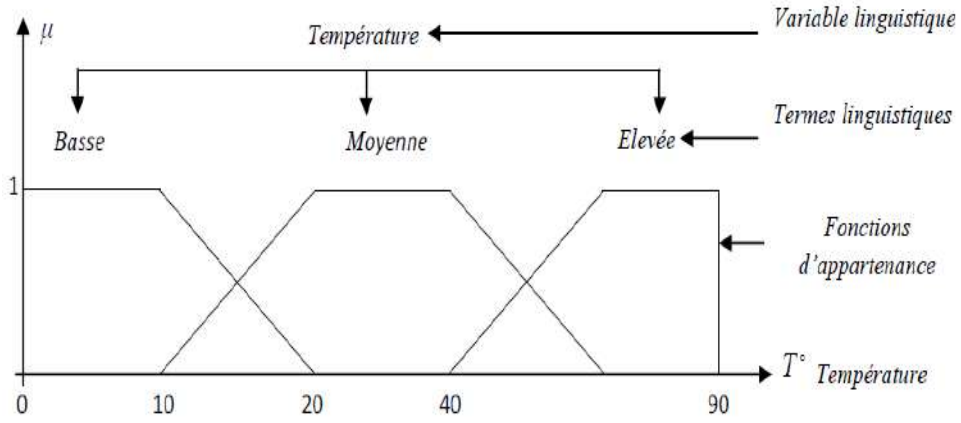



**Figure II.1: Exemple d'une variable linguistique 'Température' avec trois termes linguistiques [9]**

### II.2.1 Ensembles flous

La notion d'ensemble flou pour permettre des gradations dans l'appartenance d'un élément à une classe, c'est-à-dire d'autoriser un élément à appartenir plus ou moins fortement à une classe ;

Afin de mettre en évidence cette notion, nous introduisons les définitions suivantes : Soit un ensemble flou de référence X continu ou discret d'objets dénotés {x}.

- Un ensemble classique A de X est défini par une fonction caractéristique µA qui prend la valeur 0 pour les éléments de X n'appartenant pas à A et la valeur 1 pour ceux qui appartiennent à A (**Figure II.2.a**) [16] .

$$\mu_A : X \rightarrow \{0,1\} \tag{II.1}$$

Un ensemble flou A de X est défini par une fonction d'appartenance qui associe à chaque élément x de X , le degré µA(x), compris entre 0 et 1, avec lequel x appartient à A (**figure II.2.b**) [12, 13, 16]. Cet ensemble flou A peut être représenté comme un ensemble de paires (élément générique, degré d'appartenance) ordonnés [16] :

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in A\} \tag{II.2}$$

Nous adoptons souvent la notation suivante, l'ensemble A, qui indique pour tout élément x de X, son degré $\mu_A(x)$ d'appartenance à A [12], [13],[16] :

$$\begin{cases} A = \sum_{x \in X} \mu_A(x) / x & \text{Si X est descret} \\ A = \int_x \mu_A(x) / x \cdot dx & \text{Si Xest continu} \end{cases} \tag{II.3}$$

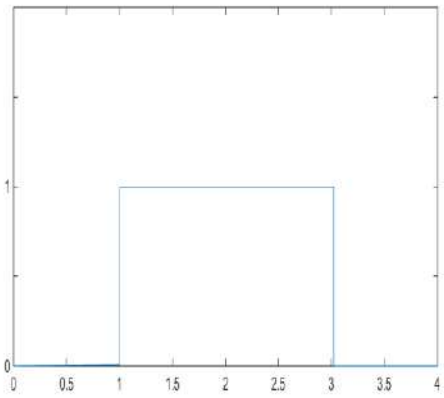



**Figure II.2.A: Exemple de fonction d'appartenance: Logique classique**

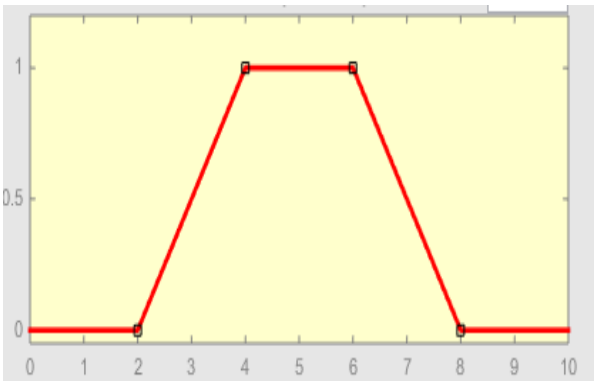



**Figure II.2.B: Exemple de fonction d'appartenance: Logique Floue**

### II.2.2 Variables linguistiques

La description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contient en général des expressions floues comme [12],[13]; Quelque, beaucoup, souvent, chaud, froid,

rapide, lent, grand, petit, ....etc. Les expressions de ce genre forment les valeurs des variables linguistiques de la logique floue. Par exemple, si la vitesse est interprétée comme une variable linguistique, alors son ensemble de termes est T(VITESSE) = {lente, moyenne, rapide…} où chaque terme est caractérisé par un ensemble flou.

Ces termes peuvent être définis comme des ensembles flous dont les fonctions d'appartenance sont montrées sur la figure II.3.

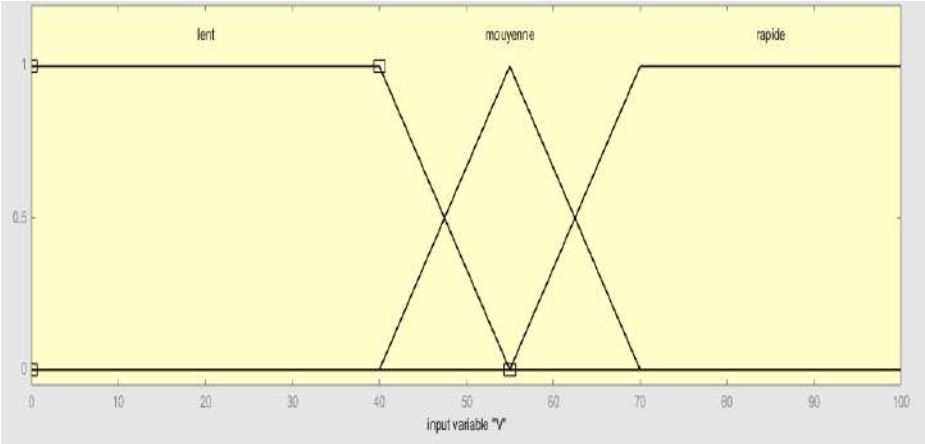



**Figure II.3: Représentation graphique des termes linguistiques**

### II.2.3 Opérateurs sur les ensembles flous

Puisque les fonctions caractéristiques des ensembles flous sont graduelles, l'extension de certaines variables floues définies sur les ensembles classiques aux cas des ensembles flous pose certaines difficultés. Donc, il n'est pas possible d'appliquer directement la logique proportionnelle qui manipule des ensembles à fonctions caractéristiques binaires (0 ou 1). Pour palier à ce problème, nous introduisons les définitions d'outils nécessaires au traitement des ensembles flous [13-16].

Soient A et B deux ensembles flous dans X ayant respectivement $\mu_A$ et $\mu_B$ comme fonction d'appartenance. L'union, l'intersection, et la complémentation des ensembles flous sont déduites à l'aide de leur fonction d'appartenance [12-16].

### II.2.4 Fonctions d'appartenance

Une définition des variables linguistiques à l'aide des fonctions d'appartenance est nécessaire dans le but de traiter des déductions floues par calculateur. Dans ce contexte, est

attribuée à chaque valeur de la variable linguistique une fonction d'appartenance μ, dont la valeur varie entre 0 et 1.

Le plus souvent, nous utilisons pour les fonctions d'appartenance les fonctions suivantes **figure II.4** [13],16] :

**- Fonction triangulaire :**

$$\mu(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \tag{II.4}$$

**- Fonction trapézoïdale :**

$$\mu(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \tag{II.5}$$

**- Fonction Gaussienne :**

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma}\right) \tag{II.6}$$

**- Fonction en forme de cloche :**

$$\mu(x) = \frac{1}{1+\left(\frac{x-x_0}{a}\right)^2} \tag{II.7}$$

**- Fonction trigonométrique :**

$$\mu(x) = \frac{1}{2}\left(1+\cos\left(\frac{\pi(x-x_0)}{2a}\right)\right); x_0 - 2a \le x \le x_0 + 2a \tag{II.8}$$

**- Fonction sigmoïdale :**

$$\mu(x) = \frac{1}{1+\exp(a(x-c))} \tag{II.9}$$

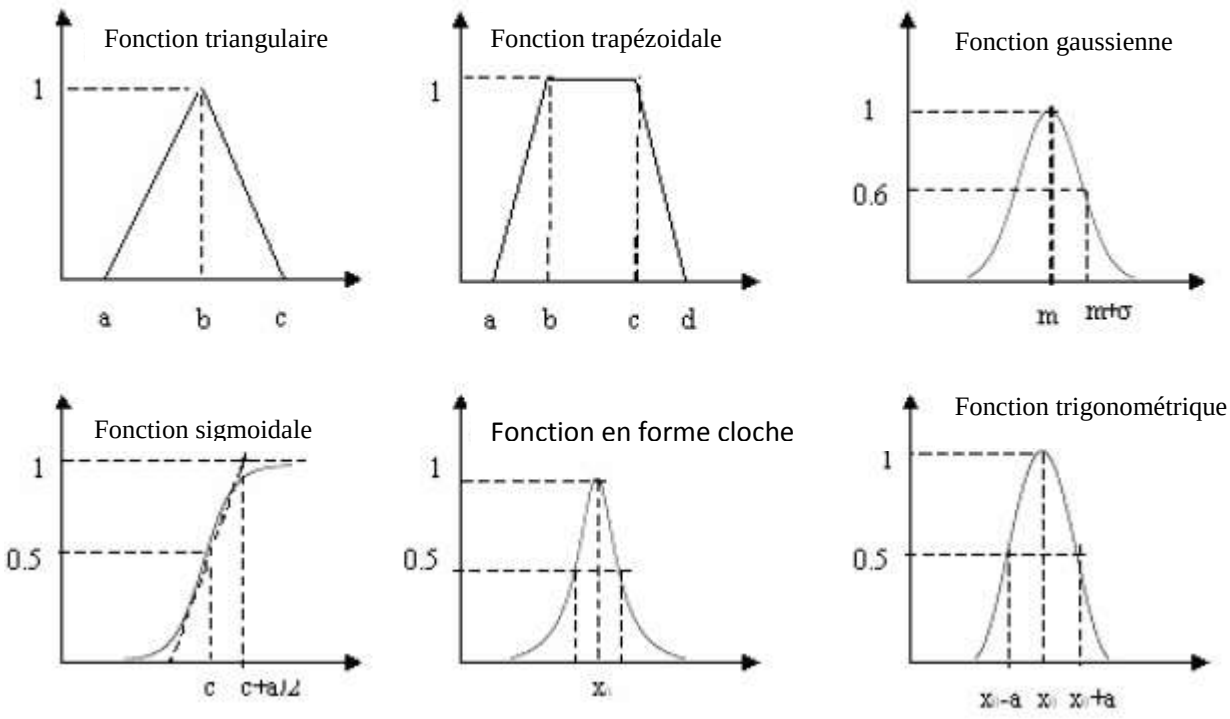



**Figure II.4 Formes usuelles des fonctions d'appartenances**

### II.3 Raisonnement en logique floue

Les ensembles flous sont des éléments importants de la représentation des connaissances imparfaitement définies. Pour raisonner sur de telles connaissances, la logique classique ne suffit pas et nous utilisons la logique floue, lorsque les connaissances sont imprécises, vagues, et éventuellement incertaines.

### II.3.1Implication floue

Considérons une règle floue de la forme « si V est A alors W est B », construite à partir de deux variables linguistiques (V, X, TV) et (W, Y, TW). L'implication floue est un opérateur qui permet d'évaluer le degré de vérité entre les propositions floues élémentaires « V est A » et « W est B »à partir des valeurs de la prémisse d'une part, et celles de la conclusion d'autre part [12-16].

$$\mu_R(x,y) = imp\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right) \tag{II.10}$$

Les opérateurs les plus utilisés en commande floue sont les implications de **MAMDANI** et de **LARSEN**.

- **Implication de MAMDANI**

$$\mu_R(x,y) = \min\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right) \tag{II.11}$$

- **Implication de LARSEN**

$$\mu_R(x,y) = \mu_A(x).\mu_B(x) \tag{II.12}$$

**II.4 Réglage et commande de la logique floue**

La commande par la logique floue a le même but qu'une commande réalisée en automatique classique. Elle en diffère cependant sur les points suivants [13,16]:

- La connaissance mathématique du fonctionnement du processus n'est pas nécessaire.

- La maîtrise du système à régler avec un comportement complexe (fortement non linéaire et difficile à modéliser).

- L'obtention fréquente de meilleures prestations dynamiques (régulateur non linéaire).

- Piloter un processus en utilisant les connaissances et l'expérience d'un opérateur humain qualifié « expert » ; les connaissances de l'expert sont schématisées à l'aide d'un ensemble de règles de conduite basées sur un vocabulaire symbolique.

- Le régulateur flou ne traite pas une relation mathématique bien définie (algorithme de réglage), mais utilise des inférences avec plusieurs règles, se basant sur des variables linguistiques.

**II.5 Modèles flous**

Un modèle flou d'un système est une représentation de son comportement par les concepts de la théorie des sous ensembles flous. Cette représentation caractérise la relation entre les variables d'entrées et de sorties du système [17]. Les modèles linguistiques ne permettent pas d'intégrer directement des connaissances objectives sur le système qui ne sont pas exprimées par des sous-ensembles floues. Ainsi des connaissances exprimées sous forme analytiques décrivant la structure physique du système ne peuvent pas être pris en compte directement [20]. Sugeno et ces collaborateurs ont proposé une classe de modèles appelés modèles (TSK) qui permet de représenter ce type d'information. Nous intéressons par la suite à définir le modèle TSK et présenter une méthode d'optimisation de ce modèle.

### II.5.1. Description du modèle de Takagi-Sugeno-Kang (TSK)

Soit un système à r entrées et une sortie, le modèle TSK est constitué d'une base de règles de la forme

$$\text{Si } X_1 \text{ est } A_1^{i_1} \text{ et } X_2 \text{ est } A_2^{i_2} \text{ et ...} X_r \text{ est } A_r^{i_r} \text{ Alors } y = f_i\left(x_1, x_2, ..., x_r\right) \quad \text{(II.13)}$$

où x1, x2, ...,xr sont les variables numériques d'entrée du modèle flou et fi est une fonction numérique de l'univers d'entré X1 x X2 x .. x Xr dans Y [20].

Chaque règle représente un modèle local sur une région floue d'entrée, ou sur un sous-espace d'entrée.

Dans chaque région, le modèle flou est défini par la fonction fi qui relie les entrées à la sortie numérique. Le modèle global est constitué par interpolation des modèles locaux [21]. Dans le modèle TSK, les fi sont souvent des fonctions linéaires, soit:

$$f_i\left(x_1, x_2, ..., x_r\right) = b_{i_0} + b_{i_1} x_1 + b_{i_2} x_2 + ... + b_{i_r} x_r \quad \text{(II.14)}$$

Ou $b_{i_0}$ , $b_{i_1}$ , $b_{i_2}$ ,....., $b_{i_r}$ sont des coefficients constants.

Chaque règle peut alors être vue comme un modèle local, linéaire selon les variables d'entrée x1, x2, ...,xr.

Ces modèles permettent d'approcher le comportement d'un système complexe par une collection de modèles locaux. Ils ont une capacité de représentation importante.

En effet, le nombre de règles nécessaires pour approcher un système à un certain degré de précision est généralement réduit [22].

### II.5.2. Classification des phonèmes par inférences floues

Pour la classification des phonèmes par inférences floues, nous présentons tout d'abord les paramètres à utiliser, puis nous exposons l'approche adoptée pour la mise en œuvre d'un système à inférence floue (SIF) puis l'approche de mise à jour d'un système à inférence flou adaptatif (SIFRA).

### II.5.2.1. Identification des paramètres utilisés

Pour l'identification des paramètres, nous avons adopté la méthode d'analyse par extractions des formants. Cinq formants sont identifiés : les trois premiers formants sont bien marqués dans le spectre [23].

Dans notre étude, nous avons choisi uniquement les trois premiers formants F1, F2 et F3 comme paramètres caractéristiques de notre corpus. L'ensemble des formant F1, F2 et F3 constitue un vecteur pour chaque unité (objet) phonétique [24]. Nous obtenons ainsi pour chaque groupe de phonèmes une matrice à valeurs réelles qui servira par la suite pour la construction d'un système à inférence floue.

### II.5.2.2. Mise en ouvre d'un SIF pour la classification des phonèmes de type voyelle :

La structure d'un SIF pour la classification des phonèmes de type voyelle est donnée par cette figure :

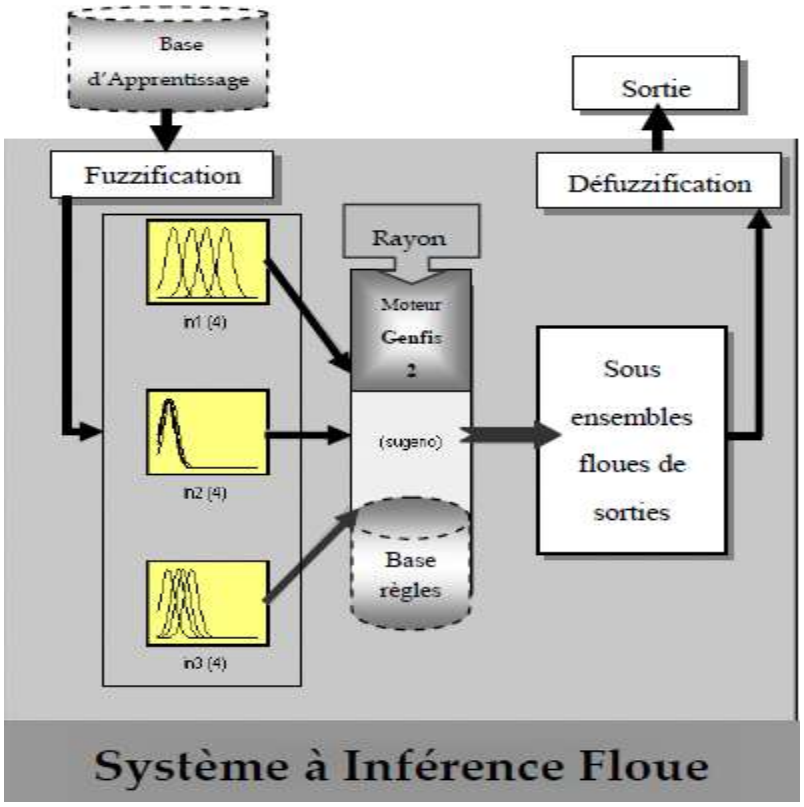



**Figure II. 4. Structure d'un SIF pour la classification des phonèmes [11]**

#### II.5.2.2.1. Base d'apprentissage

Elle regroupe uniquement les 2/3 premiers objets de la base des phonèmes représentant les formants F1, F2 et F3. Les éléments de cette base représentent les variables d'entrées pour la mise en œuvre des systèmes d'inférences floues. Les 1/3 objets restants de la base des phonèmes représentent la base de test, qui sert pour valider la généralisation du modèle défini à partir de la base d'apprentissage [19].

#### II.5.2.2.2. Moteur d'inférence

Nous avons utilisé comme moteur d'inférence « Genfis2 » présenté dans le Toolbox de Matlab. Ce générateur permet de générer des SIFs de type TSK en se basant sur le principe de la coalescence floue [25]. Ce moteur permet également de déterminer les fonctions d'appartenances et les règles exprimant le comportement de la base. De plus, Genfis2 permet, en utilisant la coalescence floue de partitionner l'espace de représentation des données d'une base en plusieurs groupes appelés partition floue ou classe, caractérisée chacune par un centre. Nous avons construit, en effet, des SIF initiaux pour chaque sou-base caractérisant un phonème de la base des voyelles.

#### II.5.2.2.4. Fuzzification

Cette étape permet le passage des grandeurs physiques des paramètres formantiques en variables linguistiques (floues). L'interface de **Fuzzification** inclut les fonctions suivantes : [13,16] :

- mesure des variables d'entrée.

- représentation d'une cartographie d'échelle transférant la plage des variables d'entrée aux univers de discours correspondants.

- transformation des variables d'entrée en variables linguistiques avec la définition des fonctions d'appartenance.

#### II.5.2.2.5. Défuzzification

L'entrée pour le processus de défuzzification est le résultat combinatoire de l'ensemble fuzzifié. L'objectif est de transformer cet ensemble flou en valeurs non floues [25]. Pour pouvoir définir la loi de commande, le contrôleur flou doit être accompagné d'une

procédure de **Defuzzification** jouant le rôle de convertisseur de la commande floue en valeurs physiques nécessaires pour un tel état de processus.

- **Méthode du MAXIMUM :**

Cette stratégie génère une commande qui représente la valeur maximale de la fonction d'appartenance résultante issue de l'inférence. Cependant, cette méthode présente un certain inconvénient lorsqu'il existe plusieurs valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale.

- **Méthode de la moyenne des maxima**

Cette stratégie génère une commande qui représente la valeur moyenne de toutes les valeurs pour lesquelles la fonction d'appartenance résultante est maximale.

- **Méthode du centre de gravite**

Cette méthode est la plus utilisée dans les contrôles flous, elle génère le centre de gravité $\overline{y}$ de la fonction d'appartenance issue de l'inférence.

L'abscisse du centre de gravité peut être déterminé à l'aide de la relation suivante:

$$\overline{y} = \frac{\int y.\mu_{res}(y).dy}{\int \mu_{res}(y).dy} \qquad \text{(II.15)}$$

L'intégrale au dénominateur donne la surface, tandis que l'intégrale au numérateur correspond au moment de la surface. La détermination du centre de gravité nécessite une envergure de calcul assez importante, surtout pour l'exécution en temps réel. De ce fait, cette méthode est la plus coûteuse en temps de calcul.

- **Méthode des hauteurs PONDEREES :**

Au fond, cette méthode n'est rien d'autre qu'un cas particulier de la méthode du centre de gravité. Dans ce cas, nous choisissons comme fonctions d'appartenance pour la variable de sortie, des barres (rectangles de largeurs étroites), et nous aboutissons à une simplification notable de la détermination de l'abscisse du centre de gravité.

L'abscisse du centre de gravité se calcule alors à l'aide de la relation suivante [13,16].

$$\overline{y} = \frac{\sum_{i=1}^{M} \mu_i . \overline{y}_i}{\sum_{i=1}^{M} \mu_i} \qquad \text{(II.16)}$$

Où M est le nombre de règles, µi est le degré de confiance ou d'activation de la règle Ri et $\overline{y}$ est l'abscisse du centre de gravité de l'ensemble flou de la variable de sortie associée à la règle Ri.

### II.5.3 Base de règles floues (Règles d'inférence )

La base de règles floues , ou base de connaissances, contient des règles floues décrivant le comportement du système, elle est le cœur du système entier dans le sens ou tous les autres composants sont utilisés pour interpréter et combiner ces règles afin de former le système final.

## II.6 Prise de décision (inférence floue)

La logique de prise de décision est le noyau du contrôleur flou, elle est capable de simuler la prise de décision de l'être humain en se basant sur les concepts flous et les règles d'inférence en logique floue [13]. Pour le réglage par logique floue, on utilise en général une des méthodes suivantes :

- **Méthode d'inférence MAX – MIN (METHODE DE MAMDANI)**
- **Méthode d'inférence MAX – PRODUIT (METHODE DE LARSEN)**
- **Méthode de SUGENO**

## II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons utilisé l'intelligence artificielle comme un outil pour la commande de système photovoltaïque. Pour cela, nous avons présenté les principes des techniques de l'intelligence artificielle (logique floue).

# Chapitre III

# Commande à base de logique floue pour la puissance maximale d'un système photovoltaïque

## III.1. Introduction

La logique floue s'affirme comme une technique opérationnelle. Utilisée à côté d'autres techniques de contrôle avancé, elle fait une entrée discrète mais appréciée dans les automatismes de contrôle industriel. La logique floue est une technique très puissante issue de la théorie des ensembles flous, pour combler la lacune entre la précision de la logique classique et l'imprécision du monde réel. La logique floue est très utile dans des situations où il y a de larges incertitudes et de variations inconnues dans les paramètres et la structure du système, ou bien, lorsque des experts humains sont disponibles pour fournir des descriptions subjectives et qualitatives du comportement du système avec des termes en langage naturel [27].

Dans l'industrie, le traitement des eaux, les grues portuaires, les métros, les systèmes de ventilation et de climatisation sont touchés. Enfin, des applications existent dans des domaines très différents tels que la finance et le diagnostic médical.

## III.2 Contrôleur MPPT flou

La logique floue ou la théorie des ensembles floue est une nouvelle méthode de commande MPPT permettant d'obtenir le point de puissance maximale (MPP). Cet algorithme de commande comprend trois étapes, à savoir :

- lafuzzification,
- la méthode d'inférence,
- la défuzzification,

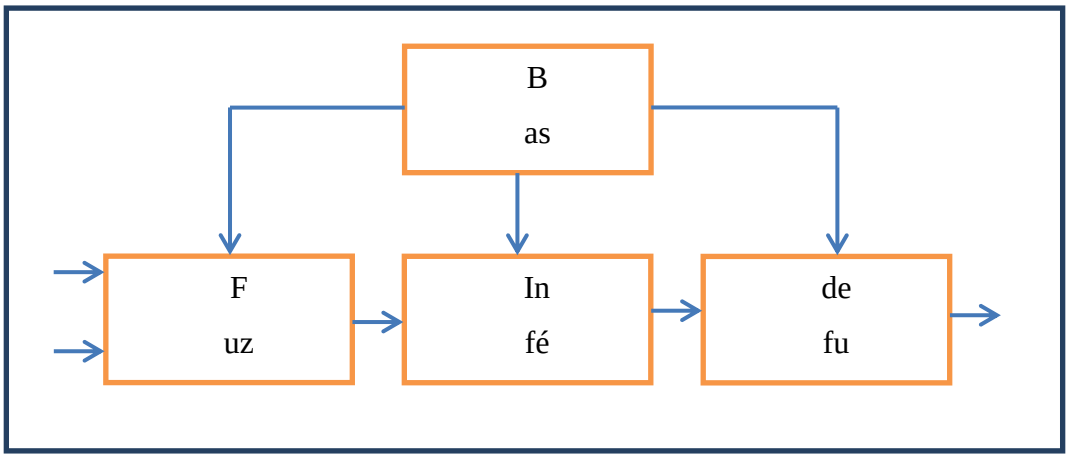



**Figure III.1 Le principe de la commande a Logique Floue**

### III.2.1 La Fuzzification

Cette partie transforme les entrées numériques en grandeurs floues. Les entrées sont transformées en des variables linguistiques décrites par des fonctions d'appartenances. Ces fonctions peuvent avoir plusieurs formes : triangulaire, trapézoïdale, d'une cloche ou d'autres. Notre contrôleur flou utilise des fonctions d'appartenance trapézoïdale et triangulaire.

Les variables d'entrée et de sortie seront transformées en utilisant les variables linguistiques suivantes :

**NG: Négatif Grand, NM :NIGAIF Moyenne NP : Négatif Petite Z : Zéro, PP : Positif Petite, PM: Positif Moyenne, PG : Positif Grande**

**La première entrée du contrôleur floue dp la pente de la courbe aractéristique P-I :

$$dP = P_{ph}(k+1) - P_{ph}(k)$$

$$dI = I_{ph}(k+1) - I_{ph}(k) \quad \rightarrow \quad E = \frac{dP}{dI} \text{ ET } dE = E(k) - E(k-1)$$

Ou $p_{ph}$ et $v_{ph}$ sont respectivement : la puissance et la tension du générateur photovoltaïque.

**Le paramètre de sortie **g** représente la variation du rapport cyclique.

Le schéma de notre régulateur sous Matlab est donné par la Figure III.2.

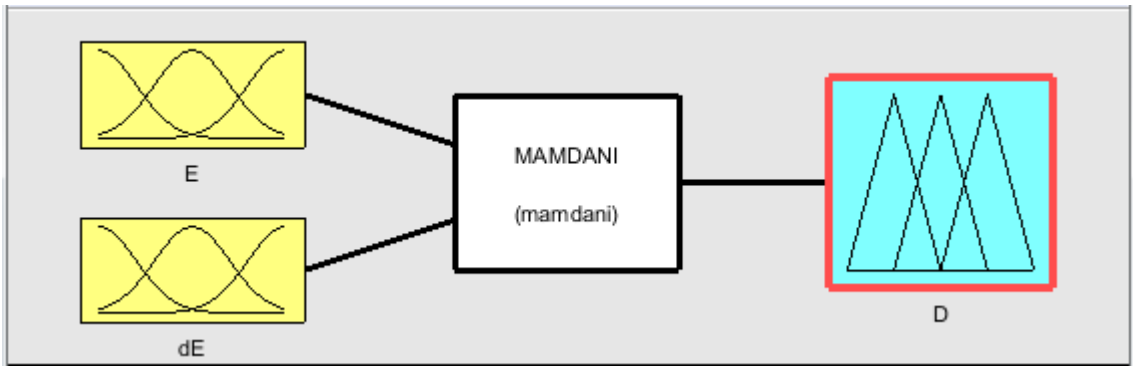
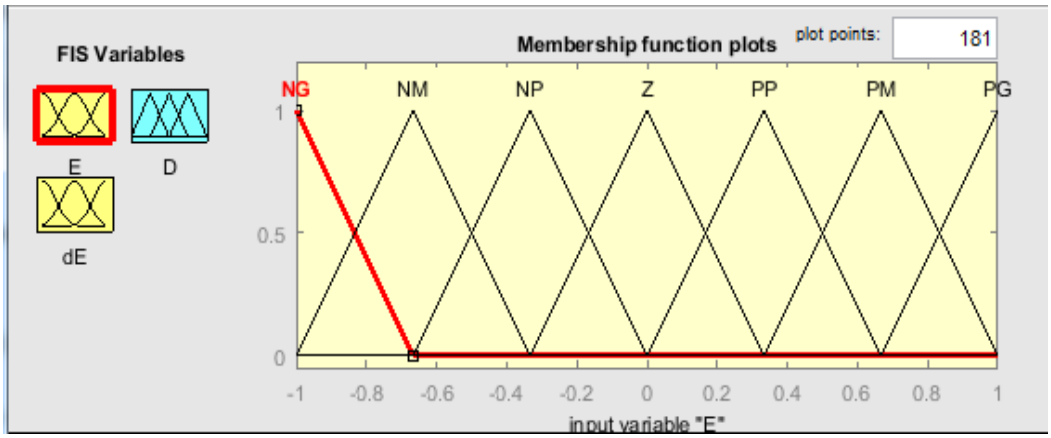



**Figure III.2 : Régulateur flou adapté**

Les Figures III.3 et III.4 montrent les fonctions d'appartenance des différentes variables.

a)




b)

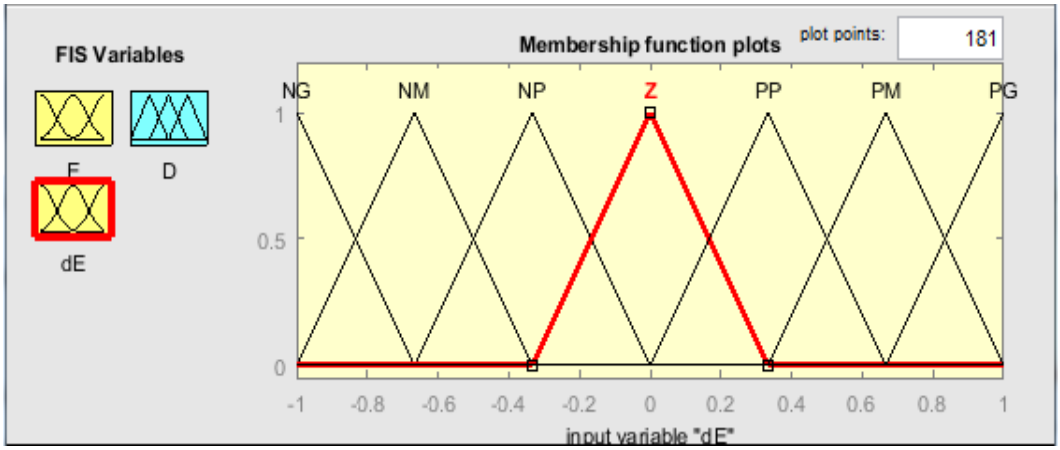



**Figure III.3 : Fonctions d'appartenance des variables d'entrées : (a) E et (b) dE.**

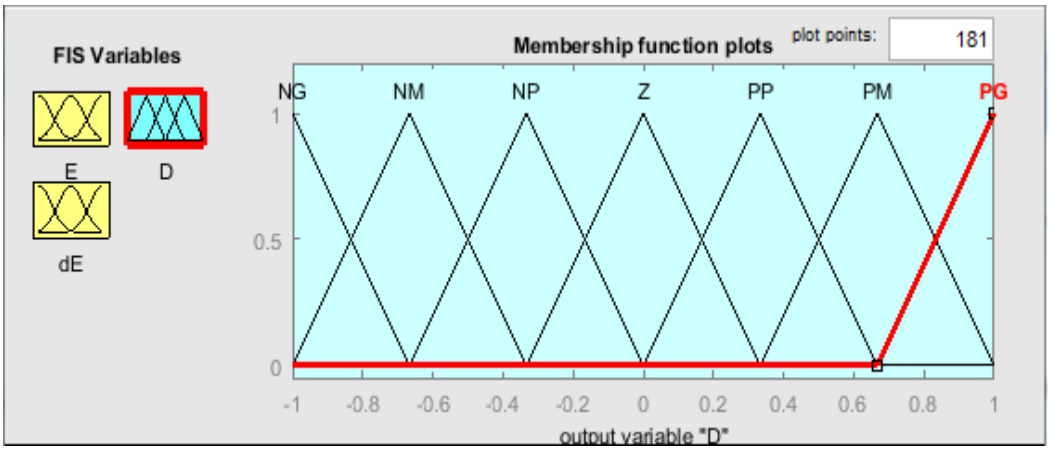



**Figure III.4. Fonctions d'appartenance de la variable de sortie D**

### III.2.2 Méthode d'inférence floue

C'est une étape qui consiste à définir un rapport logique entre les entrées et la sortie. L'inférence donne une relation entre les variables d'entrée et de sortie d'un

contrôleur flou en forme linguistique. Il existe plusieurs méthodes d'inférence : MAX-MIN, MAX-PROD, SOMME-PROD et d'autres. Chaque méthode admet ses propres opérateurs. Le bloc inférence doit contenir une base de règles .Cette base est écrite par l'utilisateur.

Chaque règle à la forme suivante :

**Si (Condition), ALORS (Conclusion)**

La méthode utilisée par notre contrôleur flou est la méthode **MAX-MIN**. Dans cette méthode les opérateurs ET, OU et ALORS, sont représentés par les fonctions **MIN et MAX** :

- Au niveau de la condition : **ET → MIN et OU → MAX**
- Au niveau de la conclusion : **OU → MAX et ALORS → MIN**

La base de règles de notre contrôleur flou à la forme suivante :

Si (« ΔI Condition 1 » ET « ΔP Condition 2 ») ALORS « Conclusion 1» OU

Si («ΔI Condition 1 » ET « ΔP Condition 3 ») ALORS « Conclusion 2» OU

Nous remarquons que lorsque : ΔP (k) >0 et ΔP(k) <0, nous allons augmenter la tension et nous sommes en un point proche du PPM. Donc les variations de la tension dépendent de la différence de position entre le point de fonctionnement et le PPM. Lorsque nous nous approchons de ce point, il faut affiner l'incrémentation de la tension afin d'atteindre l'état le plus stable. Notons que la variation de la tension est représentée par une variation du rapport cyclique dans le mêmes sens. Après avoir étudié tous les cas nous avons adopté la base de règles. La **Figure III.5** montre la base des règles implémentée sous Matlab en utilisant le toolbox «Fuzzy Logic»

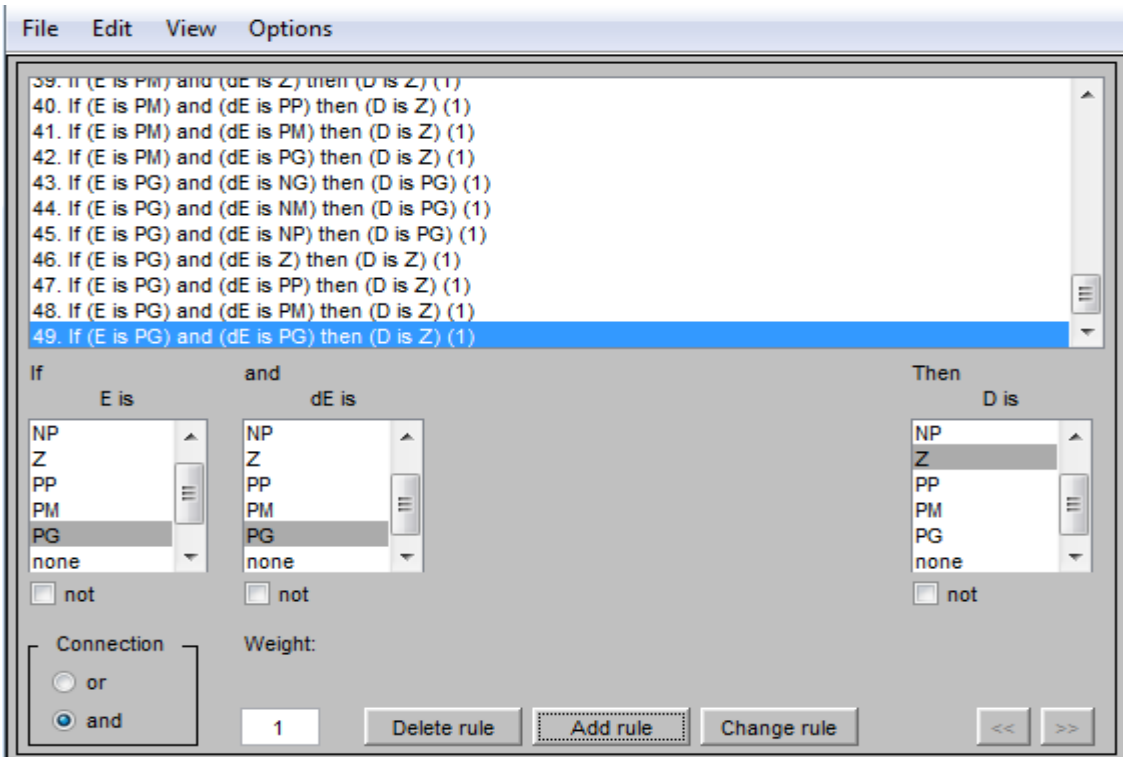



**Figure III.5 : Base des règles sous Matlab**

### III.2.3 La défuzzification

Dans ce bloc, le résultat flou fourni par l'inférence de la sortie **D** est convertir en valeur réelle ou en grandeur numérique. Nous distinguons plusieurs méthodes de défuzzification :

- la méthode du maximum.
- la méthode de la moyenne pondérée.
- la méthode simplifiée du centroïde.
- la méthode du centroïde et d'autre.

La méthode utilisée par notre contrôleur flou est la méthode du centroïde. Cette méthode va donc convertir le résultat flou de la variable de sortie **D** en des variations du rapport cyclique qui seront acceptables par le convertisseur. La méthode du centroïde calcule le centre de gravité de la surface floue fournie par le bloc d'inférence. Exemple de fonctionnement du contrôleur flou sous Matlab :

Si **e** = 0.349 et d**e** = 0.3 alors **D**= 0.591

La **Figure III.6** présente le résultat fourni par le bloc d'inférence sous Matlab. Cette figure montre le résultat numérique.

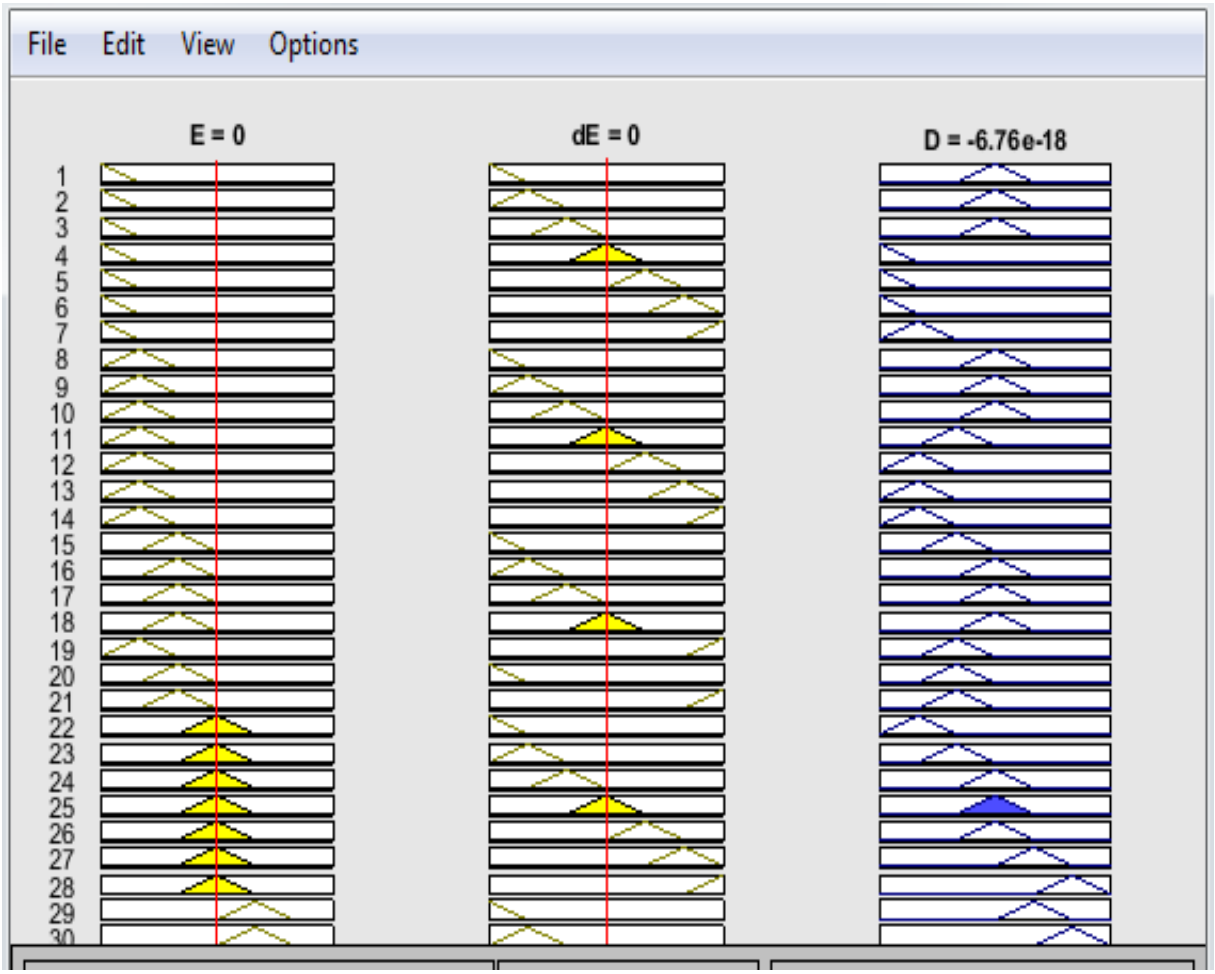



**Figure III.6 : Résultat numérique fourni par le bloc d'inférence pou e = 0.349 et de=0.3 et D = 0.591**

### III.3. Méthode MPPT de P&O (Perturbation et Observation)

La méthode perturbation et observation 'P&O', est la plus répandue dans le milieu industriel, car son algorithme est facile à implémenter. Elle est une approche largement répandue dans la recherche de MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque. Comme son nom l'indique, la méthode P&O fonctionne avec la perturbation de la tension $V_{pv}$ et l'observation de l'impact de ce changement sur la puissance de sortie du panneau photovoltaïque.

#### III.3.1 Structure de la commande « perturbation et observation

Pour avoir la meilleure connexion entre le « GPV » une source non linéaire et une charge pour produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant

une amélioration globale du rendement du système. Le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa caractéristique électrique (I-V) avec celle de la charge. Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale.

Dans le cadre de ce travail, on analyse la conception et la simulation d'une commande MPPT numérique « perturbation-observation »

**III.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation et simulation du fonctionnement électrique d'un système de captage photovoltaïque adapté par une commande numérique intelligente (commande MPPT floue) assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque et permettant ainsi d'obtenir un bon rendement. Les différentes règles que doivent suivre le système et un organigramme ont été développées pour la mettre en oeuvre de la simulation. Cet organigramme permettra aussi d'implanter cet algorithme MPPT floue. Bien que satisfaisante par rapport à une amélioration de l'algorithme P&O peut s'avérer nécessaire dans le cas de brusques changements de température et d'ensoleillements.

# Chapitre IV

# Résultats et Applications

## IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter sous simulik/matlab un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT numérique et les résultats de simulation de PV sons commande. Ce système est constitué d'un un générateur photovoltaïque, une commande MPPT «P&O », «Logique floue» ainsi qu'une charge. La simulation ont été effectués sous le logiciel MATLAB/simulink

## IV.2 L'outil Matlab/Simulink

MATLAB fait également partie d'un ensemble d'outils intégrés dédiés au traitement du Signal. En complément du noyau de calcul Matlab, l'environnement comprend des modules optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble :

### *IV.2.1.Simpower*

Est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation des systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal [34].

## IV.3 Système photovoltaïque proposée

• Le générateur PV YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b) est en silicium monocristallin est constitué de 60 cellules photovoltaïques élémentaires. Il peut délivrer dans les conditions standards de test (CST) une puissance de 245 W, un courant de 8.28 A sous une tension optimale de 29.6 V.

• La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est un organe fonctionnel du système PV et permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur PV qui dépend des conditions météorologiques et de la variation de la charge stables. Son principe de régulation est basé sur la variation automatique du rapport cyclique D à la valeur adéquate de manière à maximiser continuellement la puissance à la sortie du panneau photovoltaïque.

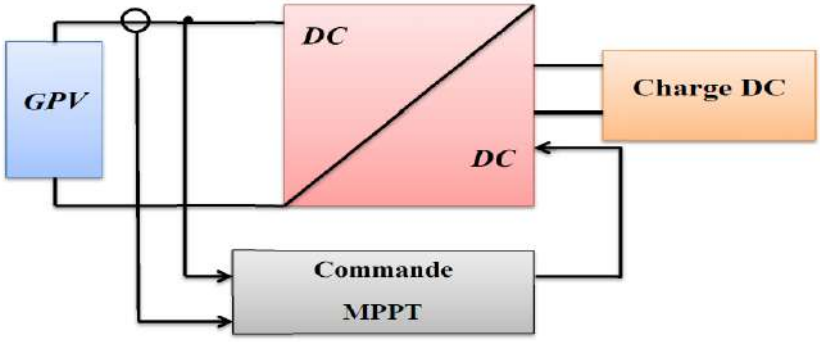



**Figure VI.1 schéma synoptique d'un système photovoltaïque contrôle par MPPT**

## IV.4. Modèle du module photovoltaïque :

Le modèle suivant utilise des méthode différentes pour calculer la résistance série et la résistance parallèle. Par exemple, YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b) est fait de 36 cellules solaires en série et fournit

$P_{mp} = 245\,\text{W}$ de puissance maximum nominale. La tension maximum de point de puissance est $V_{mp} = 29.6$ V et le courant fourni au point de puissance maximum est $I_{mp} = 8.28$ A

Les paramètres de YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b) sont donnés dans le tableau IV.1. qui est essentiel pour modeler le panneau photovoltaïque PV.

**Tableau IV.1** Caractéristiques du module PV YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b)

| Grandeurs | Valeur |
|---|---|
| Puissance maximale | 245 W |
| Tension au MPP ($V_{mp}$) | 29.6 V |
| Courant au MPP ($I_{mp}$) | 8.28 A |
| Courant court- circuit ($I_{cc}$) | 8.83 A |
| Tension de court ouvert ($V_{co}$) | 37.5 V |
| Coefficient de sensibilité de la tension à la température | -0.42 V/K |
| Coefficient de sensibilité de l'intensité à la température | +0.05 A/K |

## IV.5. Système globale

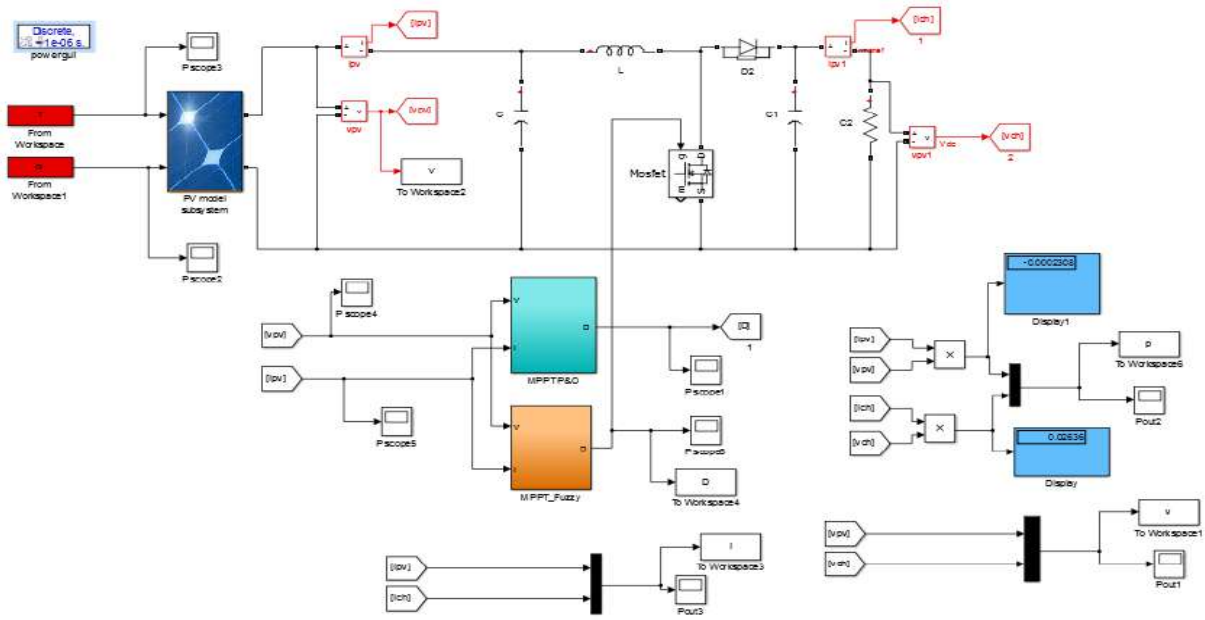



**Figure IV.2. Système globale**

## IV.6. Simulation du générateur PV

Le modèle du générateur photovoltaïque a été mis en application dans Simulink suivant les indications de la figure (IV.3). La température et l'irradiante sont spécifiées. La simulation laisse avoir la courbe I-V et des caractéristiques de PV. Le modèle de Simulink emploie une source courante, la source de tension et la valeur de résistance en série et parallèle du PV.

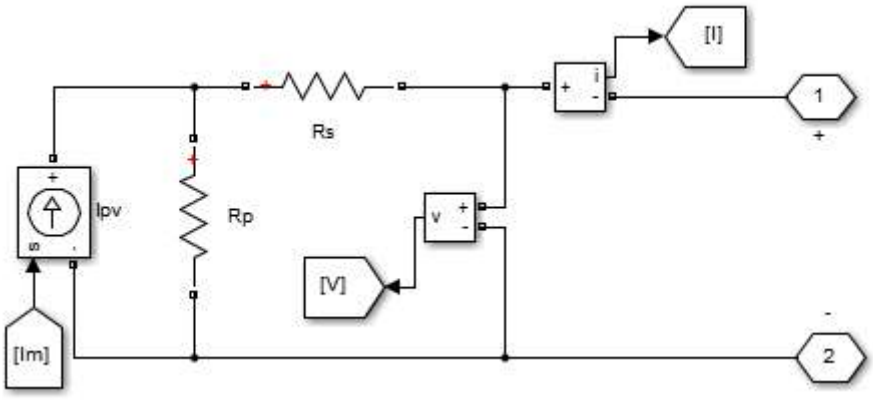



**Figure IV.3 : simulation du module de PV**

### *IV.6.1. Simulation de la méthode MPPT P&O*

Le bloc de contrôleur du point de puissance maximale est montré sur la figure (IV.4)

La tension et le courant de la panneau photovoltaïque sont les entrées, et la puissance est la sortie.

La puissance  est produit de la tension et courant

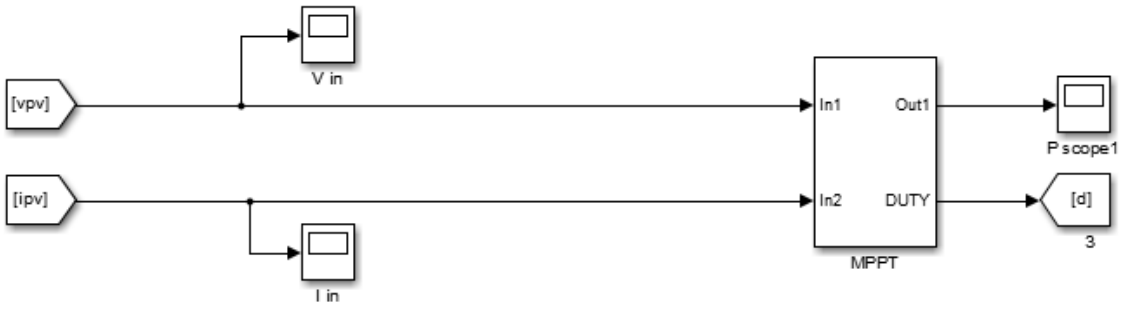



***Figure IV.4 : Bloc de Simulink pour MPPT.***

Le rapport cyclique est augmenté ou diminué jusqu'à ce que le point de puissance maximale du photovoltaïque soit atteint. Le pas de rapport cyclique est constant, et il détermine l'efficacité et l'exactitude du contrôleur MPPT

La **figure IV.5** illustre le bloc schématique de SIMULINK de la commande de poursuite MPPT *(P&O*) :

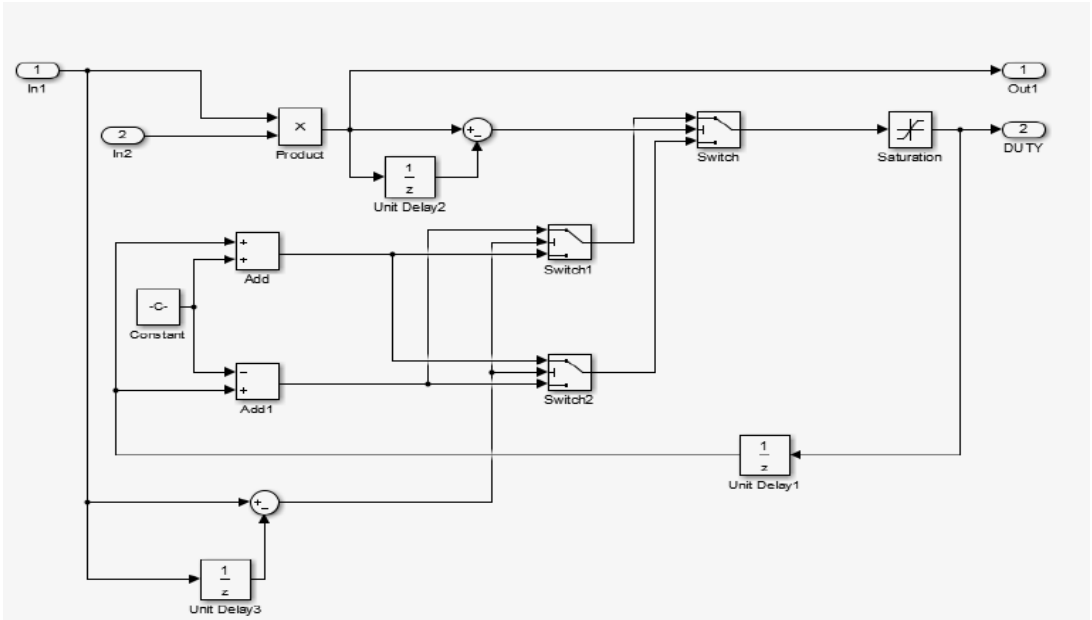



**Figure IV.5 : Simulation de commande p&o**

Les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT

« Perturbation et observation »  représentent par les figures suivant :

### *IV.6.1.1 Résultats de simulation de la commande MPPT P&O:*

**Partie A** : la température et l'irradiation constants (T=25 °C et E= 1000 w/m$^2$)

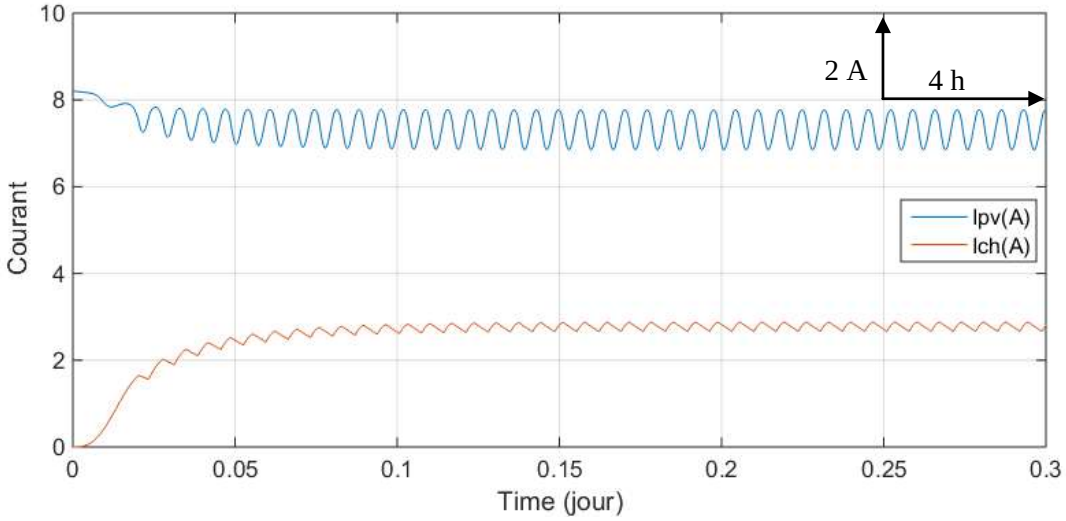



**Figure IV.6 : courant Ipv(A) et Ich(A)**

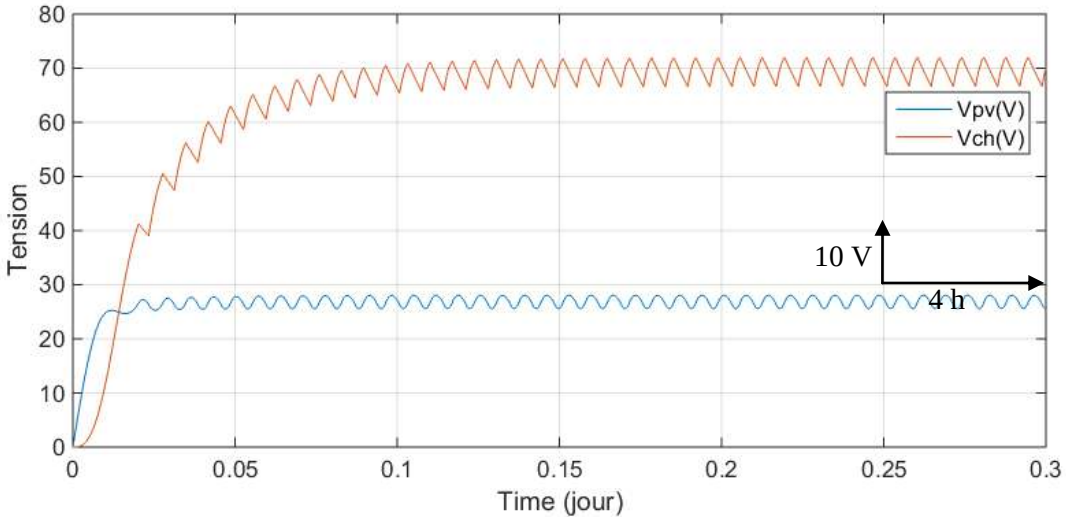



**Figure IV.7 : tension de Vpv et Vch**

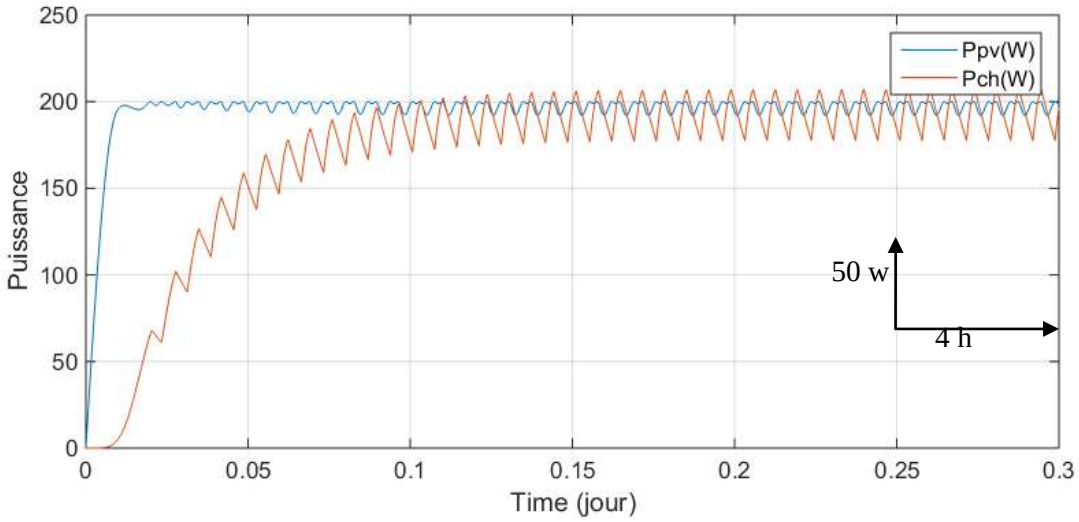



**Figure IV.8 : puissance Ppv(W) et Pch(W)**

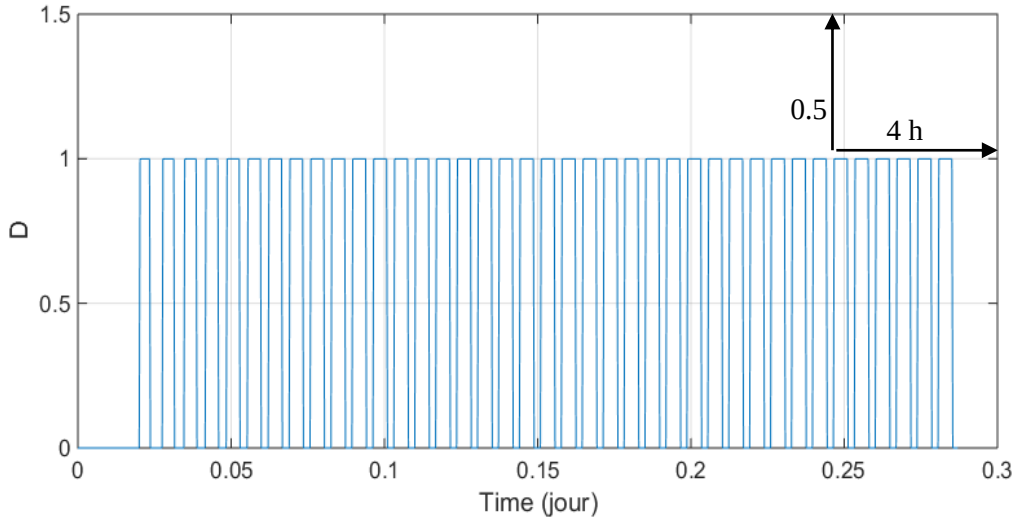



**Figure IV.9 : rapport de cyclique D**

**Partie B** : Résultat de simulation la température et l'irradiation variable (les valeurs réele)

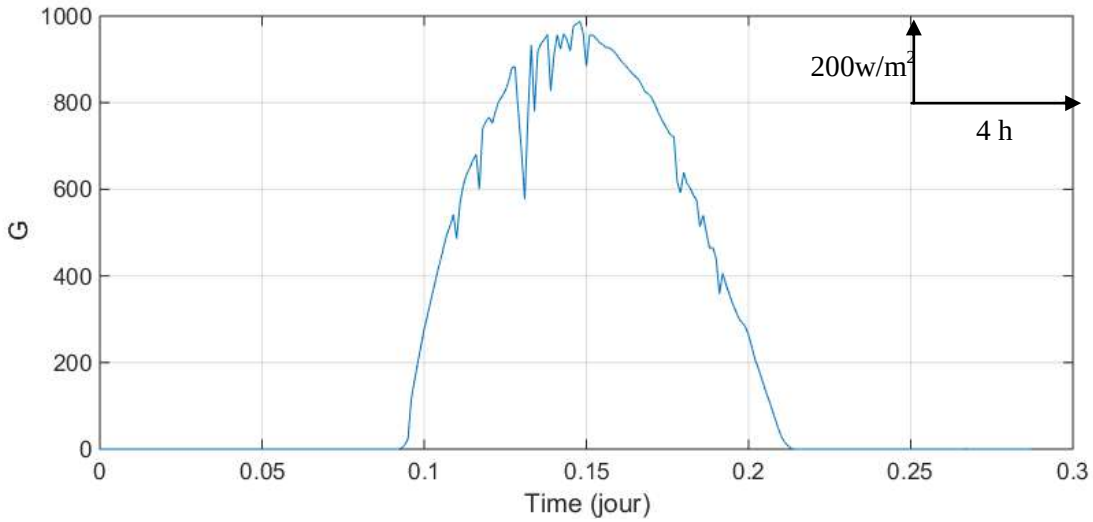



**Figure IV.10 signale d'entrée l'irradiation**

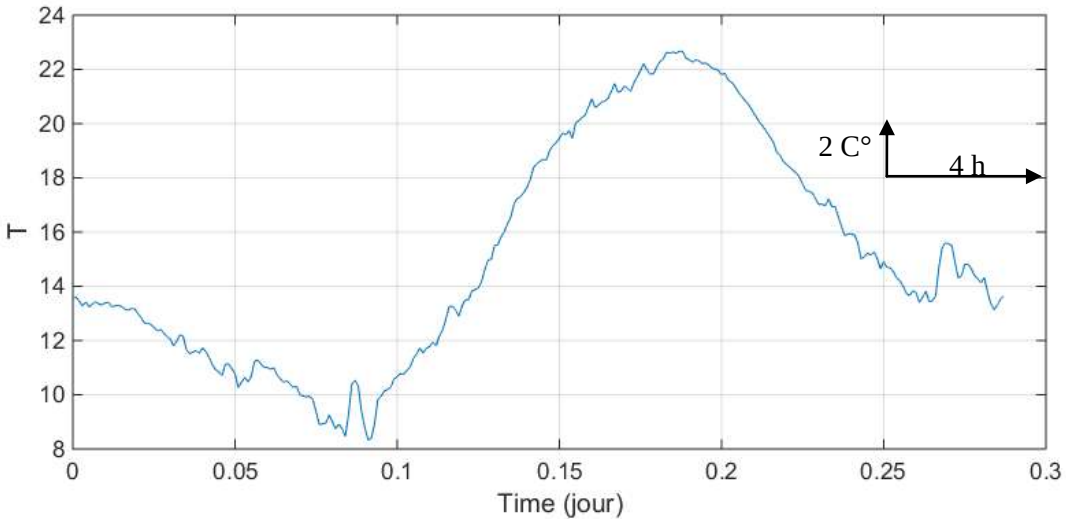



**Figure IV .11 signale d'entrée de la température (T)**

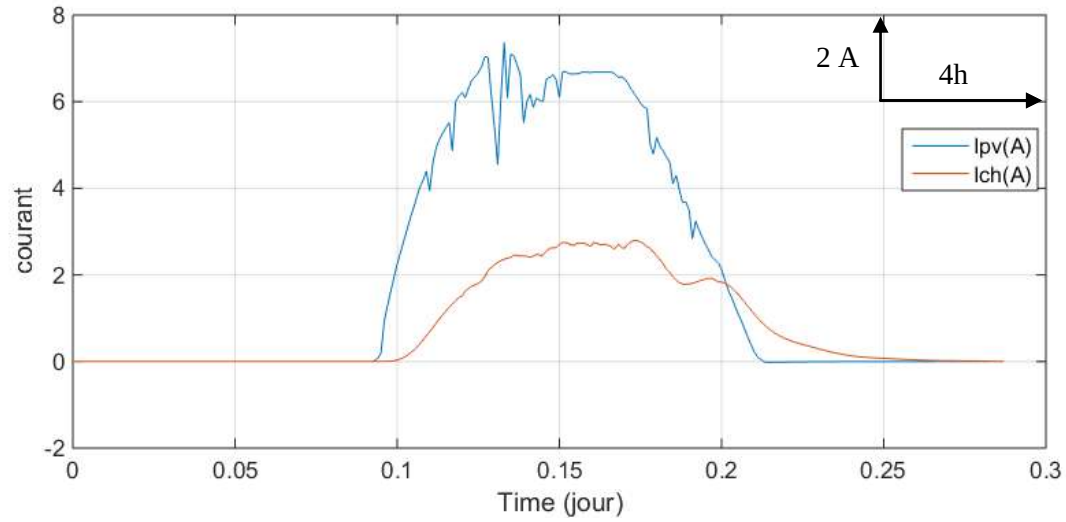



**Figure IV.12 : courant de Ipv (A) et Ich (A)**

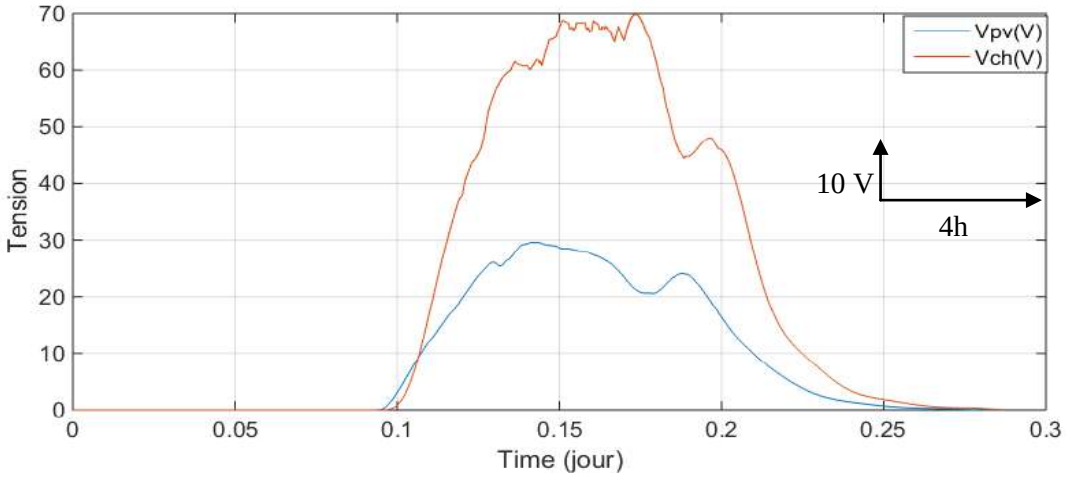



**Figure IV.13: tension de Vpv (A) et Vch (A)**

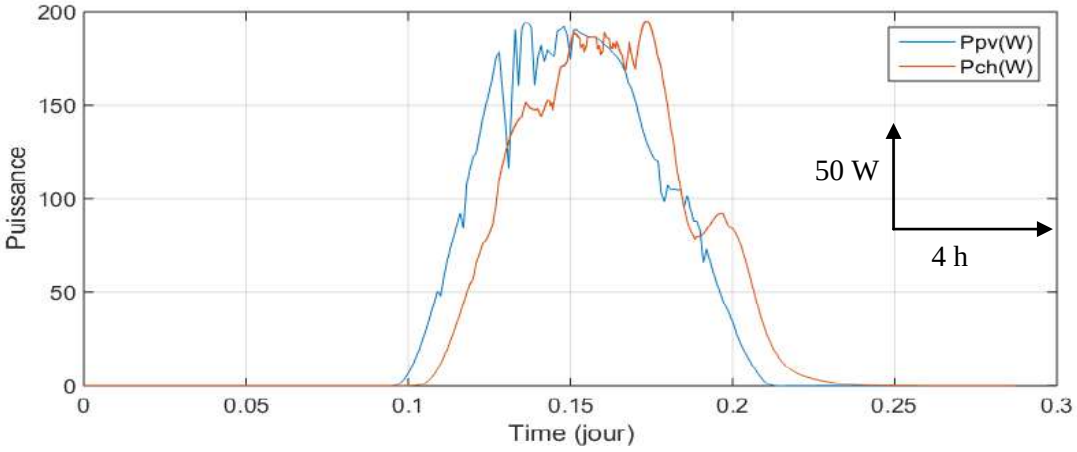



**Figure IV.14 : puissance MPPT (P&O) GPV et la charge**

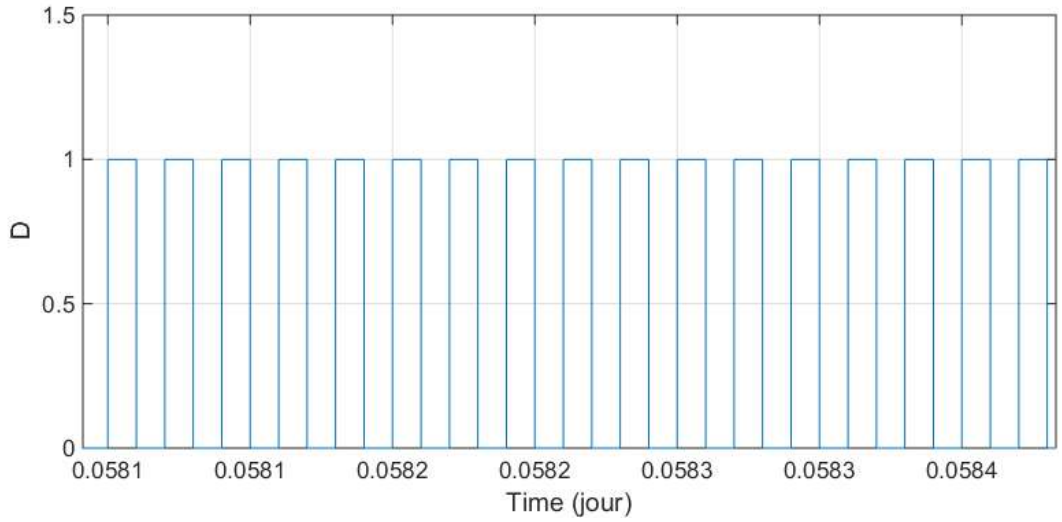



**Figure IV.15 : rapport de cyclique de MPPT (P&O)**

### IV.6.2 Simulation de la méthode MPPT floue

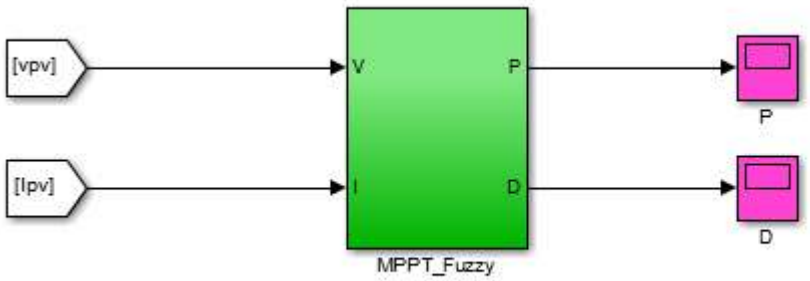



**Figure IV.16 : Bloc de Simulink pour MPPT.**

La **figure IV.17** montre l'interface de masque de ce modèle de MPPT flou. Le paramètre d'entrée pour ce modèle est le courant photovoltaïque. La variation du courant du MPPT flou varie la tension photovoltaïque de rendement.

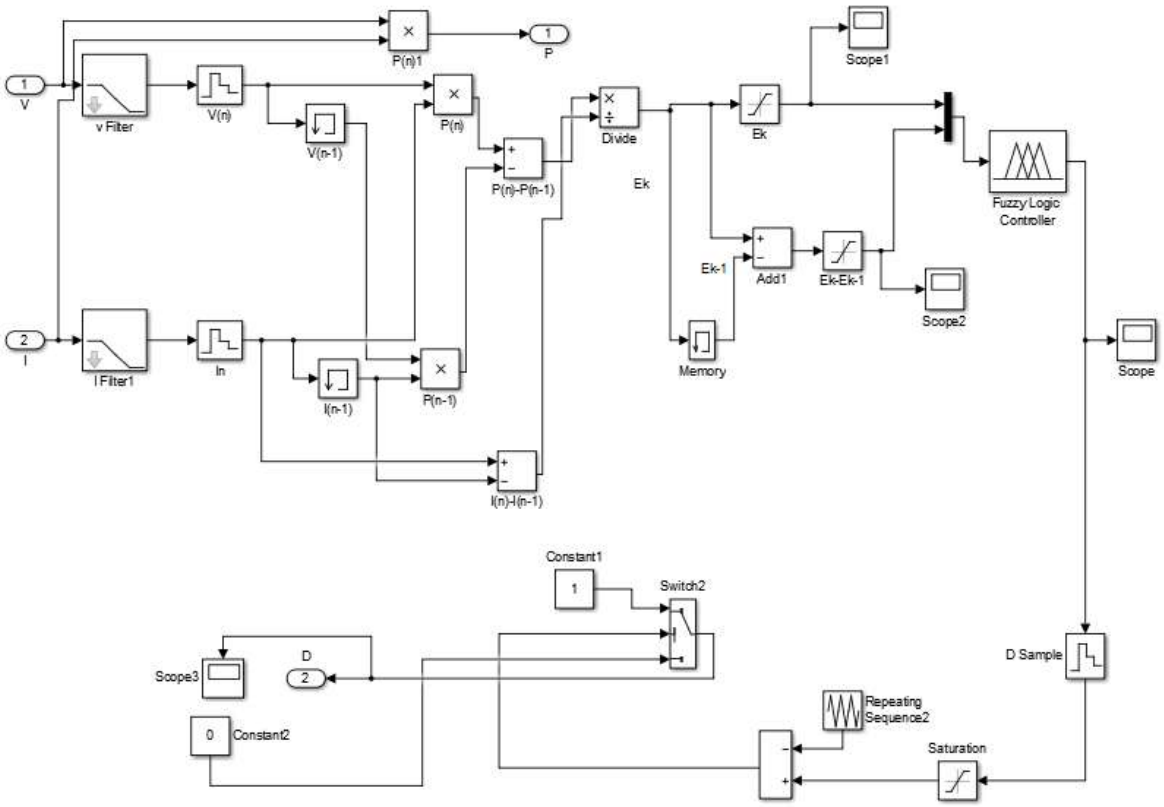



**Figure IV.17 Modèle de sous-système de Simulink MPPT flou.**

### *IV.6.2.1 Résultats de simulation de la commande MPPT floue :*

**Partie A** : la température et l'irradiation constants (T=25 °C et E= 1000 w/m$^2$) :

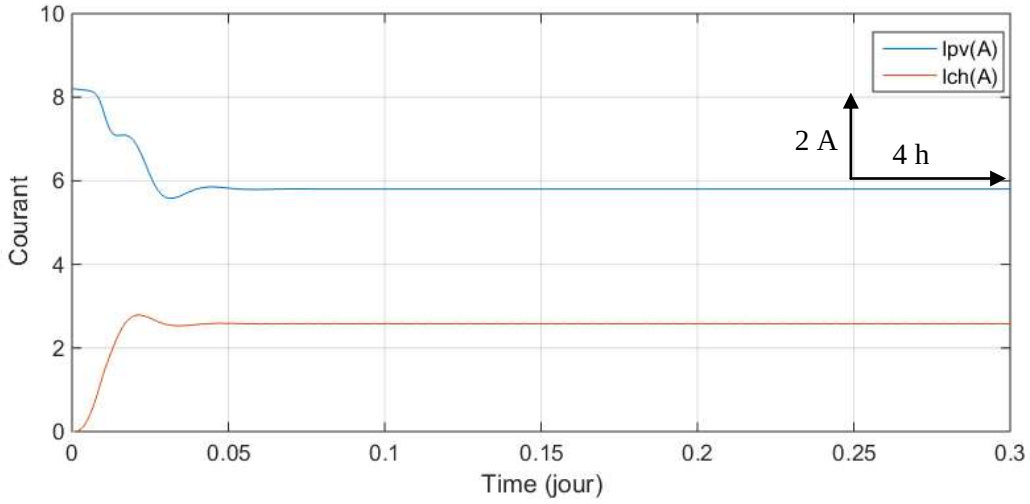



**Figure IV.18 Courant de sortie I(t) du GPV et charge**

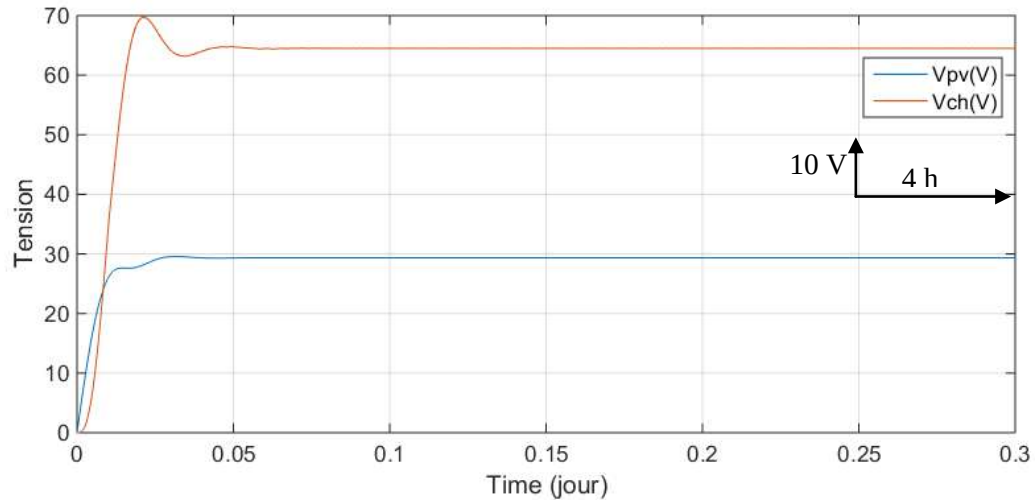



**Figure IV.19 Tension de sortie V(t) du GPVet la charge**

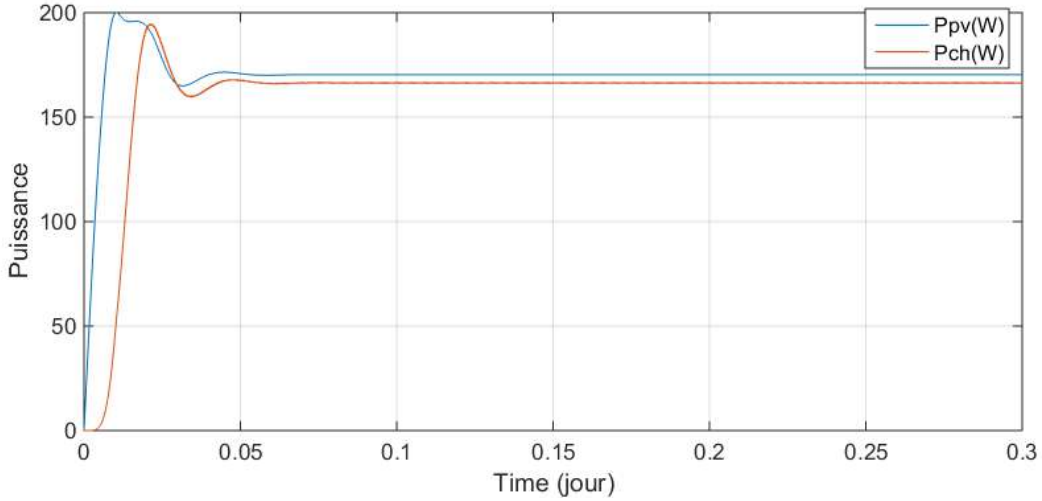



**Figure IV.21 Puissance de sortie P(t) de GPVet la Charge**

Les figures suivantes représentent respectivement les caractéristiques V(t), et P(t), I(t) du module de la charge par MPPT floue.

**Partie B** : Résultat de simulation la température et l'irradiation variable (les valeurs réele) :

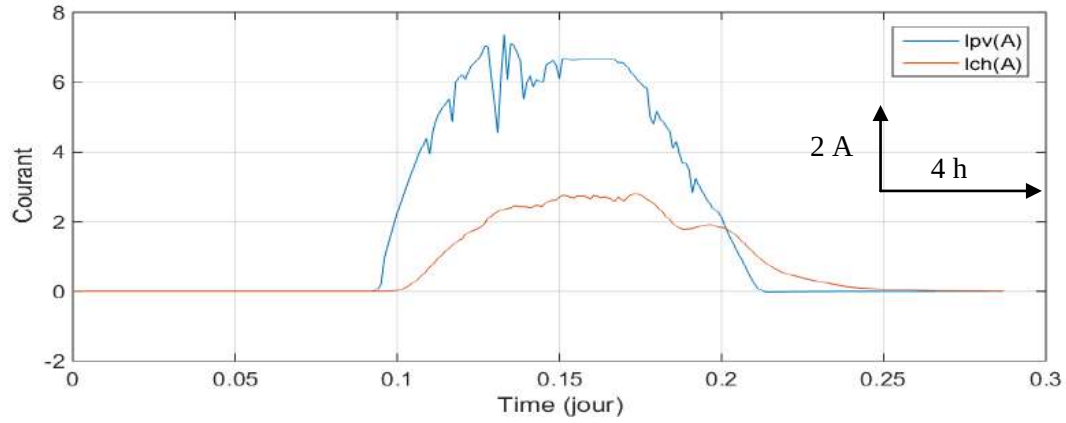



Figure IV.22: courant de MPPT floue GPV et la charge

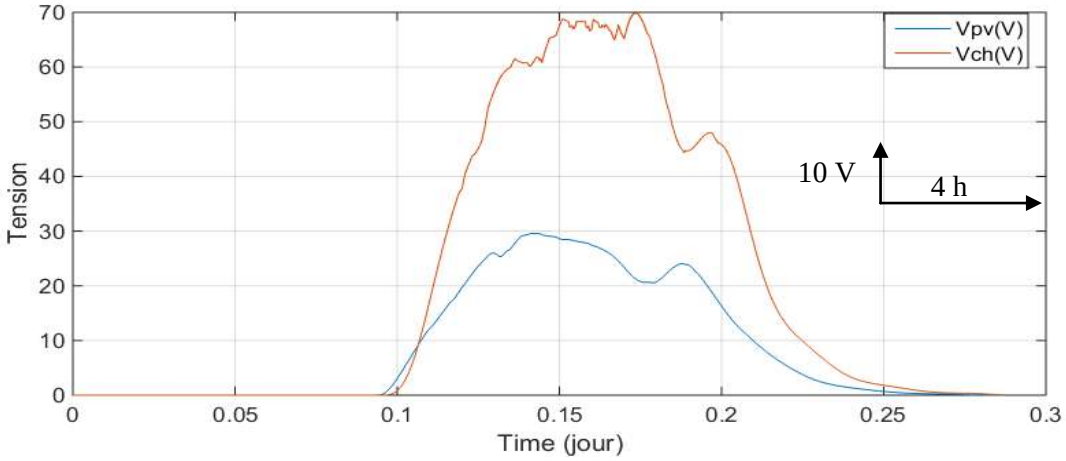



Figure IV.23 : tension de MPPT floue GPV et la charge

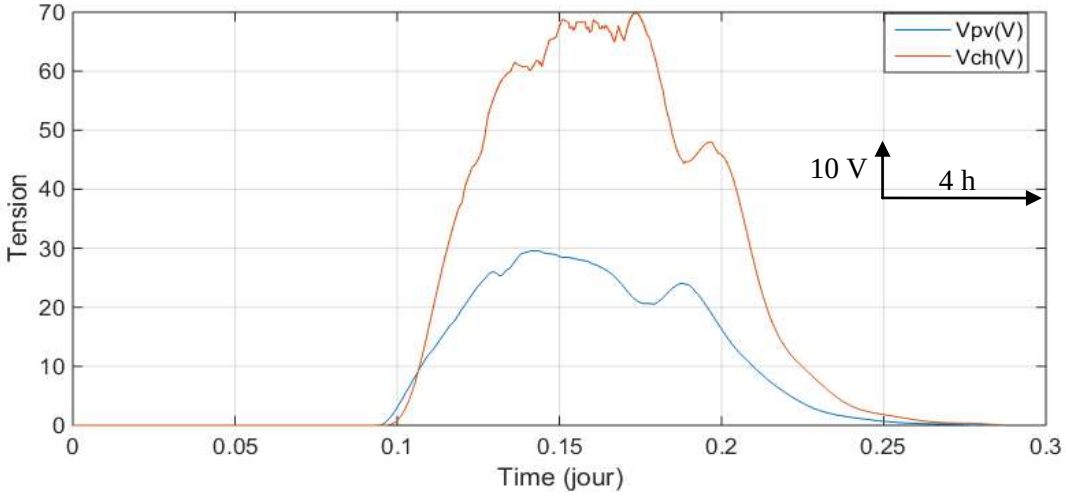



**Figure IV.24 : puissance de MPPT floue GPV et la charge**

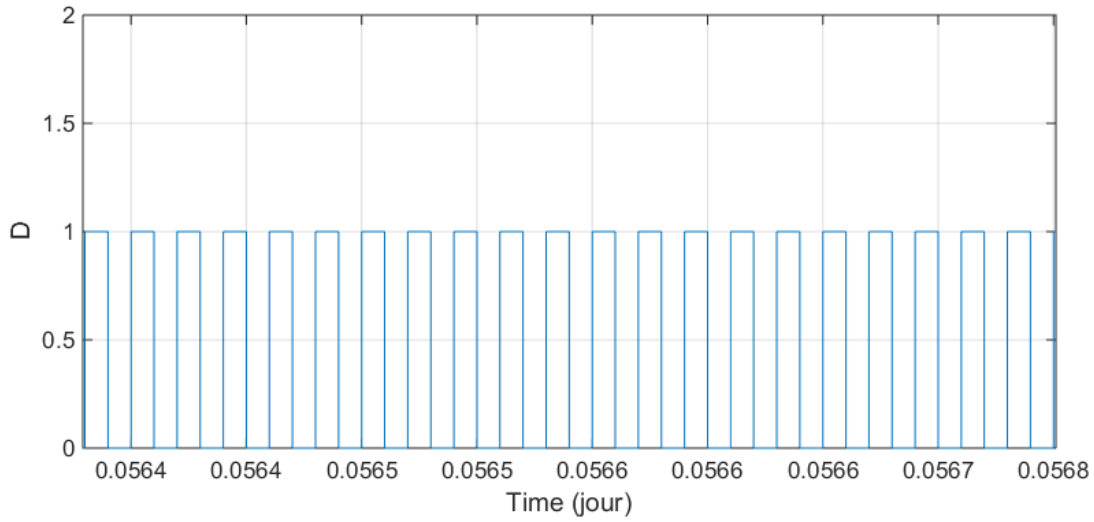



**Figure IV.25: rapport de cyclique de MPPT floue**

## IV.7.Conclusion

Dans ce chapitre la modélisation de l'ensemble composé de : générateur photovoltaïque, hacheur survolteur et la commande MPPT est présentée. Les modèles SIMULINK sont construits pour les différentes composantes du système photovoltaïque. D'après les résultats obtenus de la simulation, on remarque :

- Les performances du générateur PV se dégradent avec l'augmentation de la température, la diminution de l'intensité de l'éclairement et les variations de la charge. Les performances du générateur PV sont évaluées à partir des conditions standards (CST) : éclairement 1000W/m2 température 25°C.

La commande MPPT adapte le générateur PV à la charge: transfert de la puissance maximale fournie par le générateur PV

- Les entrés utiliser dans les commandes MPPT (P&O et logique floue) c'est le courant Ipv et la tension Vpv , mais les entrés de la commande MPPT basées sur le principe de logique floue c'est l'irradiation G et la temperature T et la sortie c'est toujours le rapport cyclique D.

# Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire est d'améliorer les performances et le rendement d'un système photovoltaïque en faisant appel à un algorithme spécifique. nous avons décrit les principaux éléments du système PV, adapté par une commande numérique (commande MPPT) assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV. Dans un premier temps, on a donné des généralités sur les systèmes PV, principe de l'effet PV, cellule PV. Ainsi que le générateur photovoltaïque et leurs performances.

En suite, nous avons rappelé le principe de deux autre algorithmes MPPT, Logique floue ,qui sont basées sur le principe de l'intelligence artificielle. Enfin, nous avons terminé par une simulation des différents algorithmes.

On peut dire d'après les résultats de la simulation obtenus que :

- Les performances d'un générateur PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement l'irradiation solaire et la température du module PV.
- Les performances du générateur PV sont évaluées à partir des conditions standards (CST).
- Parmi tu ce algorithme, le 'P&O' est large utilisé, mais la commande basée sur la logique floue montre un bon comportement et des meilleures performances par rapport aux autres méthodes.
- La commande MPPT soit classique (P&O) ,Floue permet la meilleure connexion entre le générateur photovoltaïque (GPV) et la charge et elle force le de faire fonctionner toujours au point de puissance maximale, cependant, l'étude comparative des résultats de simulation a permis de constater que la commande MPPT Floue et MPPT P&O conduit à des meilleurs performances mais la MPPT floue c'est la meilleure .

Par ce travail, nous souhaitons d'avoir apporter une contribution à l'application des contrôleurs à base de l'intelligence artificielle sur un système photovoltaïque. Et on espère l'implémentation de ce command MPPT sur une carte électronique pour validés avec un système photovoltaïque réel.

**Annexe**

# YGE 60 Cell 40mm SERIE

Powered by YINGLI

YL250P-29b
YL245P-29b
YL240P-29b
YL235P-29b
YL230P-29b



## A PROPOS DE YINGLI GREEN ENERGY

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) est un des plus grands fabricants mondiaux, verticalement intégrés, de modules photovoltaïques. Yingli Green Energy commercialise ses produits sous la marque "Yingli Solar". Avec plus de 3,6GW de modules installés à travers le monde, notre réputation s'est construite sur la fiabilité de nos produits et leur performance sur la durée. Nous sommes la première entreprise d'énergie renouvelable et la première entreprise chinoise à sponsoriser la Coupe du Monde de la FIFA™.

## HAUTES PERFORMANCES

- Nos cellules solaires polycristallines à haut rendement combinées à un verre texturé haute transmission confèrent à nos modules un rendement pouvant atteindre 15,4%. Ceci reduit les coûts d'installation tout en augmentant le productible de votre système.
- Une tolérance positive stricte de -0W à +5W vous garantit des modules de puissance égale ou supérieure à celle étiquetée et contribue à minimiser les pertes énergétiques améliorant ainsi la production du système.

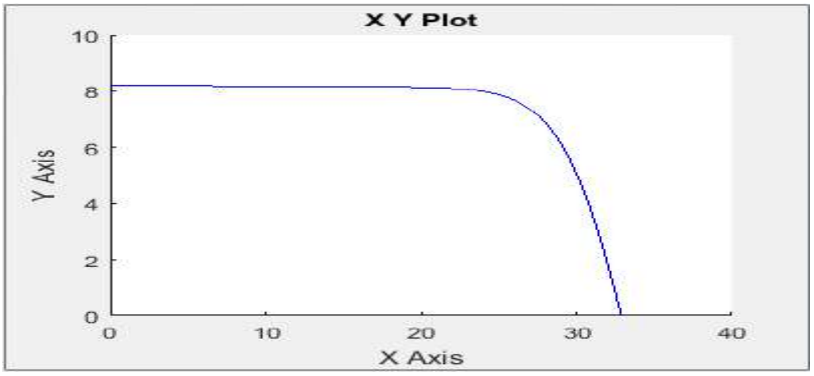
## QUALITE ET FIABILITE

- Le cadre en aluminium est robuste, résistant à la corrosion et testé indépendamment pour supporter des charges de vent jusqu'à 2,4 KPa et de neige jusqu'à 5,4 KPa. Il garantit la stabilité mécanique de vos modules tout au long de leur durée de vie.
- L'emballage des modules est optimisé de façon à protéger le produit pendant le transport et minimiser les déchets sur site.
- Les modules sont testés par un organisme de certification indépendant pour garantir les standards en vigueur.
- Les sites de production sont certifiés par le TÜV Rheinland ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 et BS OHSAS 18001:2007.

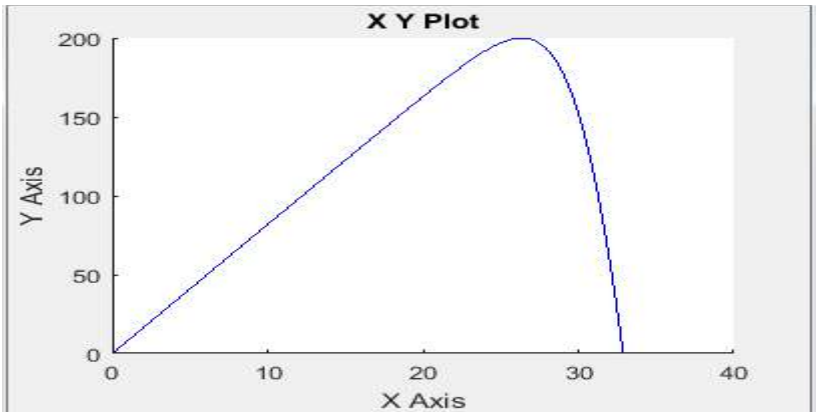
# Annexe

**Caractéristiques du module PV YGE 60 Cell Serie (YL245P-29b)**

I-V




p-v




**Les paramètres du convertisseur Boost utilisé :**

| | |
|---|---|
| Rch | = 25 **ohm** |
| L | = 18000 **µH** |
| Cin | = 0.0022 µF |
| Cout | = 0.00022µF |

# Bibliographie

**[1].S. M. Ait-Cheikh**, *«Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques»*, Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.

**[2].M. Adouane,***«Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique»,* Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.

**[3].B.Bendib,***"Techniques conventionnelles et avancées de MPPT pour des applications photovoltaïques : étude comparative",* Mémoire de Magister, département d'Electronique .Université Ferhat Abbes-Sétif 2007.

**[4] .Alain Ricaud***, "Photopiles solaires", ISBN 2-88074-326-5*

**[5] .M. Ahmed BETTACHE,** «*Application de la technique du Mode Glissant pour la Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT) d'un générateur photovoltaïque*», mémoire de Master, UNIVERSITE DR. YAHIA FARES, Médéa, 2014.

**[6]** ***A. Ricaud "Photopiles solaires:*** de la physique de la conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédés", ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse, 2001.

**[7] F. Chekired,** « Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA»,

mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.

**[8].BoucheritteWafa**, *Convertisseurs multi niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau,* Magister en Electrotechnique, université Mohamed Khider – Biskra

**[9] Z. Bendjellouli** « contribution de Modalisation d'une cellule solaire » Mémoire de Magistère, université de bechare.,Algerie,2009.

**[10] K. Benlarbi,** "Optimisation floue, neuronale et neuro-floue d'un système de pompage photovoltaïque entraîne par différentes machines électriques : machine à induction, machine synchrone à aimants permanents et machine à courant continu ", *Thèse de Magister, Batna, 2001.*

# Bibliographie

**[11] P. Vas,** "Modélisation numérique des moteurs BLDCM et hybride destinés à des systèmes solaires de pompage d'eau", *thèse magister, Batna, 2005.*

**[12] P. Borne, J. Rozinoer, J. Y. Dieulot**, "Introduction à la commande floue", *Edition Technip, 1998.*

**[13] H. Bühler**, "Le réglage par la logique floue", *Presses Polytechniques Romandes, 1994.*

**[14] A. Kaufmann**, " Introduction à la logique floue ", *Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique industrielle Doc: A 120 ; R 7 032.*

**[15] J-Pierre Barrat, M. Barrat, Y. Lecluse** " Application de la logique floue : commande de la température d'un four ", *Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique industrielle, Doc: R 7 428*

**[16] A. L. Nemmour**, "Contribution à la commande vectorielle de la machine asynchrone à double alimentation ", *thèse Magister, Batna 2002,*

**[17] B. Bouchon-Meunier**, *La logique floue et ses applications*, Addison-Wesley, SA, France, 1995.

**[18] H. Bandemer and S**. Gottwald, *Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy methods with applications*, Wiley, 1995.

**[19] R. Alcala, J. Casillas, O. Cordon, F. Herrera**, Approximate Mamdani-type Fuzzy Rule-Based Systems : Features and Taxonomy of Learning Methods, Department of computer Science and Artificial Intelligence, University of Granada, *E.T.S-Ingenieria Informatica*, Spain, 1998.

**[20] Y. Nakoula**, Apprentissage des modèles linguistiques flous par jeu de règle pondérée, thèse électronique- électrotechnique- automatique, Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy, 1997.

**[21] P. Yves Glorennec**, *Algorithmes d'apprentissage pour systèmes d'inférence floue*, Hermes Science Publications, France, 1999.

# Bibliographie

**[22] R. Babuska, H. B Verbruggen**, A New Identification Method for Linguistic Fuzzy Models, *Proc of FUZZ IEEE'95*, Yokohama, Japan, March 1995, pp 905-912.

**[23] K. Ouni, N. Ellouze**, Application des techniques de paramétrisation sur la base de sons TIMIT au vue d'une reconnaissance robuste de la parole , *Sciences of Electronics, Technology of Information and Telecommunications (SETIT)*, Tunisie, 2003.

**[24] N. Arous, D. Ben Ayed, N.Ellouze**, Approches neuronale et floue pour la classification phonétique, *Deuxièmes journées Scientifiques des Jeunes Chercheurs en Génie Electrique et Informatique*, Tunisie, 2002.

**[25] D. Ben Ayed**, Rules Extractions by Fuzzy Subtractive Clustering for Phonemes Classification, *Smart Systems and Diveces, Tunisian-German- Conference*, Tunisie, 2001, p 409-412.

**[26] N. Arous, N. Ellouze**, Etude des paramètres d'un classifieur à apprentissage non supervisé pour la reconnaissance phonèmique de la parole continue multilocuteur, *international conference, SETIT*, Sousse, Mars 2003.

**[27] .F. Chekired,***« Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA»*, Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.

**[28] S. M. Ait-Cheikh**, *«Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques»*, Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.

**[29] BENSACI-Wafa** ,*« Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT »* ,mémoire de master en génie électrique, université kasdimerbah-ourgla, 2012..

**[30] H. Abbes . H. Abid . K. Loukil** « *Etude comparative de cinq algorithmes de commande MPPT pour un système Photovoltaïque* » Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°3 (2014).

**[31] Villalva, M.G., Gazoli, J.R. and Filho, E.R**.; « *Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays,* » Power Electronics Conference, IEEE 2009. COBEP '09. Brazilian, December 2009.

# Bibliographie

**[32] A. BETTACHE, A .YAHIAOUI «** *Application de la technique du Mode Glissant pour la Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT) d'un générateur photovoltaïque »* mémoire de master, université DR. YAHIA FARES DE MEDEA,2014.

**[33] M. Amarouayache «** *Contribution à l'optimisation d'une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque »* Thèse de Doctorat d'état, université de constantine1 Algérie, 2014.

**[34] A.f Filipov ,** *« Differential equation with discontinuous right-hand side»* .Amer.Mat Soc .Trans62p: 199-231, 1960