

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE



LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

N° d'ordre :  
N° de série :

**Mémoire de fin d'étude**

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

***LICENCE ACADEMIQUE***

**Filière** : Génie électrique

**Spécialité** : Contrôle et diagnostic des systèmes électriques

**Thème**

**Optimisation des systèmes photovoltaïques  
Connectées au réseau par la logique floue**

**Proposé et diriger par:**

**Me** :Tkouti . N

**Réaliser par:**

Mr .Beloule Ahmed

Mr.Benine Noureddine

Mr.Bekakra Taki eddine

Soutenu le 28 Juin 2010

# *Dedication*

*To my mother , To my father  
my sister and My brothers,  
all my friends and who they know me.*

*Ahmed*

*To all my family members,  
Especially my father and mother  
To all my friends...*

*Noureddine*

*I dedicate this work to  
My mother and father  
My brothers And to my family Also,  
to All my friends.*

*Taki*

## *Liste des symboles*

$E$  : éclairement ( $\text{W/m}^2$ )

$S$  : surface active des panneaux ( $\text{m}^2$ )

$I$  : Courant de la sortie de la cellule (A).

$I_{\text{ph}}$  : photo courant, ou courant généré par l'éclairement (A)

$I_{\text{od}}$  : courant de saturation de la diode (A)

$R_s$  : résistance série ( $\Omega$ )

$R_{\text{sh}}$ : résistance shunt ( $\Omega$ )

$k$  : constante de Boltzmann ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  )

$q$  : charge de l'électron ( $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C)

$T$  : température de la cellule ( $^{\circ}\text{K}$ )

$V$  : Tension de la sortie de la cellule.

$V_{\text{th}}$ : Tension thermique

$N_p$  : Nombre de module en parallèle.

$N_s$  : Nombre de module en série.

$I_g$  : Courant de sortie de générateur solaire (A).

$I_{0g}$  : Courant de circuit ouvert de générateur solaire (A).

$I_{\text{scg}}$  : Courant de court circuit de générateur solaire (A).

$I_0$  : Courant inverse de la jonction (A).

$\alpha$  : Angle de commande du hacheur.

$X$ : variable linguistique.

$\mu(z)$  : fonction d'appartenance.

$z$  : valeur de sortie du contrôleur flou

$A$  : l'ensemble flou.

$U$  : l'univers de discours.

FLC: fuzzy logic controller

# Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I : *Energies renouvelables*

Introduction .....	2
I.1 Énergie Éolienne .....	2
I.1.1 Conservation de l'énergie mécanique .....	2
I.1.2 Transformation en énergie électrique .....	2
I.2 Énergie hydraulique .....	3
I.3 Énergie de la biomasse .....	3
I.4 Énergie géothermique .....	4
I.4.1 Géothermie à haute énergie .....	4
I.4.2 Géothermie à basse énergie .....	4
I.4.3 Géothermie à très basse énergie .....	4
I.5 Énergie solaire .....	5
I.5.1 Chauffe eau solaire .....	5
I.5.2 Centrale électrique photovoltaïques .....	5

## Chapitre II : *Système photovoltaïque*

II.1. Energie solaire.....	6
II.2 Conversion photovoltaïque .....	6
II.3 Principe de la conversion photovoltaïque .....	6
II.4 Pourquoi un semi – conducteur .....	7
II.4.1 Type des cellules .....	7
a) Cellule au silicium mono cristallin .....	7
b) Cellule au silicium poly cristallin .....	7
c) Cellule au silicium amorphe .....	7
II.5 Caractéristiques des cellules solaire .....	8

II.5.1 Schéma équivalent .....	8
II.5.2 Caractéristiques courant tension .....	9
II.5.3 Rendement .....	10
II.5.4 Facteur de forme .....	10
II .6 Influence de l'éclairement et la température sur la caractéristique .....	10
II .6.1 Influence de l'éclairement .....	10
II .6.2 Influence de la température .....	10
II .6.3 Influence simultanée de l'éclairement et la température .....	12
II . 7 Pièce d'identité du module A E G- 40 .....	13
II . 8 Modélisation du générateur photovoltaïque .....	13
II . 9 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque .....	14

### Chapitre III : *Systèmes Photovoltaïque Connectés au Réseau*

III.1 Introduction .....	16
III.2 Elément constitutif d'une installation connecté au réseau .....	16
III.2.1 Convertisseurs .....	16
III.2.1.1 Convertisseurs DC/AC .....	17
III.2.1.2 Convertisseurs DC/DC .....	17
III.2.1.3 Convertisseur vers le haut .....	17
III.2.1.4 Convertisseur vers le bas .....	17
III.3 Différents types de systèmes photovoltaïques connectés au réseau .....	18
III.3.1 Système PV connecté directement au réseau .....	19
III.3.2 Système à bus continu intermédiaire .....	20
III.3.2.1 Structure avec convertisseur forward .....	20
III.3.2.2 Structure avec un convertisseur de type fly-back .....	20
III.3.2.3 Structure avec hacheur et onduleur .....	21
III.4 Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau .....	22

*Chapitre IV :Poursuite du point de puissance maximum ( MPPT )  
par La logique floue*

IV .1. Logique floue .....	23
IV.1.1 Introduction .....	23
IV.1.2.Théorie des ensembles flous .....	24
IV.1.2.1. Notion d'appartenance partielle .....	24
IV.1.2.2. Fonctions d'appartenance .....	25
IV.1.2.3 Opérateurs logiques flous .....	27
IV.1.2.4 Règles floues .....	29
IV.1.2.5 Mécanisme d'inférence de Mamdani .....	30
IV.1.2.5.1. Fuzzification .....	30
IV.1.2.5.2. Degré d'activation et implication .....	31
IV.1.2.5.3. Agrégation .....	31
IV.1.2.5.4. Défuzzification.....	32
Conclusion générale .....	33
Références bibliographiques .....	34

# Introduction générale

L'énergie solaire dans différentes formes est aujourd'hui une grande réalité. Les records de puissance des centrales solaires photovoltaïques se succèdent rapidement. Après les parcs solaires allemands de quelques Mégawatts, des projets de dizaines de Mégawatts sont en construction en Espagne et au Portugal. Le gouverneur de Californie a lancé quant à lui un projet d'un million de toits solaires qui représentent à eux seuls trois milles Mégawatts .la prochaine décennie verra l'installation de centrales solaires de l'ordre du Gigawatt [5].

Différentes technologies permettent de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique. Dans le photovoltaïque, les technologies au silicium monocristallin et polycristallin dominent le marché tandis que les couches minces grâce aux dernières améliorations s'installent avec des avantages concurrentiels. Le silicium avec concentrateurs est une autre technologie qui trouvera application dans les grandes puissances.

Dans le solaire thermique électrique (concentrating solar power), des grandes installations et projets sont entrepris avec des puissances de plusieurs dizaines de mégawatts. D'autres technologies (ex. matériaux organiques) font l'objet d'intenses recherches dans les laboratoires des centres de recherches, d'universités et d'entreprises. Quand aux technologies actuelles, les recherches sont entreprises pour augmenter les rendements et diminuer les coûts de productions. Il s'agit de produire de l'énergie électrique hautement compétitive en qualité et prix mais aussi trouver les technologies les plus sûres, les moins polluantes et les moins chères [5].

# Chapitre I

## Énergies renouvelables

## I . Introduction

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont de phénomènes naturels réguliers, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

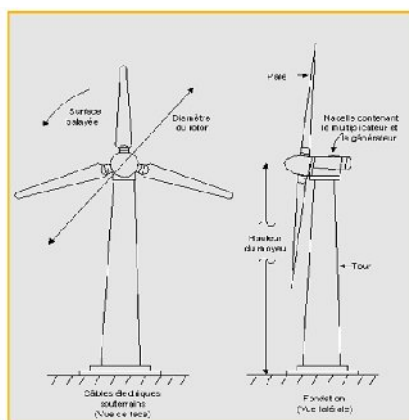
le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à la quelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à la quelle elle est consommée. tous les énergies renouvelables ne sont pas nécessairement propres : par exemple, certains fluides frigorigènes utilisés dans les circuits des pompes à chaleur géothermiques sont des gaz qui, en cas de fuite, contribuent à l'effet de serre, et peuvent aussi détruire la couche d'ozone.

### I.1. Énergie Éolienne

Les éoliennes sont une forme très ancienne d'exploitation du vent; une importante évolution 1970-2000. L'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne ou un moulin à vent.

**I.1.1. Conservation de l'énergie mécanique** : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.

**I.1.2. Transformation en énergie électrique** : l'éolienne est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer un courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.



les turbines à axe horizontal

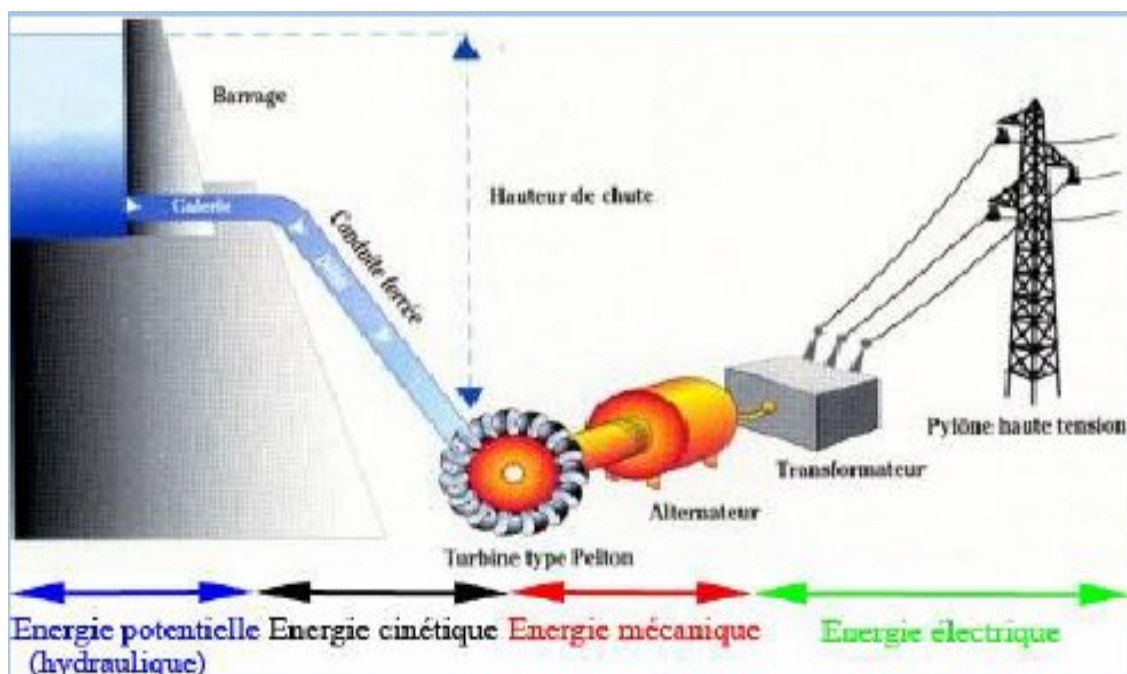


les turbines à axe vertical

## I.2. Énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergies mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'eau douce ou l'eau de mer. Ce déplacement va produire un travail mécanique qui est utilisé directement ou converti sous forme d'électricité

De nombreuses civilisations se sont servies de la force de l'eau, qui représentait une des sources d'énergie les plus importantes avant l'ère de l'électricité. Un exemple connu est celui des moulins à eau , placés le long des rivières. Aujourd'hui, bien que de nombreux sites aient été parfaitement équipés, cela ne suffit plus à compenser l'augmentation vertigineuse de la consommation. De nos jours l'énergie hydraulique est utilisée au niveau des barrages et sert principalement à la production d'électricité.



## I.3. Énergie de la biomasse

Dans le domaine de l'énergie , le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie.

La biomasse est la 2ème énergie renouvelable dans le monde. Elle permet de produire de l'électricité, de la chaleur via la combustion de déchets et de résidus de matières organiques végétales ou animales.

Le terme de biomasse recouvre un champ très large de matières : bois, déchets des industries de transformation du bois, déchets agricoles (pailles, lisiers, etc.), fraction fermentescible des

déchets ménagers et des industries agro-alimentaires, biogaz de décharge ou produits de méthanisation (lisiers, boues d'épuration, décharges, ...).

L'avenir du bois-énergie passe aussi par la réalisation de réseaux de chaleur. Alimentés par des chaudières, ils distribuent de l'eau chaude pour les logements individuels et collectifs, les mairies, les écoles, les piscines, etc..



#### I.4. Énergie géothermique

La géothermie consiste à capter la chaleur contenue dans la croûte terrestre Pour produire du chauffage ou de l'électricité .On caractérise 3 types d'énergie :

##### I . 4 . 1. **Géothermie à haute énergie**

la température élevée du gisement (entre 80°C et 300°C) permettant la production d'électricité.

##### I . 4 . 2. **Géothermie à basse énergie**

La température de l'eau entre 30°C et 100°C.Cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur.

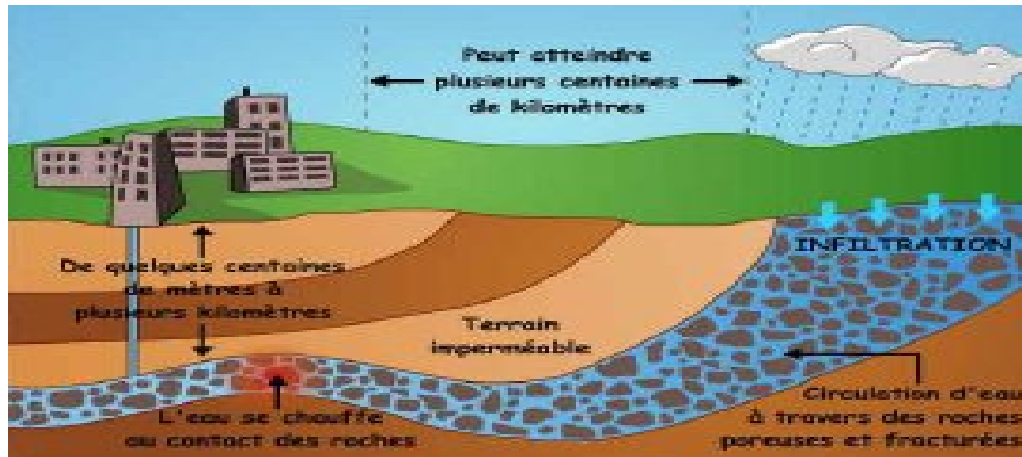
##### I . 4 . 3. **Géothermie à très basse énergie**

la température est comprise entre 10 °C et 30 °C. Cette technologie est appliquée au chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique.

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. La plus grande partie de la chaleur de la Terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la

croûte terrestre : c'est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, vent). Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années.

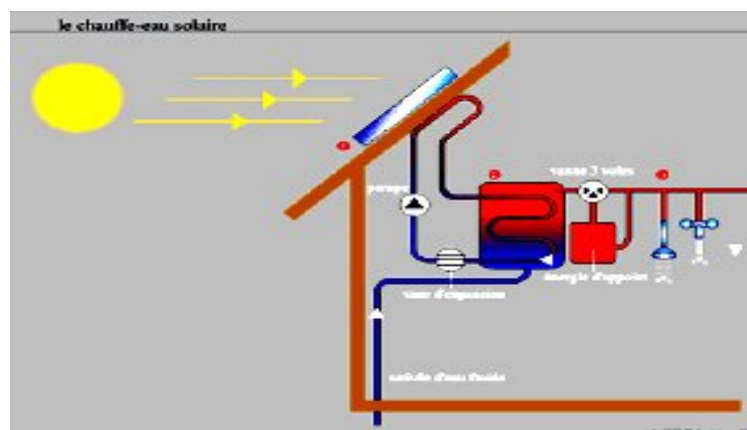


## I.5. Énergie solaire

L'énergie solaire est utilisée sous deux forme:

### I.5.1. Chauffe eau solaire

L'énergie solaire est principalement utilisée pour le chauffage de l'eau sanitaire et le chauffage de bâtiments. Le rayonnement solaire est reçu par un absorbeur qui a son tour chauffe soit un fluide caloporteur soit l'eau directement. Un vitrage est placé devant l'absorbeur, ainsi le rayonnement est « capturé », en d'autres termes, c'est l'effet de serre



### I.5.2 Centrale électrique photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des panneaux qui captent le rayonnement solaire et le convertissent directement en courant continu.

# Chapitre II

## Systeme photovoltaïque

## II.1. Energie solaire

Le soleil reste jusqu'à présent la plus importante source d'énergie malgré la distance considérable qui le sépare de la terre (  $150 \cdot 10^6$  de kilomètres ).

La puissance émise par le soleil sous forme de rayonnement est estimée à  $390 \cdot 10^{15}$  G W ,alors que la couche terrestre n'arrive à recevoir que  $180 \cdot 10^6$  GW.

Arrivant à la terre ,le rayonnement solaire subit de considérables modifications , dues principalement aux phénomènes d'absorption et de diffusion . De là, on introduit la notion de l'éclairement comme étant la densité de puissance reçue par une surface soumise à un flux lumineux . Dans les conditions atmosphérique optimales , cette densité de puissance atteint  $1\text{KW}/\text{m}^2$  pour un site situé au niveau de la mer .[5]

## II.2. Conversion photovoltaïque

L'énergie émise par le soleil peut être captée de deux manières : La première est d'ailleurs la plus connue et sans aucun doute , le chauffage d'eau ou d'air par un collecteur plan .

La lumière du soleil dans la deuxième cas est convertie directement en électricité en utilisant la technique de conversion photovoltaïques .

La possibilité de transformer directement l'énergie lumineuse et en particulier le rayonnement solaire en énergie électrique est apparue en 1954 avec la découverte de l'effet photovoltaïque .

Cet effet utilise les propriétés quantiques de la lumière permettant la transformation de l'énergie incidente en courant électrique continu ,dont la cellule solaire ou photopile est l'élément de base.[5]

## II.3. Principe de la conversion photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est une composante semi-conducteur dont les porteurs de charges ou paires d'électrons trous (électrons dans la bande de conduction et trous dans la bande de valence)sont générés par suite de l'absorption sélective des photons lumineux par la cellule.

En d'autres termes ,quand les photons incidents ont une énergie suffisante pour provoquer le transfert des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction , des paires électrons – trous se créent . En passant dans la bande de conduction, l'électron laisse un trou ou un vide qui sera comblé par un électron voisin , et le processus continu . En reliant les deux surfaces de la jonction P – N via une charge , un courant électrique circule.

La figure I – 1 représente la vue en coupe d'une cellule solaire.

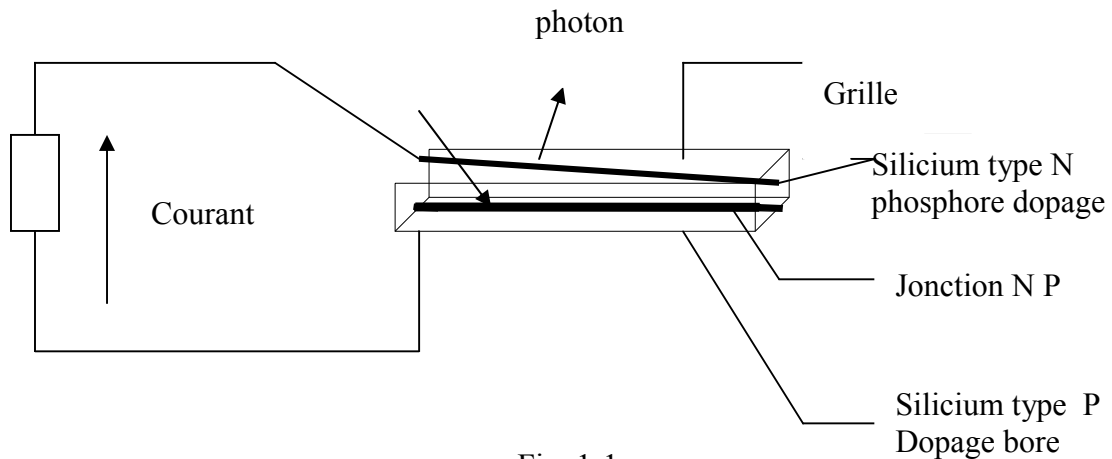


Fig. 1-1

## II.4. Pourquoi un semi – conducteur

Des travaux d'analyse spectrale montrent que la plus grande partie de l'énergie transmise par les rayons solaires se situe dans la partie visible du spectre lumineux .

Le semi- conducteur est l'élément le plus adapté à la conversion de ce faisceau comme il permet de donner le produit courant tension le plus élevé , les isolants ne conviennent pas du fait de leur faible absorptivité de lumière ,quant aux matériaux, leur concentration élevée en électrons dans l'obscurité empêche tout effet photovoltaïque .

A l'heure actuelle , le silicium est le matériau semi – conducteur le plus répandu pour la fabrication des photopiles.

### II.4.1. Type des cellules

Il existe trois grands types de silicium : mono cristallin, poly cristallin et amorphe.

#### a- Cellule au silicium mono cristallin

Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique [4].

Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois du silicium amorphe, mais sont nettement plus chers.

#### b- Cellule au silicium poly cristallin

Le silicium poly- cristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que pour les photopiles mono cristallines). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser [4].

#### c- Cellule au silicium amorphe

Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin les cellules sont constituées par des couches très minces [4].

## II.5. Caractéristiques des cellules solaire

### II.5.1. Schéma équivalent

le schéma équivalent d'un module solaire peut se représenter sous diverses variantes , on adopte la configuration suivante :

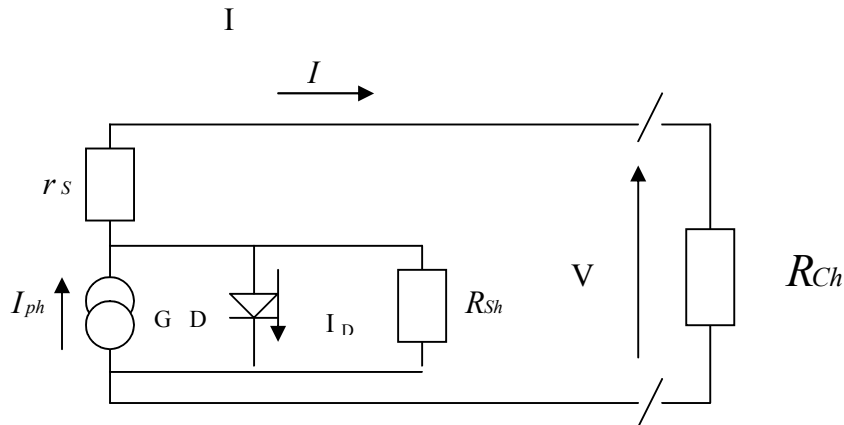


Schéma équivalent du module solaire.

une cellule solaire peut être considérée comme une source de courant variable et de tension fixe , elle se comporte comme un générateur de courant monté en parallèle avec un diode  $D$  caractérisant la jonction et une résistance  $R_{sh}$  ( résistance shunt ) simulant les fuites entre la grille supérieure et le contacte arrière de l'élément, et en série avec une autre résistance  $R_s$  ( résistance série ) représentant les pertes par effets joule .

les valeurs respectives de ces éléments déterminent les performances de la cellule , en particulier la courbe tension courant  $I=f(V)$  dans des conditions d'éclairement et de températures spécifique en construisant la caractéristique  $I = f(V)$

point par point par voie expérimentale .

De plus trois points de cette courbe définissent les caractéristiques normalisées des cellules.

- Le point de fonctionnement optimal pour le quel une cellule délivre sa puissance maximal. A ce point correspondent des valeurs de tensions et de courant maximales

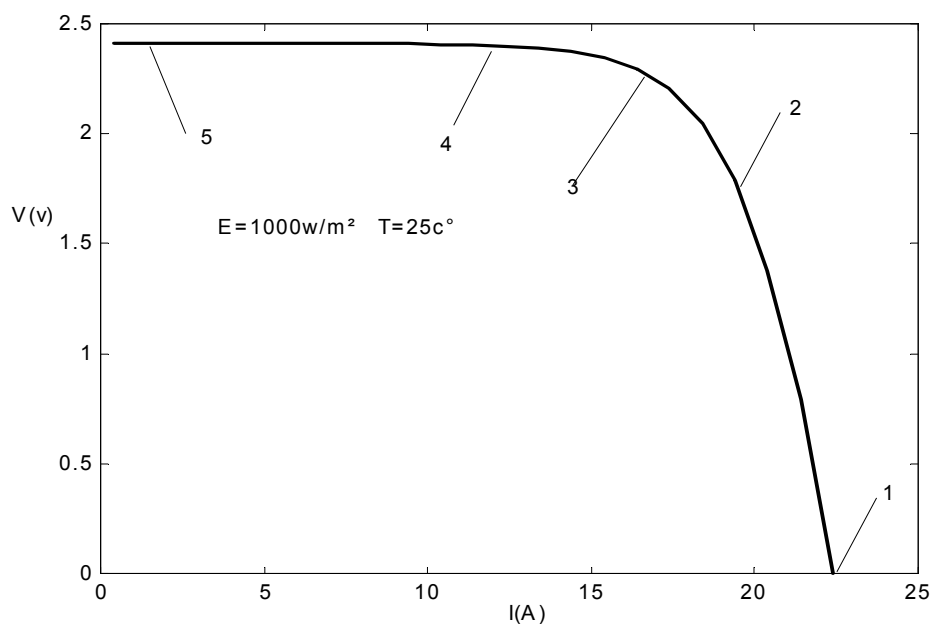
$$P_{\max} = V_{op} \cdot I_{op} \quad (I-1)$$

-Le point ou la tension est nul est la valeur de courant maximal (courant de court circuit  $I_{CC}$ )

-Le point où le courant est nul est la valeur de tension maximale (tension en circuit ouvert  $V_{oc}$ )

### II.5.2. Caractéristiques courant tension

C'est une caractéristique fondamentale du module solaire définissant cet élément comme générateur. Elle est identique à celle d'une jonction P-N avec un sens passant et un sens bloqué mais décalé le long de l'axe du courant d'une quantité directe et proportionnelle à l'éclairement. Elle se trace sous un éclairement fixe et une température fixe et construite point par point par voie expérimentale.



caractéristique  $I$ -  $V$  du module solaire.

Le fonctionnement du module solaire est caractérisé essentiellement par trois zones:

- 1- zone 1-2: fonctionnement en générateur de tension.
- 2- Zone 2-4: zone préférée pour le fonctionnement du module. Le point de fonctionnement optimale définit par le courant  $I_{op}$  et la tension  $V_{op}$  est celui où le module délivre sa puissance maximale.

$$P_{op} = V_{op} \cdot I_{op}$$

- 3 – zone 4-5: fonctionnement en générateur de courant constant.

### II.5.3. Rendement

C'est le facteur de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique , il représente le rapport de la puissance fournie rapportée à celle du rayonnement incident.

$$\eta = \frac{V_{op} \cdot I_{op}}{E \cdot A_1} \quad (I-2)$$

Ou :

A1: surface effective du module, ce rendement varie généralement entre 8 à 13% pour le silicium mono cristallin, alors que cette plage est de 7 à 11% pour le polycristalin.

### II.5.4. Facteur de forme

C'est un facteur de performance des cellules solaires. Plus il s'approche de l'unité, plus les cellules sont meilleures, il compare la puissance maximale délivrée ( $p_{op}$ ) a produit du courant de court circuit ( $I_{cc}$ ) et de la tension à Circuit ouvert ( $V_{oc}$ ).

$$FF = \frac{V_{op} \cdot I_{op}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (I-3)$$

## II .6. Influence de l'éclairement et la température sur la caractéristique I–V

### II .6.1. Influence de l'éclairement

L'augmentation du flux lumineux se traduit en somme par le déplacement de la caractéristique I-V suivant l'axe des courants l'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que celui de la tension à circuit ouvert le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement, alors que celle de la tension à circuit ouvert est logarithmique.

Ce faisceau de courbes se trace à température constante et dont la fig.( I- 4 ) illustre un tracé correspondant à une température  $T_c = 25C^\circ$ .

### II .6.2. Influence de la température

Si la température de cellule augment le courant photo généré  $I_{ph}$  augmente également par suite de la diminution de la largeur de la bande interdite du matériau. Cette augmentation est de l' ordre de  $0.19V/C^\circ$ . Le courant directe de la jonction augmente aussi, mais beaucoup plus vite entraînant une diminution de la tension de circuit ouvert d'ordre de  $2mV$  par cellule . La puissance maximale disponible se trouve ainsi diminuée de  $0.35\%$  par degrés celsius .Ce faisceau de courbes se trace a un éclairement fixe, et dont la fig.(I-5) illustre le trace de ce faisceau pour un éclairement  $E = 1000 W / m^2$

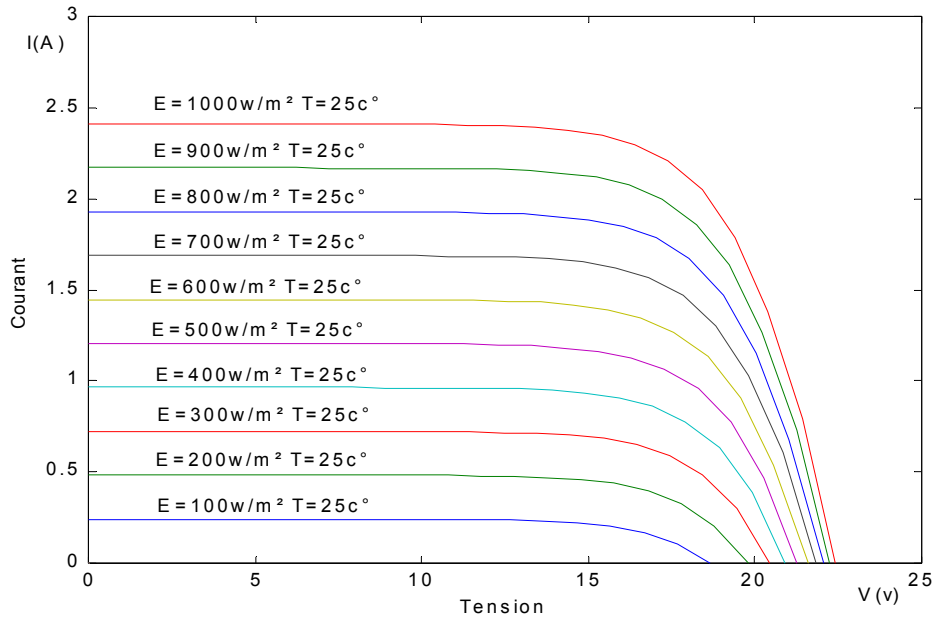


Fig. I-4

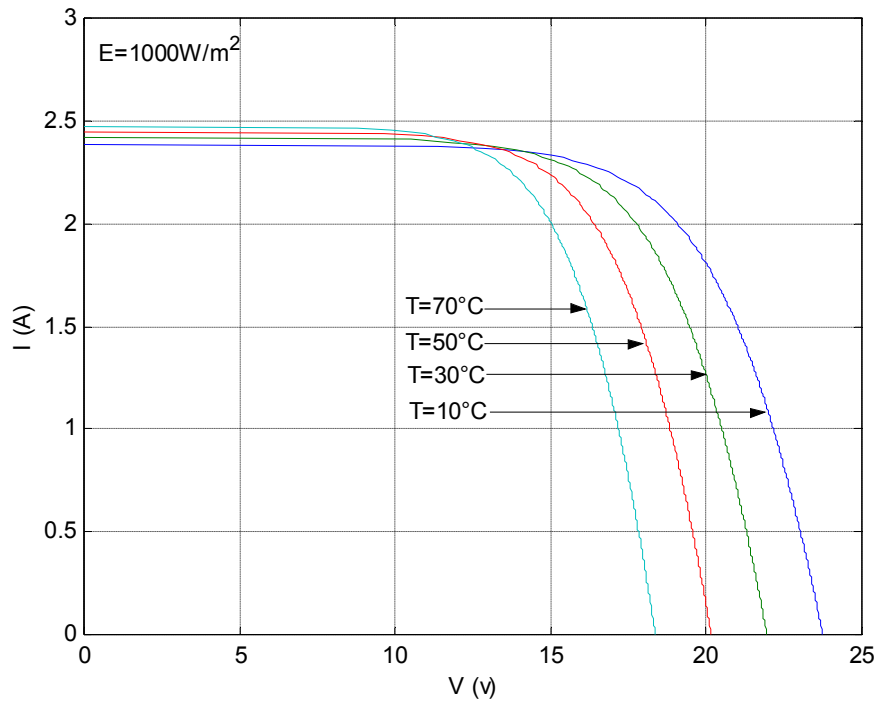
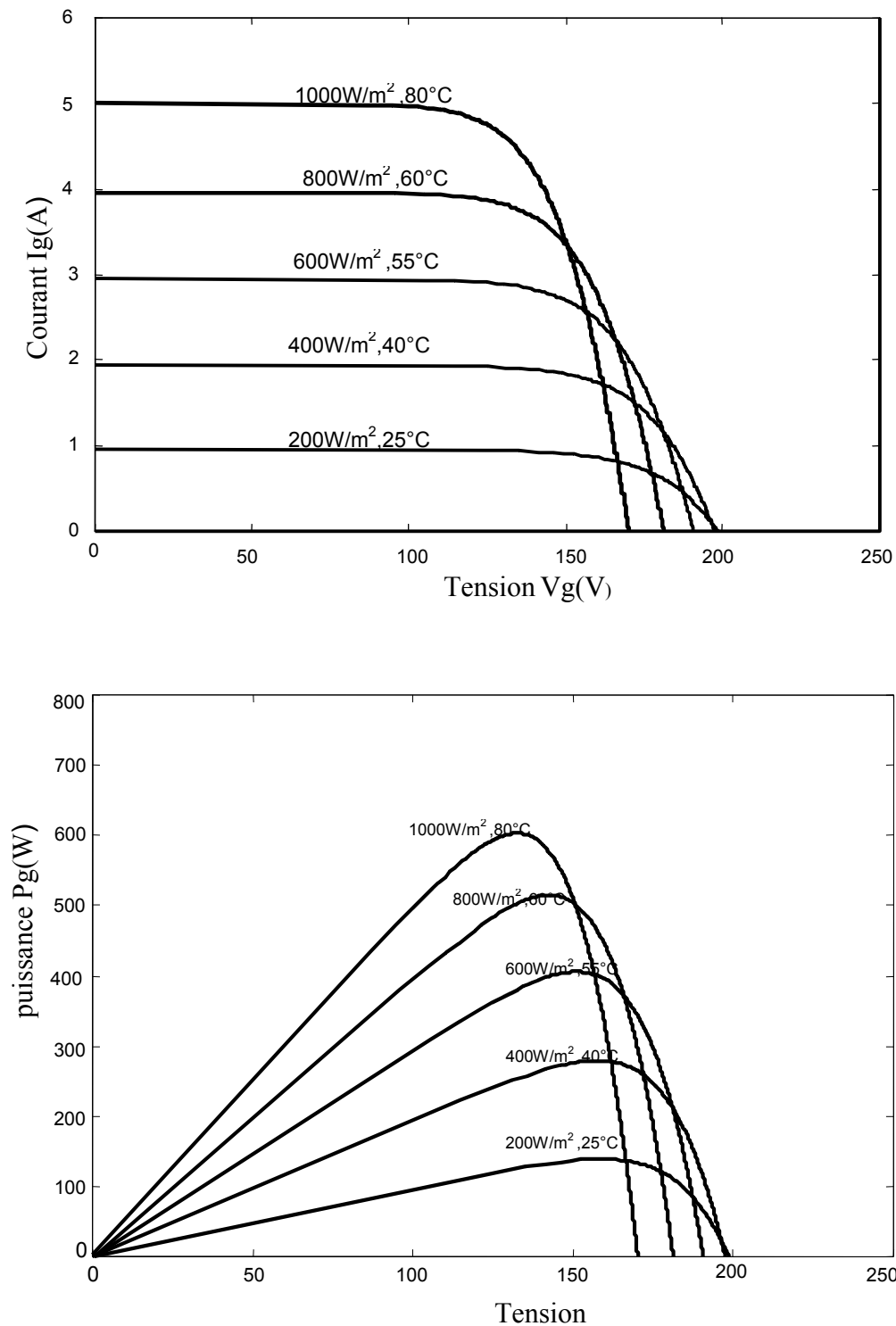


Fig.I-5

### II .6.3. Influence simultanée de l'éclairement et la température

En pratique, une variation importante de l'éclairement entraînerait forcément une variation de température, les faisceaux de courbe sont illustrés sur la figure suivant:



Effet de l'éclairement et la température sur les caractéristiques

(a) courant –tension et (b) puissance - tension

## II .7. Pièce didentité du module A E G- 40

Le module AEG-40 est l'élément constitutif de notre générateur photovoltaïque .Il est constitue de 35 cellules carrées au silicium mono-cristallin, ou chaque photopile presente 10 cm de cote ce module possède les caractéristique suivantes fournies par le constructeur à 1000(W/m<sup>2</sup>) et 25C°.

- puissance crête =38.4 W
- courant de court circuit = 2.41 A
- tension à circuit ouvert = 22.4 V
- courant optimum = 2.2A
- tension optimum = 17.45 V
- résistance série = 0.45
- coefficient de variation du courant en fonction de la température égale 0.06/C°
- coefficient de variation de la tension en fonction de la température égale 0.4%/ C°

## II .8. Modélisation du générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est une matrice de 16 modules en série la caractéristique I .V peut être décrit par une équation non linéaire de la forme implicite :[5]

$$I=I_{cc}-I_o[\exp(\frac{V+R_s \cdot I}{V_{th}})-1]-\frac{(V+R_s \cdot I)}{R_{sh}} \quad (I-4)$$

Ou :

I<sub>cc</sub> :courant de court-circuit approximativement égale au courant photo généré I<sub>ph</sub> .

I<sub>o</sub> : courant de saturation inverse.

V<sub>th</sub> : tension thermique.

I<sub>o</sub>[exp( $\frac{V+R_s \cdot I}{V_{th}}$ )-1] : Courant d'une diode polarisée directement.

$\frac{(V+R_s \cdot I)}{R_{sh}}$  : Courant de fuite à travers la résistance R<sub>sh</sub> .

Pour les modules ou R<sub>sh</sub> est supposées infinie, l'équation (I-4) se réduit à :

$$I=I_{cc}-I_o[\exp(\frac{V+R_s \cdot I}{V_{th}})-1] \quad (I-5)$$

-La tension thermique V<sub>th</sub> et le courant d'obscurité I<sub>o</sub> sont respectivement identifiés par :

$$V_{th} = \frac{(V_{op} + R_s \cdot I_{op} - V_{oc})}{\log(1 - \frac{I_{op}}{I_{cc}})} \quad (I-6)$$

et

$$I_o = (I_{cc} - I_{op}) \exp\left[1 - \frac{(V_{op} + R_s \cdot I_{op})}{V_{th}}\right] \quad (I-7)$$

les paramètres des générateurs identifiants l'équation (I-5) sont reliés à ceux du module solaire par:

$$I_{CC} = N_P \cdot I_{CC} \text{ (mod)} \quad (I-8)$$

$$I_o = N_P \cdot I_o \text{ (mod)} \quad (I-9)$$

$$I_{OP} = N_P \cdot I_{OP} \text{ (mod)} \quad (I-10)$$

$$V_{OC} = N_S \cdot V_{OC} \text{ (mod)} \quad (I-11)$$

$$V_{OP} = N_S \cdot V_{OP} \text{ (mod)} \quad (I-12)$$

$$V_{th} = N_S \cdot V_{th} \text{ (mod)} \quad (I-13)$$

$$R_s = \frac{N_S}{N_P} \cdot R_s \text{ (mod)} \quad (I-14)$$

## II.9. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Malgré les avantages qu'elle présente, l'énergie photovoltaïque présente certains inconvénients .

### a . Avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du mille watt au Méga Watt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions

**b . Inconvénients**

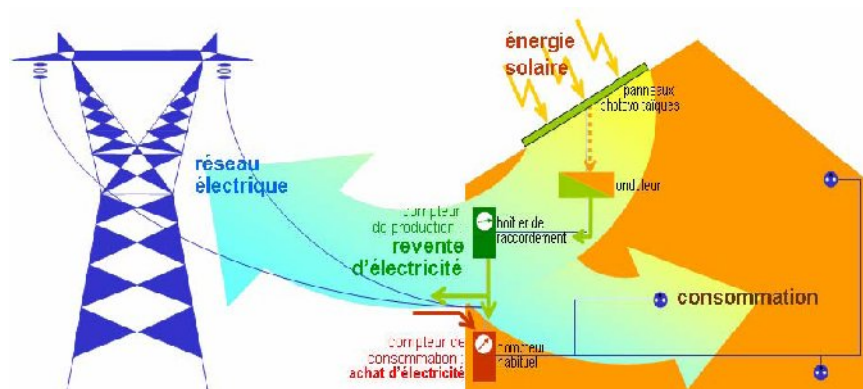
- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs 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.

Chapitre III  
Systèmes Photovoltaïque  
Connectés au Réseau

### III.1 Introduction

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui prisent sérieusement pour compléter la génération conventionnelle d'énergie dans plusieurs pays industrialisés. Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité. Bien qu' il sont devenus viables dans le développement économique, la participation des Photovoltaïques dans la génération d'énergie de grande échelle est augmentée à cause des effets environnementaux défavorables des sources conventionnelles d'énergie.

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380 V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où.



Types des systèmes connectés au réseau

### III.2 Élément constitutif d'une installation connecté au réseau

Elle est constituée de trois éléments essentiels :

- Les panneaux photovoltaïques
- Les convertisseurs
- Un compteur d'énergie (en fait, en général, deux compteurs dans le cas des installations décentralisées)
- Accessoires

#### III.2.1 Convertisseurs

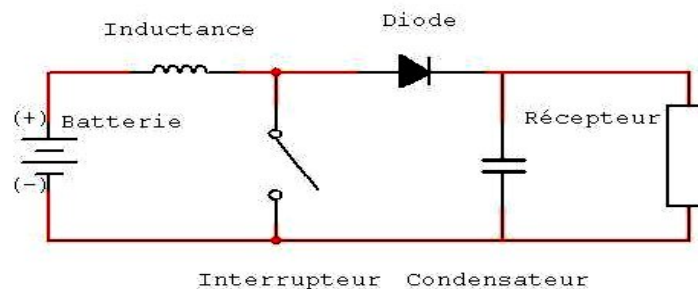
Suivant l'application, on devra souvent utiliser un convertisseur pour adapter la puissance générée à la charge. Il existe principalement les convertisseurs DC/DC et les convertisseurs DC/AC

**III.2.1.1 Convertisseurs DC/AC :** Ce sont des onduleurs. Ils peuvent être utilisés pour alimenter une charge isolée mais aussi pour raccorder un générateur photovoltaïque au réseau. La déformation de l'onde due aux commutations est susceptible de produire des perturbations plus ou moins gênantes pour les cellules photovoltaïques. Les onduleurs peuvent être classés en générateurs produisant soit une onde sinusoïdale, soit une onde carrée ou une onde dite pseudo sinusoïdale. Le choix de l'onduleur dépendra des appareils qu'il devra faire fonctionner.

**III.2.1.2 Convertisseurs DC/DC :** Ces convertisseurs sont utilisés pour transformer la tension des batteries en une tension DC différente pour alimenter une radio ou autres.

Il y a deux types de convertisseurs actifs ayant un bon rendement : le convertisseur vers le haut et le convertisseur vers le bas.

**III.2.1.3 Convertisseur vers le haut :** Si l'interrupteur est fermé, l'inductance stocke le courant provenant de la batterie. Si l'interrupteur est ouvert, interruption de courant provoque une surtension dans l'inductance dérivée dans le condensateur et le récepteur. La diode empêche tout retour de courant. Le condensateur sert à lisser la tension de sortie. Le rendement est de 70% et peut atteindre 85 à 90% pour les meilleurs convertisseurs.

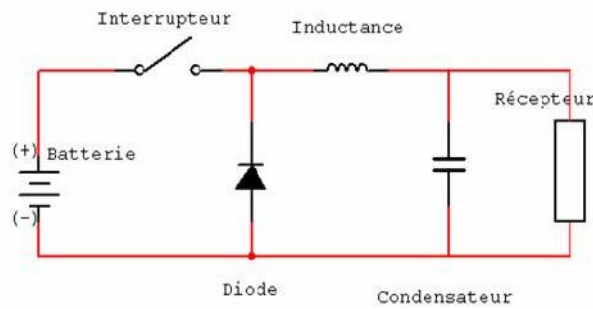


Exemple de convertisseur DC/DC vers le haut

#### III.2.1.4 Convertisseur vers le bas

Il sert à produire une tension plus basse que celle des batteries et il s'applique à l'alimentation de radios et autres.

Lorsque l'interrupteur est fermé, le courant circule de la batterie vers le récepteur à travers l'inductance. Si l'interrupteur s'ouvre, la tension aux bornes de l'inductance s'inverse et la diode protège donc l'interrupteur. Le rendement est de 80 à 90%.



Convertisseur typique DC/DC vers le bas

### III.3 Différents types de systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Il existe deux types de structures de système photovoltaïques :

Les systèmes à connexion directe au réseau Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté à l'aide d'un onduleur au réseau électrique. Il existe dans la littérature de nombreux exemples [6].

Le système à bus continu intermédiaire. Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un convertisseur continu continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD) On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau [6,8]. Il existe plusieurs architectures pour les dispositifs permettant de convertir la tension continue issue du générateur photovoltaïque en une tension sinusoïdale utilisable (230V)

Dans la suite de cette partie, différents montages seront décrits, en précisant leurs avantages et leurs inconvénients.

### III.3.1 Système PV connecté directement au réseau

- **Structure à convertisseur unique**

Le dispositif présenté à la fig.II.4 est le plus simple, car il comporte le moins de composants possibles. On associe plusieurs modules photovoltaïques en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. La tension continue obtenue alimente directement un onduleur central, qui fournit la tension sinusoïdale désirée (230 V). Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système photovoltaïque du réseau. L'inconvénient majeur de ce dispositif est l'arrêt total et immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur. De plus le contrôle du point de maximum de puissance est approximatif car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement.

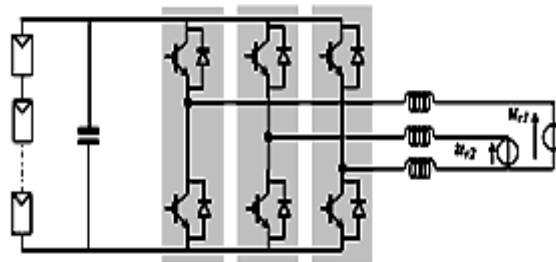


Fig II.4

- **Structure avec bus à basse tension alternative**

La fig II.5 montre un onduleur associé à un circuit de commande qui est directement connecté au module photovoltaïque. La tension en sortie de ce dernier est transformée en une tension alternative de fréquence 50 Hz. Cette tension est transportée grâce à un bus alternatif (20 V - 50 Hz, exemple du schéma) vers un transformateur central qui l'élève au niveau désiré. Le faible niveau de tension dans le bus est l'avantage majeur de ce type de montage, puisqu'il assure la sécurité du personnel. Cependant, la distance entre le transformateur et le module doit être faible à cause du courant important qui traverse les câbles et qui génère des pertes Joules. Il y a un compromis à faire au niveau de la tension du bus alternatif. D'une part, il faut que sa valeur crête soit inférieure à celle délivrée par le module (même avec un faible ensoleillement). D'autre part, une tension faible dans ce bus diminue le rendement.[6]

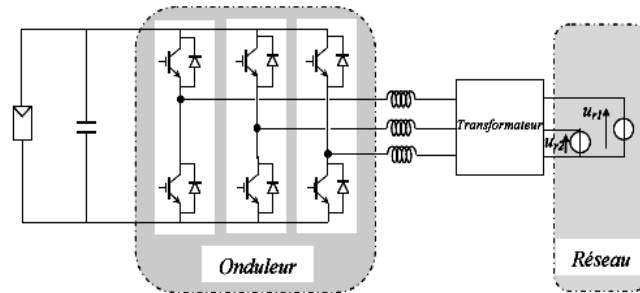


Fig II.5

### III.3.2 Système à bus continu intermédiaire

#### III.3.2.1. Structure avec convertisseur forward

La fig II.6 présente un convertisseur forward qui est capable d'augmenter la tension en sortie du module photovoltaïque jusqu'à 350 V (tension désirée). L'utilisation d'un transformateur pour la connexion au réseau n'est donc plus nécessaire, la conversion continu-alternatif se fait de façon relativement simple, grâce à un onduleur centralisé. Les inconvénients majeurs de ce montage sont:

La capacité doit être relativement importante, à cause des ondulations du courant en sortie du module.

Le bus continu supportera un signal en créneaux qui induira une grande émission d'ondes électromagnétiques et éventuellement des pertes de fuite; l'induction du transformateur compris dans le convertisseur générera des pertes de fuite.

La tension élevée qui traverse le bus continu réduit la sécurité du personnel d'entretien.

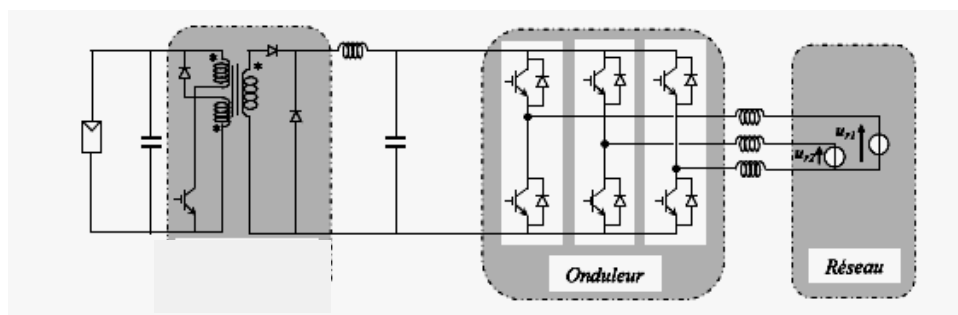


Fig II.6

#### III.3.2.2. Structure avec un convertisseur de type fly-back

La fig II.7 montre une structure à base d'un convertisseur de type fly-back qui élève la tension de sortie du module photovoltaïque au niveau de tension désiré. La caractéristique

principale du fly-back se situe au niveau du transformateur qui agit comme l'inducteur principal et qui assure l'isolation galvanique. Le hacheur est contrôlé pour obtenir un maximum d'énergie du module photovoltaïque et l'onduleur assure une tension constante  $V_{acl}$  et le transfert de puissance vers le réseau. L'inconvénient du transformateur est qu'il génère des pertes et qu'il augmente le coût de l'installation.

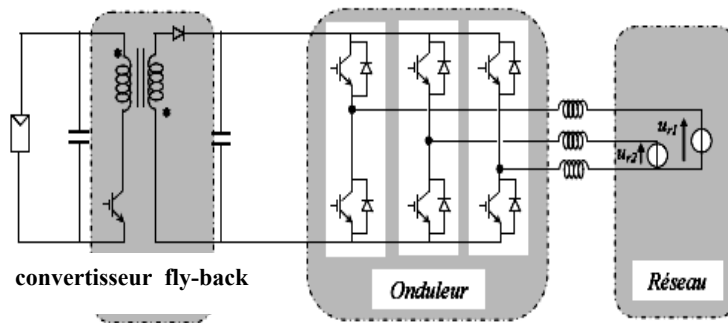


Fig II.7

### III.3.2.3. Structure avec hacheur et onduleur

La fig II.8 représente un hacheur qui élève la tension en sortie du module photovoltaïque en une tension de 100 V délivrée sur le bus continu. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension de sortie des modules plus de 4 à 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance de l'inductance. On adjoint un onduleur pour avoir une sortie sinusoïdale, puis un transformateur pour élever cette tension au niveau désiré (selon le réseau) et pour assurer l'isolation entre la partie production et la partie utilisation. L'avantage de ce système est que des batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome. Le courant d'entrée est relativement lisse c'est pour cela que la capacité peut être faible.[6]

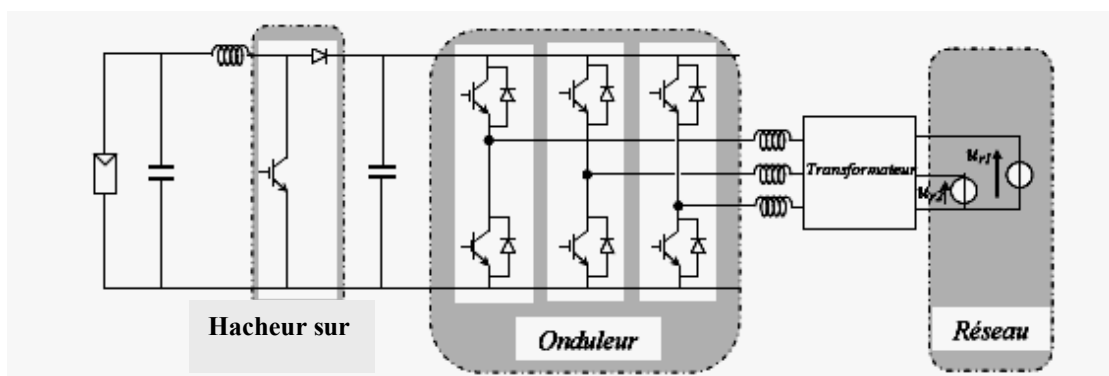


Fig II.8

### III.4 Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau

#### a- Avantages

- ✓ N'ont pas besoin de stockage d'énergie et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus cher) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.
- ✓ Pas de gaspillage – tout excédent est livré au réseau – particulièrement intéressant pendant les périodes d'absence de son domicile, pendant le week-end, pendant les vacances quand les modules continuent à travailler. On évite les pertes d'énergie associées au stockage en batterie lorsque la batterie est complètement chargée par exemple .
- ✓ On n'est pas obligé de calculer méticuleusement ses besoins en électricité. Et de prévoir des niveaux de demande exceptionnellement très élevés, même si très rares.
- ✓ On peut commencer petit et agrandir par la suite sans problèmes de dimensionnement compliqués
- ✓ On peut satisfaire à une partie ou à la totalité de besoins.

#### b- Inconvénients

C'est vraiment la voie royale qui permet au photovoltaïque de faire sa percée nos vies.

- ✓ La consommation risque de redevenir relativement "invisible" et on pourrait retomber dans le piège de la consommation irréfléchie.
- ✓ Les contraintes électriques imposées par les sociétés d'électricité peuvent être rigoureuses, et les onduleurs synchrones doivent répondre aux exigences techniques des compagnies de production et de transport d'énergie. Par exemple. il faut un mécanisme de coupure automatique du courant au réseau dans l'éventualité d'une panne pour éliminer tout risque à ceux qui font les travaux de réparation.

Mais le plus important, c'est la question du prix payé pour les KWh livrés au réseau.

Il est difficile de dire combien de temps il faudra pour atteindre un niveau de prix où le KWh photovoltaïque sera compétitif avec le KWh conventionnel. Issu de combustibles fossiles (pétrole, gaz ou charbon) ou fissile (nucléaire), il est évident que ce choix n'est aujourd'hui économiquement viable qu'avec un soutien de fonds publics significatifs, et c'est ce que ce passe dans la plupart des pays européens. Mais ce concept est tellement séduisant que de plus en plus de personnes sont intéressés et souhaitent participer à la démonstration qu'il est possible de produire soi-même d'électricité.[8,9].

## Chapitre IV

# Poursuite du ( MPPT ) par la logique floue

## IV.1 Logique floue

### IV.1.1 Introduction

Le terme d'ensemble flou apparaît pour la première fois en 1965 lorsque le professeur Lotfi A. Zadeh, de l'université de Berkeley aux USA, publie un article intitulé « Ensembles flous » (Fuzzy sets). Il a réalisé depuis de nombreuses avancées théoriques majeures dans le domaine. En 1975, le professeur Mamdani à Londres présente les résultats très encourageants qu'il a obtenus sur la conduite d'un moteur à vapeur.

La première véritable application industrielle de la logique floue a été le contrôle d'un four à ciment réalisé par la société danoise F.L.Smidth en 1978. Mais c'est au Japon que la logique floue connaît son véritable essor à la fin des années 1980 avec de nombreuses applications dans l'électroménager et l'électronique grand public. Dans l'industrie, le traitement des eaux, les grues portuaires, les métros, les systèmes de ventilation et de climatisation sont aussi touchés.

Machines à laver sans réglage, caméscopes anti-bougé, contrôle de l'air conditionné et transmissions automatiques dans l'automobile font partie des nombreuses innovations qui ont fait connaître le terme «logique floue » à un large public. Dans le domaine des processus de production, continue et par lots, et dans les automatismes les applications se sont également multipliées.

La logique floue permet de systématiser ce qui est du domaine de l'empirisme et donc difficile à maîtriser, c'est une approche essentiellement pragmatique, efficace et générique. La théorie des ensembles flous fournit une méthode pertinente et facilement réalisable dans des applications temps réel ; elle permet de transcrire et rendre dynamiques les connaissances des concepteurs ou des opérateurs. Cet aspect adaptable et universel de la logique floue permet de s'attaquer à l'automatisation de procédures telles que la mise en route, le réglage de paramètres, pour lesquelles peu d'approches existaient auparavant.

La logique floue ne remplace pas nécessairement les systèmes de régulation conventionnels, elle en est plutôt un complémentaire. Ses avantages viennent notamment de ses capacités à :

- ✓ formaliser et simuler l'expertise d'un opérateur ou d'un concepteur dans la conduite et le réglage d'un procédé ;
- ✓ donner une réponse simple pour les procédés dont la modélisation est difficile ;
- ✓ prendre en compte sans discontinuité des cas ou exceptions de natures différentes, et les intégrer au fur et à mesure dans l'expertise
- ✓ prendre en compte plusieurs variables et effectuer de la «fusion pondérée» des grandeurs d'influence.

## IV.1 .2 Théorie des ensembles flous

### IV.1.2.1 Notion d'appartenance partielle

La théorie des ensembles flous repose sur la notion d'appartenance partielle: chaque élément appartient partiellement ou graduellement aux ensembles flous qui ont été définis. Les contours de chaque ensemble flou ne sont pas nets, mais flous ou graduels (figure IV.1).

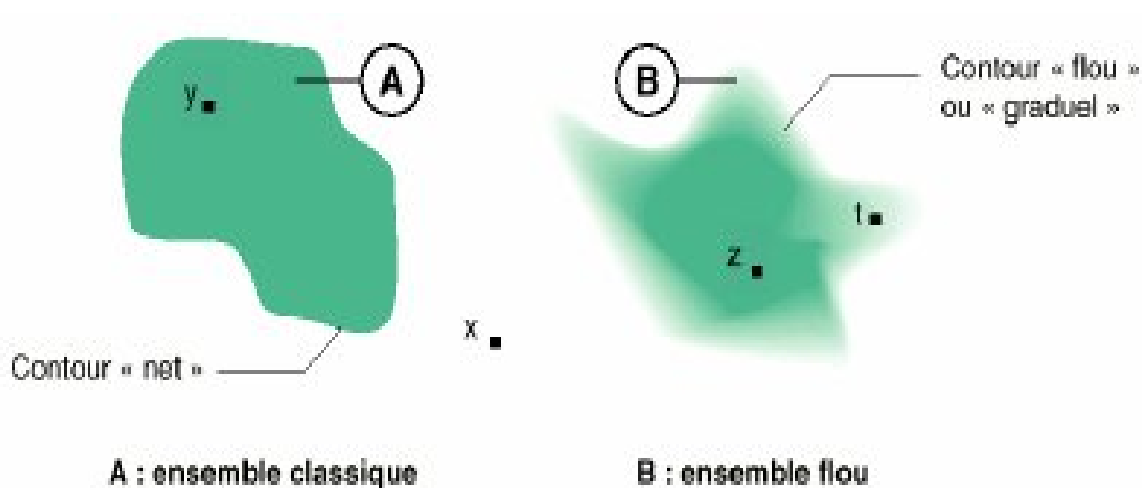


Figure IV.1

La figure ci-dessus nous permet de dire que :

- ✓ x n'appartient ni à A ni à B,
- ✓ y appartient totalement à A,
- ✓ z appartient totalement B,
- ✓ t appartient partiellement à B.

### IV.1.2.2 Fonctions d'appartenance

Un ensemble flou est défini par sa « fonction d'appartenance », qui correspond à la notion de « fonction caractéristique » en logique classique. Supposons que nous voulions définir l'ensemble des personnes de « taille moyenne ». En logique classique, nous conviendrons par exemple que les personnes de taille moyenne sont celles dont la taille est comprise entre 1,60 m et 1,80 m. La fonction caractéristique de l'ensemble donne « 0 » pour les tailles hors de l'intervalle [1,60 m ; 1,80 m] et « 1 » dans cet intervalle.

L'ensemble flou des personnes de « taille moyenne » sera défini par une « fonction d'appartenance » qui diffère d'une fonction caractéristique par le fait qu'elle peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle [0,1]. A chaque taille possible correspondra un « degré d'appartenance » à l'ensemble flou des « tailles moyennes » compris entre 0 et 1. La figure IV.2 fait une comparaison entre fonction caractéristique et fonction d'appartenance.

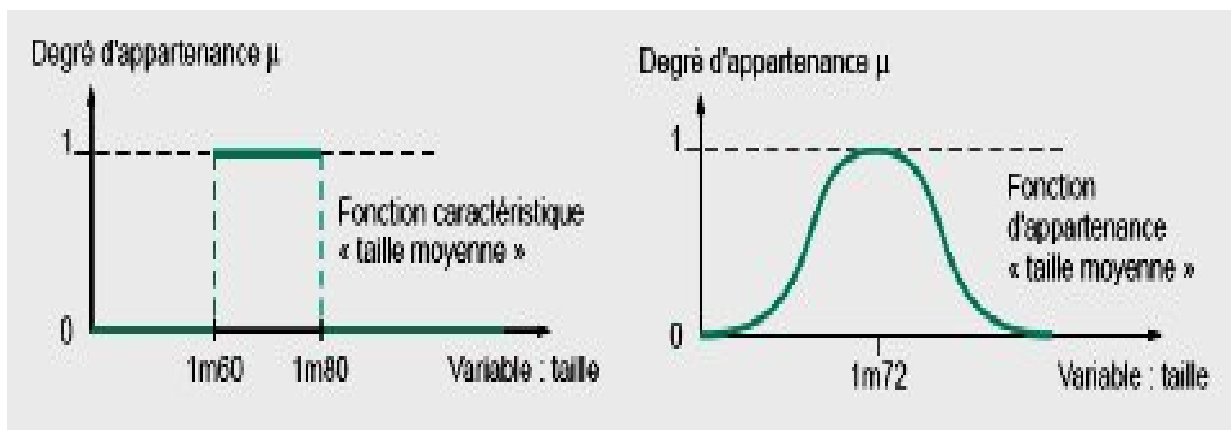
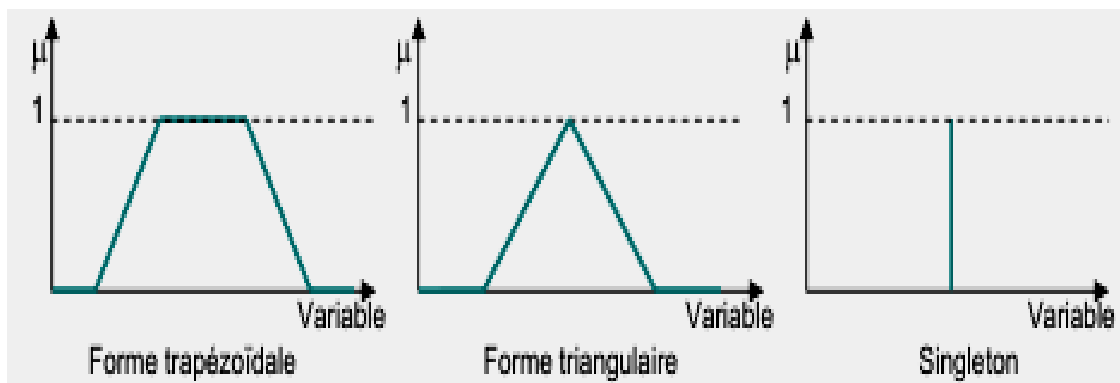


Figure IV.2

Les fonctions d'appartenance peuvent théoriquement prendre n'importe quelle forme. Toutefois, elles sont souvent définies par des segments de droites, et dites « linéaires par morceaux », elles peuvent alors être trapézoïdales ou triangulaires. Ces fonctions d'appartenance sont très utilisées car elles sont simples, elles comportent des points permettant de définir les zones où la notion est totalement vraie ou totalement fausse, ce qui simplifie le recueil d'expertise. On utilisera dans tout ce qui suit les fonctions d'appartenance triangulaires. On utilisera dans tout ce qui suit les fonctions d'appartenance de ce type.

Dans certains cas, les fonctions d'appartenance peuvent être égales à 1 pour une seule valeur de la variable et égales à 0 ailleurs, dans ce cas elles prennent le nom de « fonctions d'appartenance singletons ». Un singleton flou défini sur une variable réelle (taille) est la traduction dans le domaine flou d'une valeur particulière de cette variable (ex. : taille de Samir) [3].



Différentes formes des fonctions d'appartenance

Plusieurs ensembles flous peuvent être définis sur la même variable, par exemple les ensembles « taille petite », « taille moyenne » et « taille grande », notions explicitées chacune par une fonction d'appartenance.

La figure IV.4 montre la gradualité que permet d'introduire la logique floue. Une personne de 1,75m appartient à l'ensemble « taille grande » avec un degré 0,3 et à l'ensemble « taille moyenne » avec un degré de 0,7. En logique classique, le passage de moyen à grand serait brusque. Une personne de 1,80m serait par exemple de taille moyenne alors qu'une personne de 1,81m serait grande, ce qui choque l'intuition. La variable (par exemple : taille) ainsi que les termes (par exemple : moyenne, grande) définis par les fonctions d'appartenance portent respectivement les noms de variable linguistique et de termes linguistiques. Variables et termes linguistiques peuvent être utilisés directement dans des règles.

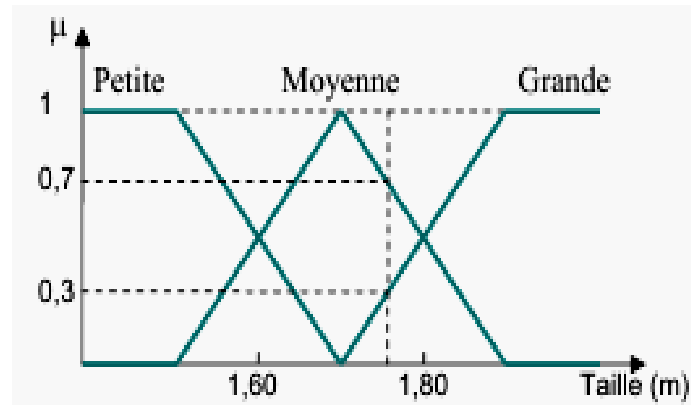


Figure IV.4

L'opération de fuzzification permet de passer du domaine réel au domaine flou. Elle consiste à déterminer le degré d'appartenance d'une valeur à un ensemble flou. On peut aussi parler de degré de vérité, ces deux notions sont donc similaires. Le degré de vérité d'une proposition A est noté  $\mu(A)$ .

#### IV.1.2.3 Opérateurs logiques flous

Ces opérateurs permettent d'écrire des combinaisons logiques entre notions floues, c'est-à-dire de faire des calculs sur des degrés de vérité. Comme pour la logique classique, on peut définir des opérateurs ET, OU, négation.

Exemple : Appartement Intéressant = Loyer Raisonnable ET Surface Suffisante

Il existe de nombreuses variantes dans ces opérateurs, cependant, les plus répandus sont ceux dits « de Zadeh » décrits ci-dessous.

- **Intersection**

L'opérateur logique correspondant à l'intersection d'ensembles est le ET. Le degré de vérité de la proposition « A ET B » est le minimum des degrés de vérité de A et de B :

$$\mu(A \text{ ET } B) = \text{MIN} [\mu(A), \mu(B)]$$

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7 ; « Pression Faible » est vraie à 0,5

« Température Basse ET Pression Faible » est donc vraie à  $0,5 = \text{MIN} [0,7; 0,5]$

On remarque que l'opérateur ET de la logique classique est bien respecté : 0 ET 1 donne bien 0.

- **Union**

L'opérateur logique correspondant à l'union d'ensembles est le OU. Le degré de vérité de la proposition « A OU B » est le maximum des degrés de vérité de A et de B :

$$\mu (A \text{ OU } B) = \text{MAX} [\mu (A), \mu (B)]$$

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7 ; « Pression Faible » est vraie à 0,5

« Température Basse OU Pression Faible » est donc vraie à  $0,7 = \text{MAX} [0,7; 0,5]$ .

On remarque que l'opérateur OU de la logique classique est bien respecté : 0 OU 1 donne bien

- **Complément**

L'opérateur logique correspondant au complément d'un ensemble est la négation.

$$\mu (\text{NON } A) = 1 - \mu (A)$$

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7

« NON Température Basse », que l'on utilisera généralement sous la forme « Température NON Basse », est donc vraie à 0,3.

Là aussi, on remarque que l'opérateur négation de la logique classique est bien respecté:

NON(0) donne bien 1 et NON(1) donne bien 0.

Le tableau IV .1 récapitule les opérateurs logiques flous et fait une comparaison avec les opérateurs logiques classiques.

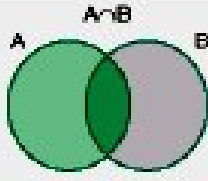
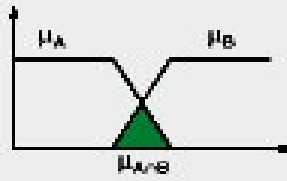
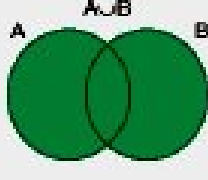
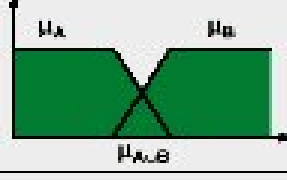
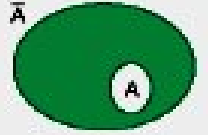
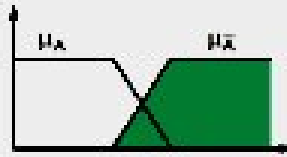
		Opérateur de ZADEH	Opération logique	
Intersection		$\mu_{A \cap B} = \text{MIN} (\mu_A, \mu_B)$	ET	
Union		$\mu_{A \cup B} = \text{MAX} (\mu_A, \mu_B)$	OU	
Négation		$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A$	NON	

Tableau IV .1

#### IV.1.2.4 Règles floues

La logique floue a pour objectif de formaliser et de mettre en œuvre la façon de raisonner d'un être humain. En cela, elle peut être classée dans le domaine de l'intelligence artificielle. L'outil le plus utilisé dans les applications de logique floue est la base de règles floues.

Une base de règles floues est composée de règles qui sont généralement utilisées en parallèle, mais peuvent également être enchaînées dans certaines applications.

Une règle est du type : SI « prédicat » ALORS « conclusion ».

Par exemple : « Si température élevée et pression forte ALORS ventilation forte et soupape grande ouverte ».

Les bases de règles floues, tout comme les systèmes experts classiques, fonctionnent en s'appuyant sur une base de connaissance issue de l'expertise humaine. Il y a néanmoins de grandes différences dans les caractéristiques et le traitement de cette connaissance.

- **Prédicat**

Un prédicat (encore appelé prémisse ou condition) est une combinaison de propositions par des opérateurs ET, OU, NON. Les propositions « température élevée » et « pression forte » de l'exemple précédent sont combinées par l'opérateur ET pour former le prédicat de la règle.

- **Inférence**

Le mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé est celui dit « de Mamdani ». Il représente une simplification du mécanisme plus général basé sur « l'implication floue » et le « modus ponens généralisé ». Ces concepts sont explicités dans la référence [1]. Seules les bases de règles

« de Mamdani » sont utilisées dans ce qui suit.

- **Conclusion**

La conclusion d'une règle floue est une combinaison de propositions liées par des opérateurs ET. Dans l'exemple précédent, « ventilation forte » et « soupape grande ouverte » sont la conclusion de la règle.

Les bases de règles floues, dans leur cas général, sont définies par des fonctions d'appartenance sur les variables du système, et par des règles qui peuvent être écrites textuellement, où chaque règle fait appel à des entrées et des sorties. Cependant, beaucoup d'applications définissent des tableaux de règles. Dans cette optique, l'espace est quadrillé, et à chaque case correspond une règle. Cette approche a l'avantage d'être systématique, mais elle ne permet pas toujours de traduire simplement (en un minimum de règles) l'expertise existante, et elle n'est applicable que pour deux voire trois entrées, alors que des bases de règles « libres » peuvent être bâties avec un nombre important de variables

#### **IV.1.2.5. Mécanisme d'inférence de Mamdani**

Une base de règles floues de Mamdani comprend des règles linguistiques faisant appel à des fonctions d'appartenance pour décrire les concepts utilisés. Le mécanisme d'inférence comprend les étapes suivantes :

##### **IV.1.2.5.1. Fuzzification**

La fuzzification consiste à évaluer les fonctions d'appartenance utilisées dans les prédicats des règles. La figure IV.5 illustre ceci par un exemple.

Exemple : Si «pression forte» ET «température élevée» ALORS «ouverture vanne grande»

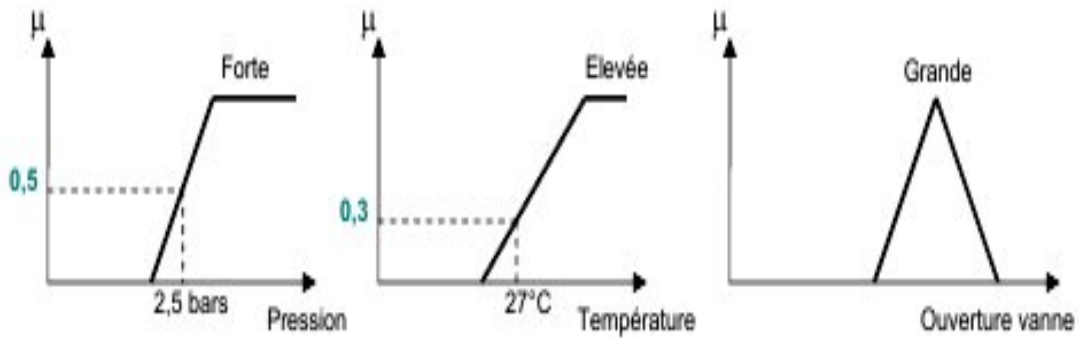
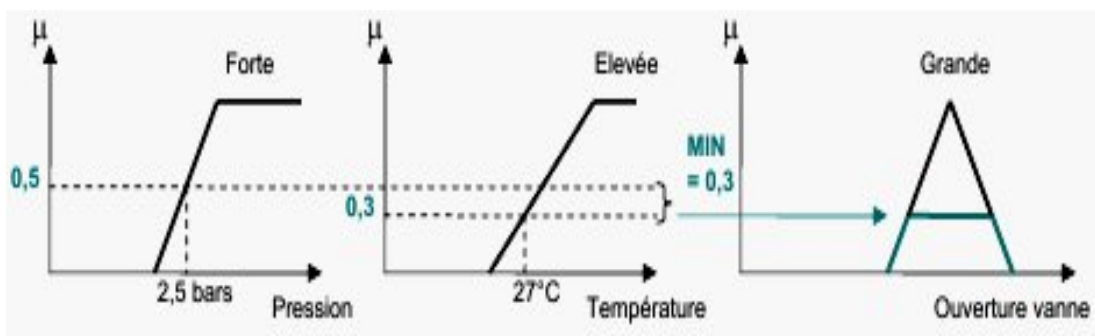


Figure IV.5

#### IV.1.2.5.2. Degré d'activation et implication

Le degré d'activation d'une règle est l'évaluation du prédicat de chaque règle par combinaison logique des propositions du prédicat. Le « ET » est réalisé en effectuant le minimum entre les degrés de vérité des propositions.

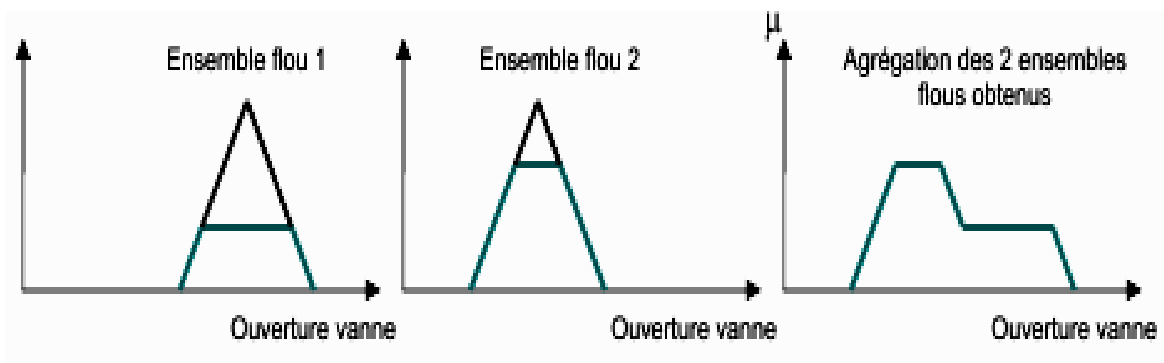
Le degré d'activation de la règle permet de déterminer la conclusion de la règle, c'est l'implication. Il existe plusieurs opérateurs d'implication, mais le plus utilisé est le « minimum ». L'ensemble flou de conclusion est construit en réalisant le minimum entre le degré d'activation et la fonction d'appartenance, sorte d'«écrêtage» de la fonction d'appartenance de conclusion.



Implication

#### IV.1.2.5.3. Agrégation

L'ensemble flou global de sortie est construit par agrégation des ensembles flous obtenus par chacune des règles concernant cette sortie. L'exemple suivant présente le cas où deux règles agissent sur une sortie. On considère que les règles sont liées par un « OU » logique, et on calcule donc le maximum entre les fonctions d'appartenance résultantes pour chaque règle.



Agrégation

#### IV.1.2.5.4. Défuzzification

A la fin de l'inférence, l'ensemble flou de sortie est déterminé mais il n'est pas directement utilisable pour donner une information précise à l'opérateur ou commander un actionneur. Il est nécessaire de passer du « monde flou » au « monde réel », c'est la défuzzification. Pour réaliser cette opération il existe plusieurs méthodes, la plus souvent rencontrée étant le calcul du « centre de gravité » de l'ensemble flou (figure IV.8)

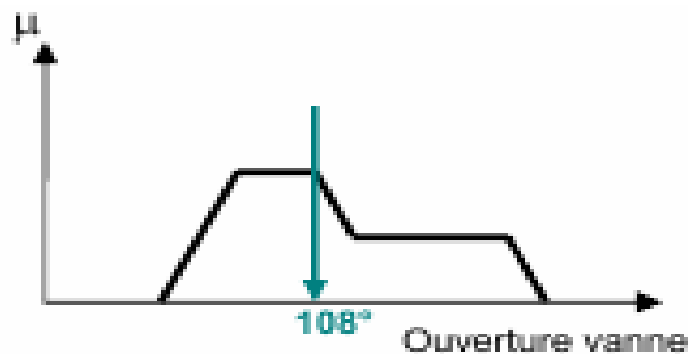


Figure IV.8

La formule qui permet d'obtenir le centre de gravité à partir de l'ensemble flou de sortie est la suivante :

$$x_0 = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

## *Conclusion générale*

Un des grands défis de notre société du XXI<sup>ème</sup> siècle est la mise en place d'un service énergétique qui s'inscrit dans un développement soutenable pour l'ensemble de l'humanité. Les énergies renouvelables peuvent y répondre dans la durée et leur intégration est en train de se faire progressivement par des systèmes adaptés à la disponibilité des sources.

Ces dernières années, la production renouvelable est en forte croissance et les résultats de la recherche sont un des moteurs de leur progression. Les énergies renouvelables démontrent aujourd'hui leur capacité à contribuer efficacement au service énergétique de notre société. La diversité de ces sources va de pair avec la diversité des solutions mises en oeuvre ou à développer.

Et comme les systèmes photovoltaïques restent à nos jours chères, et comme le rendement des cellules de conversion photovoltaïque reste encore médiocre, une optimisation adéquate des installations photovoltaïques s'avère nécessaire. Dans ce cas, la maximisation de puissance est une tâche obligatoire de toute système de contrôle, malgré que d'autre tendance existent donnant différentes philosophies d'optimisation. Ainsi, quelque soit la charge utilisée, le but principal est d'extraire la puissance maximale disponible par le générateur photovoltaïque à tous instants et quelque soit les conditions de fonctionnement. Cette tâche est très difficile à assurer par les techniques standards de contrôle vu la forte non linéaire des systèmes photovoltaïques ainsi que les charges qui leurs sont liées. Le recours aux techniques d'intelligence artificielle constitue un choix approprié vu leurs simplicités et leurs robustesses.

Dans le présent travail, on proposé un type de contrôle de puissance maximale d'un système photovoltaïque connecté au réseau. Ce type de système commencent à avoir de large applications, soit dans les sites isolés où la connexion au réseau urbain de distribution d'électricité, sont économiquement inacceptable. Le type de contrôle étudié a prouvé son efficacité d'une part pour poursuivre la puissance maximale, d'une autre part pour le temps demandé.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] K. SOBAlHI, Etude et réalisation d'un hacheur de tracking (MPPT) à contre réaction de tension, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 2003.
- [2] G.F. TCHOKETCH KEBIR, Commande des hacheurs MPPT par la logique floue, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 2005.
- [3] F. CHEVRIE et F. GUELY, La logique floue, Cahier technique Schneider N° 191, 1998.
- [ 4 ] A. ALLAG « Etude Des Techniques optimales a MLI .pour onduleur de tension alimentant un moteur asynchrone », thèse de magister ,centre universitaire de Biskra .
- [ 5 ] L – ALGUESS, A. Hicher , « Etude et simulation d'un système de maximisation de puissance (MPPT) d'un système photovoltaïque », mémoire d'ingénieur, université de Biskra , 2001.
- [ 6 ] Yann Pankow. "Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque. Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'arts et Métiers, Laboratoire d'électrotechnique et électronique de puissance de Lille, 2004.
- [7] Belila Omar et Chabani Idris" L'intégration du photovoltaïque au Réseau électrique problèmes et Perspectives" Mémoire d'ingénieur, université de Biskra, 2006
- [8] Bennadji Chaouki et boudjmaa Tarek “Option floue ,Neuonal et Genetique d' un système photovotaïque connecté au réseau ”, mémoire de l'ingénieur, Université de BISKRA, 2007.
- [9] Mouhamdi Messoud,"les system photovoltaïque connecte ou reseau "mémoire dmagister université Batna 2005.