

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

## MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :  
**Électrotechnique**

*Option : énergie renouvelable en Électrotechnique*

Intitulé :

---

### CARACTÉRISATION ET FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME RÉSIDENTIEL PHOTOVOLTAÏQUE (PV) CONNECTÉ AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE PUBLIC

---

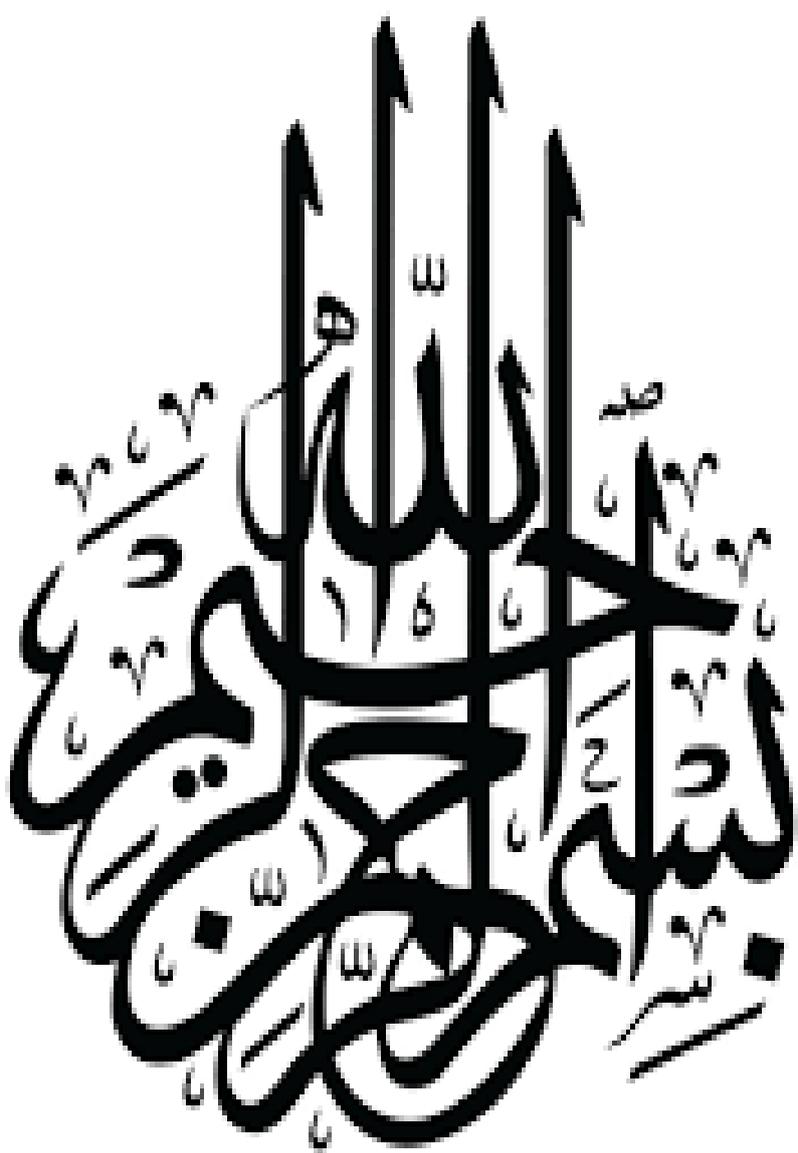
Présenté par :

- AIDAUI Bouamama
- FILALI Houari
- FAHCHOUHE Mohammed

*Soutenu le : ... /06/2021..... devant le Jury :*

<i>M. Brahimi Mohamed</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>M. Lahcene Mohamed Reda</i>	<i>MAB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M. Taibi Ibrahim</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

Naama – Algérie - 2021



# REMERCIEMENTS

*Premièrement, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous terminions nos études.*

*Nous remercions également tous nos professeurs qui nous ont aidé durant toutes nos années d'études notamment notre encadreur Mr Lahcene, qui nous a beaucoup aidé à apprécier ce travail et as mieux éclairé nos perspectives, et de nous avoir conseillé tout le long de notre projet,*

*Nos adressons nos chaleureux remerciements à tous les membres de jury pour l'effort qu'ils feront dans le but d'examiner ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidé dans notre projet*

*Et enfin à tous nos collègues de la promotion 2020-2021.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail, aux deux êtres les plus chers à mon*

*Cœur auxquels je dois mon existence :*

*Mon père et ma mère; vous qui étiez toujours à mes côtés pour*

*Me soutenir et m'encourager à embattre sans jamais m'arrêter à*

*Mi-chemin; que dieu vous protège.*

- *A ma grande mère.*
- *A mes chers frères.*
- *A toute ma famille.*
- *A tous mes amis.*
- *A mestrinômes.*

*Filali Houari*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mes chers frères pour leur appui et leur encouragement*

*A tous mes amis.*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

*A mestrinômes.*

*AïdaouiBoumama*

# *Dédicace*

*Avec ma profonde gratitude et grand amour, je dédie ce modeste travail:*

*À ce qu'est toujours mon meilleur exemple dans la vie : Mon père pour les sacrifices, qu'il a consentis pour mon Avenir et pour son soutien moral.*

*À mon, très chère frère : Abdelwahab, pour leurs encouragements permanents.*

*À A mes sœurs et à leurs enfants.*

*À ma petite famille Safaa, Sara, Meriem, Khadija et Abd Allah pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*À mes amies et mes binômes: Bouamama et Houari.*

*Fahchouche Mohammed*

---

# Résumé

---

# Résumé

## ملخص

يعتبر مفهوم الطاقة المتجددة الطاقة التي تنتج من خلال العمليات الطبيعية و تتجدد بشكل مستمر وهناك عدة انواع من بينها الطاقة الشمسية التي تشمل النظام الكهروضوئي الذي يعتبر مجموعة من الألواح الكهروضوئية التي تقوم بتحويل الفوتونات الضوئية الى توتر مستمر (مباشر) يتم تخزينه داخل البطاريات اذا تم استخدام احمال التوتر متردد فان النظام يحتاج الى عاكس لتحويل التوتر المباشر الى توتر متردد هناك نوعان من الأنظمة الكهروضوئية الأنظمة المتصلة بالشبكة والأنظمة المستقلة.

الهدف من هذه المذكرة هو توصيف و تشغيل نظام فلطائي ضوئي سكني متصل بشبكة الكهرباء العامة بحيث تمت دراسة منزل متواجد بولاية النعامة مزود بمجموعة من المصابيح و الاجهزة التي تتغذى بتوتر متناوب بعد تحديد عدد و نوع الألواح الشمسية قمنا بمحاكاته على برنامج ما تلاب لتشمل النتائج تطورات التوتر على شكل منحنيات لنتحصل فالأخير على منحنى بياني يمثل التوتر المتناوب الذي يغذي اجهزتنا المدروسة.

## الكلمات المفتاحية

الطاقة المتجددة، الأنظمة الكهروضوئية، الألواح الشمسية برنامج، ماتلاب

## Résumé

Le concept d'énergie renouvelable est considéré comme de l'énergie produite par des processus naturels et constamment régénérée et il existe plusieurs types, y compris l'énergie solaire, qui comprend le système photovoltaïque, qui est un groupe de panneaux photovoltaïques qui convertissent les photons en tension continue (directe) stockée dans les batteries si des charges de tension alternative sont utilisées, le système a besoin d'un réflecteur pour convertir la tension directe en tension hésitante, il existe deux types de systèmes photovoltaïques connectés au réseau et des systèmes indépendants.

Le but de cette mémoire est de caractériser et d'exploiter un système photovoltaïque résidentiel connecté au réseau électrique public de sorte qu'une maison située dans l'état de NAAMA avec un ensemble de lampes et de dispositifs alimentés par une tension alternée après avoir déterminé le nombre et le type de panneaux solaires que nous avons imités sur un programme étudiants pour inclure les résultats de l'évolution de la tension sous forme de courbes pour obtenir ce dernier une courbe graphique représente la tension alternative qui alimente nos appareils étudiés.

# Résumé

## Les mots clés

Énergie renouvelable, systèmes photovoltaïques, Les panneaux solaires, Réseau électrique, MATLAB

## Abstract

The concept of renewable energy is considered as energy produced by natural processes and constantly regenerated and there are several types, including solar energy, which includes the photovoltaic system,, which is a group of photovoltaic panels that convert photons into direct voltage (direct) stored in batteries if AC voltage loads are used, the system needs a reflector to convert the direct voltage into hesitating voltage, there are two types of photovoltaic systems connected to the grid and independent systems.

The purpose of this thesis is to characterize and operate a residential photovoltaic system connected to the public electricity grid so that a house located in the state of NAAMA with a set of lamps and devices powered by an alternating voltage after determining the number and type of solar panels we imitated on a student program to include the results of the evolution of the voltage in the form of curve represents the alternating voltage that powers our devices studied.

## key words

Renewable energy, photovoltaic systems, Solar panels, Power grid, MATLAB

# SOMMAIRE

## Sommaire

<b>Remerciement .....</b>	
<b>Dédicaces .....</b>	
<b>Résumé.....</b>	
<b>Liste Des Figures.....</b>	
<b>Liste Des Tableaux.....</b>	
<b>Liste Des Symboles .....</b>	
<b>Liste Des Abréviations.....</b>	
<b>Introduction général : .....</b>	<b>1</b>
<b><u>Chapitre I : Différents Concepts Sur Les Energies Renouvelables</u></b>	
<b>I.1 Introduction : .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 Les Energies Renouvelables : .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3 Les Différents Types D'énergies Renouvelables : .....</b>	<b>5</b>
I.3.1 Energie éolienne : .....	5
I.3.2 Géothermie : .....	5
I.3.3 Biomasse : .....	6
I.3.4 Énergie marémotrice .....	7
I.3.5 Énergie hydroélectrique .....	7
I.3.6 Energie solaire photovoltaïque : .....	8
<b>I.4 Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables: .....</b>	<b>9</b>
I.4.1 Les avantages des énergies renouvelables : .....	9
I.4.2 Les inconvénients des énergies renouvelables : .....	9
<b>I.5 Les énergies renouvelables en Algérie : .....</b>	<b>10</b>
<b>I.6 Potentiel des énergies renouvelables en Algérie.....</b>	<b>11</b>
I.6.1 Potentiel Solaire : .....	11
I.6.2 Potentiel Eolien : .....	11
I.6.3 Potentiel de l'Energie Géothermique.....	11
I.6.4 Potentiel Hydraulique .....	12
<b>I.7 Modèles Et Caractéristiques De Modules Photovoltaïques .....</b>	<b>12</b>

# SOMMAIRE

<b>I.8</b>	<b>Etude de l'adaptation de l'énergie photovoltaïque</b> .....	12
<b>I.9</b>	<b>L'énergie solaire</b> .....	13
<b>I.10</b>	<b>Principes de calcul de l'énergie solaire :</b> .....	13
I.10.1	La latitude ( $\varphi$ ) :.....	13
I.10.2	La longitude (l) :.....	14
I.10.3	L'altitude :.....	14
I.10.4	La déclinaison ( $\delta$ ) : .....	14
I.10.5	Le temps solaire vrai (TSV) :.....	14
I.10.6	La durée et le taux d'insolation:.....	14
I.10.7	L'angle horaire( $\omega$ ):.....	15
I.10.8	Position du soleil :.....	15
<b>I.11</b>	<b>Rayonnement solaire :</b> .....	16
<b>I.12</b>	<b>Différents types de rayonnement :</b> .....	17
I.12.1	Rayonnement direct : .....	17
I.12.2	Rayonnement diffus : .....	17
I.12.3	Rayonnement réfléchi (Albédo) :.....	17
I.12.4	Rayonnement global :.....	18
<b>I.13</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	18

## Chapitre II:Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques

<b>II.1</b>	<b>Introduction</b> .....	20
<b>II.2</b>	<b>Module Photovoltaïque :</b> .....	20
II.2.1	Caractéristiques D'un Module Photovoltaïque.....	21
<b>II.3</b>	<b>Panneau Photovoltaïque :</b> .....	22
<b>II.4</b>	<b>Effet Photovoltaïque :</b> .....	23
<b>II.5</b>	<b>Les Cellules Photovoltaïques :</b> .....	24
II.5.1	Principe De Fonctionnement.....	25
II.5.2	Différents types de cellules photovoltaïques .....	26
II.5.2.1	Cellules Monocristallines .....	26
II.5.2.2	Cellules poly-cristallines .....	27

# SOMMAIRE

II.5.2.3	Cellules amorphes.....	27
II.5.3	Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	27
II.5.3.1	Caractéristique courant-tension I(V) .....	27
II.5.3.2	Caractéristique puissance-tension P(V).....	28
<b>II.6</b>	<b>Principe De La Conversion Photovoltaïque</b> .....	<b>29</b>
<b>II.7</b>	<b>Système Photovoltaïque</b> .....	<b>30</b>
II.7.1	Système Photovoltaïque Avec Stockage Electrique .....	30
II.7.2	Système Photovoltaïque Couplage Direct Sans Batterie .....	30
<b>II.8</b>	<b>Les différents types de systèmes photovoltaïques</b> .....	<b>32</b>
II.8.1	Alimentations électriques faibles puissances.....	32
II.8.2	Installations photovoltaïques autonomes .....	32
II.8.2.1	Système autonome avec stockage : .....	32
II.8.2.2	Système autonome sans stockage :.....	33
II.8.3	Installations photovoltaïques raccordées au réseau .....	34
II.8.4	Installations photovoltaïques hybride .....	35
<b>II.9</b>	<b>Avantages Et Inconvénients Des Systèmes Photovoltaïques</b> .....	<b>36</b>
II.9.1	Avantages.....	36
II.9.2	Inconvénients .....	37
<b>II.10</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>37</b>

## **Chapitre III :Présentation Est Modélisation Du Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau**

<b>III.1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>39</b>
<b>III.2</b>	<b>Principe De Fonctionnement D'une Installation Photovoltaïque</b> .....	<b>39</b>
<b>III.3</b>	<b>Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau</b> .....	<b>40</b>
III.3.1	Avantages.....	41
III.3.2	Inconvénients .....	41
<b>III.4</b>	<b>Etude des composants d'un système photovoltaïque connecté au réseau</b> .....	<b>41</b>
III.4.1	Le générateur photovoltaïque .....	41
III.4.1.1	Simulation d'un système photovoltaïque .....	42

# SOMMAIRE

III.4.2 Regroupement des cellules .....	44
III.4.3 Regroupement en série.....	44
III.4.4 Regroupement en parallèle .....	45
III.4.5 Regroupement (série et parallèle) .....	46
III.4.6 Protection d'un générateur photovoltaïque.....	47
III.4.7 Protection lors de la connexion en parallèle de plusieurs GPV.....	48
III.4.8 Protection lors de la connexion en série de plusieurs GPV.....	48
<b>III.5 Les convertisseurs.....</b>	<b>49</b>
III.5.1 Définition.....	49
III.5.2 Convertisseurs continu/continu (DC/DC).....	49
III.5.2.1 Simulation d'un hacheur :.....	57
III.5.3 Onduleurs DC/AC.....	58
III.5.3.1 Simulation d'un Onduleurs DC/AC .....	59
III.5.4 Onduleurs pour couplage au réseau.....	61
<b>III.6 Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau .....</b>	<b>62</b>
III.6.1. Système PV connecté directement au réseau.....	62
III.6.2. Systèmes à bus continu intermédiaire.....	63
<b>III.7 Commande MPPT de système photovoltaïque .....</b>	<b>64</b>
III.7.1 Introduction.....	64
III.7.2 Principe De MPPT.....	64
III.7.3 Différents Techniques de la commande MPPT.....	66
III.7.4 Simulation d'un Commande MPPT :.....	67
<b>III.8 CONCLUSION .....</b>	<b>69</b>
 <b><u>Chapitre IV :Résultats et discussion</u></b>	
<b>IV.1 Introduction : .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.2 L'outil Matlab / Simulink .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.3 Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau 3.2) .....</b>	<b>72</b>
<b>IV.4 Localisation de notre étude :.....</b>	<b>74</b>
IV.4.1 Irradiation moyenne dans maison dans la willaya de naama pour une année.....	74
IV.4.2 Calcul pratique de la puissance photovoltaïque :.....	75

# SOMMAIRE

<b>IV.5</b>	<b>Caractéristiques des panneaux photovoltaïques choisis pour cette installation ....</b>	<b>75</b>
IV.5.1	Définition de la modèle BP Solaire BP3170N :.....	75
IV.5.2	Calcul du nombre de panneaux.....	77
<b>IV.6</b>	<b>Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur.....</b>	<b>78</b>
IV.6.1	Choix du régulateur : .....	78
IV.6.2	Choix de l'onduleur : .....	78
<b>IV.7</b>	<b>Résultat de simulation :.....</b>	<b>79</b>
<b>IV.8</b>	<b>Conclusion :.....</b>	<b>81</b>
	<b>Conclusion général : .....</b>	<b>83</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>85</b>

# Liste De Figure

## Liste De Figure

### Chapitre I : Différents Concepts Sur Les Energies Renouvelables

FIGURE I.1 : FERME EOLIENNE ON SHORE ET OFFSHORE.....	5
FIGURE I.2 SCHEMA D'EXPLOITATION D'UNE SOURCE GEOTHERMIQUE. ....	6
FIGURE I.3: SOURCE PRIMAIRE DU POTENTIEL EN BIOMASSE .....	7
FIGURE I.4: SCHEMA D'EXPLOITATION D'UNE ENERGIE MAREMOTRICE.....	7
FIGURE I.5: SCHEMA D'EXPLOITATION D'UNE ENERGIE HYDROELECTRIQUE .....	8
FIGURE I.6: MODULE D'EXPLOITATION DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE .....	9
FIGURE I.7: POSITION DU SOLEIL .....	16
FIGURE I.8: NORMES DE MESURES DU SPECTRE D'ENERGIE LUMINEUSE EMIS PAR LE SOLEIL, NOTION DE LA CONVENTION AM. ....	17
FIGURE I.9: COMPOSANTS DU RAYONNEMENT SOLAIRE .....	18

### Chapitre II: Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques

FIGURE II.1: LE MODULE PHOTOVOLTAÏQUE .....	21
FIGURE II.2: CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE MONTRANT L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE .....	23
FIGURE II.3: STRUCTURE BASIQUE D'UNE CELLULE SOLAIRE .....	25
FIGURE II.4: STRUCTURE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE.....	26
FIGURE II.5: CARACTERISTIQUE I(V) D'UN MODULE PHOTOVOLTAÏQUE .....	28
FIGURE II.6: CARACTERISTIQUE P(V) D'UN MODULE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE.....	28
FIGURE II.7: PRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE CELLULE SOLAIRE .....	29
FIGURE II.8 SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AVEC STOCKAGE. ....	30
FIGURE II.9: SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE A COUPLAGE DIRECT	30
FIGURE II.10: SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE .....	31
FIGURE II.11: SYSTEME AUTONOME AVEC STOCKAGE (BATTERIE).....	33
FIGURE II.12: SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME SANS STOCKAGE.....	34
FIGURE II.13: INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDEE AU RESEAU. ....	35
FIGURE II.14: CONFIGURATION DU SYSTEME HYBRIDE A BUS CONTINU. ....	36

### Chapitre III : Présentation Est Modélisation Du Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau

FIGURE III.1: SYSTEME PV RACCORDE AU RESEAU. ....	39
FIGURE III.2 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE CONNECTE AU RESEAU .....	40

# Liste De Figure

<b>FIGURE III.3:</b> CIRCUIT EQUIVALENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE .....	42
<b>FIGURE III.4</b> RESULTATS DE SIMULATION DES CARACTERISTIQUES $I=F(V)$ POUR DIFFERENTES ÉCLAIREMENT ET UNE TEMPERATURE $T_C = 25^\circ\text{C}$ . .....	42
<b>FIGURE III.5:</b> RESULTATS DE SIMULATION DES CARACTERISTIQUES $P=F(V)$ POUR DIFFERENTES .....	43
<b>FIGURE III.6:</b> RESULTATS DE SIMULATION DES CARACTERISTIQUES $I=F(V)$ POUR DIFFERENTES .....	43
<b>FIGURE III.7</b> RESULTATS DE SIMULATION DES CARACTERISTIQUES $P=F(V)$ POUR DIFFERENTES TEMPERATURES ET UN ET UN ECLAIREMENT $G=1000\text{W}/\text{M}^2$ .....	44
<b>FIGURE III.8</b> CARACTERISTIQUE D'UN GROUPEMENT DE N CELLULES IDENTIQUES EN SERIE.	45
<b>FIGURE III.9:</b> CARACTERISTIQUE D'UN GROUPEMENT DE N CELLULES IDENTIQUES EN PARALLELE. ....	46
<b>FIGURE III.10:</b> CARACTERISTIQUE RESULTANTE D'UN GROUPEMENT HYBRIDE DE CELLULES IDENTIQUES. ....	47
<b>FIGURE III.11:</b> SCHEMATISATION D'UN EXEMPLE D'ASSOCIATION DE DEUX GENERATEURS PV EN PARALLELE AVEC LEURS DIODES DE PROTECTION (BY-PASS ET ANTI-RETOUR) .....	48
<b>FIGURE III.12:</b> SYMBOLE D'UN CONVERTISSEUR DC-DC .....	50
<b>FIGURE III.13:</b> CIRCUIT ELECTRIQUE DE BASE DU HACHEUR SURVOLTEUR (PARALLELE). ....	50
<b>FIGURE III.14:</b> CHRONOGRAMMES DE COURANT ET TENSION D'UN HACHEUR BOOST .....	51
<b>FIGURE III.15:</b> SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BOOST FERME .....	51
<b>FIGURE III.16:</b> SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BOOST OUVERT .....	52
<b>FIGURE III.17:</b> CIRCUIT ELECTRIQUE DE BASE DU HACHEUR DEVOLTEUR(SERIE). ....	53
<b>FIGURE III.18:</b> CHRONOGRAMMES DE COURANT ET TENSION D'UN HACHEUR BUCK.....	53
<b>FIGURE III.19:</b> SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BUCK FERME.....	54
<b>FIGURE III.20:</b> SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BUCK OUVERT .....	54
<b>FIGURE III.21:</b> CIRCUIT ELECTRIQUE DU HACHEUR BUCK-BOOST .....	55
<b>FIGURE III.22:</b> CHRONOGRAMMES DE COURANT ET TENSION D'UN HACHEUR BUCK-BOOST ....	55
<b>FIGURE III.23:</b> SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BUCK- BOOST FERME .....	56
<b>FIGURE III.24:</b> SCHEMA ELECTRIQUE D'UN HACHEUR BUCK- BOOST OUVERT .....	56
<b>FIGURE III.25:</b> SCHEMABLOCD'UN HACHEUR BUCK- BOOST .....	57
<b>FIGURE III.26:</b> LE COURANT DESORTIED'UN HACHEUR BUCK- BOOST.....	57
<b>FIGURE III.27:</b> LA TENSIONDESORTIED'UN ONDULEUR .....	58
<b>FIGURE III.28:</b> SYMBOLE DE CONVERTISSEUR DC-AC.....	58
<b>FIGURE III.29:</b> CIRCUIT SIMPLE UTILISANT UN PONT DE TRANSISTORS .....	59

# Liste De Figure

<b>FIGURE III.30:</b> FILTRAGE DE LA TENSION PAR L'INDUCTANCE DE SORTIE .....	59
<b>FIGURE III.31:</b> SCHEMABLOCD'UNONDULEUR.....	60
<b>FIGURE III.32:</b> TENSIOND'ENTREED'UN ONDULEUR.....	60
<b>FIGURE III.33:</b> LA TENSION ET LE COURANT DESORTIED'UN ONDULEUR. ....	61
<b>FIGURE III.34:</b> ARCHITECTURE DU SYSTEME PV AVEC UN BUS EN COURANT ALTERNATIF (AC). .....	63
<b>FIGURE III.35:</b> ARCHITECTURE DU SYSTEME PV AVEC UN BUS EN COURANT CONTINU (DC) ...	64
<b>FIGURE III.36:</b> SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AVEC UNE COMMANDE MPPT.....	65
<b>FIGURE III.37</b> RECHERCHE ET RECOUVREMENT DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE, A) SUITE A UNE VARIATION D'ECLAIREMENT, B) SUITE A UNE VARIATION DE CHARGE, C) SUITE A UNE VARIATION DE TEMPERATURE .....	66
<b>FIGURE III.38:</b> SCHEMABLOCD'UNCOMMANDE MPPT .....	67
<b><u>Chapitre IV : Résultat et discussion</u></b>	
<b>FIGURE IV.1</b> BILAN DE ENERGIE EN FONCTION DE TEMPS (WATT/HEURE).....	73
<b>FIGURE IV.2:</b> LOCALISATION DE NOTRE MAISON ETUDIE (NAAMA) AVEC PV SYSTEME .....	74
<b>FIGURE IV.3:</b> LA MODELE BP SOLAIRE BP3170N.....	76
<b>FIGURE IV.4:</b> CARACTERISTIQUES DU PANNEAU SOLAIRE A UTILISER POUR L'INSTALLATION ..	77
<b>FIGURE IV.5:</b> CARACTERISTIQUES MECANQUES DE PANNEAU SOLAIRE .....	77
<b>FIGURE IV.6:</b> LA PUISSANCE GENEREE PAR LE GPV EN FONCTION DU TEMPS .....	79
<b>FIGURE IV.7:</b> LA TENSION GENERE PAR LE GPV .....	80
<b>FIGURE IV.8:</b> LA TENSION PRIMAIRE DU TRANSFORMATEUR.....	80
<b>FIGURE IV.9:</b> LA TENSION SECONDAIRE DU TRANSFORMATEUR (INJECTER AU RESEAU PUBLIC)	81

# Liste Des Tableaux

## Liste De Tableaux

### **Chapitre IV : Résultats De La Simulation Des Systèmes Photovoltaïques Connectés Au Réseau**

<b>TABLEAU IV.1:</b> DIFFERENTS APPAREILS DE CONSOMMATION .....	72
<b>TABLEAU IV.2 :</b> LES BESOINS DU SYSTEME PV DANS LES TEMPS .....	73
<b>TABLEAU IV.3:</b> IRRADIATION MOYENNE DANS MAISON DANS LA WILLAYA DE NAAMA POUR UNE ANNEE.....	74

# Liste Des Symboles

## Liste Des Symboles

Symboles	Définitions	Unités
<b>N</b>	Numéro du jour de l'année	Jour
<b>TSV</b>	Temps universel	Heure
<b><math>\varphi</math></b>	La latitude	(°)
<b>L</b>	La longitude	
<b><math>\delta</math></b>	La déclinaison	
<b><math>\omega</math></b>	L'angle horaire	
<b>A</b>	Azimut du soleil	
<b><math>\Lambda</math></b>	Longueur d'onde	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>P</b>	La puissance	[w]
<b><math>P_c</math></b>	La puissance de crête	
<b><math>V_{CO}</math></b>	La tension de circuit ouvert	[V]
<b><math>V_{mpp}</math></b>	La tension de point de Puissance maximale	
<b><math>I_{cc}</math></b>	Le Courant de court-circuit,	[A]
<b><math>I_{mpp}</math></b>	Courant de point de Puissance maximale	
<b>T</b>	La température	[°C]
<b>R</b>	Résistance	[ $\Omega$ ]
<b><math>R_s</math></b>	Résistances série	
<b><math>R_{sh}</math></b>	Résistances parallèle	
<b><math>T_e</math></b>	Période	
<b>T</b>	temps	[s]
<b>G</b>	éclairnements	[W/m <sup>2</sup> ]
<b><math>V_i</math></b>	Tension d'entrée	
<b><math>V_s</math></b>	Tension sortie	[V]
<b>C</b>	Condensateur	[F]
<b>L</b>	Inductance	[L]

# Liste Des Abréviation

## **Liste Des Abréviation:**

**PV** : Photovoltaïque

**DC/DC** : Courant Continu / Courant Continu

**DC/AC** : Courant Continu / Courant Alternatif

**Ns** : Nombre de cellules en série dans un module photovoltaïque.

**Np** : Nombre de cellules en série dans un module photovoltaïque

**GPV** : Générateur photovoltaïque.

**MOSFETS** : Transistors à effet de champ d'oxyde de métal

**IGBTS** : Transistors bipolaires à gâchette isolée

**MLI** : Modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation).

**MPPT** : Maximum Power Point Tracking

**PPM** : Le point de fonctionnement optimal

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

# **Introduction générale**

# Introduction Générale

## **Introduction générale :**

À notre époque, l'énergie est l'une des nécessités les plus importantes de la vie en raison de son rôle efficace dans le progrès et la prospérité des peuples. De nombreux pays dépendent de différentes sources pour leur production d'électricité, mais la plupart d'entre eux dépendent entièrement des combustibles fossiles en raison de leur C'est pourquoi la demande mondiale d'énergie à partir de combustibles fossiles est satisfaite. Cependant, les réservations de combustibles fossiles sont limitées. En effet, la croissance de la demande énergétique mondiale, a provoqué l'épuisement inévitable des ressources fossiles et le réchauffement climatique En émettant des gaz à effet de serre, il faut recourir à des énergies propres. Certains pays développés sont passés à l'énergie nucléaire, ce qui présente un risque d'accidents graves. C'est pourquoi nous nous intéressons actuellement aux énergies renouvelables

L'énergie renouvelable est l'énergie issue de ressources naturelles qui ne s'épuisent pas et se renouvellent en permanence, telles que le vent, l'eau et le soleil qui sont disponibles dans la plupart des pays du monde. Elle peut également être produite à partir du mouvement des vagues et des marées ou à partir de l'énergie géothermique et d'autres innovations, et il diffère principalement du combustible fossile tel que le pétrole, le charbon et le gaz naturel.

Le principal avantage de cette énergie renouvelable est que son utilisation ne pollue pas L'atmosphère ne produit pas de gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et Les oxydes d'azote sont responsables du réchauffement climatique.

En Algérie, auparavant, l'énergie solaire alimentait uniquement des endroits éloignés des réseaux d'alimentation des zones rurales, et maintenant l'énergie solaire se développe progressivement en Algérie en termes d'utilisation, comme la mise en place de zones de production d'électricité grâce aux cellules photovoltaïques, qui est un catalyseur étape pour abandonner les combustibles fossiles comme principale source de production d'électricité en Algérie.

Notre étude a consisté à installer un système solaire pour un vrai bâtiment local et à répondre à tous ses besoins en alimentant tous ses dispositifs et simulations via le programme Matlab.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé de tous les types et sources d'énergies renouvelables et de leur présence en Algérie, et nous avons également parlé du rayonnement solaire.

# **Introduction Générale**

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes concentrés sur les panneaux photovoltaïques, leur principe de fonctionnement, les types de cellules, et leurs caractéristiques de courant et de tension.

En suite dans le troisième chapitre, nous avons présenté notre site étudié, après on a Appliqué les étapes de dimensionnement une application numérique qu'elle nous ouvre la porte pour compléter notre travaille par une simulation de dimensionnement par logiciel PVsystème dansle quatrième chapitre.

---

**Chapitre I**  
**Différents concepts sur les énergies renouvelables**

---

# **Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables**

---

## **I.1 Introduction :**

Ce chapitre est divisé en deux parties, dans la première partie il propose une étude sur quelques concepts de base des énergies renouvelables, puis nous focalisons notre attention sur l'énergie solaire photovoltaïque, sujet de nos travaux sur ce sujet, et nous étudions la source d'énergie fournie par le soleil et ses applications dans le domaine photoélectrique.

Dans la deuxième partie, nous rappelons petit définition sur l'énergie solaire et on a étudions la caractéristique de cette énergie.

## **I.2 Les Energies Renouvelables :**

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie d'origine naturelle dont le renouvellement est suffisamment rapide à l'échelle humaine du temps pour qu'elles puissent être considérée comme presque inépuisables. Elles sont issues du rayonnement solaire, des vents, du cycle de l'eau, de la biomasse (tout ce qui est d'origine biologique, principalement végétale), du flux de chaleur interne de la Terre, de l'effet de l'attraction lunaire et solaire sur les océans... Elles s'opposent ainsi aux énergies minières et fossiles, dont les stocks sont forcément limités puisqu'ils se sont constitués lors de la formation du système solaire (uranium, thorium, potassium) ou encore au cours d'âge géologique, à partir d'une fraction de la biomasse terrestre qui a pu se fossiliser et se transformer (au cours de million d'année) en charbon. Pétrole et gaz naturel. Les énergies renouvelables sont loin de constituer une nouveauté puisqu'elles ont été les premières à être utilisée par les hommes.

Si un intérêt est manifesté pour l'énergie renouvelable âpre le premier choc pétrolier de 1973, le recours à celles-ci constitue, depuis les années 1990, une alternative aux combustibles fossiles afin de préserver l'environnement et de lutter contre le réchauffement climatique, lié en grande partie à l'émission de gaz à effet de serre provenant des diverses utilisations des énergies fossiles. C'est aussi un type de politiques énergétiques qui repose sur l'indépendance et la sécurité de l'approvisionnement. Le développement des énergies renouvelables dans un tel contexte de transition inévitable nécessite l'émergence de technologies radicalement différentes de celles utilisées pour exploiter les énergies fossiles, d'où un coût initialement important qui a longtemps freiné leur essor.

# Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables

---

## I.3 Les Différents Types D'énergies Renouvelables :

Différentes techniques ont été élaborées pour pouvoir extraire de l'énergie des phénomènes et d'éléments naturels et parmi les énergies les plus utilisées on a :

### I.3.1 Energie éolienne :

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergies mécaniques. Cette énergie est transformée en énergie électrique par l'intermédiaire d'une machine électrique.

L'avantage principal de cette source est son coût d'installation qui est moins cher par rapport à d'autres énergies renouvelables. Néanmoins l'énergie éolienne est intermittente, et l'installation de parc éolien engendre des impacts paysagés et sonores [2].



**Figure I.1** : Ferme éolienne on shore et offshore [2].

### I.3.2 Géothermie :

La géothermie désigne l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur. Classiquement, trois types de géothermie sont distingués selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- La géothermie à haute énergie
- La géothermie de basse énergie.
- La géothermie de très basse énergie

Le principe des géothermies consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. Partout, la température croît depuis les surfaces vers l'intérieur de la Terre. Selon les régions l'augmentation de la température avec la profondeur

## Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables

est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15 °C ou même 30 °C. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1000°C à 4300°C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques qui constituent le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères (nappe souterraine renfermant de l'eau ou de la vapeur d'eau).

Cette ressource a l'avantage de préserver l'environnement et d'être indépendante des conditions météorologiques (disponible continuellement), elle est donc fiable et stable dans le temps. Malheureusement cette ressource nécessite des forages dont les résultats sont parfois aléatoires et dont le temps de mise en place de l'installation pour son utilisation est assez important, elle peut durer jusqu'à un quart de siècle [3].

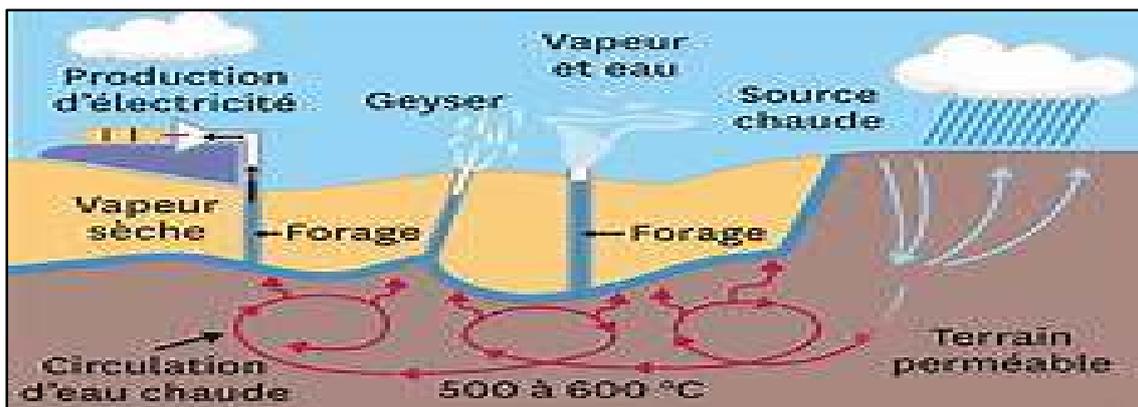


Figure I.2 : Schéma d'exploitation d'une source géothermique.[3].

### I.3.3 Biomasse :

L'énergie biomasse est la forme d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme depuis la découverte du feu à la préhistoire. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, dans des centrales biomasse.[4]

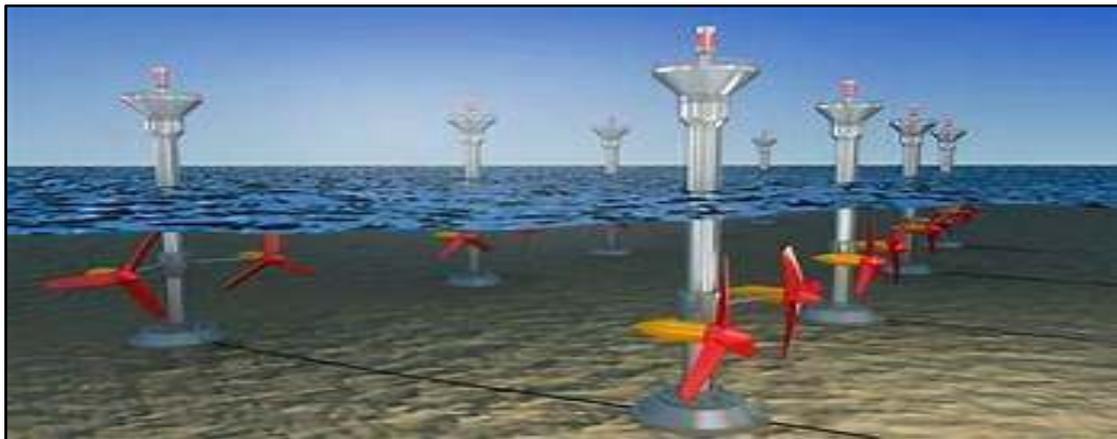


**Figure I.3:** Source primaire du potentiel en biomasse[4].

### I.3.4 Énergie marémotrice

C'est une énergie renouvelable qui est sous-exploitée aujourd'hui. Cela signifie le mouvement ou l'énergie produite par les vagues et les courants et le mouvement des marées, ainsi que l'énergie de la chaleur océanique chauffée par les rayons du soleil, qui agit sur le gradient thermique entre les couches d'eau de surface et les couches de profondeurs. Couverture océanique Près de 70% de la surface de la Terre.

Les marées sont considérées comme une source d'énergie renouvelable dans le futur, même s'il n'est pas rentable de les exploiter pour produire de l'électricité à l'heure actuelle. [5]



**Figure I.4:** Schéma d'exploitation d'une énergie marémotrice [5].

### I.3.5 Énergie hydroélectrique

L'énergie hydroélectrique résulte de la transformation de l'énergie hydraulique fournie par une masse d'eau en mouvement (fleuves, rivières, chute d'eau) en énergie électrique.

## Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables

---

L'énergie cinétique de l'eau se transforme en énergie électrique grâce à des centrales hydroélectriques, certaines installations comportent des barrages, qui servent à augmenter la hauteur de la chute de l'eau ou à régulariser le débit, et des réservoirs où l'eau est emmagasinée comme réserve d'énergie. D'autres produisent de l'électricité en utilisant le débit de l'eau de façon immédiate (centrales au fil de l'eau). La puissance d'un générateur hydraulique dépend de deux facteurs, la hauteur de la chute d'eau (dénivelé) et le débit de l'eau.[6].



**Figure I.5:**Schéma d'exploitation d'une énergie hydroélectrique [6].

### I.3.6 Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergies s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïques (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. Bien que l'énergie photovoltaïque la plus jeune des énergies renouvelables, et devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance (disponibilité), l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre, et elle est souple et fiable [6].



Figure I.6: Module d'exploitation de l'énergie photovoltaïque [6].

### 1. I.4 Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables:

#### I.4.1 Les avantages des énergies renouvelables :

Les avantages des énergies renouvelables sont nombreux, car ces dernières sont en général propres, sûres et surtout, elles existent en quantité illimitée parmi lesquelles on peut citer :

- La sûreté est l'un des avantages principaux. Car il existe de très faibles risques d'accident.
- Elles génèrent également peu de déchets, et ces déchets sont parfois recyclables.
- La décentralisation de l'énergie renouvelable est aussi un facteur positif très important pour développer certains territoires et le développement local.
- Ces énergies renouvelables permettent de réduire considérablement l'émission de CO<sub>2</sub>.
- L'énergie nucléaire ne participe pas à l'effet de serre, mais les craintes que représente cette énergie sont beaucoup plus graves comme les risques d'explosion ou d'accident, la prolifération des armes nucléaires et le sort des déchets nucléaires.

#### I.4.2 Les inconvénients des énergies renouvelables :

- Leur disponibilité dépend du climat. Pour celles fonctionnant au solaire, il n'est possible d'utiliser que 50 % de leur capacité réelle dans les zones équatoriales et encore moins à cause de la disparition du soleil pendant plusieurs mois dans les pôles. En outre, quand le ciel est nuageux, le rayonnement solaire est moindre, Lors de période anticyclonique, il n'y a pas de vent. Cette énergie n'est pas très stable ;
- La responsabilité sur les réchauffements climatiques des énergies renouvelables est un inconvénient majeur. Elles sont souvent présentées et admises pour justement résoudre ce problème, mais pour que ce soit réel, il faudrait diminuer considérablement la

## **Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables**

---

consommation des énergies fossiles comme le pétrole, le charbon ou le gaz et mieux maîtriser l'énergie renouvelable pour l'économiser davantage ;

- L'impact visuel sur les paysages est à prendre en compte surtout lors de constructions de grandes centrales solaires ou de champs d'éoliennes. Ces productions décentralisées aideraient à diminuer le nombre de lignes à haute tension. Elles restent donc une pollution pour la faune. De plus, les expériences menées déjà dans certains pays montrent qu'elles aident à l'accroissement de ces mêmes lignes ;
- Les problèmes majeurs pour la faune sont les barrages hydroélectriques, car ils inondent des vallées entières et ont un fort impact négatif sur l'écosystème. Les poissons migrantsdifficilement vers leurs lieux de reproduction. même si des passes à poissons ont été construites. Les éoliennes sont un danger pour les oiseaux et les chauves-souris.[7]

### **I.5 Les énergies renouvelables en Algérie :**

L'Algérie s'est engagées sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le Gouvernement en février 2011, révisée en mai 2015 et placé au rang de priorité nationale en février 2016, par Monsieur le Président de la République Mr Abdelaziz BOUTEFLIKA, lors du Conseil Restreint Gouvernement.

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable. Le programme des énergies renouvelable dans sa version actualisée, consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien des l'option de l'exportation comme objectif stratégique.si les conditions du marché le permettent.

Le programme d'efficacité énergétique actualisé vise à réaliser des économies d'énergies à l'horizon 2030 de l'ordre de 63 millions de, pour l'ensemble des secteurs (bâtiment et éclairage publique, transport, industrie) et ce, en introduisant l'éclairage performant, l'isolation thermique et les chauffe-eau solaires, les carburants propres, et les équipements industriels performants.

# **Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables**

---

Le programme de l'efficacité énergétique permettra de réduire les émissions de CO2 de 193 millions de tonnes.[8]

## **I.6 Potentiel des énergies renouvelables en Algérie.**

### **I.6.1 Potentiel Solaire :**

Vue de sa localisation géographique.L'Algériens dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergies reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m<sup>2</sup> soit près de 3 KWh/m<sup>2</sup> au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud.

### **I.6.2 Potentiel Eolien :**

La ressources éoliennes en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre., Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet.Notre vaste pays se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le nord méditerranéen qui est caractérisé.par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaines de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien.

Entre elles, s'intercadents des plaines et les hauts plateaux de climat continental,le Sud quant à lui.se caractérise par un climat saharien.

La carte représentées ci-dessous montre que le Sud-est caractérisés par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassants la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel).

Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevées. On note cependant, l'existence de microclimat sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El bayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s).

### **I.6.3 Potentiel de l'Energie Géothermique**

La compilation des données géologique, géochimique et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie

## **Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables**

---

Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe de source à haute température pouvant atteindre 118°C à Biskra.

De étude sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m.

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone deAïneBoucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel El Onk

### **I.6.4 Potentiel Hydraulique**

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m<sup>3</sup>, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement les ressource de surface décroissent du nord au sud, on évalue actuellement les ressource utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m<sup>3</sup>, dont environ 2/3 pour les ressources en surface.

103 sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation.[8]

### **I.7 Modèles Et Caractéristiques De Modules Photovoltaïques**

De nombreux modèles mathématiques de générateurs photovoltaïques, ont été développés, dont le but est l'obtention de la caractéristique courant -tension pour l'analyse et l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques. Ces modèles diffèrent entre eux par et le nombre de paramètres pris en compte.[9]

### **I.8 Etude de l'adaptation de l'énergie photovoltaïque**

Le module photovoltaïque est un générateur de puissance finie pouvant fonctionner selon toute combinaison de courant et de tension, la meilleure combinaison s'appelle le point de puissance maximale qui obtient celle-ci pour un éclairement et une température.

La tension et le courant correspondants sont appelés tension optimale et courant optimum. Une connexion directe ne permet pas de faire fonctionner un module à sa tension

## **Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables**

---

optimale (puissance maximale). Cela nécessite une adaptation entre la source photovoltaïque et la charge avec une commande MPPT pour le fonctionnement en maximum de puissance. [9]

### **I.9 L'énergie solaire**

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré ( $kw_c/m^2$ ) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

- **L'énergie solaire thermique:** qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux solaires. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.
- **L'énergie solaire photovoltaïque:** qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.
- **L'énergie solaire passive:** est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage. [10]

### **I.10 Principes de calcul de l'énergie solaire :**

Avant d'entrer dans le calcul de l'irradiation solaire, certains principes de base et définitions méritent d'être rappelés, notamment plusieurs variables qui seront mentionnées à plusieurs reprises par la suite. [11].

#### **I.10.1 La latitude ( $\varphi$ ) :**

C'est l'angle formé par le plan équatorial et la direction reliant le lieu considéré, au centre de la terre. Les latitudes de l'hémisphère Nord sont affectées d'un signe positif et celles de l'hémisphère Sud d'un signe négatif [11].

# Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables

---

## I.10.2 La longitude (l) :

Représente l'angle formé par le plan méridien de lieu considéré et le plan méridien origine. Ce dernier passe par l'observatoire de Greenwich et a pour longitude. Les longitudes situées à l'est de ce méridien sont positives et celles situées à l'Ouest négatives [11].

## I.10.3 L'altitude :

L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée en mètre (m).[11]

## I.10.4 La déclinaison ( $\delta$ ) :

C'est l'angle entre la direction du soleil et le plan équatorial Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique.

La déclinaison varie entre (le 21 décembre) et (le 21 juin)

Cet angle varie très peu pendant une journée, ce qui permet d'approcher le mouvement quotidien du soleil par une rotation sur cône d'axe l'équateur.[11].

$$\delta = 23.45 \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad \text{I.1}$$

$n$  :est le numéro de jour dans l'année.

## I.10.5 Le temps solaire vrai (TSV) :

Le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (direction Nord-Sud) a été nommé temps solaire vrai, on note TSV Le temps solaire vrai est donc un temps local puisqu'il est lié directement à la rotation de la terre sur elle-même.[12]

$$\text{TSV} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad \text{I.2}$$

$\omega$  :L'angle horaire

## I.10.6 La durée et le taux d'insolation:

Par ciel clair et pendant la durée de jour d'ensoleillement  $S_0$  (de lever au coucher du soleil), le sol reçoit le rayonnement solaire maximal.

Mais la durée effective d'ensoleillement  $S$  d'une journée ordinaire est inférieure à cette durée maximale [12].

Le taux d'insolation est donné par l'expression  $\sigma$ :

# Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables

---

$$\sigma = \frac{s}{s_0} \quad \text{I.3}$$

La durée maximale  $S_0$  est calculée par l'expression suivante :

$$S_0 = (2/15) \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad \text{I.4}$$

Avec :

$\delta$ : La déclinaison

$\varphi$ : L'attitude du lieu

## I.10.7 L'angle horaire( $\omega$ ):

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local. La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de  $15^\circ$  par heure (donc un tour de  $360^\circ$  en 24 heures)[12].

## 1.1. I.10.8 Position du soleil :

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

- **La hauteur de soleil ( $h$ )**: angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. Cette angle s'annule au lever et au coucher du soleil et prend sa valeur maximale au midi solaire.

( $h$ ) peut être déduite par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin \delta \sin \varphi + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad \text{I.5}$$

L'angle horaire( $\omega$ ) au lever de soleil s'obtient en écrivant  $\sin(h) = 0$

$$\cos \omega = -\tan \varphi \tan \delta \quad \text{I.6}$$

Azimut du soleil ( $\alpha$ ) : Angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest [13].

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad \text{I.7}$$

Ces deux angles sont représentés sur la figure suivante :

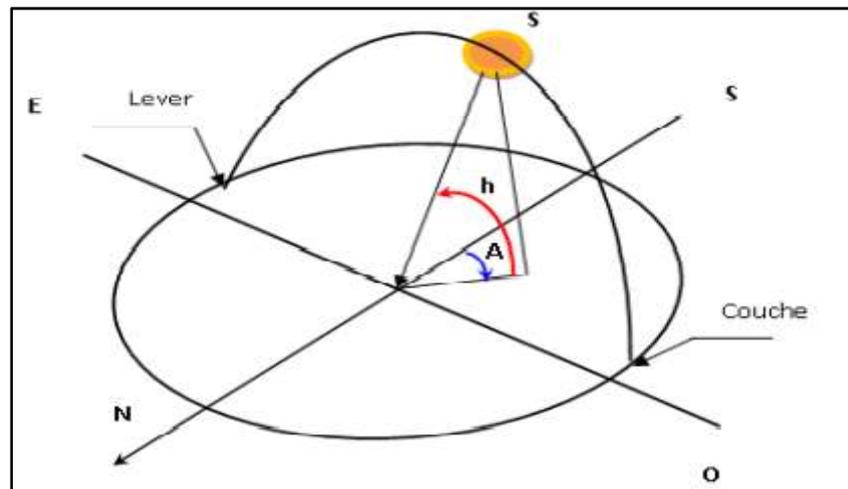


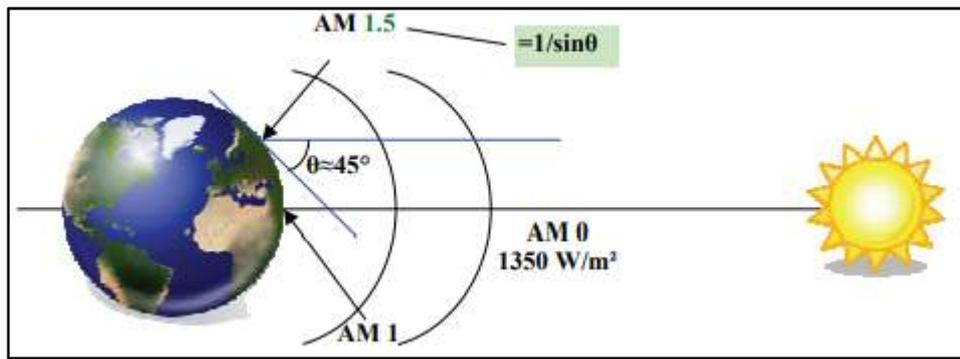
Figure I.7: Position du soleil[13].

### I.11 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ( $0.2 \mu\text{m}$ ) à l'infrarouge lointain ( $2.5 \mu\text{m}$ ). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise.

L'énergie totale transportée par le rayonnement solaire sur la distance soleil-terre est de l'ordre de  $1350 \text{W/m}^2$  (AM0) dans l'espace hors atmosphère terrestre (Figure 8). Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite des phénomènes d'absorption et de diffusion dans les gaz, l'eau et les poussières. Ainsi, la couche d'ozone absorbe une partie du spectre lumineux provenant du soleil, et en particulier une partie des ultraviolets dangereux pour la santé.

Le rayonnement solaire direct reçu au niveau du sol (à  $90^\circ$  d'inclinaison) atteint  $1000 \text{W/m}^2$  du fait de l'absorption dans l'atmosphère (AM1). Cette valeur change en fonction de l'inclinaison des rayons lumineux par rapport au sol. Plus l'angle de pénétration  $\theta$  est faible, plus l'épaisseur atmosphérique que les rayons auront à traverser sera grande, d'où une perte d'énergie conséquente. Par exemple, l'énergie directe transportée par le rayonnement solaire atteignant le sol avec un angle de  $48^\circ$  avoisine les  $833 \text{W/m}^2$ . [14]



**Figure I.8:** normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM.[14].

### I.12 Différents types de rayonnement :

On distingue plusieurs types :

#### I.12.1 Rayonnement direct :

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs.

#### I.12.2 Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est constitué des photons diffusés par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa structure varie avec les conditions météorologiques. Par temps couvert, on admet qu'il est isotrope, c'est-à-dire qu'on reçoit un rayonnement identique de toutes les directions de la voûte céleste. Par temps clair ou voilé, outre le ciel bleu relativement isotrope (diffusion sur l'air), on a une couronne plus brillante autour du soleil (composante appelée circumpolaire) et souvent un renforcement sur l'horizon, la bande horizon.

#### I.12.3 Rayonnement réfléchi (Albédo) :

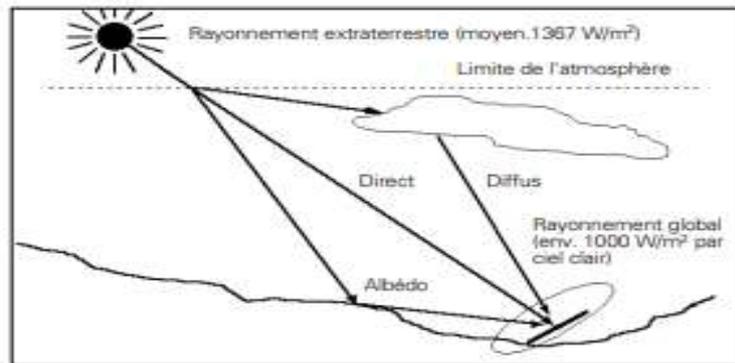
L'albédo est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site, il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement.

# Chapitre I Différents concepts sur les énergies renouvelables

## I.12.4 Rayonnement global :

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol.

Dans la figure ci-dessous figure (I.9) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçu sur une surface terrestre.[15]



**Figure I.9:** Composants Du Rayonnement Solaire[15].

## I.13 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié les énergies renouvelables et discuté de leurs différents types et fondements de base.

Où nous concluons de cette étude que l'énergie photovoltaïque est la source d'énergie la plus importante, la plus prometteuse et la plus puissante parmi les énergies renouvelables.

Et on a étudié dans la deuxième partie les caractéristiques des énergies solaires (les principes des calculs et le rayonnement solaires).

---

## **Chapitre II**

### **Généralité sur les systèmes photovoltaïques**

---

# **Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques**

---

## **II.1 Introduction**

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancée sur le plan technologique industriel. En effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique. En effet le mot " photovoltaïque « vient du grec » photo " qui signifie lumière et de « voltaïque » qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la « lumière électricité ».[16]

## **II.2 Module Photovoltaïque :**

Le module photovoltaïque est composé de plusieurs cellules interconnectées en série ou en parallèle ou bien les deux à la fois (série/parallèle), encapsulées et disposées en rangées de façon à obtenir les niveaux de courant et de tension souhaités. L'assemblage se fait de manières différentes suivant les technologies et peut entraîner des pertes supplémentaires (électriques et optiques).

Afin d'augmenter la tension d'utilisation. Les cellules PV sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge. Les modules ont généralement 36 cellules. De plus la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque, Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Toutefois il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière, etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente [17].



**Figure II.1:** Le Module Photovoltaïque.[17].

### II.2.1 Caractéristiques D'un Module Photovoltaïque

Les modules sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont les caractéristiques suivantes:

- **La puissance de crête  $P_c$**  ; Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards ( $25^\circ\text{C}$  et un éclairement de  $1000 \text{ W/m}^2$ ).
- **La caractéristique  $I=f(V)$**  ; Courbe représentant le courant  $I$  débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension à vide  $V_{CO}$**  : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- **Courant de court-circuit  $I_{cc}$** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- **Point de fonctionnement optimum  $P_m (V_m, I_m)$** : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil,  $P_m = V_m \cdot I_m$
- **Rendement** ; Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme** ; Rapport entre la puissance optimale et la puissance maximale que peut avoir la cellule :  $V_{CO} \cdot I_{cc}$ [18]

## **Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques**

---

### **II.3 Panneau Photovoltaïque :**

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.[19]

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.[19]

La boîte de dérivation est composée également d'un circuit imprimé sur lequel se trouvent :

Des diodes Schottky séries, placée sur un radiateur, sur chaque entrée, qui empêchent aux batteries de se décharger dans les panneaux. Des fusibles de protections qui empêcheront aux batteries de se décharger dans les modules en cas de destruction des diodes antiparallèles. Des diodes lumineuses, en parallèle sur chaque fusible de protection. Cette diode permettant de contrôler individuellement chaque branche de module. Par exemple une boîte à 4 entrée de 24 Volt sera constituée de deux branches de deux modules, il y aura donc deux diodes qui permettront de constater le fonctionnement de chaque branche.[19]

- Une protection parafoudre « Transi ou VDR » en sortie de la boîte. Le câblage de ce boîte permet d'avoir une sortie en 12.24 ou 48 volts selon les modules, elle sont équipées de deux à douze entrées, selon les tensions de sortie. Les quantités d'électricités dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépendent :

- des besoins en électricité.
- la taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation

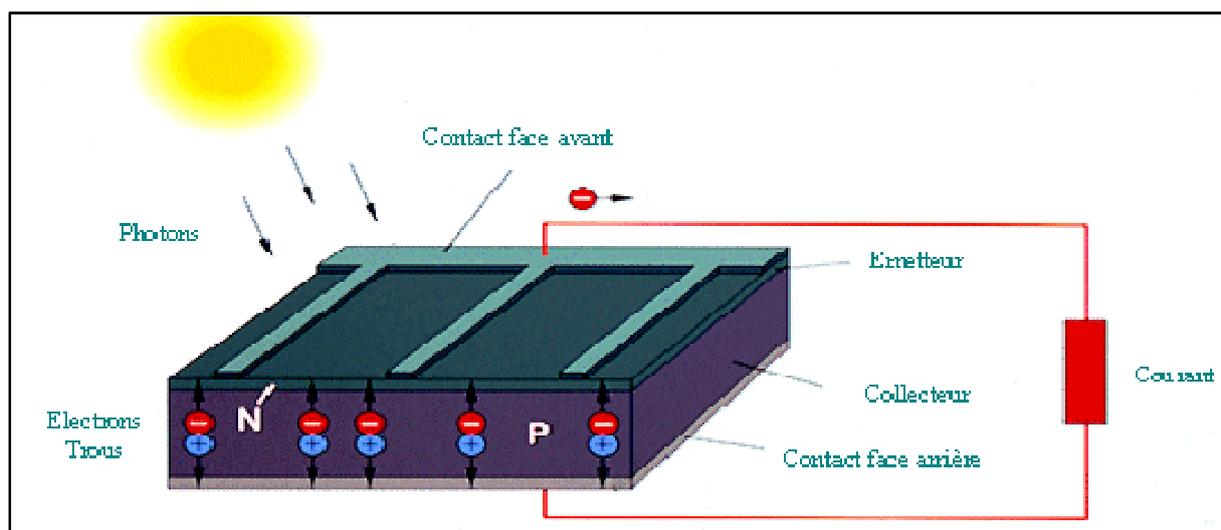
La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximal, ce qui nécessite un élément de stockage [19]

## Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques

### II.4 Effet Photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Les semi-conducteurs comportent deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde.

Les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P, la zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. [20]



**Figure II.2:** Cellule Photovoltaïque Montrant L'effet Photovoltaïque[20]

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P. Une jonction (dite P-N) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones N et P, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, le photon d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communique son énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un couple électron-trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel : le courant électrique circule (figure II.2). L'effet repose donc à la

## **Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques**

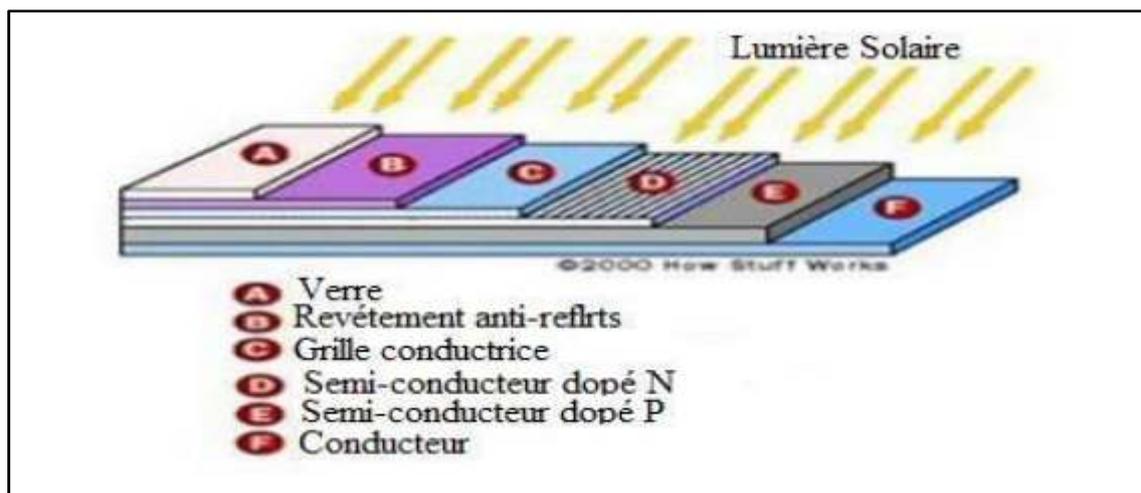
---

base sur les propriétés semi-conductrices du matériau et son dopage afin d'en améliorer la conductivité. Le silicium employé aujourd'hui dans la plupart des cellules a été choisi pour la présence de quatre électrons de valence sur sa couche périphérique « colonne IV du tableau de Mendeleïev ». Dans le silicium solide, chaque atome – dit tétravalent – est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons. Si un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne V (-phosphore par exemple-), un de ses cinq électrons de valence ne participe pas aux liaisons : par agitation thermique. Il va très vite passer dans la bande de conduction et ainsi devenir libre de se déplacer dans le cristal, laissant derrière lui un trou fixe lié à l'atome de dopant. Il y a conduction par un électron, et le semi-conducteur dit dopé de type N. Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne 3 (-bore par exemple-) à trois électrons de valence. Il en manque un pour réaliser toutes les liaisons. Et un électron peut rapidement venir combler ce manque et occuper l'orbitale vacante par agitation thermique. Il en résulte un trou dans la bande de valence, qui va contribuer à la conduction, et le semi-conducteur est dit dopé de type P. Les atomes tels que le bore ou le phosphore sont donc des dopants du silicium. [20].

### **II.5 Les Cellules Photovoltaïques :**

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïques. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique, Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- d'une fine couche semi-conductrice « matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques » tel que le silicium. Qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- d'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaire.
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.
- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement (Figure suivante).



**Figure II.3:** Structure basique d'une cellule solaire[21]

Une cellule photovoltaïque est basée sur les phénomènes physiques appelés effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule [21].

Il existe différentes techniques permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité, la plus connue est la conversion photovoltaïque effectuée à l'aide de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tels que l'arséniure de gallium (GaAs), le tellure de cadmium (CdTe). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication, leur utilisation est aujourd'hui essentiellement limitée aux applications spatiales. La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium, en plus, il permet d'atteindre des efficacités de conversion remarquables, il constitue environ 28% de l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice), ce qui en fait une source quasi inépuisable [21].

### II.5.1 Principe De Fonctionnement

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base de silicium. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres jusqu'à 100 cm<sup>2</sup>, sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries.[22]

Elle est réalisée à partir de deux couches. Une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le

## Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques

semi-conducteur, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charge N) et des trous (charge P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches, Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.[22]

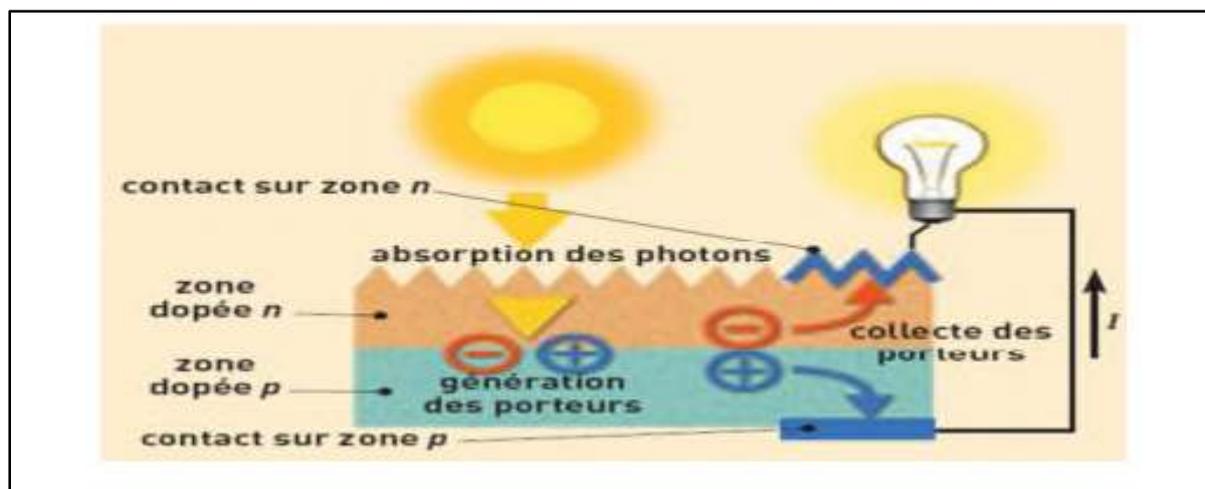


Figure II.4: Structure D'une Cellule Photovoltaïque.[22]

### II.5.2 Différents types de cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium. Chaque type de cellules à un rendement qui lui est spécifique. Par contre quel que soit leurs types leurs rendement est assez faible de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules. [22]

#### II.5.2.1 Cellules Monocristallines

Elles sont issues d'un seul bloc de silicium fondu, donc très "pures", mais aussi plus chères à la production, donc à la vente. Ces cellules sont en générale octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).[23]

- C'est la première génération de photopiles.
- Un taux de rendement excellent (12-16%) (23% en Laboratoire) .
- Une méthode de fabrication laborieuse et difficile, donc très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur

## **Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques**

---

### **II.5.2.2 Cellules poly-cristallines**

Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiple. Vues de près. On peut voir l'orientation différente de cristaux. Les cellules sont en générale de forme rectangulaire et sont bleu nuit avec des reflets.[23]

- Coût de production moins élevé.
- Procédé nécessitant moins d'énergie.
- Rendement 11-13% (18% en Labo).

### **II.5.2.3 Cellules amorphes**

Elles sont produites à partir d'un « gaz de silicium » qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites – solaires-, car ce type de cellule est bon marché et la technologie est utilisable sur de nombreux supports, notamment des supports souples.

- Coût de production bien plus bas .
- Rendement plus bas : 8-10% (13% en labo) .
- Durée de vie plus faible.

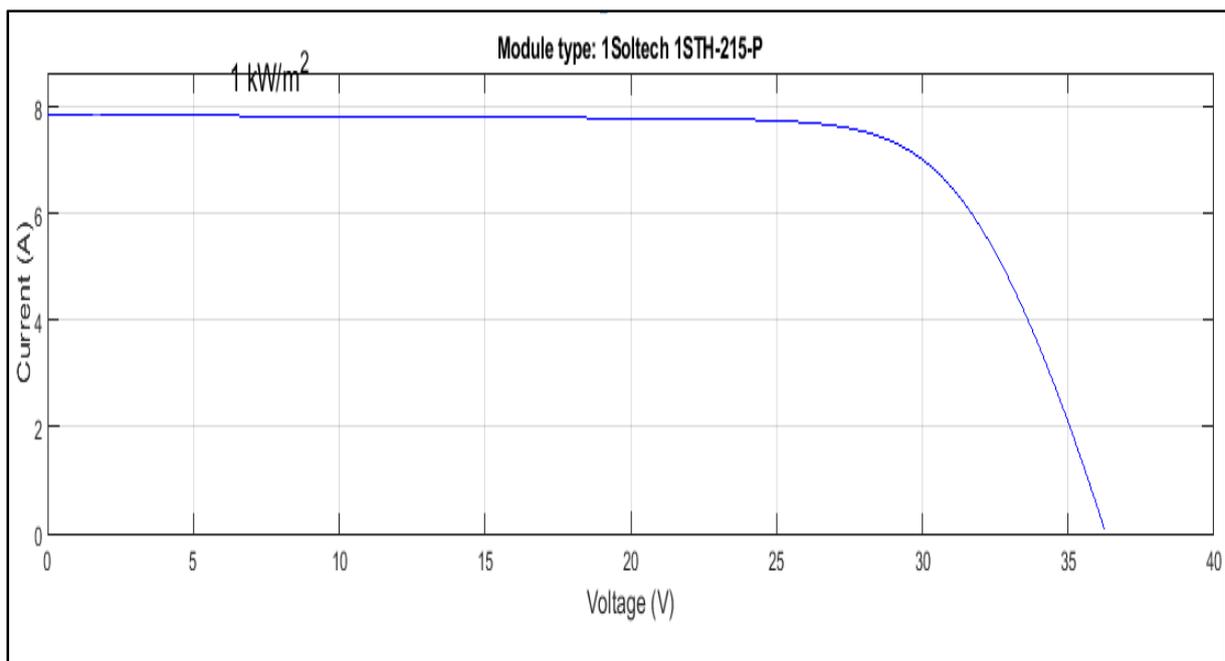
C'est le silicium amorphe que l'on trouve le plus souvent dans le produit de consommation comme les calculatrices, les montres etc.... Toutefois, ils réagissent mieux à des températures élevées ou à une lumière diffuse.[23]

De plus, les cellules mono et poly-cristallines sont les types de cellules les plus répandues sur le marché du photovoltaïque (environ 60% de la production).[23]

## **II.5.3 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque**

### **II.5.3.1 Caractéristique courant-tension I(V)**

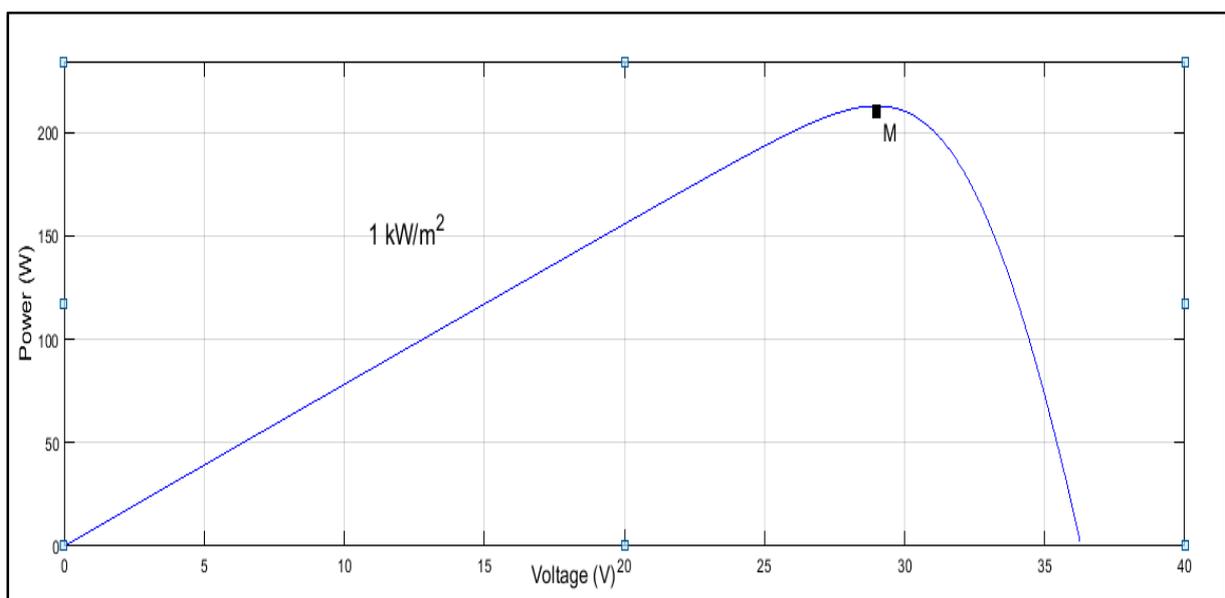
C'est une caractéristique fondamentale du module solaire d'un nombre de cellule (Ns) définissant cet élément comme générateur. Elle est identique à celle d'une jonction P-N avec un sens bloqué, mais décalé le long de l'axe du courant d'une quantité directement proportionnelle à l'éclairement. Elle se trace sous un éclairement fixe et une température constante  $T=25$  .[24]



**Figure II.5:** Caractéristique I(V) D'un Module Photovoltaïque

### II.5.3.2 Caractéristique puissance-tension P(V)

La puissance débitée par le module photovoltaïque dépend du point de fonctionnement de cette dernière; c'est le produit de l'intensité de courant et de la tension entre ses bornes. Le point « M » représente la puissance maximale débitée par le module.[24]

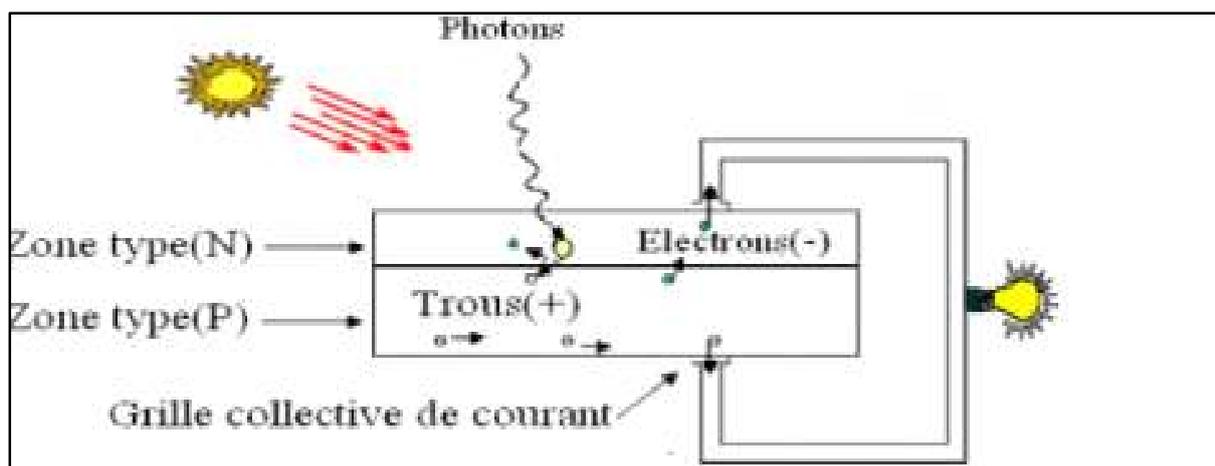


**Figure II.6:** Caractéristique P(V) D'un Module Solaire Photovoltaïque

### II.6 Principe De La Conversion Photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans la cellule solaire permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteurs de charges électrique positives et négative sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux partie, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau. [25]

La zone initialement dopées N devient chargées positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergies égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron - trou, si une charge est placée aux bornes de la cellule. les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel. Voir la figure suivante. [25].



**Figure II.7:** Présentation Schématique D'une Cellule Solaire. [25]

# Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques

## II.7 Système Photovoltaïque

On ne peut pas considérer les modules photovoltaïques comme simples générateurs d'énergie électrique en remplacement d'un réseau, mais associer étroitement ces modules à un système complet pour une application bien spécifique correspondant à un besoin défini [26]. Les systèmes photovoltaïques les plus couramment utilisés sont de deux types :

### II.7.1 Système Photovoltaïque Avec Stockage Electrique

Batterie d'accumulateurs électrochimiques, ceux-ci alimentent des appareils d'utilisation :

- soit directement en courant continu.
- soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un convertisseur continu- alternatif (onduleur).

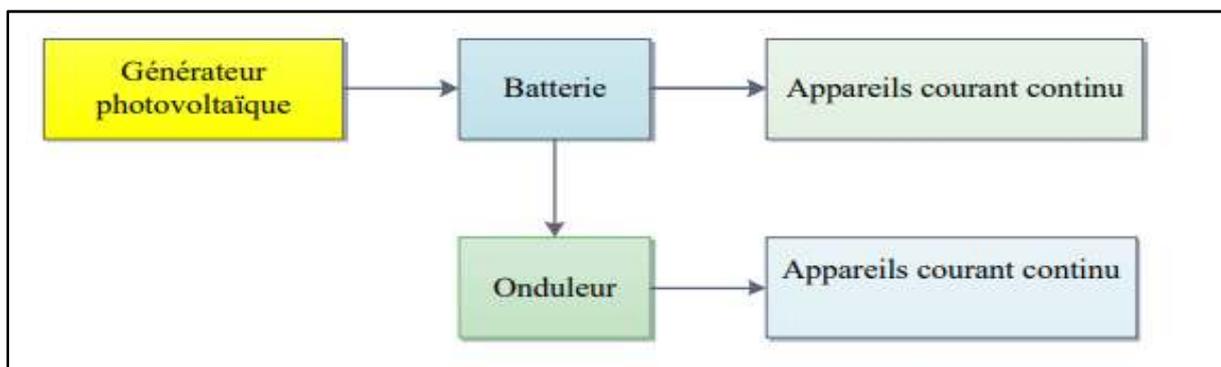


Figure II.8: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec stockage.[26].

### II.7.2 Système Photovoltaïque Couplage Direct Sans Batterie

Les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu, adaptateur d'impédance.[26]

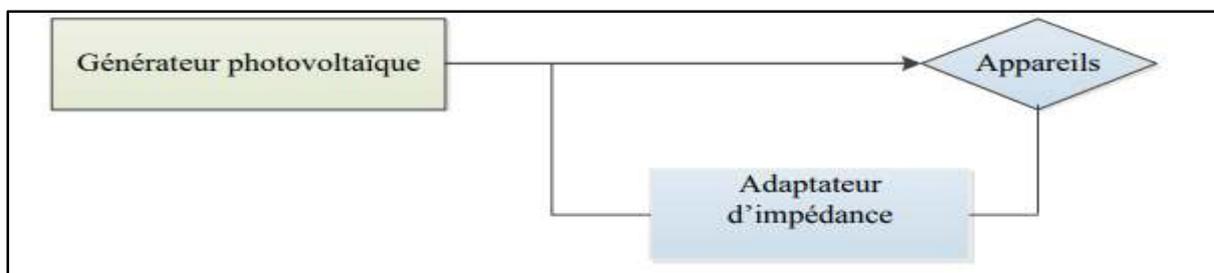


Figure II.9: Schéma Synoptique D'un Système Photovoltaïque A Couplage Direct[26].

## Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques

Pour les systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à un stockage mais qui ne sera pas sous forme électrochimique. Exemple :

- pompage  $\Rightarrow$  stockage par réservoir d'eau.
- Réfrigération  $\Rightarrow$  stockage de froid.

Le choix de tel ou tel systèmes se fera en fonction de différents critères ; simplicité application, environnement, etc. Toutefois l'étude de systèmes photovoltaïques se ramène à l'étude de l'adaptation de la charge constituée, soit d'une batterie, d'une charge quelconque par rapport à l'ensemble des modules solaires. Comme il est vu précédemment, on recherchera à optimiser le système pour avoir le meilleur rendement d'adaptation du système (rapport de l'énergie électrique fournie à l'utilisation à l'énergie électrique qu'aurait pu fournir le générateur fonctionnant toujours à son point de puissance maximum). Un système photovoltaïque est donc constitué du générateur, et des charges à alimenter. Ces charges sont de type courant continu ou courant alternatif. Les diverses composantes d'un système photovoltaïque sont représentées symboliquement sur le schéma généralisé dans la figure (II.9) ci-dessous. Cette représentation synoptique recouvre à peu près tous les cas de figure (II.10) mais il est bien certain qu'un système photovoltaïque ne comporte en général qu'un certain nombre des éléments représentés ici.[26]

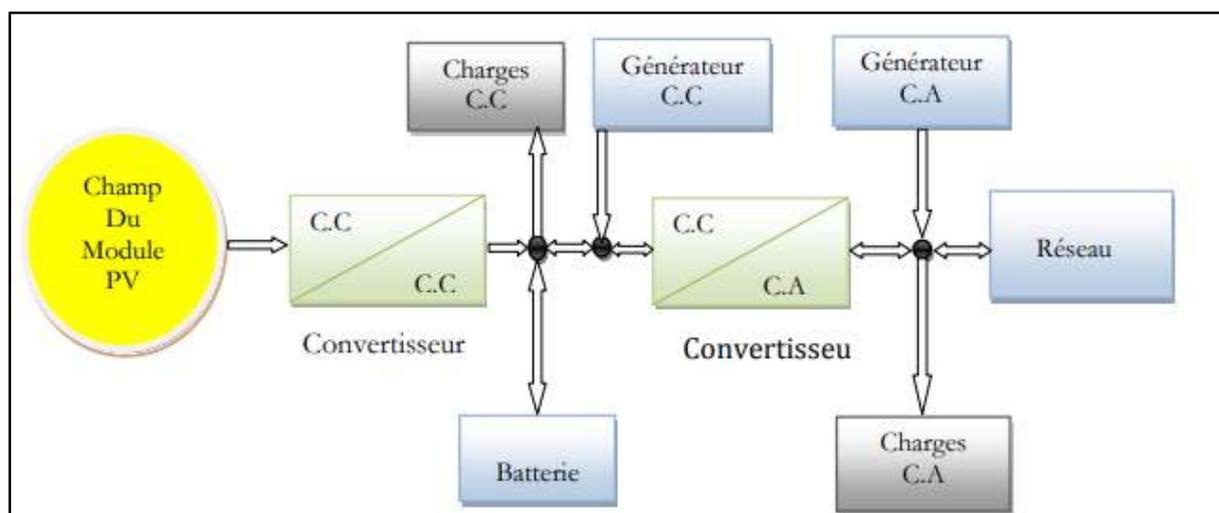


Figure II.10: Schéma Synoptique D'un Système Photovoltaïque.[26]

## **Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques**

---

### **II.8 Les différents types de systèmes photovoltaïques**

On rencontre généralement quatre types de systèmes photovoltaïques, les systèmes alimentations électriques faibles puissances, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux et le troisième sont indépendants du système de distribution d'électricité, en les retrouvant souvent dans les régions éloignées.[27]

#### **II.8.1 Alimentations électriques faibles puissances**

Il s'agit des alimentations électriques faibles telles que les calculettes ou les chargeurs de piles. Les modules photovoltaïques (PV) peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.[27]

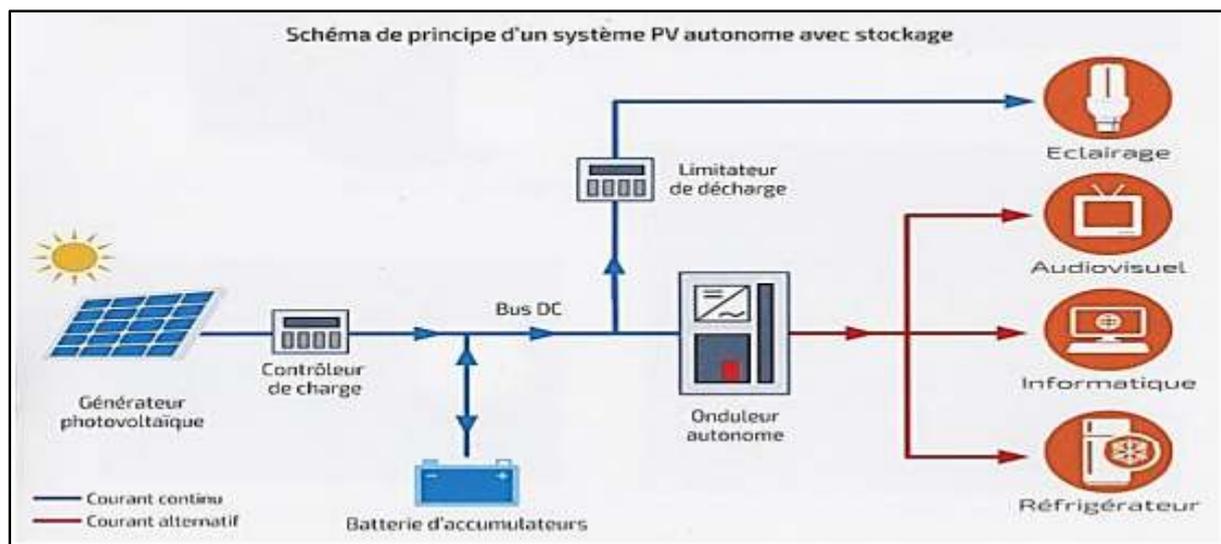
#### **II.8.2 Installations photovoltaïques autonomes**

Ce système photovoltaïque est installé pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau [27]

Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes sont :

##### **II.8.2.1 Système autonome avec stockage :**

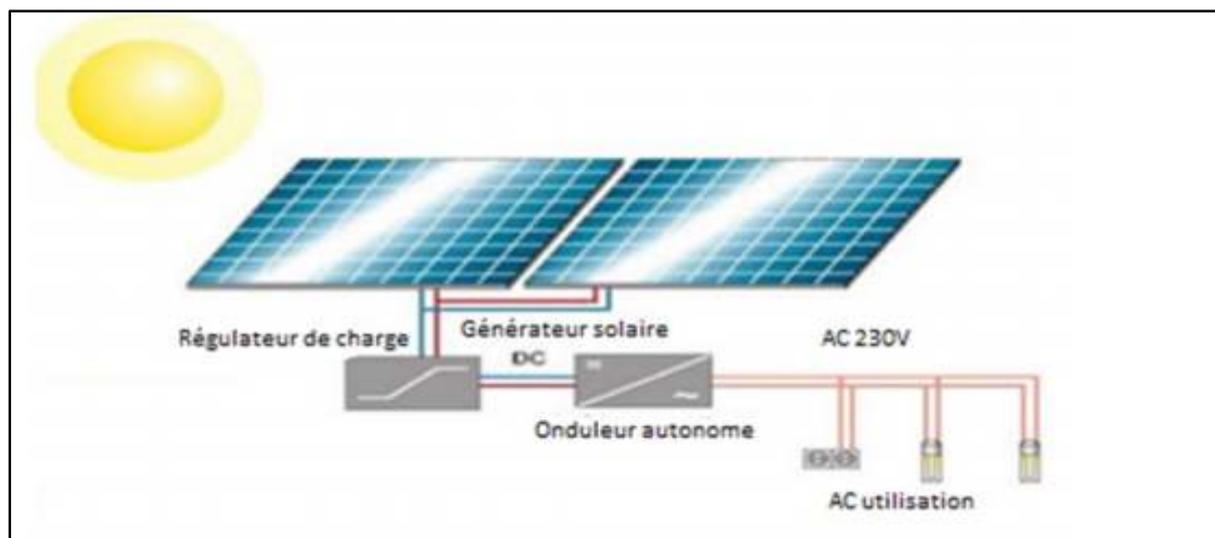
Le système autonome avec stockage est le système le plus répandu. Le composant de stockage permet d'emmagasiner de l'énergie et de la restituer à la charge lorsque le rayonnement solaire est faible ou absent (pendant la nuit). Il existe divers composants de stockage, dont les plus répandus, les batteries électrochimiques [27].



**Figure II.11:** Système autonome avec stockage (batterie).[27]

### II.8.2.2 Système autonome sans stockage :

Dans ce cas, l'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire suffisant pour le démarrage. C'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, et pour lesquelles le besoin en énergie coïncide avec la présence de l'éclairage solaire. Mais il faut bien dimensionner le générateur photovoltaïque de sorte qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil. Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de système autonome ou le stockage de l'eau dans un réservoir est généralement le plus adopté par rapport au stockage électrochimique. La pompe solaire est branchée directement sur le générateur photovoltaïque par l'intermédiaire d'un convertisseur DC/DC ou DC/AC selon que nous utilisons respectivement un moteur à courant continu ou un moteur à courant alternatif. Le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc variable et fonction du rayonnement solaire [27].



**Figure II.12:** Système Photovoltaïque Autonome Sans Stockage.[27]

### II.8.3 Installations photovoltaïques raccordées au réseau

Généralement sur de habitation ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement. Un générateur photovoltaïques connectés au réseau n'a pas besoin de stockage d'énergies et élimine donc le maillon le plus problématique (-et le plus cher-). C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.

Il y'a deux formes d'injection du courant photovoltaïque :

- Soit injecter la totalité de la production photovoltaïque au réseau.
- Soit injecter le surplus de la production photovoltaïque au réseau.

Deux compteurs d'énergie sont nécessaires : Un compteur comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie (consommation) et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation .Un troisième compteur est ajouté dans le cas où l'énergie produite est injectée en intégralité dans le réseau (compteur de non-consommation),un onduleur pour la conversion du courant continu des panneaux en alternatif, et ce dernier doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Afin de s'assurer sur sa qualité « sinusoïdale ».[27]

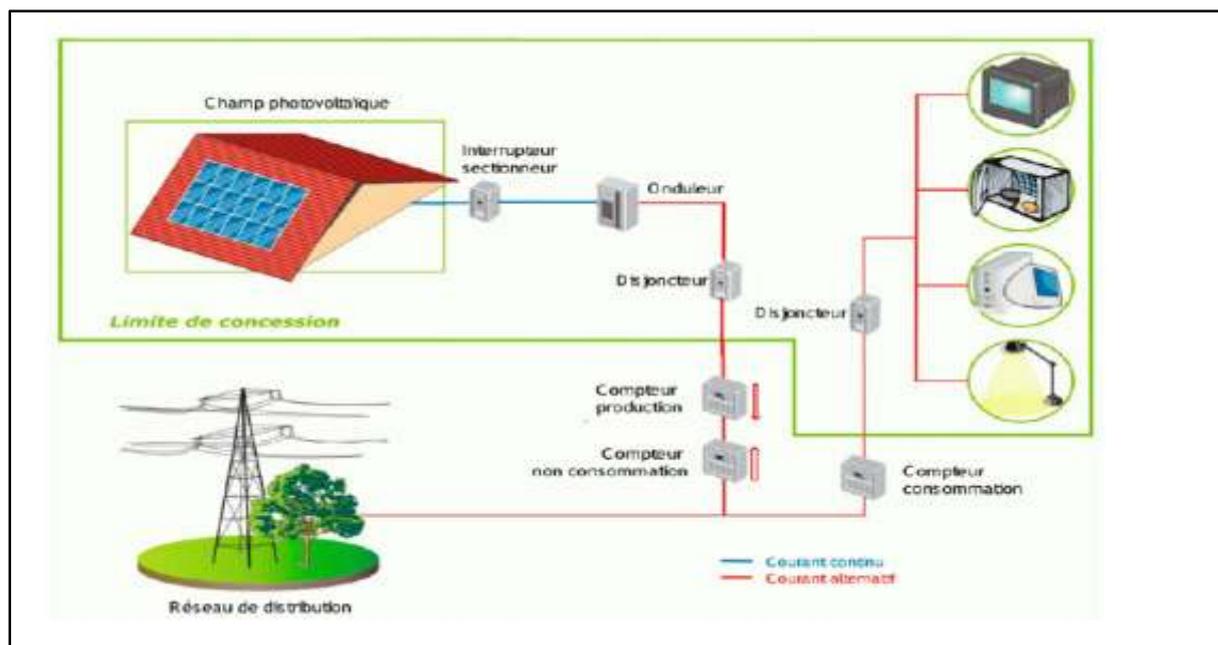
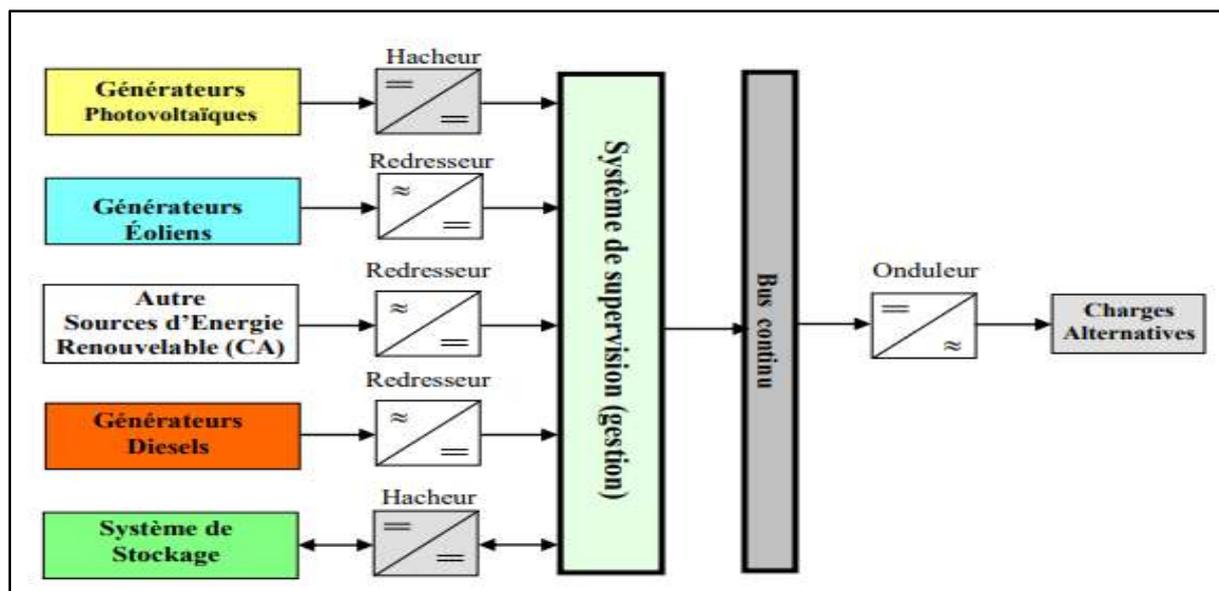


Figure II.13: installation photovoltaïque raccordée au réseau.[27]

### II.8.4 Installations photovoltaïques hybride

Les systèmes d'énergie hybride associent au moins deux sources d'énergie renouvelable aussi une ou plusieurs sources d'énergie classiques. Les sources d'énergie renouvelable, comme le photovoltaïque et l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante, mais vu leurs complémentarités, leur association permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.[28]

Les différentes sources dans un système hybride peuvent être connectées en deux configurations, architecture à bus continu et architecture à bus alternatif.



**Figure II.14:** Configuration Du Système Hybride A Bus Continu.[28]

Dans la première configuration, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus continu (voir la figure II.14). Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à courant alternatif (CA) fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie ensuite en courant continu (CC). Les générateurs sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges alternatives. L'onduleur doit alimenter les charges alternatives à partir du bus continu et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. La fonction spécifique du système de supervision est la commande de mise en marche et arrêt des générateurs et du système de stockage. L'avantage de cette topologie est la simplicité de commande. Dans la seconde configuration tous les composants du système hybride sont reliés à la charge alternative.

## II.9 Avantages Et Inconvénients Des Systèmes Photovoltaïques

### II.9.1 Avantages

- Le soleil est une source d'énergie propre et renouvelable, qui ne produit ni le gaz ni de déchet toxique par son utilisation.
- Le processus photovoltaïque est complètement à semi-conducteurs et d'un seul bloc, il n'y a aucune pièce mobile, et aucun matériau n'est consommé ou émis.
- Pas de pollution, ni émissions ou odeurs discernables.
- Ils peuvent être des systèmes autonomes qui actionnent sûrement sans surveillance pendant de longues périodes. [22]

## **Chapitre II Généralité Sur Les Systèmes Photovoltaïques**

---

- Grande fiabilité.
- Ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergies pour augmenter la fiabilité du système.
- Ils n'exigent aucun raccordement à une source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant existant.[22]

### **II.9.2 Inconvénients**

- La fabrication des modules photovoltaïques 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 10-17 %.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- 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.[22]

### **II.10 CONCLUSION**

Le monde de la conversion photovoltaïque connaît depuis quelques années une évolution profonde associée à l'intérêt croissant pour l'énergie photovoltaïque. Nous avons présenté dans ce chapitre généralité sur les systèmes photovoltaïques et nous avons exploré le principe de la conversion photovoltaïque et les technologies utilisées ainsi que les différents types des cellules photovoltaïques. Les caractéristiques d'un module solaire. Le module solaire ne peut générer la puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement.

---

## **Chapitre III**

### **Présentation et modélisation du système photovoltaïque connecté au réseau**

---

#### III.1 Introduction

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques, connaît depuis maintenant plus de 10 ans, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40 % par an. Cette croissance exceptionnelle, due principalement aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution d'électricité, se traduit bien évidemment par des innovations technologiques.

D'une ce chapitre s'intéresse à l'étude des systèmes photovoltaïques connectés au réseau, D'abord, le principe de fonctionnement de ces derniers et les systèmes PV pour habitat seront évoqués. Puis, les principaux composants d'un système PV connecté au réseau seront détaillés. Ensuite, l'étude des principaux systèmes photovoltaïques connectés au réseau montrera la présence de deux classes de systèmes :

les systèmes à connexion directe et les systèmes à bus continu intermédiaire. Ces systèmes fonctionnent avec un ou plusieurs convertisseurs de puissance. Ces convertisseurs permettent la connexion au réseau et d'extraire le maximum de puissance des panneaux photovoltaïques. Enfin, l'énergie photovoltaïque produite par le générateur PV sera injectée totalement ou seulement le surplus sur le réseau.

#### III.2 Principe De Fonctionnement D'une Installation Photovoltaïque

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires-eux-mêmes constitué de cellules photovoltaïques, à base de silicium le plus souvent.

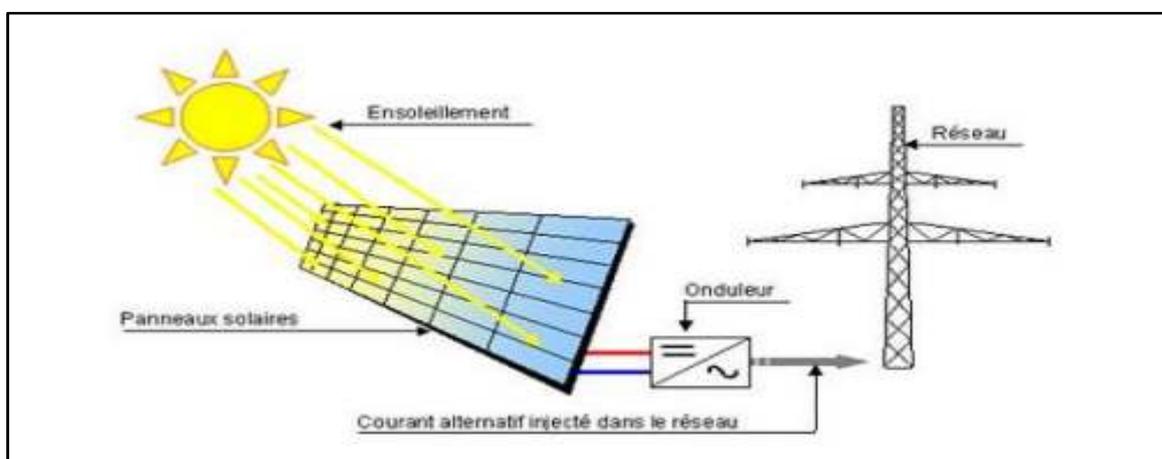


Figure III.1: Système PV Raccordé Au Réseau.[30]

## Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque

### connecté au réseau

Ces générateurs convertissent directement la lumière du soleil en électricité. La puissance est exprimée en Watt-crête, qui détermine la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans des conditions d'ensoleillement optimales. Un ou plusieurs convertisseurs DC produisent un courant alternatif à des fréquences de 50 Hz et 220 V. Selon l'option retenue, tout ou partie de la production est mise sur le réseau public et consommée par le producteur. Lorsque la production photovoltaïque ne suffit pas, le réseau d'alimentation est nécessaire. [31]

### III.3 Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau

Un système d'alimentation photovoltaïque raccordé au réseau ou un système d'alimentation photovoltaïque raccordé au réseau est un système de production d'énergie photovoltaïque solaire qui est connecté au réseau de distribution. Une installation photovoltaïque connectée au réseau se compose de panneaux solaires, d'un ou plusieurs onduleurs, d'une unité de conditionnement de l'alimentation et d'un équipement de raccordement au réseau. Ils vont des petits systèmes de toit résidentiels et commerciaux aux grandes centrales solaires à grande échelle. Contrairement aux systèmes d'alimentation autonomes, un système connecté au réseau inclut rarement une solution de batterie intégrée, car ils restent très coûteux. Lorsque les conditions le permettent, le système PV raccordé au réseau fournit la puissance excédentaire, au-delà de la consommation de la charge connectée, au réseau de distribution.[31]

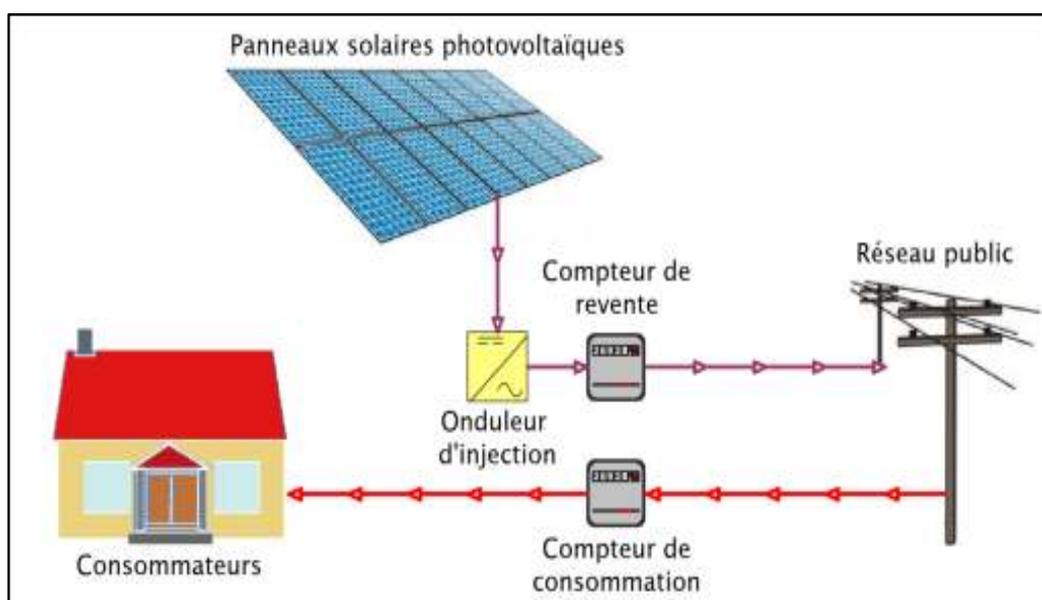


Figure III.2: Système Photovoltaïque Connecté Au Réseau[31]

## **Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque**

### **connecté au réseau**

#### **III.3.1 Avantages**

- Exploitation de la totalité de l'énergie photovoltaïque issue des panneaux (le stockage est « infini »).[30]
- Economie de l'ordre de 40 % sur les investissements (les batteries en moins).
- Maintenance quasi inexistante (ce sont les batteries qui demandent le plus d'attention).
- Meilleure durée de vie du système.

Cette solution est plus rentable qu'une alimentation photovoltaïque pure mais malheureusement très chère par rapport au 100% secteur. L'énergie générée par le module est consommée directement par la charge. Possible excédent de production par rapport à la consommation injectée dans le réseau

#### **III.3.2 Inconvénients**

Les installations photovoltaïques couplées au réseau ont cependant deux inconvénients majeurs :

1. L'intermittence de la production d'énergie solaire ne permet pas le contrôle des périodes d'injections.
2. Le déphasage entre la consommation et la production réduit la notion d'autonomie énergétique personnelle.[30]

### **III.4 Etude des composants d'un système photovoltaïque connecté au réseau**

#### **III.4.1 Le générateur photovoltaïque**

Les générateurs photovoltaïques sont constitués de modules interconnectés pour une unité qui génère une puissance continue élevée compatible avec les équipements électriques courants. Les modules PV sont généralement connectés en série pour la tension et le courant à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques inclinés à l'angle souhaité en fonction de la position, c'est ce que l'on appelle communément le champ de module. Par conséquent, la caractéristique I - V d'un générateur PV est basée sur la caractéristique d'une cellule de base modélisée par le circuit équivalent connu illustré à la Fig. Ce circuit introduit une source de courant et une source parallèle, ainsi que des résistances série  $R_s$  et  $R_{sh}$  pour tenir compte des phénomènes de dissipation au niveau de la cellule. [32]

## connecté au réseau

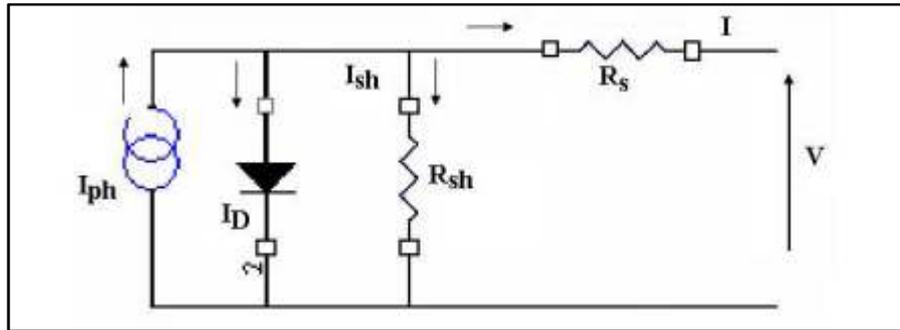


Figure III.3: Circuit Equivalent D'une Cellule Photovoltaïque [32]

### III.4.1.1 Simulation d'un système photovoltaïque

- La première étude :

Dans cette simulation on a fixé la température ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ) et on varie les éclairements ( $G=2000\text{ W/m}^2$  ;  $1500\text{ W/m}^2$  ;  $1000\text{ W/m}^2$  ;  $500\text{ W/m}^2$ ).

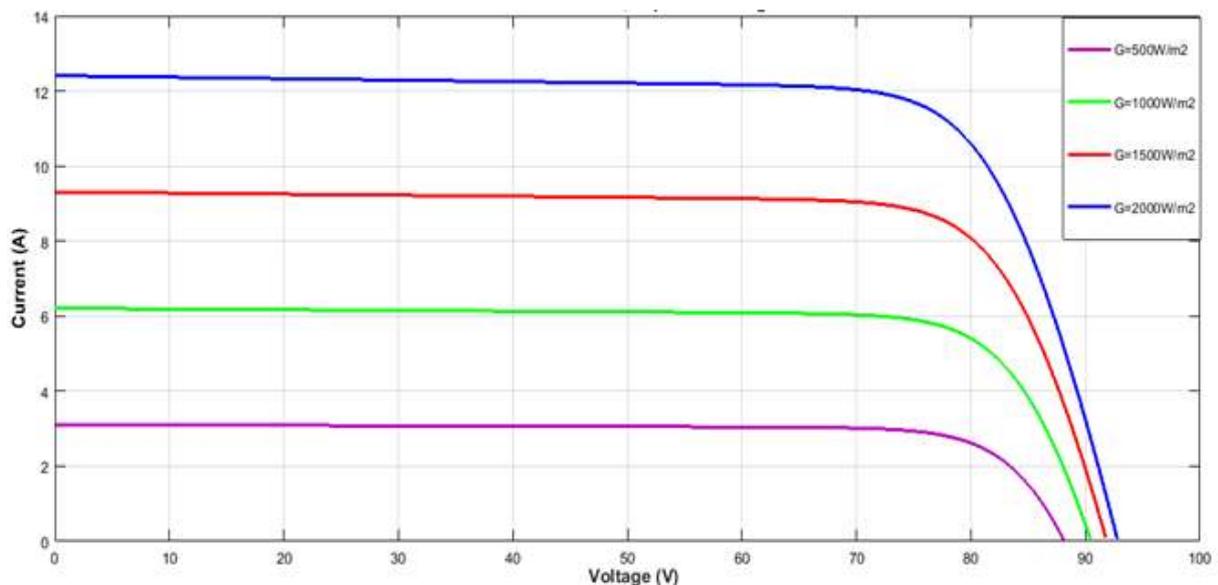
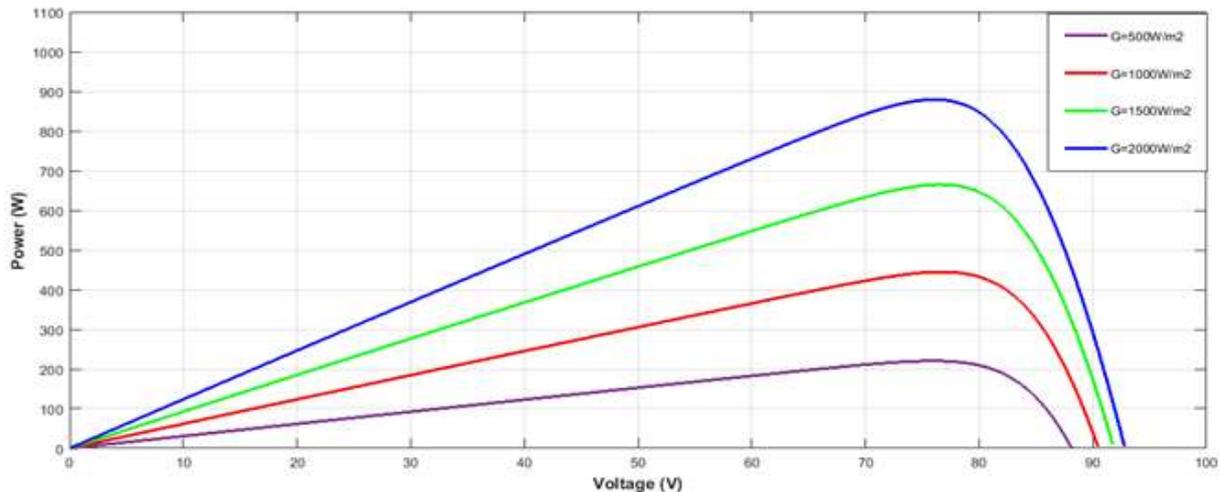


Figure III.4: Résultats de simulation des caractéristiques  $I=f(V)$  pour différents éclairements et une température  $T_c = 25^{\circ}\text{C}$ .

la figure présente l'évolution du courant généré du module en fonction de la tension (même plage de variation) de sortie à température fixe et éclairement variable, on constate que l'augmentation de l'éclairement entraîne une augmentation du courant.

### connecté au réseau

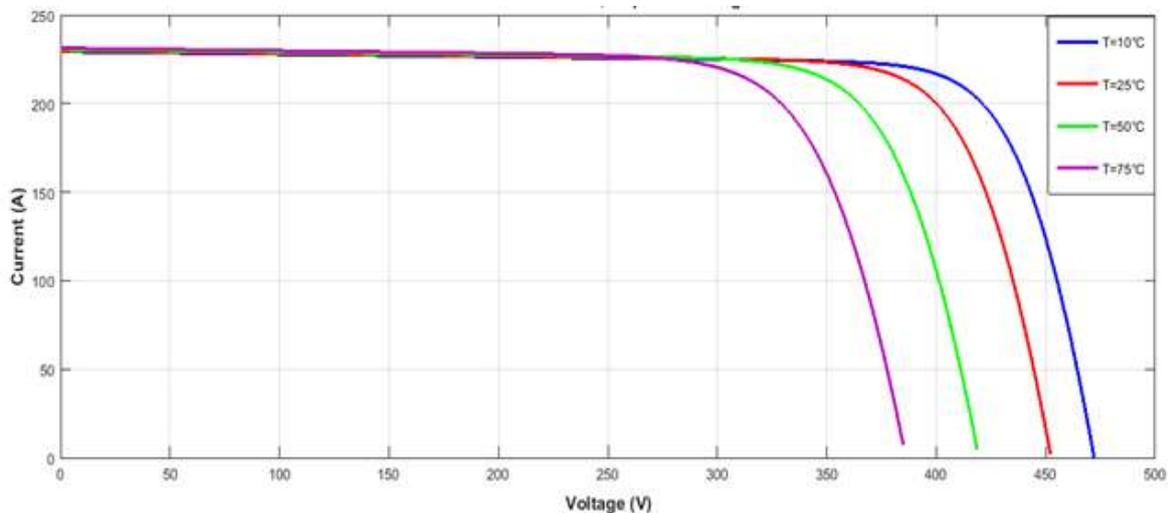


**Figure III.5:** Résultats de simulation des caractéristiques  $P=f(V)$  pour différentes Éclairement et une température  $T = 25^{\circ}\text{C}$

la figure suivante présente l'évolution de la puissance du module en fonction de la tension à température fixe et éclairement variable, on constate que l'augmentation de l'éclairement entraîne une augmentation de la puissance.

- **la deuxième étude :**

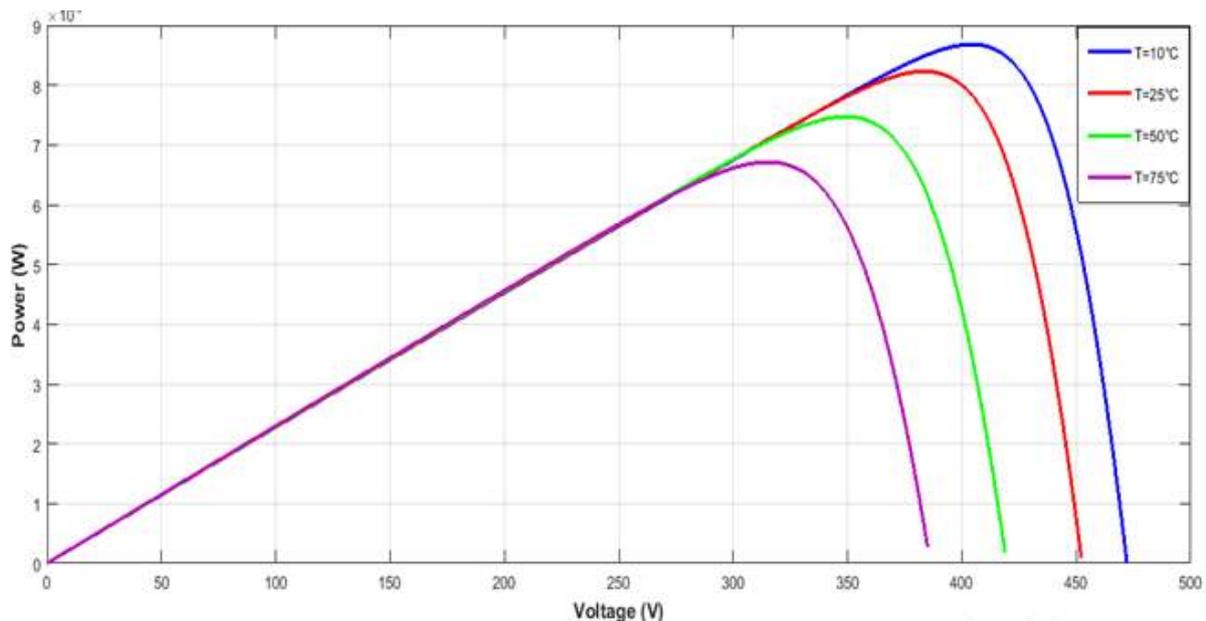
Dans cette simulation on a fixé l'éclairement ( $1000\text{W/m}^2$ ) et on varie la température ( $10^{\circ}\text{C}$  ;  $25^{\circ}\text{C}$  ;  $35^{\circ}\text{C}$  ;  $50^{\circ}\text{C}$ ).



**Figure III.6:** Résultats de simulation des caractéristiques  $I=f(V)$  pour différentes Températures et un éclairement  $G=1000\text{W/m}^2$

La figure suivante présente l'évolution du courant généré du module en fonction de la tension à éclairement fixe et température variable, on constate que l'augmentation de la température entraîne un courant relativement constant, on remarque aussi la tension maximale atteinte aux bornes du module diminue.

### connecté au réseau



**Figure III.7:** Résultats de simulation des caractéristiques  $P=f(V)$  pour différentes températures et un éclairement  $G=1000\text{W/m}^2$

D'après la figure précédente l'effet de l'augmentation de la température sur la caractéristique  $P = f(V)$  fait diminuer la puissance et la tension du circuit ouvert du GPV. Le modèle choisi a donné des résultats concordant avec ceux obtenus dans la littérature et reflète bien le comportement physique d'une cellule (PV) vis-à-vis des variations de la température et de l'éclairement, ce qui valide le modèle utilisé.

#### III.4.2 Regroupement des cellules

Dans les conditions d'ensoleillement standard ( $1000\text{ W/m}^2$  ;  $25^\circ\text{C}$  ; AM 1,5), la puissance maximale délivrée par une cellule silicium de  $150\text{cm}^2$  est d'environ  $2,3\text{ WC}$  sous une tension de  $0,5\text{ V}$ . Une cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur photovoltaïque de faible puissance insuffisante en tant que telle pour la plus part des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait réalisés par association, en série et /ou en parallèle, d'un grand nombre de cellules élémentaires. [23]

#### III.4.3 Regroupement en série

Une association de ( $N_s$ ) cellule en série suivante permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions

## Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque

### connecté au réseau

élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de ( $N_s$ ) cellules.[23]

$$V_{coNs} = N_s \times V_{co} \quad \text{III.1}$$

$$I_{ccNs} = I_{cc} \quad \text{III.2}$$

$V_{coNs}$ : la somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série.

$I_{ccNs}$ : courant de court-circuit de  $N_s$  cellules en série.

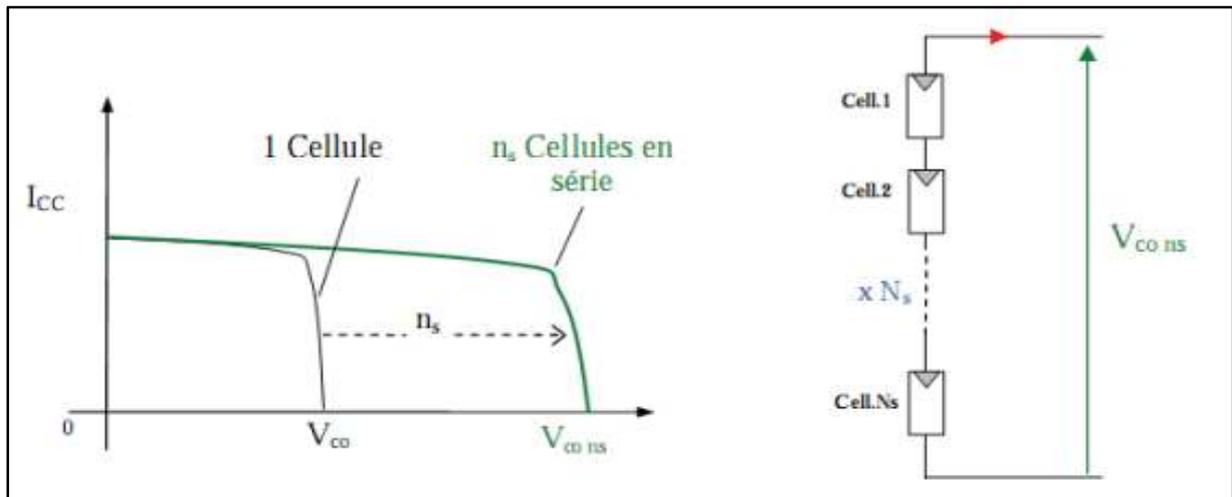


Figure III.8: Caractéristique D'un Groupement De N Cellules Identiques En Série[23]

#### III.4.4 Regroupement en parallèle

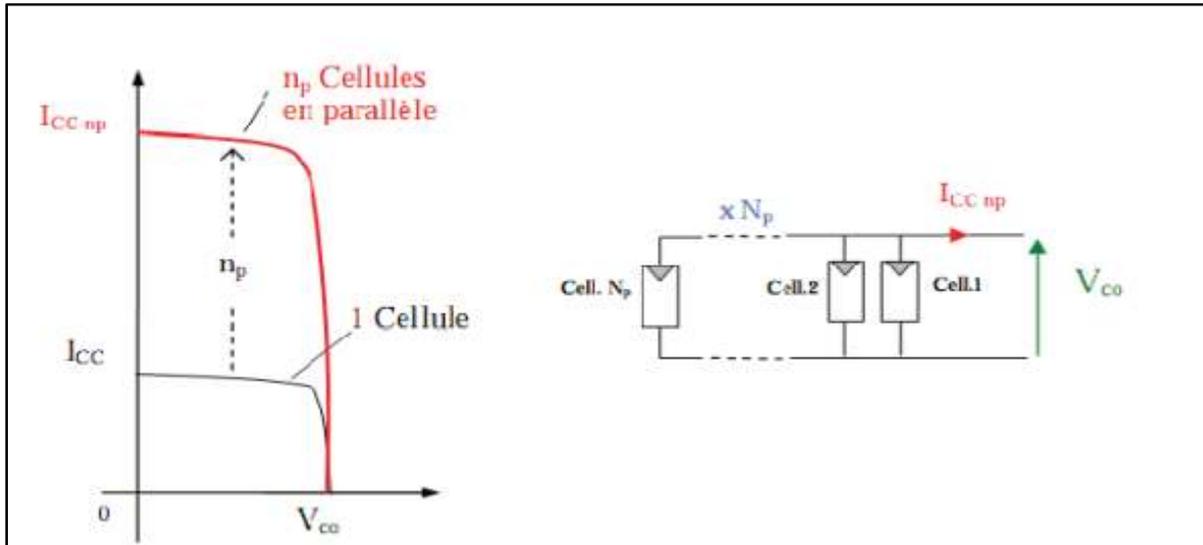
Une association parallèle de ( $N_p$ ) cellule voir figure suivante est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants [23]. Avec :

$$I_{CC} \times N_p = I_{ccNp} \quad \text{III.3}$$

$$V_{co} = V_{coNp} \quad \text{III.4}$$

$I_{ccNp}$ :La somme des courants de cout circuit de ( $N_p$ ) cellule en parallèle.

$V_{coNp}$ :Tension du circuit ouvert de ( $N_p$ ) cellules en parallèle.

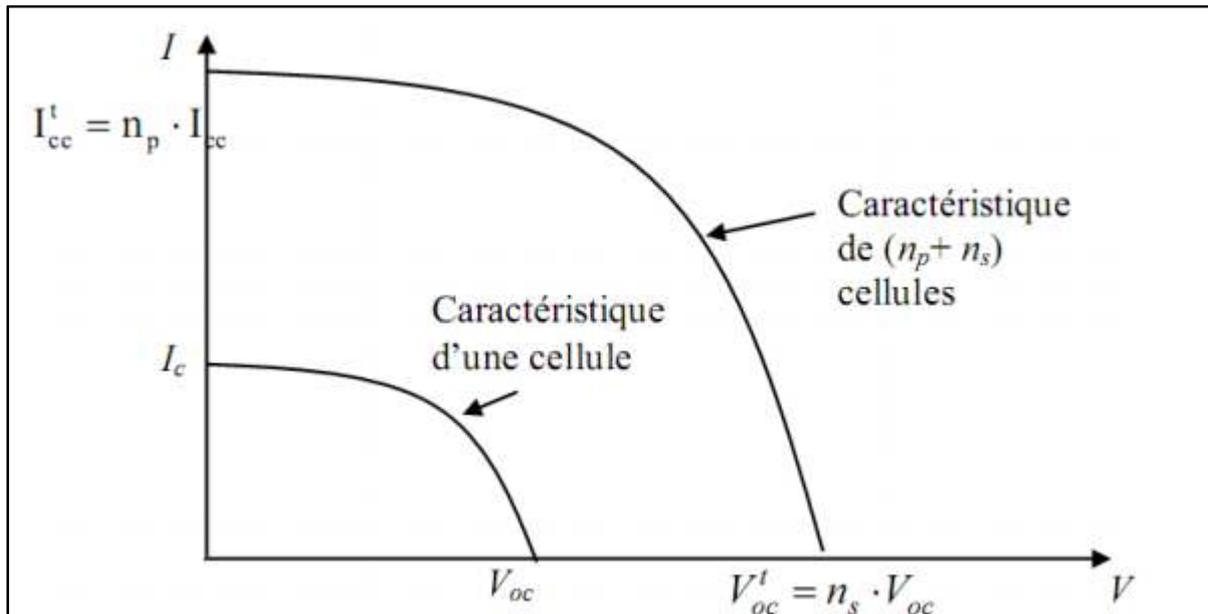


**Figure III.9:** Caractéristique D'un Groupement De N Cellules Identiques En Parallèle.[23]

#### III.4.5 Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de  $N_s$  modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque.[23]

### connecté au réseau



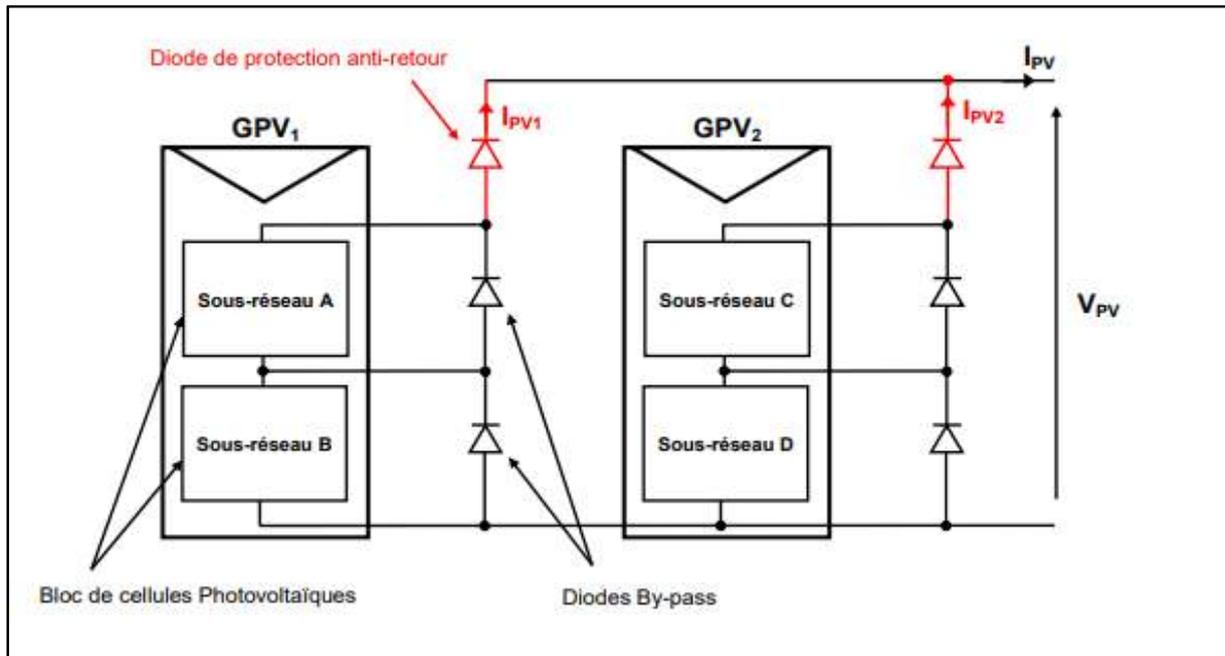
**Figure III.10:** Caractéristique Résultante D'un Groupement Hybride De Cellules Identiques.[23]

#### III.4.6 Protection d'un générateur photovoltaïque

Pour garantir la durée de vie d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules PV afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en série et de panneaux en parallèle. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles [33].

- la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.[33].
- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance.[33].

### connecté au réseau



**Figure III.11:** Schématisation d'un exemple d'association de deux générateurs PV en parallèle avec leurs diodes de protection (by-pass et anti-retour)[33].

#### III.4.7 Protection lors de la connexion en parallèle de plusieurs GPV

Dans le cas de plusieurs chaînes de cellules mises en parallèle sur une charge de type batterie par exemple, le risque est que les chaînes de cellule éclairées débitent dans des chaînes ombrées ou que la batterie se décharge à travers le générateur. On dispose pour cela de diodes anti-retour mises en série avec le GPV (de blocage). Cette diode est indispensable quand la charge du module PV est une batterie. En fait, cette diode évite que la batterie ne débite sur le module PV pendant la nuit. quand la cellule est non éclairée, une batterie pourrait se décharger à travers la cellule si nous ne disposons pas d'une diode de blocage.[33]

#### III.4.8 Protection lors de la connexion en série de plusieurs GPV

Sous l'effet d'un ombrage ou de la chaleur, toutes les cellules placées en série n'ont pas les mêmes caractéristiques, créant ainsi des déséquilibres. Lors d'un assemblage de cellules PV en série, il est nécessaire de mettre une diode de by pas pour empêcher le fonctionnement (en inverse) d'une cellule ombrée et ainsi empêcher la destruction de celle-ci. Pour empêcher cette destruction, la tension inverse vue par la cellule ne doit pas dépasser VBD (tension d'avalanche). Pour que cette condition soit vérifiée, une diode by-pass doit être mise en parallèle au maximum toutes les 20 cellules pour les technologies silicium [33]

#### **III.5 Les convertisseurs**

##### **III.5.1 Définition**

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné en la convertissant. Les premiers convertisseurs de puissance électrique ont été réalisés avec des machines électriques couplées mécaniquement. Avec l'apparition des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance, avec les diodes, les transistors, thyristors etc. [34]

Les systèmes de conversion deviennent de plus en plus élaborés et ne nécessitent plus de machines tournantes. C'est l'ère des convertisseurs statiques.

On distingue plusieurs familles de convertisseurs statiques.[34]

Continu→ Continu(Hacheur)

Continu→Alternatif(Onduleur)

Alternatif→ Alternatif(Gradateur)

Alternatif→ Continu(Redresseur).[34]

##### **III.5.2 Convertisseurs continu/continu (DC/DC)**

Pour la conversion de puissance, il est essentiel que le rendement soit maintenu élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs. Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander.

Les MOSFETS (transistors à effet de champ d'oxyde de métal) sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (transistors bipolaires à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été généralement utilisés et acceptés dans les plus hauts niveaux de puissance.

Trois topologies de base de circuit de conversion seront décrites dans les paragraphes suivants (DC-DC) : Dans cette partie nous présentons le principe des trois types de convertisseurs DC/DC (Buck, Booste et Buck-booste), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités. Ce type de

### connecté au réseau

convertisseurs n'est constitué que par des éléments réactifs (Selfs, Capacités) qui, dans le cas idéal, ne consomment aucune énergie. C'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un grand rendement.[26]

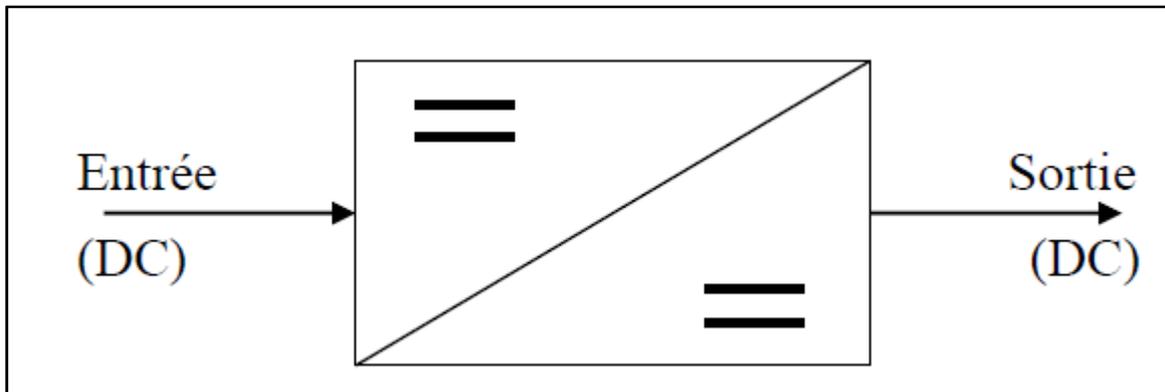


Figure III.12: Symbole d'un convertisseur DC-DC [26]

#### •Hacheur survolteur (Boost) :

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).[35]

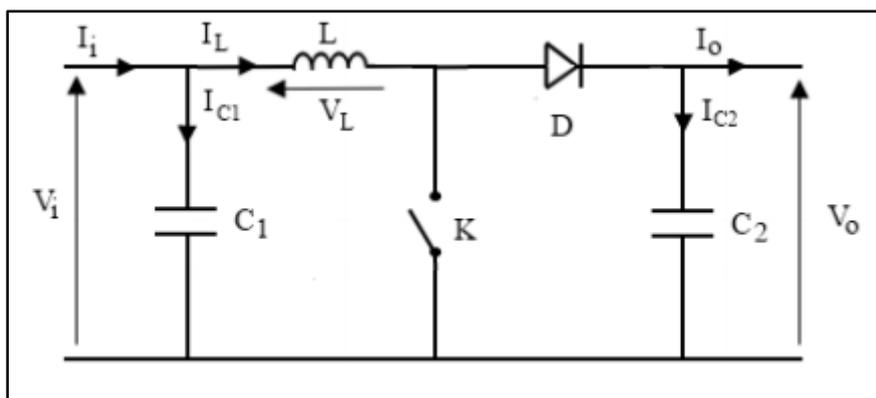


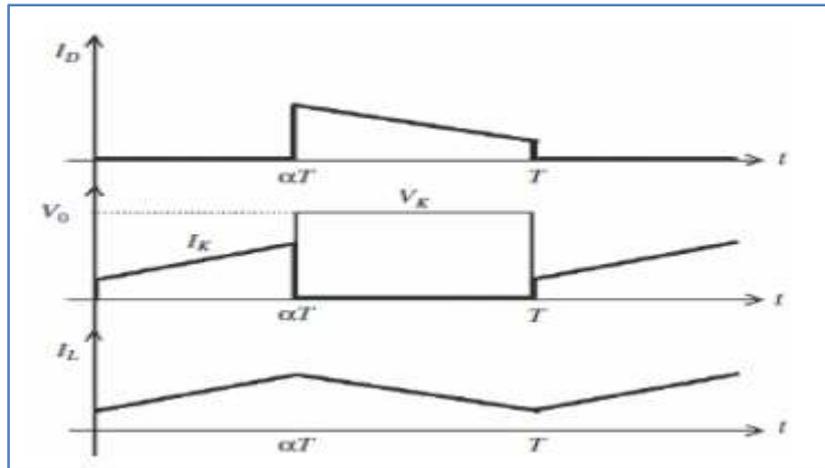
Figure III.13:Circuit électrique de base du hacheur survolteur (parallèle).[35]

**connecté au réseau**

**a) Fonctionnement :**

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée,  $\alpha T$  le courant dans l'inductance croît linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps  $T \epsilon [\alpha T; T]$  l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. On a alors  $V_s = V_k$  En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à [35]

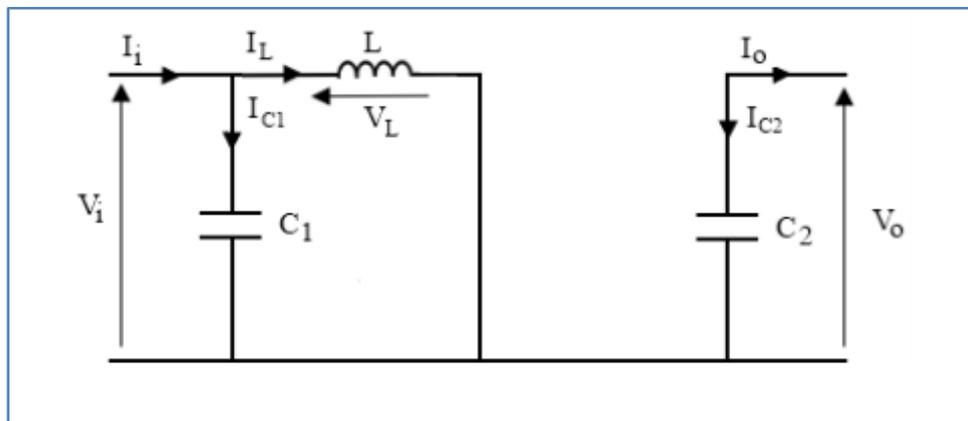
$$V_i = (1 - \alpha)V_0 \quad \text{III.5}$$



**Figure III.14:** Chronogrammes De Courant Et Tension D'un Hacheur boosté[35]

**b) Modèle mathématique équivalent :**

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure (figure suivante), présente le circuit équivalent du booste lorsque K est fermé c.-à-d. entre  $[0, \alpha T]$ . [35]



**Figure III.15:** Schéma Electrique D'un Hacheur boosté Fermé[35]

## Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque

### connecté au réseau

Lorsqu'on l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

$$I_{c1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad \text{III.6}$$

$$I_{c2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -I_o(t) \quad \text{III.7}$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad \text{III.8}$$

À l'état ouvert de l'interrupteur K, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant:

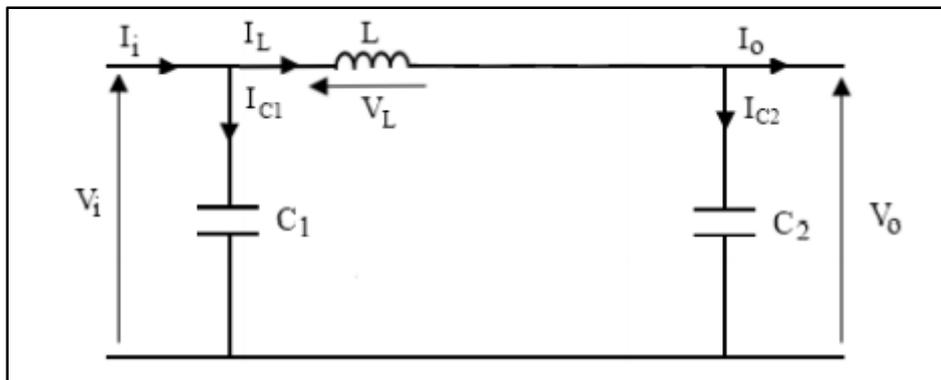


Figure III.16: Schéma électrique d'un hacheur boosteouvert[35]

$$I_{c1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad \text{III.9}$$

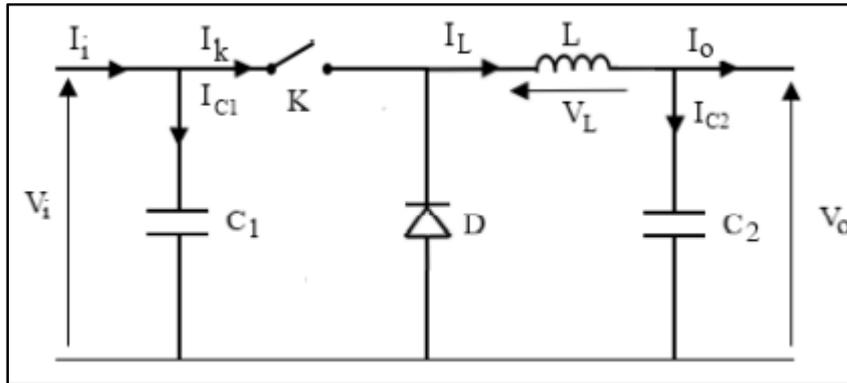
$$I_{c2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_l(t) - I_o(t) \quad \text{III.10}$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \quad \text{III.11}$$

#### • Hacheur dévolteur (Buck) :

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue de type source de courant. L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage) [35]

**connecté au réseau**



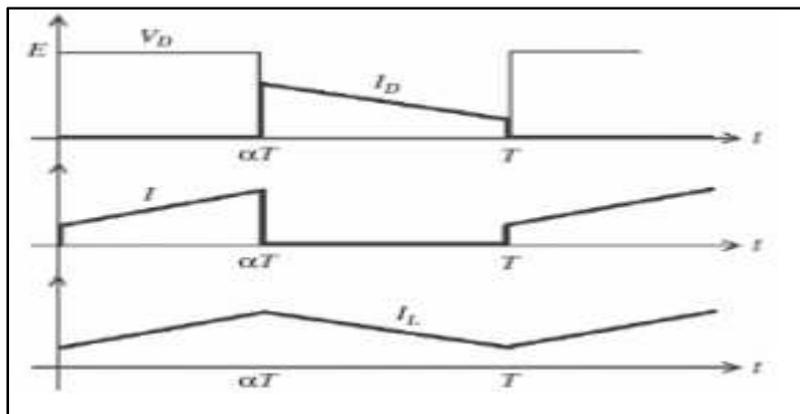
**Figure III.17:** Circuit électrique de base du hacheur dévolteur(Série).[35]

**a) Fonctionnement :**

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée  $\alpha T$  la tension appliquée aux bornes de la diode est  $V_i$  l'interrupteur est commandé à la fréquence de découpage  $f = 1/T_e$  La source  $V_i$  fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance. Pendant le temps  $T_e[\alpha T; T]$  l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. La tension à ses bornes est donc nulle. Les chronogrammes (tracés dans le cas idéal) de la figure suivante sont tracés dans le cas d'une conduction continue, c'est-à-dire que le courant ne repasse jamais par zéro. Pour calculer la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie, on exprime que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle.[35]

$$V_0 = \alpha V_i$$

**III.12**



**Figure III.18:** Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck [35]

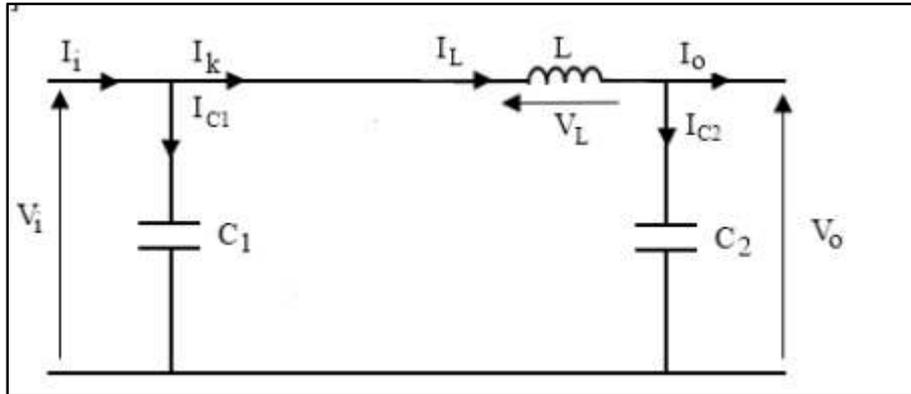
**b) Modèle mathématique équivalent :**

Pour savoir le comportement réel nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par suite le modèle mathématique reliant les

## Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque

### connecté au réseau

variables d'entrée/sortie. La figure(III.19) montre le schéma du circuit équivalent d'un convertisseur dévolteur avec le commutateur fermé, tandis que la figure (43) représente le convertisseur dévolteur avec le commutateur ouvert pendant  $(1-\alpha)T$ . [35]



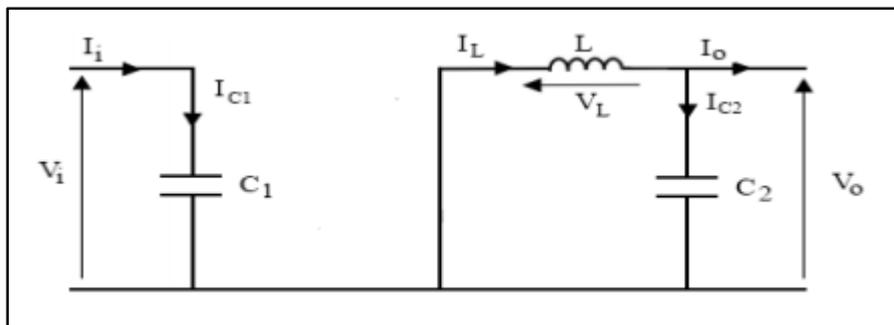
**Figure III.19:** Schéma électrique d'un hacheur Buckfermé [35]

Lorsqu'on applique la loi de Kirchoff sur le circuit ci-dessus on aura les circuits équivalents suivants :

$$I_{c1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad \text{III.13}$$

$$I_{c2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_l(t) - I_o(t) \quad \text{III.14}$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \quad \text{III.15}$$



**Figure III.20:** Schéma électrique d'un hacheur Buckouvert [35]

Les équations suivantes sont déduites de la figure (III.20) :

$$I_{c1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) \quad \text{III.16}$$

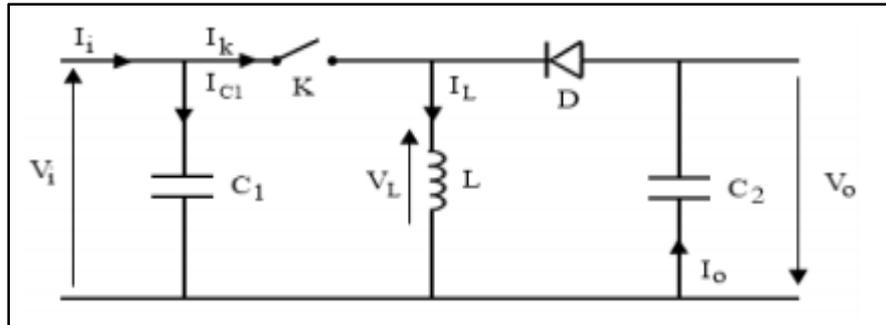
$$I_{c2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_l(t) - I_o(t) \quad \text{III.17}$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = -V_o(t) \quad \text{III.18}$$

## connecté au réseau

• **Hacheur Buck-Boost :**

Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents, il est utilisé comme un transformateur idéal de n'importe quelle tension d'entrée pour n'importe quelle tension de sortie désirée; son schéma de base est illustré par la figure (III.21) [35]



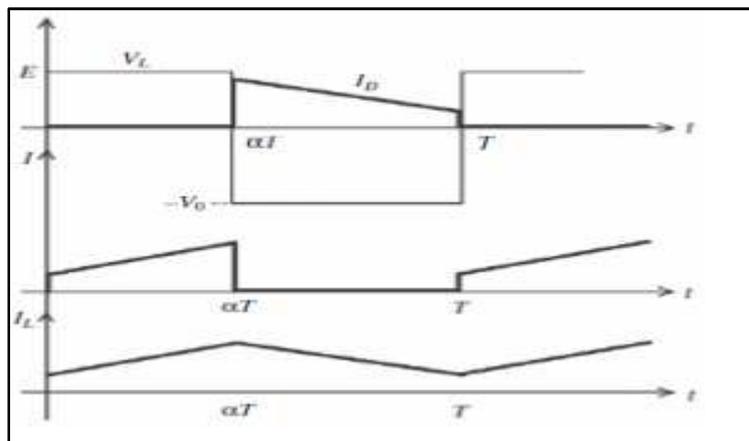
**Figure III.21:** Circuit Electrique Du Hacheur Buck-booste[35]

**a) Fonctionnement :**

Cette structure de convertisseur permet d'obtenir des tensions négatives à partir de tension positive. Le schéma de principe est présenté figure (III.22). Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée  $\alpha T$  , le courant augmente linéairement. La tension est égale à  $V_i$  . À l'ouverture de K, la diode prend le relais et la tension  $V_l$  est égale à  $-V_0$  . Par définition la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle. Il en résulte que :

$$V_i \times \alpha T = V_0(1 - \alpha)T \quad \text{III.19}$$

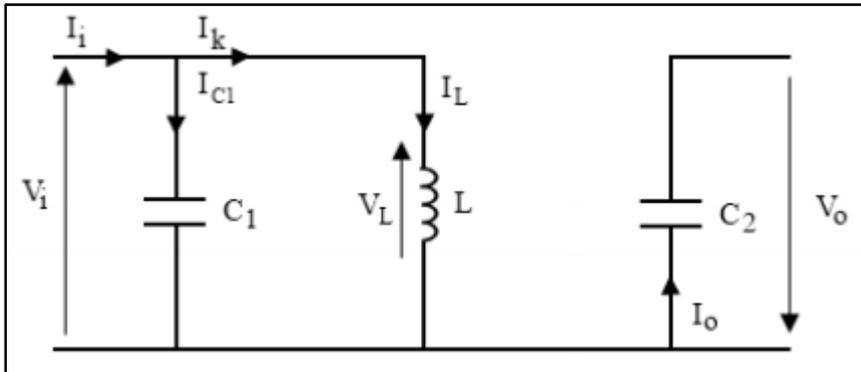
quand le rapport cyclique  $\alpha > 0.5$  le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur boost et si le rapport cyclique  $\alpha$  . [35]



**Figure III.22:** Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur Buck-bosset [35]

**connecté au réseau**

**b) Modèle mathématique équivalent** : Lorsque l'interrupteur K est fermé le circuit équivalent est montré sur la figure (III.23).[35]



**Figure III.23:** Schéma électrique d'un hacheur buck- boostfermé[35]

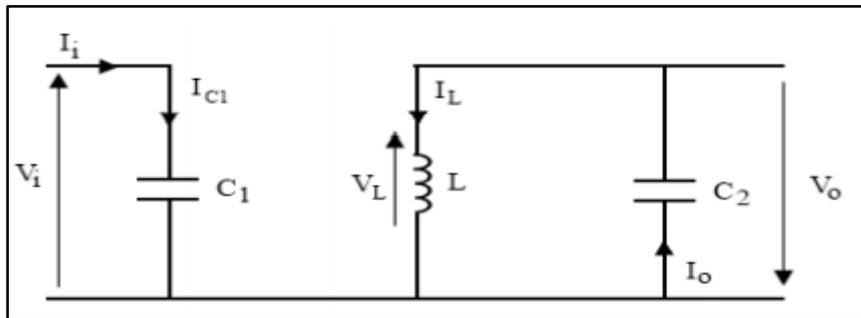
En appliquant la loi de Kirchhoff à ce circuit on obtiendra les équations suivantes :

$$I_{c1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_l(t) \quad \text{III.20}$$

$$I_{c2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -I_o(t) \quad \text{III.21}$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_i(t) \quad \text{III.22}$$

Lorsque l'interrupteur K est ouvert le circuit équivalent apparait à la figure (III.24)



**Figure III.24:** Schéma Electrique D'un Hacheur Buck- BoostOuvert[35]

Le circuit équation dans cette configuration est comme suit :

$$I_{c1} = C_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) \quad \text{III.23}$$

$$I_{c2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_l(t) - I_o(t) \quad \text{III.24}$$

$$V_L = L \frac{dV_L(t)}{dt} = V_o(t) \quad \text{III.25}$$

## connecté au réseau

### III.5.2.1 Simulation d'un hacheur :

Nous avons choisi simulation d'un hacheur buck-boost

Avec : ( $v_e = 100\text{ V}$ ,  $L=0.88\text{e-}3\text{H}$ ,  $C= 67\text{e-}6\text{F}$ ,  $R=40\Omega$  et la pulsion=0.6667 , période=0.00004).

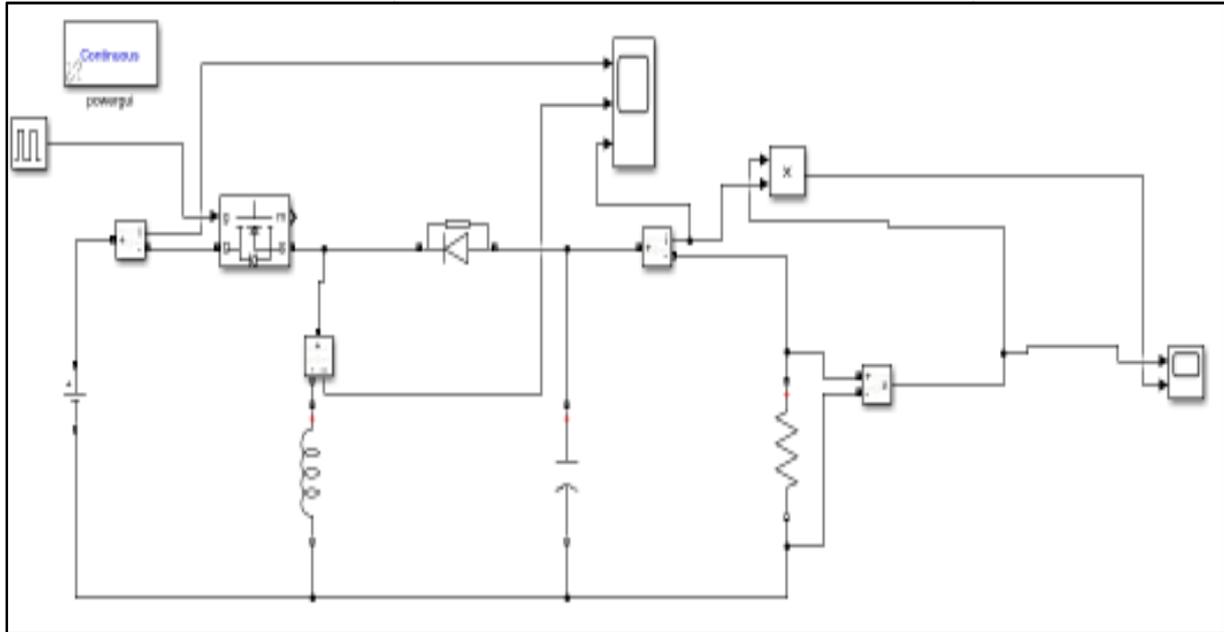


Figure III.25:schéma bloc d'un hacheur buck- boost

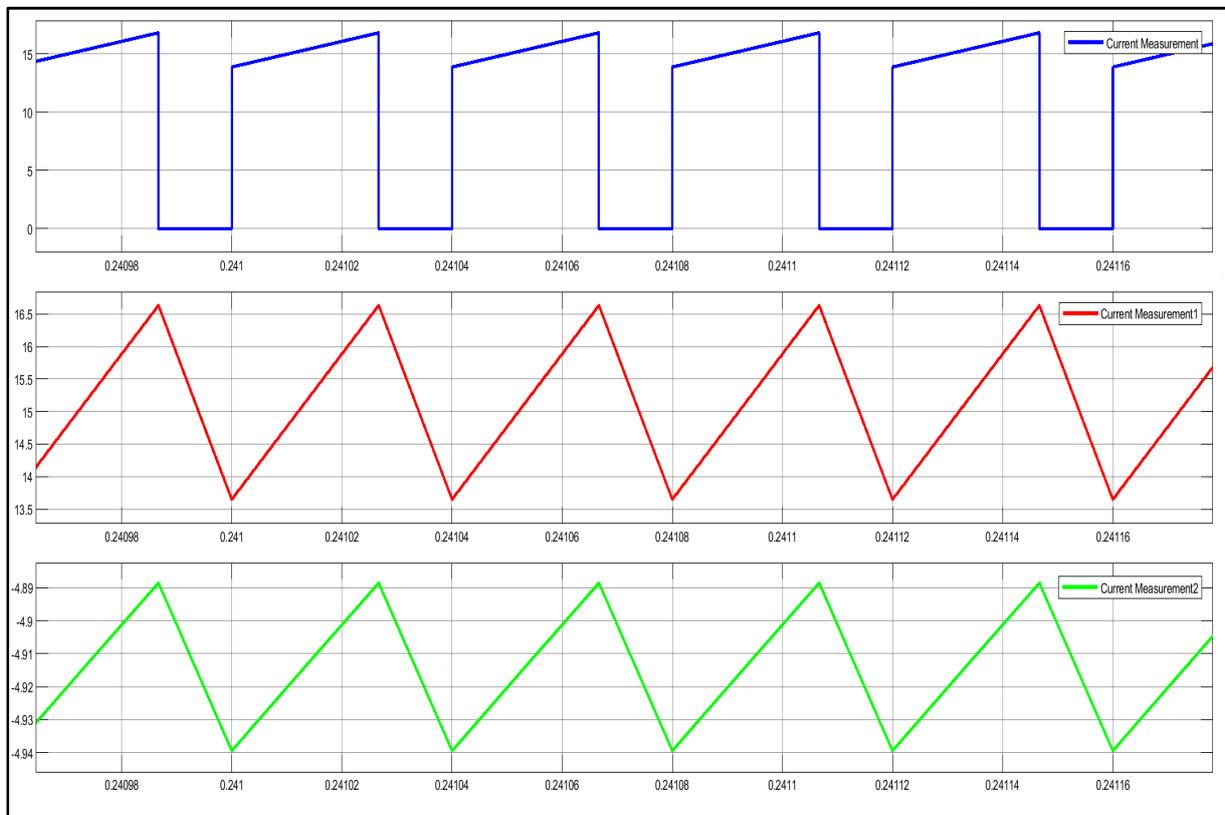


Figure III.26:Le Courant DeSortieD'un Hacheur Buck- Boost

## connecté au réseau

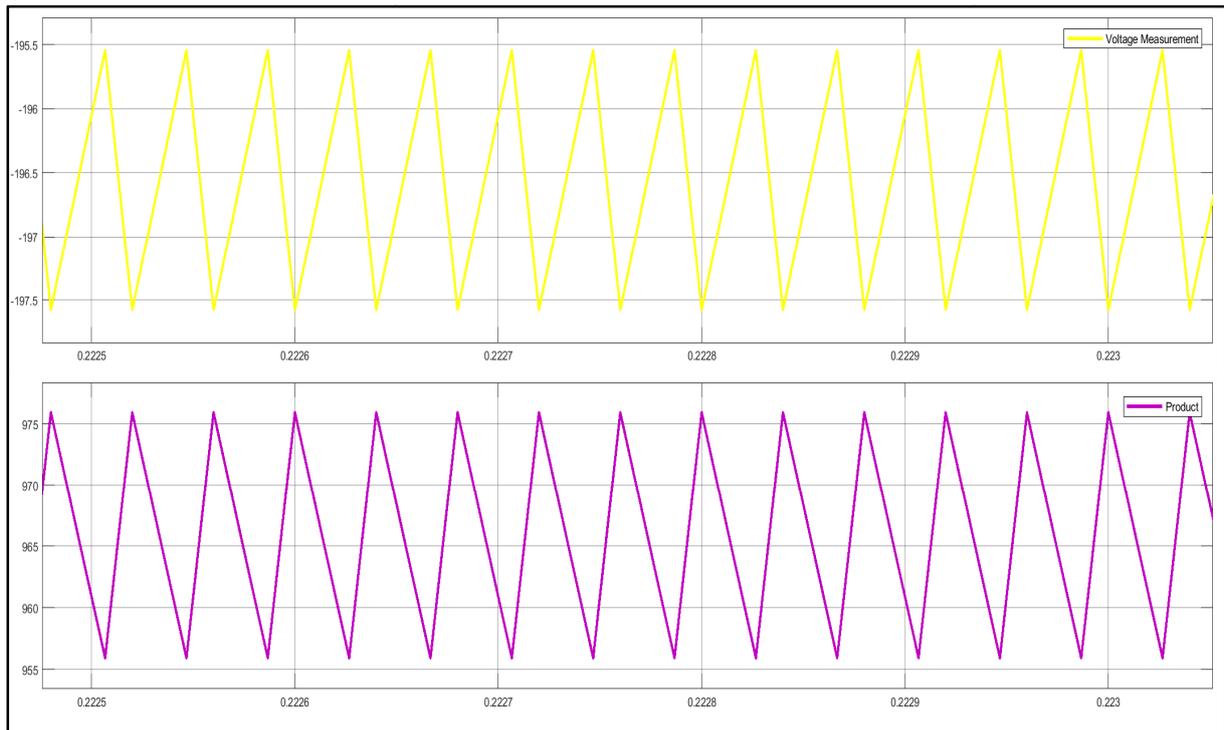


Figure III.27: La TensionDeSortieD'un Onduleur

### III.5.3 Onduleurs DC/AC

Un onduleur est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, en une énergie alternative. la forme de la tension de la sortie de l'onduleur doit être plus proche d'une sinusoïde (l'allure sinusoïdale), c'est que le taux d'harmonique soit très faible, et ça dépend essentiellement à la technique de commande utilisée.[11]

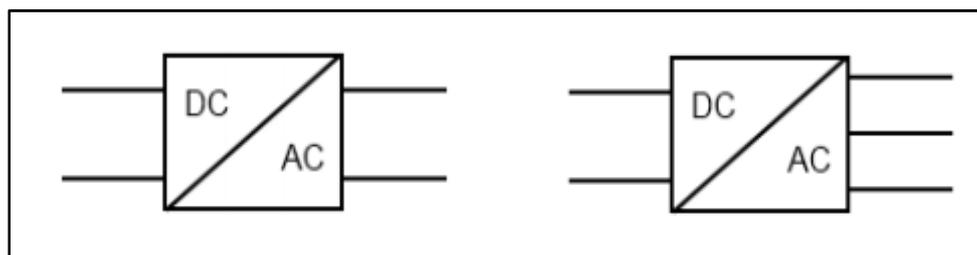


Figure III.28: Symbole de convertisseur DC-AC.[11]

- **Principe de fonctionnement**

Un onduleur est un convertisseur de tension continue /alternative. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique photovoltaïque en énergie électrique alternative soit pour faire fonctionner des charges, soit pour débiter de l'énergie au réseau. Généralement à base de thyristors, selon l'exploitation de cet onduleur peut être monophasé ou triphasé.[30]

## Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque

### connecté au réseau

La figure(III.29) présente un exemple de circuit simple composé d'un pont de transistors commandé par PWM ; l'onduleur (monophasé ou triphasé) de tension impose à sa sortie un système de tension sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsion (MLI, ou PWM en anglais). Le signal alternatif obtenu est ensuite filtré par l'inductance  $L_d$  située avant le transformateur afin d'obtenir un signal alternatif sinusoïdal à la fréquence du réseau. Ce dernier signal est ensuite ajusté à la tension du réseau par un transformateur 50Hz qui apporte en même temps une isolation galvanique au montage.[30]

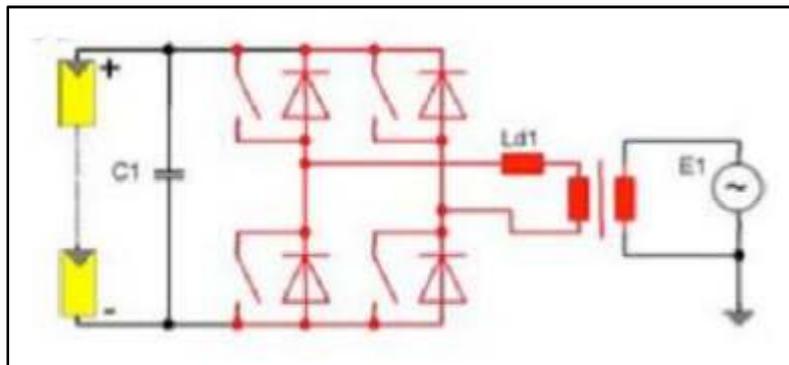


Figure III.29: Circuit simple utilisant un pont de transistors.[30]

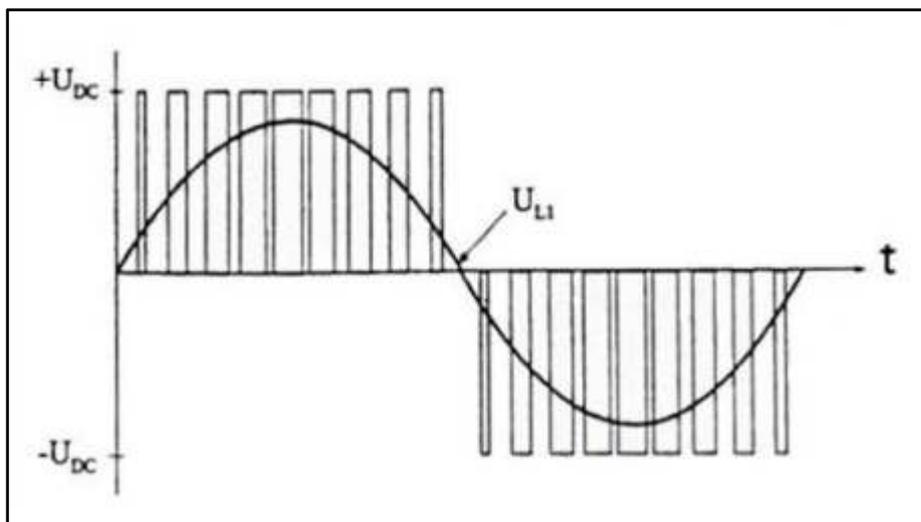


Figure III.30: Filtrage de la tension par l'inductance de sortie.[30]

#### III.5.3.1 Simulation d'un Onduleurs DC/AC

Pour montrer le rôle des convertisseurs DC/AC nous avons utilisé logiciel Matlab pour la simulation et nous prenons ( $E=40V$ ,  $L= 10e-3 H$ ,  $R=3\Omega$ ., la pulsion=0.75 ; période=1/50). La figure (III.31) représente le schéma block d'un convertisseur DC/AC :

**connecté au réseau**

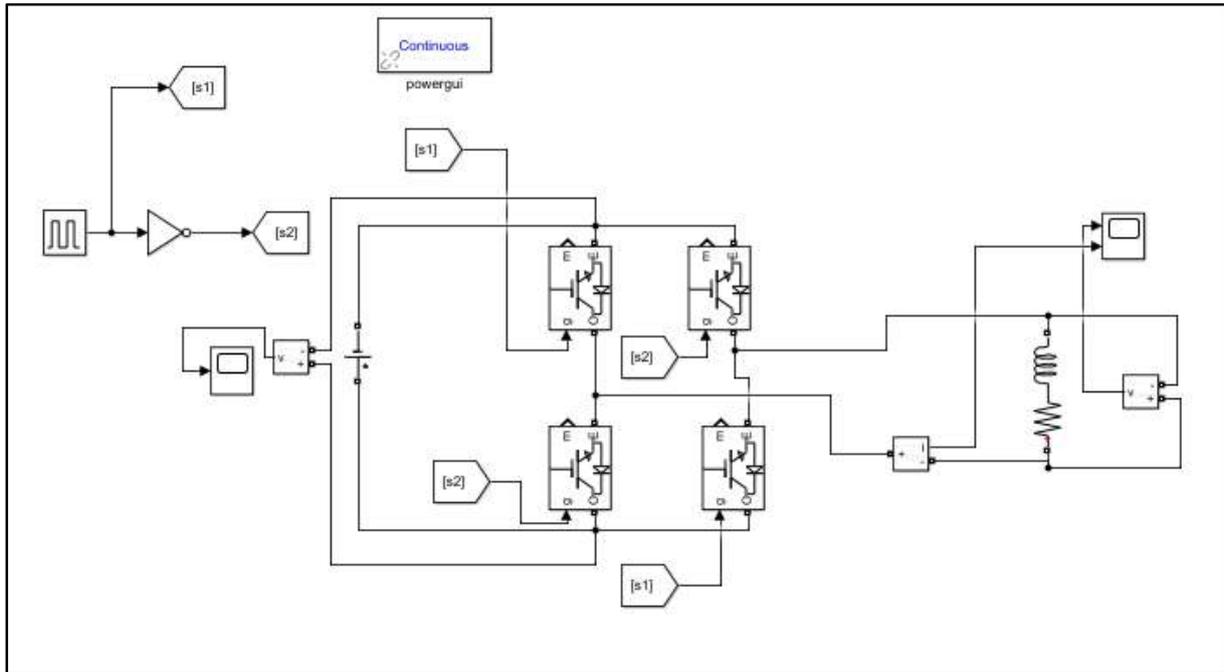


Figure III.31:schéma bloc d'un onduleur

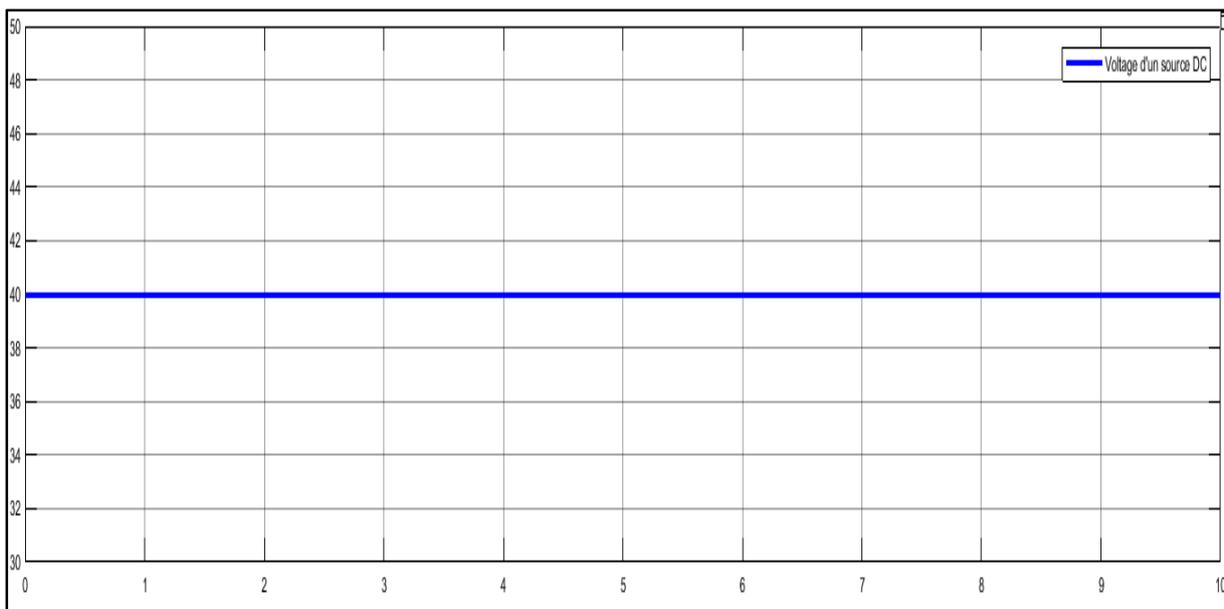


Figure III.32:Tension d'entrée d'un onduleur

### connecté au réseau

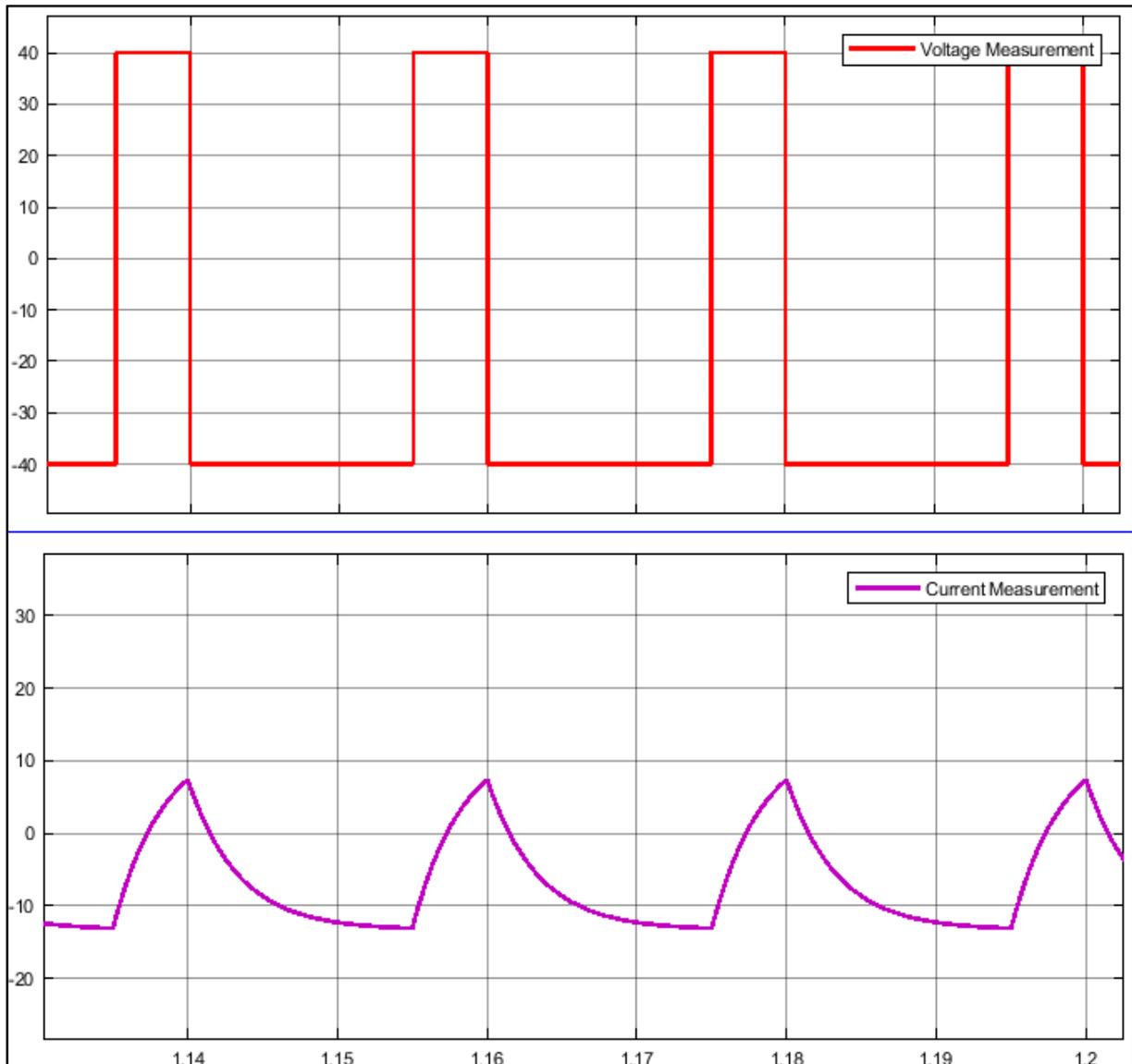


Figure III.33: la tension et le courant desortied'un onduleur.

#### III.5.4 Onduleurs pour couplage au réseau

Les applications photovoltaïques les plus valorisantes actuellement sont les installations PV destinées à alimenter le réseau électrique public. Il existe différentes topologies de gestion de ces installations. Néanmoins, toutes ces approches reposent sur un GPV raccordé au réseau par le biais d'onduleurs qui transfèrent et mettent en forme l'énergie solaire électrique. Les progrès effectués ces dernières années dans le développement des onduleurs dédiés aux photovoltaïques ont permis de faire évoluer grandement ces systèmes de gestion. Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de

## **Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque**

### **connecté au réseau**

fréquence souhaitée mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximale. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation. Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes solutions techniques : l'onduleur central, les onduleurs strings (chaînes) et les onduleurs intégrés aux panneaux (module).[30]

### **III.6 Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau**

Il existe deux types de structures de système photovoltaïque. [30]

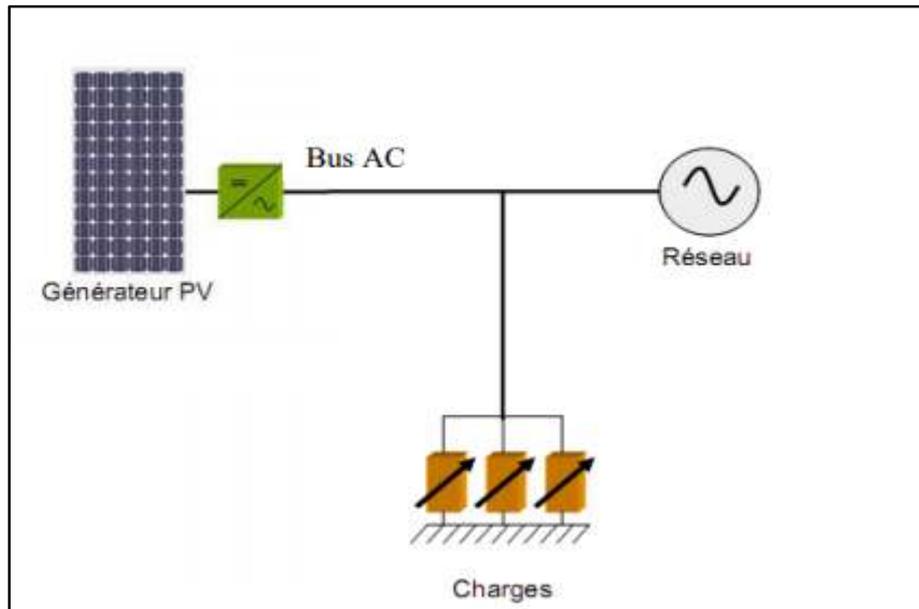
- Les systèmes à connexion direct au réseau. Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté à l'aide d'un onduleur au réseau électrique.
- Le système à bus continu intermédiaire. Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un bus 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.[30]

#### **III.6.1 Système PV connecté directement au réseau**

La structure présentée à la figure (III.33) est la plus simple, car il comporte le moins de composants possible.

Dans ce cas, 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. Un onduleur (convertisseur continu / alternatif) photovoltaïque classique est placé en sortie des modules. Son rôle est de faire fonctionner les modules à leurs points de puissance maximum et de convertir le courant continu photovoltaïque en courant alternatif synchronisé avec le réseau. L'énergie produite par les modules photovoltaïques doit pouvoir alimenter les charges, le surplus est injecté sur le réseau.[30]

### connecté au réseau



**Figure III.33:** Architecture du système PV avec un bus en courant alternatif (AC).[30]

Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système PV du réseau. L'inconvénient majeur de cette architecture 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 fonctionnement maximum est approximatif car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement.[30]

### III.6.2 Systèmes à bus continu intermédiaire

Dans ce cas, le système comporte deux éléments de conversion Figure (III.34). Un convertisseur continu/continu (hacheur) placé en sortie des modules photovoltaïques qui contrôle le point de fonctionnement maximum du générateur photovoltaïque et élève sa tension de sortie délivrée. Sur le bus continu. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension de sortie des modules plus de 4 ou 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance de l'inductance. On adjoint un onduleur central pour avoir une sortie sinusoïdale. L'avantage de ce système est que des batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome. Les inconvénients majeurs de ce type de montage sont :

- La capacité doit être relativement importante, à cause des ondulations du courant en sortie du module,
- La tension élevée qui traverse le bus continu réduit la sécurité du personnel d'entretien.[30]

### connecté au réseau

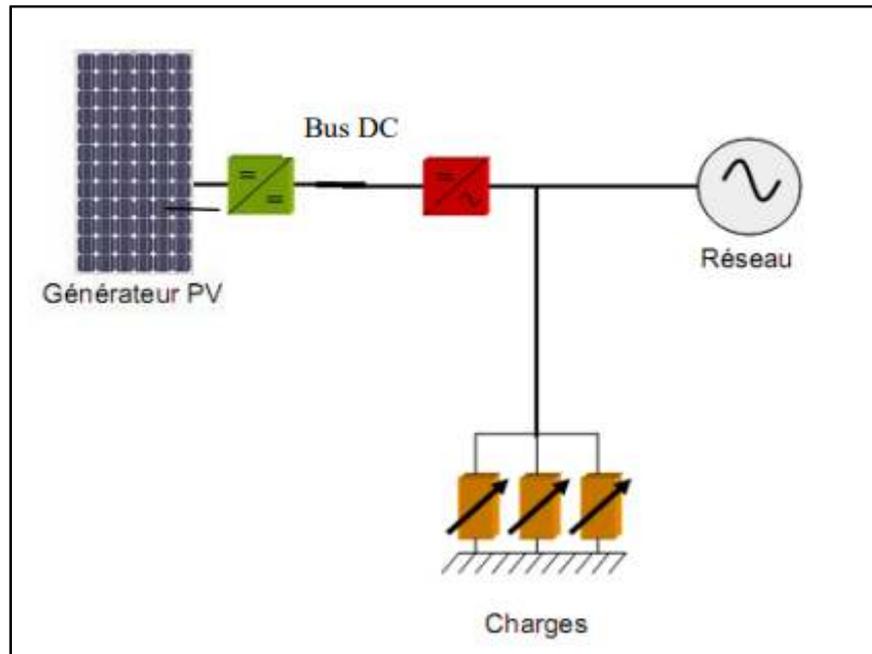


Figure III.34: Architecture du système PV avec un bus en courant continu (DC)[30]

## III.7 Commande MPPT de système photovoltaïque

### III.7.1 Introduction

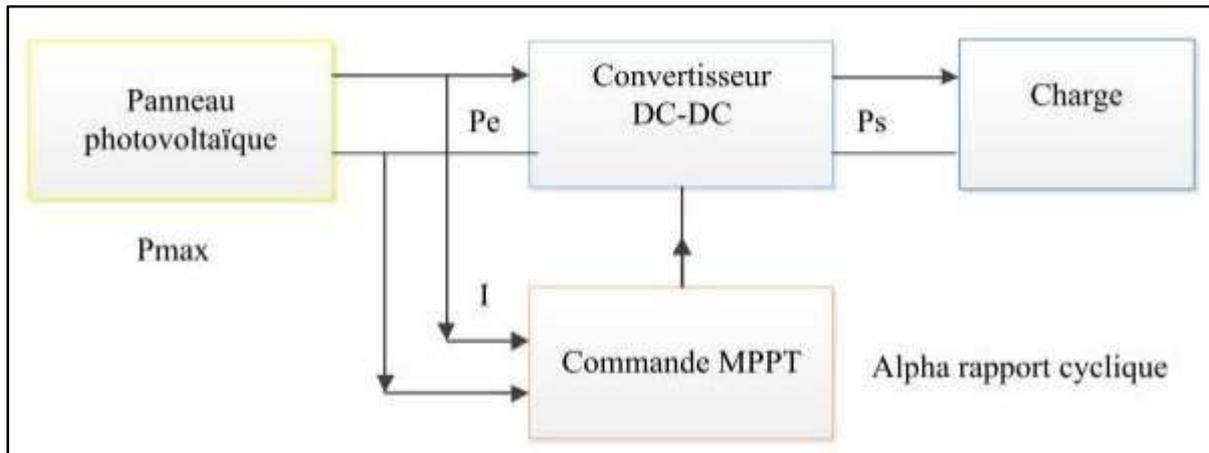
La poursuite du point maximum de la puissance (MPPT) est une partie essentielle dans les systèmes photovoltaïques. Plusieurs techniques sont développées depuis 1968 date de publication de la première loi de commande de ce type adaptées à une source d'énergie renouvelable de type PV. Ces techniques se différencient entre elles par leur complexité, nombre de capteurs requis, la vitesse de convergence, coût, rendement et domaine d'application.[36]

### III.7.2 Principe De MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum ( $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ ).[36]

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure (59)

### connecté au réseau



**Figure III.35:** Système photovoltaïque avec une commande MPPT.[36]

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique du hacheur de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir à tout moment. [36]

La figure (III.36) illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

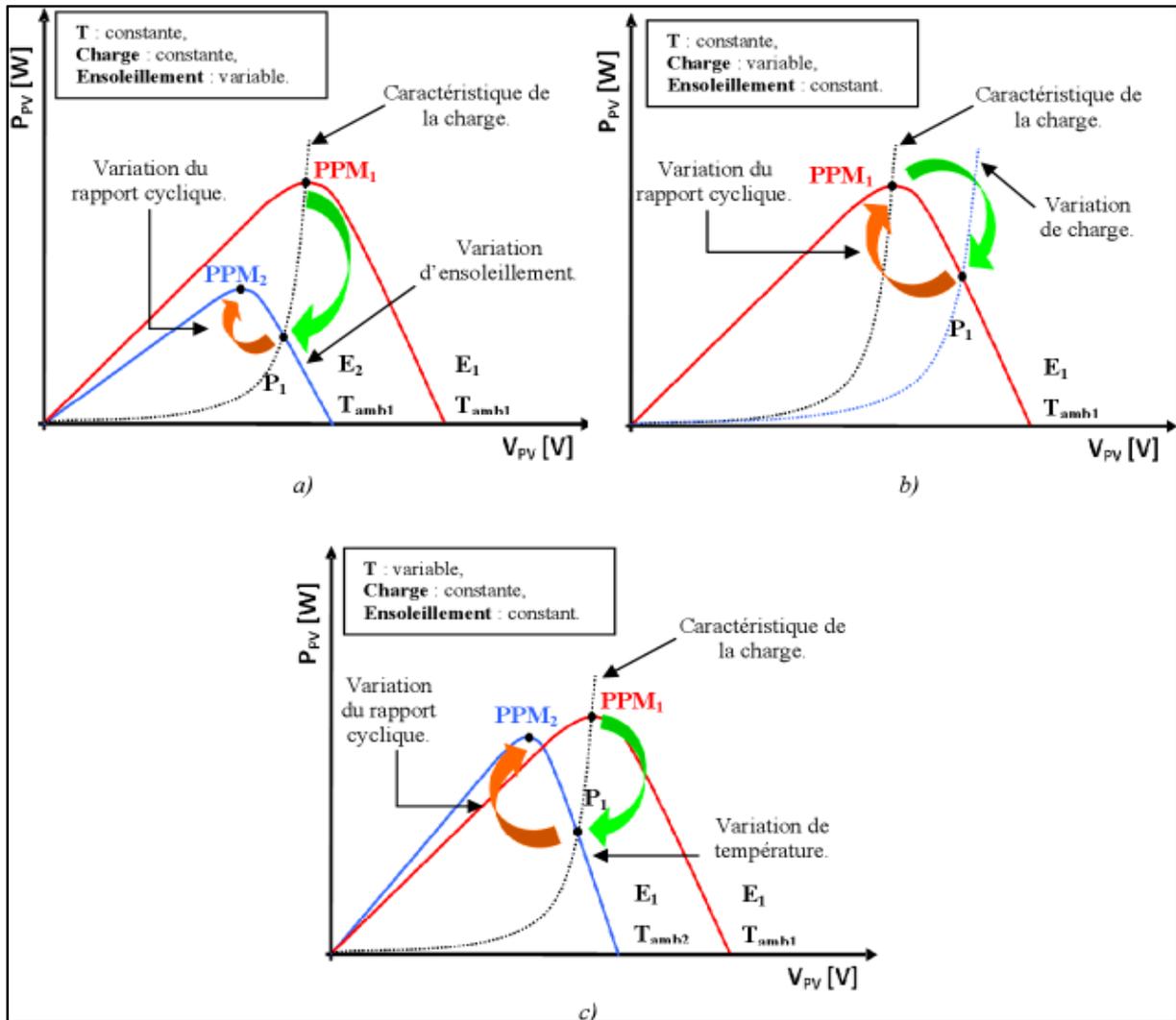
Pour une variation d'ensoleillement (cas a), il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2.

Pour une variation de charge (cas b), on peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande.

Dans une moindre mesure, un dernier cas de variation de point de fonctionnement peut se produire lié aux variations de température de fonctionnement du GPV (cas c). Bien qu'il faut également agir au niveau de la commande, cette dernière n'a pas les mêmes contraintes temporelles que les deux cas précédents.

En résumé, le suivi du PPM est réalisé au moyen d'une commande spécifique nommée MPPT qui agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le PPM du GPV.[36]

**connecté au réseau**



**Figure III.36:** Recherche et recouvrement du Point de Puissance Maximale, a) suite à une variation d'éclairement, b) suite à une variation de charge, c) suite à une variation de température.[36]

**III.7.3 Différents Techniques de la commande MPPT**

Dans la littérature, il existe différents types d'algorithmes effectuant la recherche du point de puissance maximale (PPM) :

- Perturbation et observation. (P&O).
- La méthode incrémentation de la conductance.
- méthode de capacité parasite.[36]

## connecté au réseau

### III.7.4 Simulation d'un Commande MPPT :

Simulation par matlabs Simulink :

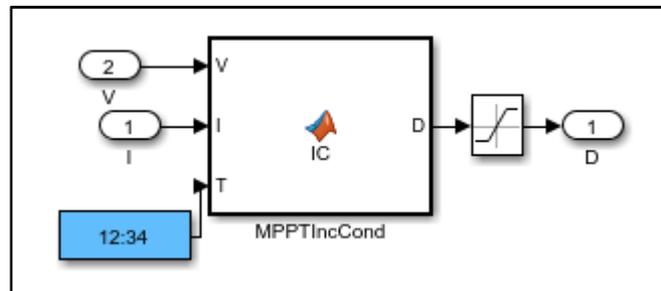


Figure III.37: Schéma Bloc d'un Commande MPPT

On utilise ce bloc par un programme :

```
function D = IC(V,I,T)
persistent Vk1 Vk Ik1 Ik d n;
if isempty(Vk1)
Vk1=0;
end
if isempty(Ik1)
Ik1=0;
end
if isempty(Vk)
Vk=0;
end
if isempty(Ik)
Ik=0;
end
if isempty(d)
d=0;
end
if isempty(n)
n=0;
end
end
```

## Chapitre III Présentation est modélisation du système photovoltaïque

### connecté au réseau

```
%%%%%%%%%%  
  
if (T >= n+0.002)  
    n = n + 0.002;  
    Vk1=V;  
    Ik1=I;  
dV=Vk-Vk1;  
dI=Ik-Ik1;  
Vk=Vk1;  
Ik=Ik1;  
if (dV==0)  
if (dI==0)  
    d=d+0;  
  
else  
if (dI>0)  
dd=0.015;  
    d=d+dd;  
  
else  
dd=0.015;  
    d=d-dd;  
  
end  
end  
else  
if (dI/dV) + (I/V) < 0.001 && (dI/dV) + (I/V) > -0.001  
dd=0;  
    d=d+dd;  
  
else  
if (dI/dV) + (I/V) > 0.005  
dd=0.015;
```

### **connecté au réseau**

```
        d=d-dd;

else

dd=0.015;

d=d+dd;

end

end

end

end

        D=d;

if (d<0.01)

        d=0.01;

else

if (d>0.99)

        d=0.99;

end

end

end
```

### **III.8 CONCLUSION**

Dans ce chapitre on à présenter et modélisé les principes composantes d'un système photovoltaïque complet a été élaborée à partir des modèles de la littérature (générateur PV, convertisseurs (hacheur et onduleur), le commande MPPT) .cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi les paramètres constitutants. Dans un système photovoltaïque, Pour que le travail au voisinage du point de puissance maximale MPPT.

---

**Chapitre IV:**  
**Résultat Et Discussion**

---

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

---

### IV.1 Introduction :

Lorsque nous voulons une étude générale sur un système particulier, il est important de noter qu'un certain nombre doit être pris en compte des étapes. Ils sont facilement sélectionnés si nous utilisons un programme de simulation relative. Identifier les différents composants du système étudié

### 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 :

- Une vaste gamme de bibliothèques de fonctions spécialisées (Toolboxes).
- Simulink, un environnement puissant de modélisation basée sur les schémas-blocs et de simulation des systèmes dynamiques linéaires et non linéaires.
- Des bibliothèques de blocs Simulations spécialisés (Blocksets).
- D'autres modules dont un Compilateur, un générateur de code C, un accélérateur.
- Un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal : le DSP Workshop.

SIMULINK 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 [37].

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

### IV.3 Besoins de l'utilisation des différents appareils (Tableau 3.2)

		nombre	puissance (w)	durée utilisation (Heures)	ENERGIES (Watheure /jour)
les lampes	chambre(1)	1	75	3	225
	chambre(2)	1	75	3	225
	chambre(3)	1	75	3	225
	Boutique	1	10	6	60
	salle (2)	2	10	1	20
	salle (3)	2	10	2	40
	Garage	2	10	2	40
	sanitaire(1)	1	7,6	0,5	3,8
	sanitaire(2)	1	7,6	0,5	3,8
	Escalier	1	10	1	10
	couloir(1)	1	10	3	30
	couloir(2)	1	10	2	20
	couloir(3)	1	10	1	10
	Cuisine	2	18	4	144
	douche(1)	1	7,6	1	7,6
	douche(2)	1	7,6	1	7,6
	Appareil	Climatiseur	1	1650	3
Imprimante		1	750	6	4500
pc		1	300	4	1200
Télévision		2	105	3	630
Réfrigérateur		2	130	24	6240
modem 4G		1	5,4	24	129,6
Séchoir		1	1200	0.5	600
Four micro-onde		1	1100	0.5	550
<b>total de consommation Wh/j</b>					<b>19871,4</b>

Tableau IV.1: Différents appareils de consommation

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

Après la consommation globale d'une maison, il faut étudier sa variation dans le temps (hebdomadaire  $B_h$ , mensuelle  $B_m$  voire saisonnière  $B_a$ ) en fonction de l'utilisation des exploitants. Le dimensionnement des panneaux photovoltaïques dépend de la fréquence d'occupation de l'habitat et le dimensionnement du système photovoltaïque

$$B_h = B_j \times 7 \quad \text{IV.1}$$

$$B_m = B_h \times 4 \quad \text{IV.2}$$

$$B_a = B_m \times 12 \quad \text{IV.3}$$

Avec :  $B_j = 19871,4 \text{ wh/j}$

	Besoins journaliers ( $B_j$ )	Besoins Hebdomadaire ( $B_h$ )	Besoins Mensuels ( $B_m$ )	Besoins Annuels ( $B_a$ )
Besoins d'énergie en (Wh)	19871,4	139099,8	556399,2	6676790,4

Tableau IV.2 : les besoins du système PV dans les temps

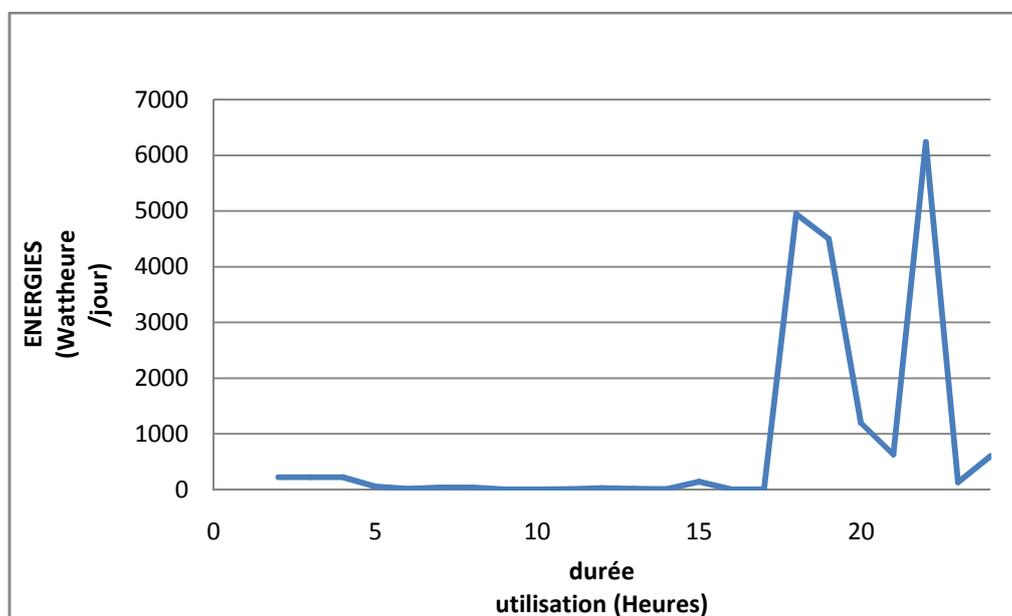


Figure IV.1 Bilan d'énergie en fonction de temps (watt/jeur)

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

### IV.4 Localisation de notre étude :

L'altitude(°)=33.5°

Longitude(°)=-0.8343

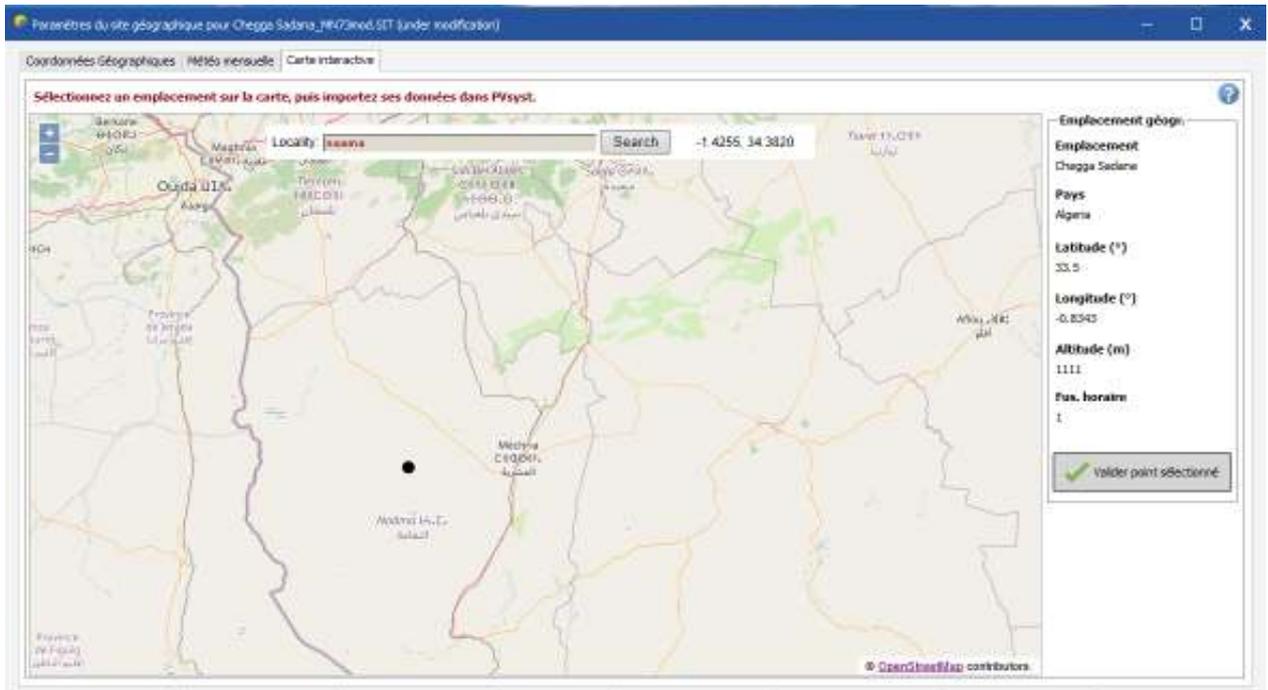


Figure IV.2: Localisation de notre maison étudiée (naama) avec PV système

#### IV.4.1 Irradiation moyenne dans maison dans la willaya de naama pour une année

mois	janvier	Février	mars	avril	mai	juin
kW/m2/jour	3,55	4,34	5,94	7,03	7,6	8,33
Ne(H/jour)	3,55	4,34	5,94	7,03	7,6	8,33
juillet	aout	Septembre	Octobre	novembre	décembre	année
7,87	7,39	6	4,94	3,86	3,19	5,84
7,87	7,39	6	4,94	3,86	3,19	5,84

Tableau IV.3: Irradiation Moyenne Dans Maison Dans La Willaya De Naama Pour Une Année

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

---

### IV.4.2 Calcul pratique de la puissance photovoltaïque :

a) Calculons l'énergie à produire  $E_p$  :

$$E_p = \frac{B_j}{C_p} = \frac{E_{tot}}{C_p} \quad \text{IV.4}$$

$$C_p = 0.65 \quad \text{IV.5}$$

$$E_p = \frac{19871,4}{0.65} = 30571.38 \text{ w} \quad \text{IV.6}$$

b) Calcul la puissance crête  $P_c$  du générateur photovoltaïque nécessaire :

(On prendra une irradiation moyenne de  $I_r = 5 \text{ kWh/m}^2 / \text{jour}$  pour la période estivale de fonctionnement)

$$P_c = \frac{E_p}{I_r} \quad \text{IV.7}$$

$$P_c = \frac{30571.38}{5} = 6114.277 \text{ W}_c \quad \text{IV.8}$$

### IV.5 Caractéristiques des panneaux photovoltaïques choisis pour cette installation

#### IV.5.1 Définition de la modèle BP Solaire BP3170N :

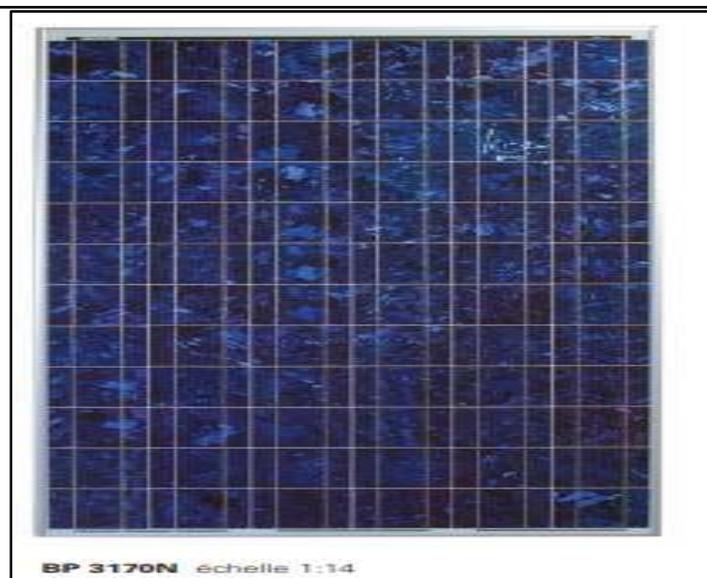
Le BP 3170 est un module photovoltaïque de 170W de technologie avancée utilisant les cellules multi cristallines avec couche antireflet Sin assurant une meilleure absorption. Le BP 3170 a une tolérance en puissance plus étroite de 3% garantissant une puissance de sortie moyenne plus élevée. Ce module a été particulièrement conçu pour les applications connectées au réseau, sur les toitures de grands bâtiments commerciaux, dans le petit résidentiel et de type central photovoltaïque de puissance. Ce module offre un rapport qualité-prix de premier ordre grâce à ses 72 cellules à haut rendement.

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

<b>Performance</b>	
Puissance nominale	170W
Tolérance	+/-3%
Rendement module	13,5%
Tension nominale	24V
Garantie	90% puissance de sortie garantie 12 ans 80% puissance de sortie garantie 25 ans Absence de défauts, matériaux et main d'oeuvre, garantie 5 ans

<b>Configuration</b>	
BP 3170N	Cadre Universel Clair avec des câbles de sortie et des connecteurs Multicontact (MC) polarisés.



**Figure IV.3:** la modèle BP Solaire BP3170N

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

Caractéristiques Électriques Typiques	BP 3170
Puissance max ( $P_{max}$ )	170W
Tension à $P_{max}$ ( $V_{max}$ )	35,5V
Courant à $P_{max}$ ( $I_{max}$ )	4,8A
Courant de court-circuit ( $I_{cc}$ )	5,2A
Tension à circuit ouvert ( $V_{oc}$ )	44,2V
Coefficient de température de $I_{cc}$	(0,065±0,015) %/K
Coefficient de température de $V_{oc}$	-(160±20)mV/K
Coefficient de température de la puissance	-(0,5±0,05) %/K
NOCT (Air 20°C; Ensoleillement 800W/m <sup>2</sup> ; vitesse de vent 1m/s)	47±2°C
Calibre maxi du fusible série	15A
Tension maxi du système	1000V
Conditions d'essai standard - irradiance de 1000W/m <sup>2</sup> à un spectre solaire AM1,5G et une température de 25°C.	

Figure IV.4:Caractéristiques du panneau solaire à utiliser pour l'installation

Caractéristiques mécaniques	BP 3170N
Dimensions (mm) (Tolérances globales +/-3mm)	1593 x 790 x 50
Poids (kg)	15,4
Cadre	Alliage d'aluminium anodisé clair type 6063T6. Cadre universel argent.
Cellules solaires	72 cellules (125mm x 125mm) configurées géométriquement pour être branchées en série pour une matrice 6 x 12.
Câbles de sortie	Câble 3,3 mm <sup>2</sup> avec connecteurs multicontact étanches polarisés. Longueur asymétrique 1250mm (-) et 800mm (+).
Diodes	Technologie IntegraBus™ inclus trois diodes de dérivation Schottky - une pour 24 cellules - sur un circuit imprimé.
Construction	Avant: verre trempé de 3mm à haute transmissivité. Arrière: Polyester blanc; agent d'encapsulation: EVA.

Figure IV.5: Caractéristiques mécaniques de panneau solaire

### IV.5.2 Calcul du nombre de panneaux

Le nombre de module pour fournir la puissance de l'installation est déterminé par l'équation suivante :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{max}} \quad \text{IV.9}$$

$$N_m = \frac{6114.277}{170} \approx 36 \text{ module} \quad \text{IV.10}$$

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

---

Avec :

$N_m$  : Nombre de panneau solaire

$P_{max}$ : puissance de panneax

a) Le nombre de modules connectés en série :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{mpp}} \quad \text{IV.11}$$

$$N_s = \frac{24}{35.5} = 0.676 \approx 1 \quad \text{IV.12}$$

Donc on utilise 1panneaux de 170W<sub>c</sub>connectés en séries.

b) Le nombre de modules connectés en parallèle :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad \text{IV.13}$$

$$N_p = \frac{36}{1} = 36 \quad \text{IV.14}$$

Donc on utilise 36panneaux de 170W<sub>c</sub> connectés en parallèle.

### IV.6 Dimensionnement du régulateur et de l'onduleur

#### IV.6.1 Choix du régulateur :

La régulation de charge sera dimensionnée pour l'installation de 24 V comme suit :

$$I_{max} = \frac{P_{c/champ}}{U} \quad \text{IV.15}$$

$$P_{c/champ} = P_{max} \times N_p \times N_s \quad \text{IV.16}$$

$$P_{c/champ} = 170 \times 36 \times 1 = 6120W_c \quad \text{IV.17}$$

$$I_{max} = \frac{6120}{24} = 255 A \quad \text{IV.18}$$

#### IV.6.2 Choix de l'onduleur :

L'onduleur sera de type onduleur-chargeur (type Studer Inno Compact2324).

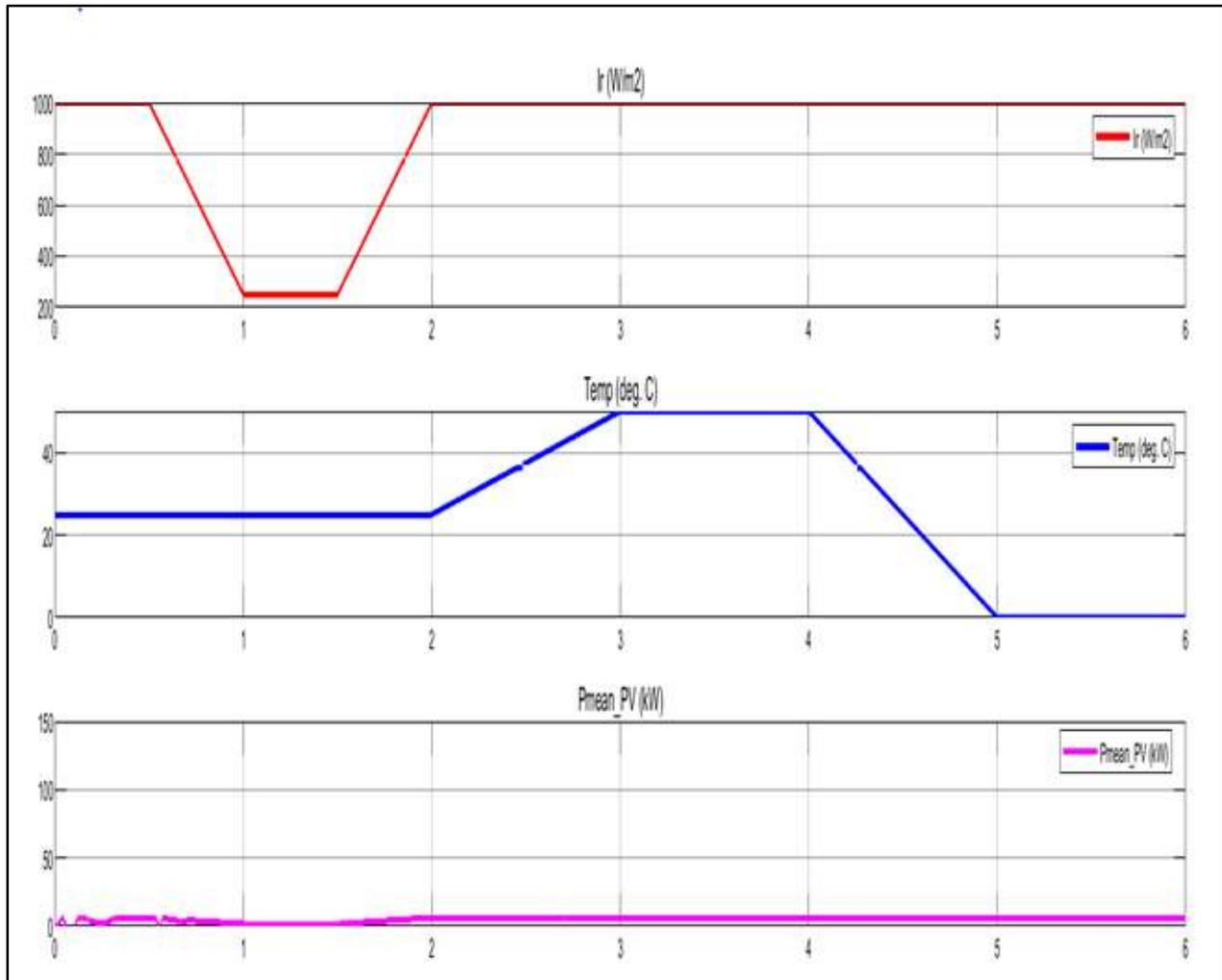
Puissance nominale de l'onduleur  $P_{nom} = 2300 W$

Compte tenu de la puissance mise en jeu l'ensemble batteries, panneaux et onduleur fonctionnera en 24 V CC.

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion

### IV.7 Résultat de simulation :

La figure suivante représente l'influence de la température et l'irradiation sur la puissance générée par le GPV en fonction du temps.



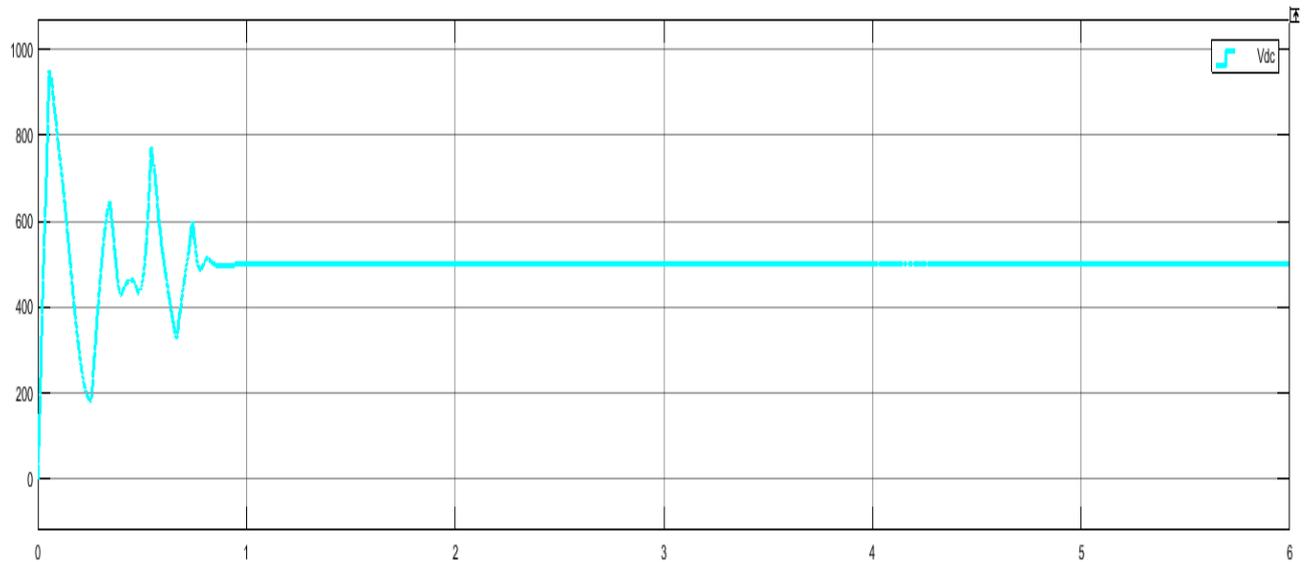
**Figure IV.6:** la puissance générée par le GPV en fonction du temps.

A l'intervalle  $[0,2]$  La variation de la puissance de sortie est liée à la variation d'irradiation malgré que la température est constante

A l'intervalle  $[2,6]$  Et la stabilité de la puissance de sortie est liée à la stabilité d'irradiation malgré la variation de température. On peut conclure que la puissance générée par le GPV est influencé par l'irradiation plus que la température.

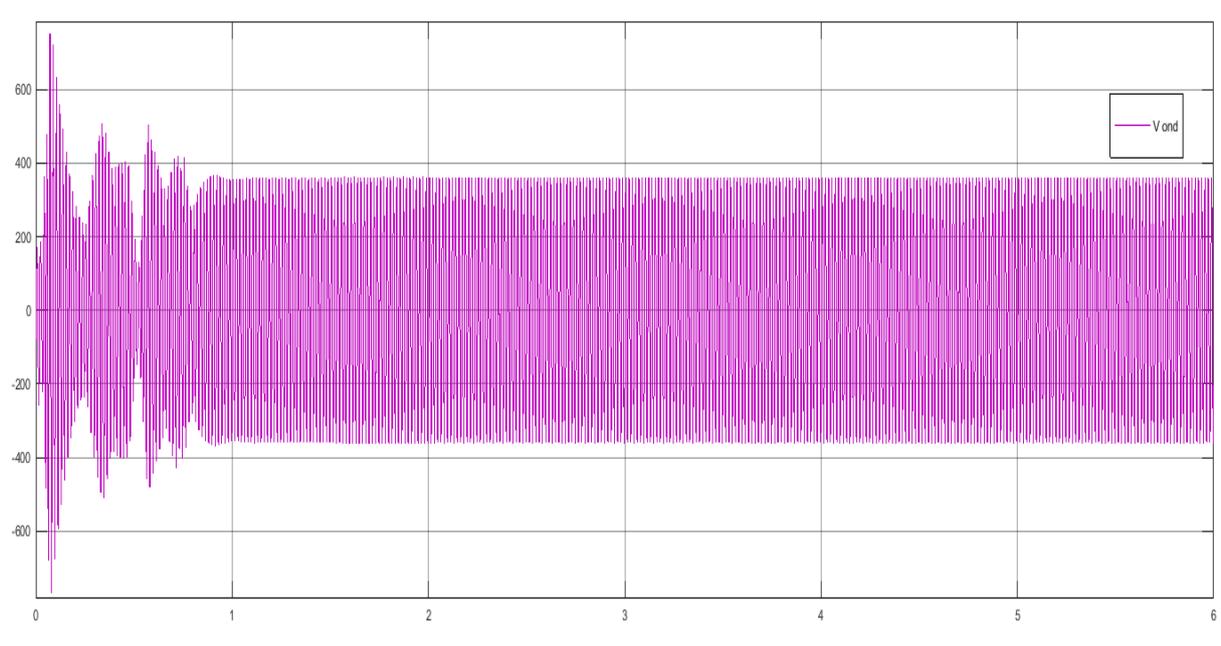
La figure IV.7 : représente la tension de sortie de GPV raccordé avec hacheur et MPPT, on peut conclure que la variation de la tension correspondant avec la variation de la puissance dans l'intervalle d'étude

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion



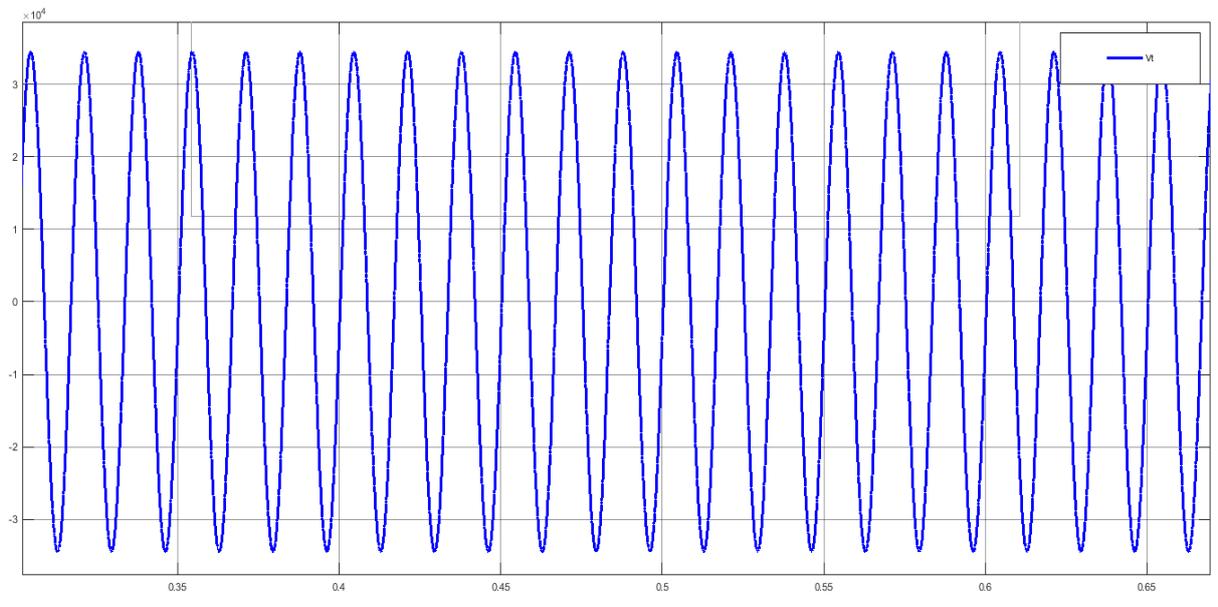
**Figure IV.7:**la tension générée par le GPV

La figure suivante représente la tension de sortie de l'onduleur qui était la tension primaire du transformateur qui nous donne une tension de 25 KV (voire figure IV.9) à injecter au réseau électrique.



**Figure IV.8:**la tension primaire du transformateur

## Chapitre IV : Résultat Et Discussion



**Figure IV.9:**La tension secondaire du transformateur (injecter au réseau public)

Après les résultats de la simulation, nous obtenons la courbe ci-dessus, qui représente la tension alternative raccordée au réseau publique pour faire fonctionner les appareils des consommateurs de notre étude

### IV.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude sur une maison alimentée par l'énergie solaire qui est considérée comme une énergie renouvelable naturelle bon marché après avoir imité le programme Matlab. Notre étude s'est appuyée sur l'extraction de courbes de puissance de crête pour alimenter et faire fonctionner les appareils ménagers.

---

## **Conclusion Générale**

---

# Conclusion Générale

## Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la caractérisation et fonctionnement d'un système résidentiel photovoltaïque(PV) connecté au réseau électrique public.

Ce système est en train de subir des changements majeurs liés principalement à la volonté Croissante de diversifier et d'améliorer les moyens de production, de réduire l'atteinte aux écosystèmes, de les exploiter rationnellement et de contribuer à leur protection.

Au début de notre recherche, nous avons étudié et expliquer les différents types de système Photovoltaïque, ainsi leurs principes de fonctionnement, les avantages et inconvénients de ce types d'énergie et l'influence de chaque composant existant dans le système photovoltaïque.

Et l'effet de chaque composant présent dans le système photovoltaïque, avec la définition des relations mathématiques qui permettent d'étudier la position des panneaux solaires et comment ils reçoivent le photovoltaïque émis par le soleil.

Dans le troisième chapitre, les systèmes photovoltaïques connectés au réseau public et leurs caractéristiques ont été décrits, les effets du rayonnement solaire et de la température ont été étudiés, et nous avons parlé des convertisseur(DC/DC et DC/AC et commande MPPT). nous avons utilisé une simulation MATLAB d'un modèle PV à quatre constantes pour cellule PV.

A partir des résultats de simulation obtenus à partir de l'étude des effets de la cellule photovoltaïque :

- Le courant et la puissance diminuent lorsque la température augmente puis augmentent très rapidement.
- Le courant diminue lorsque l'intensité de l'éclairage augmente.

Dans le dernier chapitre, nous avons fait une étude complète sur ce dont nous avons parlé dans les premiers chapitres en incarnant de manière réaliste l'installation et l'étude d'une maison alimentée par un ensemble de panneaux solaires connectés à un ensemble de convertisseur et de systèmes MPPT. Obtenons enfin une tension alternée qui alimente les appareils étudiés.

---

# **BIBLIOGRAPHIE**

---

# *Bibliographie*

## **Bibliographie**

- [1] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/energies-renouvelables/>
- [2] CH. DARRAS, "Modélisation de systèmes hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE (ANR PAN-H)", Thèse de Doctorat en Energétique et Génie des Procédés, L'UNIVERSITE DE CORSE, France, 2011.
- [3] Rapport du BRGM, " Usine géothermique de Bouillante ", 2006
- [4] <http://jeunes.edf.com/>
- [5] : [http://www.energies-renouvelables.org/energies\\_marines.asp](http://www.energies-renouvelables.org/energies_marines.asp)
- [6] A. Cid-Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques", l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2006
- [7] ABBAD IMANE , " Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairage) sur le rendement d'une cellule solaire", MÉMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Master en Physique, Université Larbi Ben M'Hidi / Oum El Bouaghi,(2019).
- [8] <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergieex> »
- [9] Dr. BELAID LALOUNI Sofia, "Cours Energie Solaire Photovoltaïque", Département de Génie Electrique, Université A.MIRA de BEJAIA, 2014/2015
- [10] BelakehalSoltane, "Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables", thèse de Doctorat, université de Constantine, 10/06/2010
- [11] MECHALIKH Med Nadjib, HAMADA Charaf Eddine, "Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau", Mémoire MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA ,25/06/2013
- [13] Louazene Mohamed Lakhdar, "Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla", Mémoire de Magister, université de Batna, 12/06/2008
- [14] M. PETIBON Stéphane. Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse, 2009.

## ***Bibliographie***

- [15] « Centrales photovoltaïques – Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets A l’usage des bureaux d’ingénieurs Programme d’action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles» Berne ; 1996
- [16] Encarta 2005
- [17] Meflah Aissa. «Modélisation et commande d’une chaîne de pompage photovoltaïque »Mémoire de Magister, Université de Tlemcen 2011.
- [18] Boukhers Djamil « Optimisation d’un Système d’Energie Photovoltaïque Application au Pompage »Mémoire de Magister Université Mentouri de Constantine.2008
- [19] Belhadj Mohammed, "Modélisation D’un Système De Captage Photovoltaïque Autonome", Mémoire de Magister, université de Bechar, 2008
- [20] <https://photovoltaïque-energie.fr/l-effet-photovoltaïque.html>
- [21] BELMELIANI Mohammed Réda, YOUCEF Wahiba, "Modélisation d’un système photovoltaïque relié au réseau : Contrôle des puissances active et réactive", Mémoire de Master, UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA, 2018
- [22] OUABDELKADER Ka, MERSEL Houria, "Modélisation et Contrôle d’un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau. ", Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014
- [23] Sofiane FELLOUAH , Siham MESBAHI, "ETUDE D’UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE CONNECTE AU RESEAU", Mémoire de Master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU, 2015
- [24] GUENOUNOU Abderrezak, ", mise au point de nouveaux procédés de mesure des caractéristiques directe et inverse des modules photovoltaïques de différentes technologies-", mémoire de magister, Tlemcen -2009.
- [25] Melle DEBILI Narimene , ", Etude et optimisation environnement Matlab /Simulink d’un système de pompage photovoltaïque ", mémoire de magister, UNIVERSITE CONSTANTINE I, 2015
- [26] M. SLAMA Fateh, "Modélisation d’un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique ", Mémoire de Magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF, 2011

## ***Bibliographie***

- [27] GUEDDOU OUSSAMA , ZIANI SAMI , KANDI BILAL, "Etude d'une machine asynchrone dédiée à un système de pompage photovoltaïque. ", Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2019
- [28] M. BOUKLI-HACENE Omar. , "Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique, ". Mémoire de magister. Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen, 2011
- [30] MISSOUM MOHAMMED, "Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie. ", Mémoire de magister, Université HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF, 2011
- [31] <https://www.hisour.com/fr/grid-connected-photovoltaic-power-system-39912/>
- [32] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud et I. Youm', Etude et Modélisation d'un Générateur Photovoltaïque', Revue des Energies Renouvelables, 2008.
- [33] M. Jean-François REYNAUD. Recherches d'optimums d'énergie pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques. Thèse de Doctorat. Université de TOULOUSE, 2011.
- [34] <https://www.automation-sense.com/blog/electronique/les-convertisseurs-statiques-definition-et-exemples.html>
- [35] Korichi Taki Eddine, "Modélisation et commande d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique, ". Mémoire de master. NIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2016
- [36] ZENAKHI Asma, ", Etude par simulation du fonctionnement d'un système photovoltaïque menu d'une commande MPPT", mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, 2016
- [37] HANANOU FATIHA , ROUABAH AICHA, " Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque, " mémoire de master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA , 2014