

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE ABDERAHMAN MIRA DE BEJAÏA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



Mémoire fin de cycle

En vue d'obtention du diplôme de master en
électrotechnique

Option : énergies renouvelables

Thème :

Étude et réalisation d'un système photovoltaïque
avec stockage

Réalisé par :

❖ OUCHENE NASSIM
❖ IDIR FARID

Encadré par :

Pr.REKIOUA.DJ

Promotion 2018-2019

Remerciement

Tout d'abord, nous aimerions remercier dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience de pouvoir mener ce travaille à terme.

*Nous adressons notre plus sincère remerciement à Madame D.REKIOUA et Monsieur REKIOUA. Des professeurs à l'université de Bejaia d'avoir accepté et prie le temps d'être rapporteurs de ce travaille, son oublier Monsieur IDIR AHMED qui nous a bien accueilli dans son entreprise **PHOTON ENNERGIE** et de son aide précieuse.*

Et nous tenons à leur exprimer toute nos gratitude pour l'intérêt et la confiance qu'ils nous ont témoignés et de leur soutien dans les moments les plus difficiles, qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance, sans eux ce travail n'aurait pas été possible.

Nos vifs remerciements à monsieur le président et les membres de jury d'avoir accepter de juger notre travail.

Nos sincères gratitude s'adressent à nos deux familles; sons leurs encouragements permanents et leur soutien moral nous ne serons parvenues la où nous somme.

Dédicaces

Au nom de Dieu le Miséricordieux

Je dédie ce travail à :

A mes parents :

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes très chers frères et sœurs, a mes neveux rayan, melissa, sidra, marya, mohamed aussi A toute la famille OUCHENE.

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A mon binôme FARID qui a partagé ce travail avec moi.

A Mlle Kenza qui ma soutenue pendant la rédaction du mémoire.

A tous mes amis et mes collègues : Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

A toute la promotion génie électrique 2018/2019.

O. NASSIM

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

*Mes très chères parents, pour leur sacrifices, et qui n'ont jamais cessé
de m'encourager que dieu me les garde.*

Mon très cher frère : abdallâh

Mes deux sœurs : Linda et Nihad

Mes précieux amis (es) : Yacer , Tarek, Adel , Zina

I.Farid

Liste des figures

La figure	Numéro de page
Fig. I.1 : Système photovoltaïque autonome	4
Fig. I.2 : Système photovoltaïque autonome hybride avec éolien	5
Fig. I.3 : Schéma principale un système hybride avec groupe électrogène	6
Fig. I.4 : Système photovoltaïque connecté au réseau	7
Fig. I.5 : Répartition spectrale du rayonnement solaire	8
Fig. I.6 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques	9
Fig. I.7 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de np cellules identiques	10
Fig. I.8 : Caractéristique résultante d'un groupement hybride de (np+ ns) cellules identiques	10
Fig. I.9 : Cellule photovoltaïque, le module et les tableaux	11
Fig.I.10 : Silicium Monocristallin.	12
Fig.I.11 : Silicium Polycristallin.	12
Fig. I.12 : Silicium Amorphe.	13
Fig. I.13 : Schéma d'un quadripôle électrique	14
Fig. I.14 : Les périodes de fermeture et s'ouverture d'un commutateur	15
Fig. I.15 : Hacheur série. Fonctionnement à courant ininterrompu dans la charge	16
Fig. I.16 : Hacheur série. Fonctionnement à courant interrompu dans la charge	16
Fig. I.17 : Hacheur parallèle. Fonctionnement à courant de source ininterrompu	18
Fig. I.18 : Hacheur parallèle. Limite du fonctionnement à courant de source ininterrompu	19
Fig. I.19 : Rendement des hacheurs Boost et Buck en fonction du rapport cyclique	20
Fig. I.20 : Schéma symbolique de l'onduleur	21

Fig. I.21 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec batterie de stockage	23
Fig. II.1 : Schéma de système étudié	25
Fig. II.2 : Schéma équivalent du modèle à une diode.	26
Fig. II. 3 : Schéma bloc du modèle à une diode.	28
Fig. II.4 : Caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{stc}=1000w/m^2, T_{stc}=25^{\circ}C$	28
Fig. II.5 : Caractéristique $I_{pv} =f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{stc}=1000w/m^2, T_{stc}=25^{\circ}C$	29
Fig. II.6 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$	29
Fig. II.7 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$.	30
Fig. II.8 : Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$	30
Fig. II.9 : Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$	31
Fig. II.10 : caractéristique courant tension de N_s panneaux en série.	31
Fig. II.11 : caractéristique courant tension de N_p panneaux en parallèle.	32
Fig. II.12. Montage Vol-Ampère-métrique.	32
Fig. II.13 : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $I_{pv}(V_{pv})$.	33
Fig. II.14 : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $P_{pv}(V_{pv})$.	33
Fig. II.15 : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $I_{pv}(V_{pv})$.	34
Fig. II.16 : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $P_{pv}(V_{pv})$.	34
Fig. II.17. Circuit électrique du hacheur <<Boost>>	35
Fig. II.18 : diagramme de la l'algorithme P&O.	36
Fig. II .19 : schéma équivalent de N_b élément en série.	37
Fig. II.20 : Schéma électrique équivalent d'un onduleur	40
Fig. II.21 : schéma bloc de l'onduleur	41
Fig.III.1 : plaque signalétique de panneaux	48
Fig.III.2 : la boite de jonction	49
Fig.III.3: Structure porteuse de module photovoltaïque	49
Fig.III.4 : le parc de stockage	50
Fig.III.5 : A est l'onduleur de (5000VA/48) et B l'onduleur de (3000VA/24)	51
Fig.III.6: Cheminement du câble sur un chemin de câble (extérieur)	51
Fig.III.7: Phase de la réalisation du génie civil d'un générateur solaire.	52

Fig. III.8 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage	53
Fig.III.9 : Structure porteuse de module photovoltaïque	54
Fig.III.10 : installation des panneaux sur la structure	54
Fig.III.11 : fin d'installation de système photovoltaïque	54
Fig.III.12 : mise en marche de l'installation photovoltaïque	55
Fig.III.13 : plaque signalétique d'un panneau solaire	58
Fig. III. 14 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage	59
Fig.III.15 : préparation de la structure porteuse des panneaux	60
Fig.III.16 : fin de réalisation de la structure	60
Fig.III.17 : montage des panneaux photovoltaïques sur la structure	60
Fig.III.18 : fin de montage des panneaux sur la structure	61
Fig.III.19 : la boîte de jonction (connecter les 6 panneaux en parallèle)	61
Fig.III.20 : brancher les panneaux et les batteries vers les disjoncteurs puis vers le régulateur	61
Fig. III.21 : brancher le régulateur vers l'onduleur (2000W/24 V)	62
Fig. III.22 : brancher les batteries en parallèle (24V/100 Ah)	62
Fig. III.23 : fin d'installation	63
Fig. IV. 1 : bloc de la pompe centrifuge	65
Fig. IV .2 : Les panneaux photovoltaïques de (80w/ 12 V)	66
Fig. IV.3 : la boîte de jonction (les panneaux connecter en parallèle)	66
Fig. IV.4 : la boîte des disjoncteurs	66
Fig. IV.5 : régulateur de 12 v	67
Fig. IV.6 : l'onduleur de (3000 W/ 12 V)	67
Fig. IV.7 : les batteries de (12v / 100 Ah) connecter en parallèle	67
Fig. IV.8 : réalisation final de notre système PV	68
Fig. IV.9 : la charge (pompe de 370 W)	68
Fig. IV .10 : la bassine et les hauteurs de (1 mètre et 3 mètre)	69
Fig. IV.11 : Schéma MATAB/SIMULINK du système global.	69
Fig. IV. 12 : Allure ensoleillement entre 9h-16h	70
Fig. IV. 13 : Allure de débit pour 1 mètre	70
Fig. IV. 14 : Allure de débit pour 3 mètre	71

Fig. IV. 15 : Allure de Courant de batterie et photovoltaïque a 1metre	71
Fig. IV. 16 : Allure de courant de batterie et photovoltaïque a 3 mètre	72
Fig. IV. 17 : Allure de courant de bus continue qui sort de régulateur avec 1metre	72
Fig. IV. 18 : Allure de courant de bus continue qui sort régulateur avec 3 mètre	73

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques du panneau utilisé SUNTECH STPO80S-12/Bb

Tableau II.2 : dimensionnement des batteries.

Tableau II.3 : Dimensionnement des câbles.

Tableau II.4 : caractéristique du système PV étudié.

Tableau III.1 : consommation de la journée

Tableau III.2 : dimensionnement des batteries.

Tableau III.3: Dimensionnement des câbles.

Tableau III.4 : Tableau de besoin énergétique journalier d'une maison autonome.

Tableau III.5 : dimensionnement des panneaux photovoltaïque

Tableau III.6 : dimensionnement des batteries.

Tableau III.7 : dimensionnement des câbles

Tableau III.8 : caractéristique du système PV étudié

Liste des symboles et abréviations

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

PV : Photovoltaïque.

E_{ph} : Energie de photon (W/m^2)

λ : Représente la longueur d'onde.

h : La constante de Planck.

C : La vitesse de la lumière.

A : Facteur de qualité de la diode.

E_s : Ensoleillement (W/m^2).

PN : Représentant la jonction de la cellule.

DC/DC : Convertisseur continu-continu.

DC/AC : Convertisseur continu-alternatif.

P_{pv} : Puissance photovoltaïque (W).

R_s : Résistance série (Ω).

R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

I_{ph} : photo courant (A). I

I_0 : Courant de saturation de la diode (A).

K : Constante de Boltzmann ($k= 1.38.10^{-23}J/K$).

q : Charge de l'électron ($q=1.602.10^{-19}C$).

T : Température de la cellule ($^{\circ}K$).

I_d : Le courant de la diode (A).

I_{0d} : courant inverse de saturation de la diode.

V_{co} : Tension en circuit ouvert (V).

I_{cc} : Courant de court-circuit (A).

ΔT_c : Représente la variation de la température.

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'insolation et à la température.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'insolation et à la température.

STC : Les conditions standards.

P&O : Méthode de perturbation et d'observation.

P : Puissance disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque (W).

I : Courant continu fourni par une cellule photovoltaïque (A).

V : Tension continue donnée par une cellule photovoltaïque (V).

P_{max} : Puissance au point maximum (W).

V_{ppm} : Tension au point de puissance maximale (V).

I_{ppm} : Courant au point de puissance maximale (A).

P_c : Puissance crête (Wc).

P_n : Puissance nominale du panneau (W).

P_{pv} : Puissance photovoltaïque (W).

N_s : Nombre de module en série.

N_p : Nombre de module en parallèle.

E_{ref} : Ensoleillement de référence (W/m²).

T_j : Température de jonction (°C).

T_{ref} : Température de référence (°C).

T_a : Température ambiante (°C).

Noct : Température de fonctionnement nominal des cellules (Nominal operating cell temperature).

P_1, P_2, P_3, P_4 : Paramètres constants.

I_{sat} : Courant inverse de saturation de la diode (A).

A : Coefficient d'idéalité de la cellule.

E_g : Energie de gap (eV).

I_{Rsh} : Courant passe par la résistance shunt (A).

I_m : Courant maximal (A).

$I_{pv.nouv}$: Nouvelle valeur de courant après la correction (A).

$ISC.STC$: Courant photovoltaïque dans les conditions standard (A).

$V_{pv.nouv}$: Nouvelle valeur de tension après la correction (V).

V_m : Tension maximal (V).

α_{cc} : Coefficient d'incrémentation du courant I_{cc} (mA/°C).

β_{oc} : Coefficient d'incrémentation de la tension (mV/°C).

ΔI : La variation du courant (A).

ΔV : La variation de la tension (V).

ΔT : La variation de la température (°C).

FF : Facteur de forme.

S : Surface du panneau utilisée (m²).

α : Rapport cyclique.

V_e : Tension aux bornes de la source (V).

V_s : Tension aux bornes de la charge (V).

Q : Le débit d'eau pompée (l/h).

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée et le plan d'utilisation.

P : La puissance électrique (W).

V : Le volume d'eau (l).

t : Le temps (s) ou (h).

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s²).

ρ : La masse volumique de l'eau (1000 Kg/m³).

pomp : Rendement du groupe motopompe.

tot : Rendement total.

m: Le débit massique.

H : La hauteur manométrique totale (m).

Δt : La différence de temps de pompage (min).

Table des matières

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

Chapitre I : généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

Introduction.....	2
I.1 Historique.....	2
I.2 Énergie solaire photovoltaïque.....	3
I.3 Type de système photovoltaïque.....	3
I.3.1 Système photovoltaïque autonome.....	3
I.3.1.1 Système photovoltaïque autonome sans stockage électrochimique.....	4
I.3.1.2 Système photovoltaïque autonome avec stockage électrochimique.....	4
I.3.2 Systèmes photovoltaïques autonomes hybride.....	5
I.3.3 Système photovoltaïque connecté au réseau.....	6
I.4 cellule photovoltaïque.....	7
I.4.1 Principe de fonctionnement	8
I.5 Architecture classique d'un modèle photovoltaïque.....	9
A. Association en série.....	9
B. Association en parallèle.....	9

C. Association séries et parallèle.....	10
I.6 Technologie des cellules photovoltaïque.....	11
I.6.1 Module photovoltaïque	11
A. Silicium monocristalline.....	11
B. Silicium poly-cristalline.....	12
C. Silicium amorphe.....	12
I.7 avantage et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	13
I.7.1 les avantage.....	13
I.7.2 les inconvénients.....	14
I.8 les convertisseurs statiques.....	14
I.8.1 les hacheurs.....	14
I.8.1.1 hacheur série ou Buck (abaisseur de tension).....	15
A. fonctionnement a courant ininterrompu.....	16
B. fonctionnement a courant dans la charge interrompu.....	16
I.8.1.2 hacheur parallèle (Boost).....	17
A. fonctionnement a courant de source ininterrompu.....	18
B. limite entre le fonctionnement interrompu et le fonctionnement ininterrompu.....	19
I.8.1.3 choix entre les hacheurs (Boost et Buck).....	20
I.8.2 l'onduleur.....	20
I.8.2.1 principe de fonctionnement.....	21

A. onduleur monophasé.....	21
B. onduleur triphasé.....	21
I.9 élément de stockage.....	22
I.9.1 les batteries.....	22
I.9.2 principe de fonctionnement des batteries.....	23
I.9.3 caractéristiques générales des batteries.....	23
Conclusion.....	24

**Chapitre II : Modélisation et dimensionnement du système Photovoltaïque
avec batterie de stockage**

Introduction.....	25
II.1 Description du système à étudier.....	25
II.2 Modélisation du panneau photovoltaïque.....	26
II.2.1 Le modèle à une diode.....	26
II.3 Bloc SIMULINK du modèle à une diode.....	27
II.3.1 Caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ dans des conditions STC	28
A- Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques du module photovoltaïque...29	
B- influence de la température sur les caractéristiques du module Photovoltaïque.....	30
II.3.2 Groupement des panneaux photovoltaïques.....	31

A- association en série	31
B- association en parallèle.....	32
II.4 Simulation, Comparaison de modèle une diode avec la méthode volt-Ampère-métrique	32
II.4.1 Méthode Volt- Ampère-métrique.....	32
II.4.2 Résultats de Simulation et Comparaison.....	33
A-Expérimental.....	33
B-Modèle une diode.....	34
II.4.3 Discussion des résultats.....	34
II.5 Modélisation du hacheur survolteur (BOOST).....	35
II.6 Recherche du point de puissance maximale.....	36
II.7 le modèle CIEMAT.....	37
II.7.1 équation de modèle CIEMAT.....	38
II.7.1.1 la capacité.....	38
II.7.1.2 l'état de charge.....	38
II.7.1.3 Tension de la batterie en régime de charge.....	39
II.7.1.4 Tension de la batterie en régime de décharge.....	39
II.7.1.5 Resistance de la batterie.....	39
A-résistance en décharge.....	39
B-résistance en charge.....	39
II.7.1.6 Rendement de charge et de décharge.....	40

II.8 Onduleur	40
II.9 dimensionnement de système PV étudié.....	41
A- Dimensionnement des Panneaux photovoltaïques.....	41
B- Dimensionnement des batteries.....	42
C- Dimensionnement des câbles.....	43
Conclusion.....	44

Chapitre III : application du photovoltaïque a l'électrification

Introduction.....	45
III.1 Première application d'une école	45
III.1.1 cadre général.....	45
III.2 Dimensionnement de système photovoltaïque.....	46
A. Panneaux photovoltaïques.....	46
B. Dimensionnement des batteries.....	46
C. Dimensionnement des câbles.....	47
III.3 détaille de la fourniture.....	47
III.4 détailles des équipements proposes.....	47
III.4.1 Le champ solaire : les modules 250w-24v ou équivalents.....	48
A- Caractéristiques techniques.....	48
III.4.2 la boite de jonction.....	49
III.4.3 la structure de support.....	49
III.4.4 le parc de stockage.....	49

A- Générateur I.....	50
B- Générateur II.....	50
III.4.5 l'onduleur.....	50
III.4.6 le câblage électrique.....	51
III.4.7 le génie civil.....	52
III.4.8 protection DC PV.....	52
III.4.9 protection DC batterie.....	52
III.4.10 protection AC.....	52
III.5 Devis estimatif total de l'installation solaire photovoltaïque.....	53
III.5.1 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage.....	53
III.6 Installation notre système photovoltaïque.....	54
III.2.Deuxième application d'une habitation	55
III.3 Besoin énergétique journalier d'une maison autonome.....	55
III.4 dimensionnement de l'installation.....	56
A. Dimensionnement des Panneaux photovoltaïques.....	56
B. Dimensionnement des batteries.....	56
C. Dimensionnement des câbles.....	57
III.5 Devis estimatif total de l'installation solaire photovoltaïque.....	59
III.5.1 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage.....	59
III.6 Installation de système photovoltaïque.....	60
Conclusion.....	63

Chapitre IV : application au pompage photovoltaïque

Introduction.....	64
IV.1 la pompe centrifuge.....	64
IV.2 Réalisation du système photovoltaïque étudié.....	65
IV.3 Simulation du système global.....	69
IV.3.1 Les résultats expérimentaux.....	69
IV.3.2 Discussions des résultats.....	73
Conclusion	73
Conclusion générale.....	74

Introduction générale

Introduction générale

On distingue plusieurs sources d'énergies renouvelables, l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.

L'exploitation de l'énergie photovoltaïque offre un approvisionnement en énergie inépuisable mais surtout une énergie propre et non polluante. Les applications du photovoltaïque sont nombreuses parmi l'électrification et le pompage de l'eau.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte. Nous avons fait l'étude, le dimensionnement, la simulation et l'installation de trois applications, deux pour l'électrification et une pour le pompage de l'eau.

Pour illustrer tout ceci, notre travail sera divisé en quatre chapitres ainsi qu'une introduction et une conclusion.

Le premier chapitre est consacré à quelques généralités sur la production de l'énergie photovoltaïque, et les différents systèmes de stockage d'énergie électrique et en particulier les batteries.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude le dimensionnement et la simulation d'un système photovoltaïque.

Le troisième chapitre est consacré à deux applications d'installation photovoltaïque pour l'électrification d'une école et d'une habitation.

Une application de pompage photovoltaïque est faite au quatrième chapitre.

On terminera par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

Introduction

L'énergie photovoltaïque connaît actuellement un fort développement dans le monde. Vu son caractère écologique, elle apparaît comme une source importante telle que la qualité d'énergie solaire qui arrive à la surface de la terre durant une journée est dix fois plus grande que celle consommée [7].

Dans ce chapitre, sont présentées des généralités sur le système photovoltaïque, (historique, L'énergie solaire photovoltaïque, type de système PV, cellule PV, élément de stockage, avantages et inconvénients...etc.). On s'intéresse particulièrement au principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques.

I.1 Historique

L'effet photovoltaïque permet de transformer l'énergie solaire en électricité. Le mot « photovoltaïque » vient du mot grec « photos » et de « volta » nom du physicien italien qui découvrit la pile électrique.

L'historique du photovoltaïque débute en 1839 lorsque le physicien français Becquerel découvre le principe photovoltaïque. [4]. [3]

En 1875, le physicien Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Malheureusement, le phénomène est encore considéré comme anecdotique jusqu'à la seconde Guerre Mondiale.

En 1923, Albert Einstein explique le principe photovoltaïque, ce qui lui permet d'ailleurs d'obtenir le prix Nobel de physique.

Les premières vraies cellules photovoltaïques sont apparues en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium.

Ce n'est qu'en 1954 que trois chercheurs américains, CHAPIN, PEARSON et prince mettent au point une cellule photovoltaïque, avec un rendement de 6%. On entrevoit alors la possibilité de fournir de l'électricité grâce à ces cellules. Au même moment, l'industrie spatiale naissante cherche de nouvelles solutions pour alimenter ses satellites.

En 1958, une cellule avec un rendement de 9% est mise au point et en même temps, les premiers satellites avec panneaux solaires sont envoyés dans l'espace.

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

En 1973, la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite aux États-Unis.

Au cours des années 90, la technologie photovoltaïque progresse régulièrement avec la mise en place de plusieurs centrales, et devient même familière à des consommateurs à travers de nombreux produits et faible puissance y faisant appel : montres, calculatrice, balises radio et météorologiques, pompes et même réfrigérateurs solaires...

Aujourd'hui, l'énergie photovoltaïque est à la disposition des entreprises et des particuliers, et les panneaux photovoltaïques ont des rendements allant jusqu'à 20%.

I.2 Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière de soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium recouvert d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs mince électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et libèrent un courant électrique continu. L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stocké en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau.

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles. [2]

I.3 Type de système photovoltaïque

I.3.1 Systèmes photovoltaïques autonome

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés Dans une zone isolée du réseau électrique. La figure I.1 présente un exemple d'un système PV Autonome, en remarquant qu'il y a un système de stockage qui est associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système est utilisé en tampon, celui-ci étant rechargé en cas de surplus de production et déchargé en cas de surconsommation.

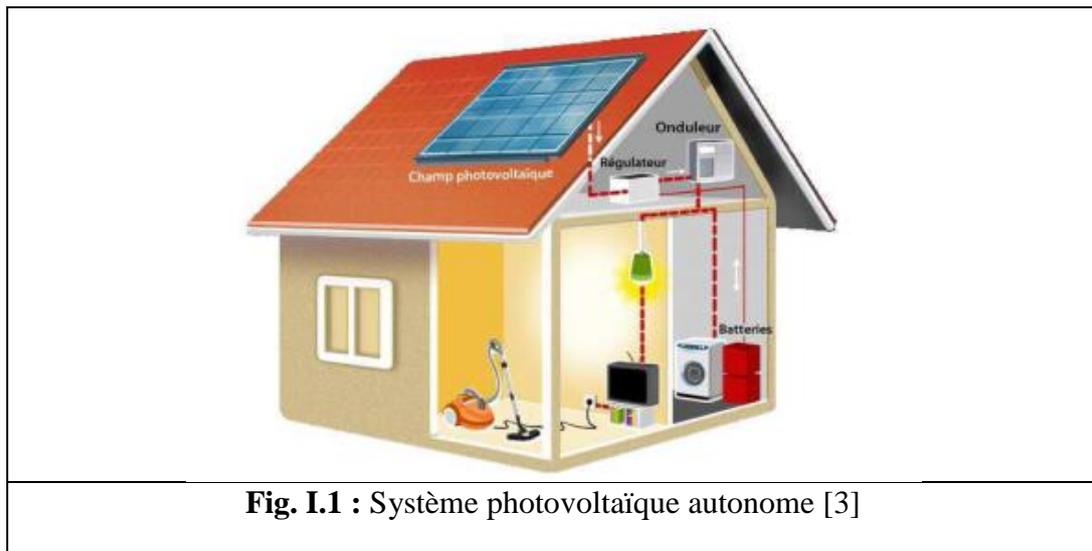


Fig. I.1 : Système photovoltaïque autonome [3]

Le système de stockage représente une partie très importante du coût de l'installation, et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement. Un sous-dimensionnement a notamment pour conséquences un vieillissement prématuré du système de stockage ainsi qu'un accroissement des délestages de consommation et de production alors qu'un surdimensionnement peut conduire économique. [3]

I.3.1.1 Système photovoltaïque autonome sans stockage électrochimique

Dans ce cas, l'appareil alimenté ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire suffisant pour son 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 de qu'il ait assez de puissance pour alimenter l'appareil à l'éclairage le plus faible. Le pompage photovoltaïque est un exemple de cette catégorie de système autonome.

I.3.1.2 Système photovoltaïque autonome avec stockage électrochimique

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes. Elle comporte des batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique est indispensable

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

I.3.2 Systèmes photovoltaïques autonomes hybride

Les systèmes Hybrides sont généralement des systèmes PV couplés à d'autres sources comme par exemple une éolienne ou un groupe électrogène. Le rôle du second producteur d'énergie est de palier aux insuffisances éventuelles de la production photovoltaïque. Dans le cas d'un système hybride avec éolien (voir la figure I.2), l'énergie produite par celle-ci (qui possède son propre contrôleur) vient compléter la charge des batteries. Sa production étant plus aléatoire que celle des panneaux solaires, elle complète efficacement un générateur photovoltaïque pour des applications particulièrement gourmandes en électricité, qui ne nécessitent pas de fonctionner de façon régulière, mais au gré du vent. [3]. [6]

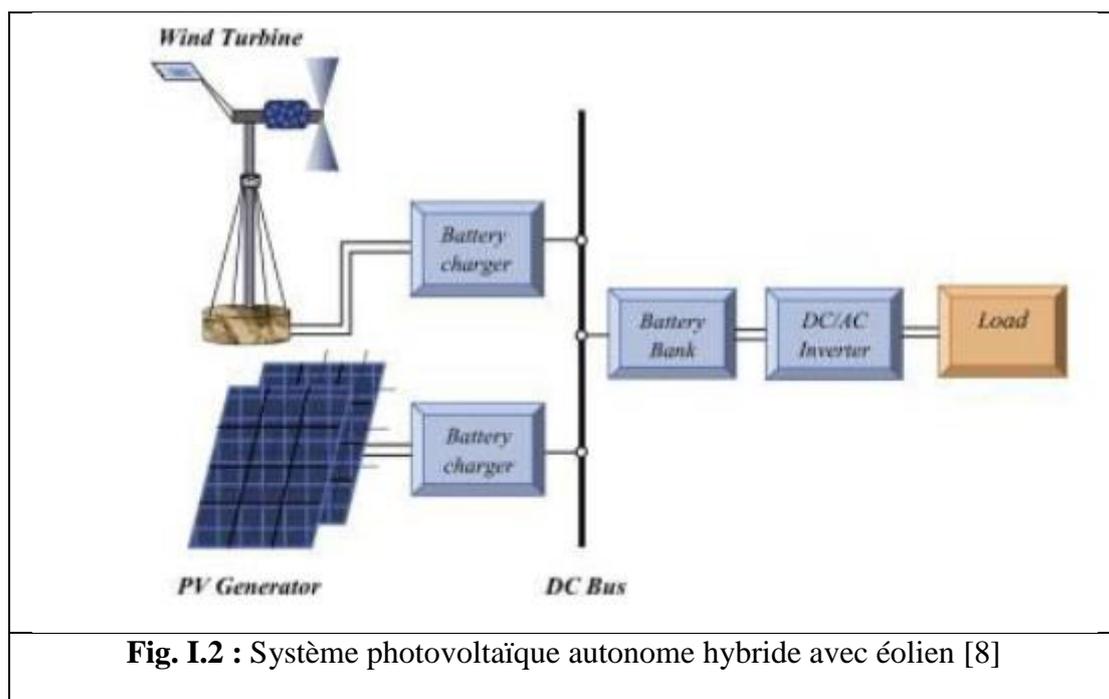


Fig. I.2 : Système photovoltaïque autonome hybride avec éolien [8]

Le cas d'un système hybride avec groupe électrogène (voir la figure I.3) est différent par rapport avec celui d'éolien. Ce type de configuration est adapté aux applications très consommatrices d'électricité mais qui ne fonctionnent qu'une, deux ou trois heures par jour. Il peut aussi être utilisé comme "secours", permettant de limiter la taille du parc de batteries pour les jours "sans soleil". A son démarrage, le groupe électrogène devient une source principale afin de fournir pour tous les appareils dans la maison tout en complétant la charge

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

des batteries au travers du convertisseur-chargeur. Lorsque le groupe s'arrêtera, le système basculera automatiquement sur les batteries. [2.3]

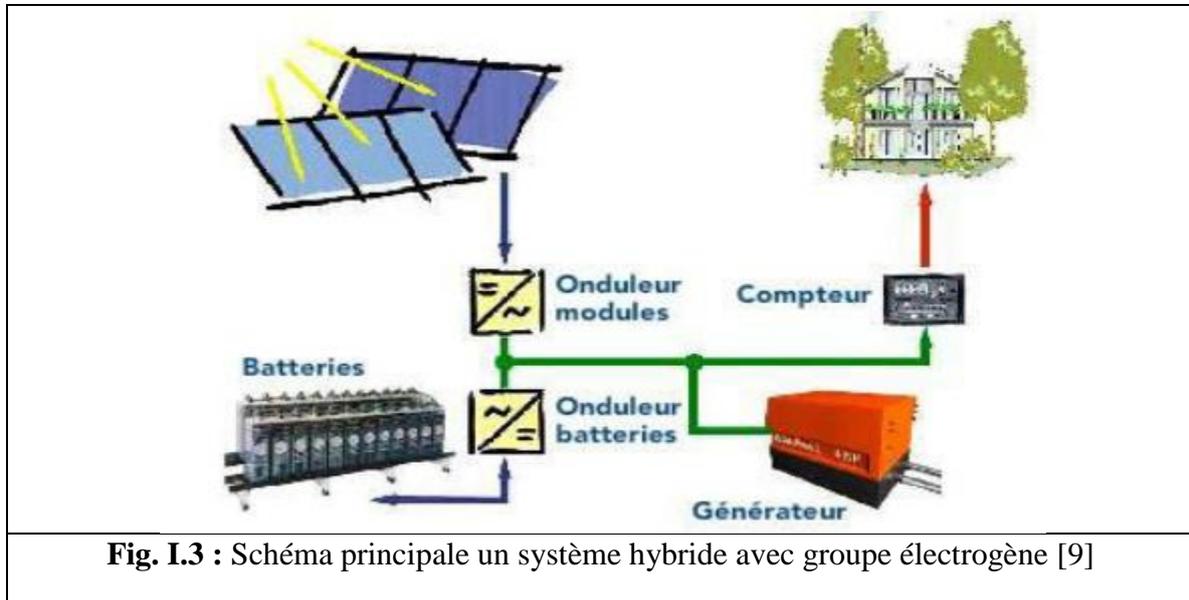


Fig. I.3 : Schéma principale un système hybride avec groupe électrogène [9]

Par rapport au système hybride avec éolien, celui à groupe électrogène est plus cher au niveau du coût de fonctionnement (coût du fuel) et plus impactant sur l'environnement. Cependant, le groupe électrogène est capable de satisfaire immédiatement les changements de consommation pendant un court du temps.

I.3.3 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

La figure suivante représente un système PV connecté au réseau électrique, dont le rôle principal est de contribuer à la production d'électricité d'origine renouvelable sur le réseau. D'un point de vue de la physique, l'énergie produite par les panneaux est directement consommée par les charges locales de l'habitat. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau. Et en cas de coupure réseau, l'onduleur stoppe l'injection d'électricité photovoltaïque produite sur le réseau et bascule la production sur un circuit électrique de secours parallèle, constitué d'un ensemble de batteries. La protection de découplage permet de supprimer tout risque d'électrocution en cas de rupture de courant pour le personnel intervenant. Cette fonction est assurée par l'onduleur qui s'arrête automatiquement lorsque le réseau est mis hors tension. [3]. [5]

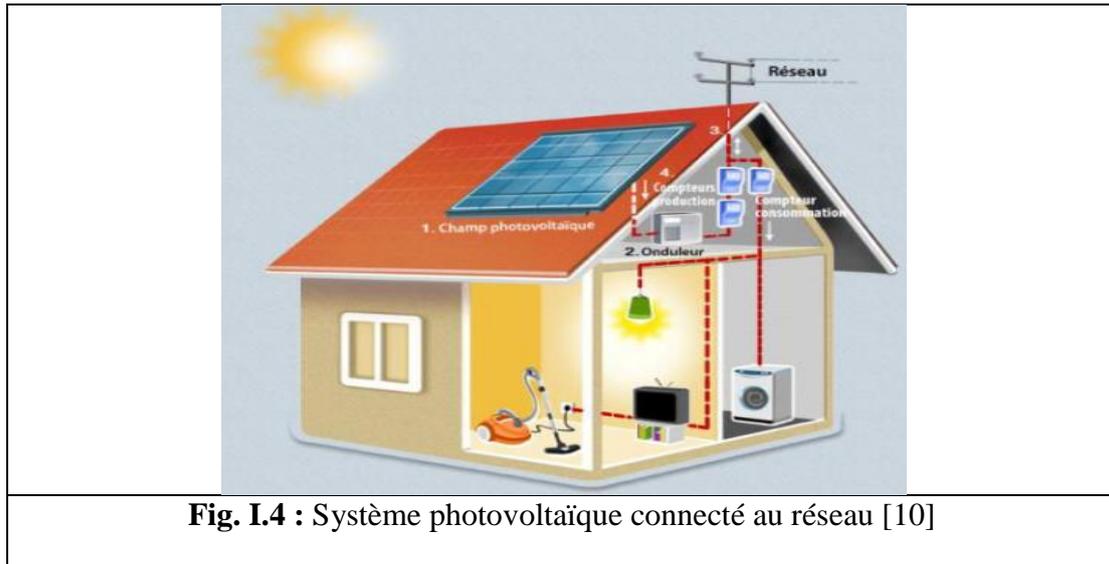


Fig. I.4 : Système photovoltaïque connecté au réseau [10]

Les panneaux photovoltaïques débitent sur un bus de tension continue à travers un convertisseur dont le rôle est d'effectuer la conversion DC-AC et de faire en sorte que le générateur PV fonctionne toujours à son point de fonctionnement optimal (puissance maximale). Les caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques étant liées aux conditions météorologiques, ce convertisseur améliore la rentabilité du système global.

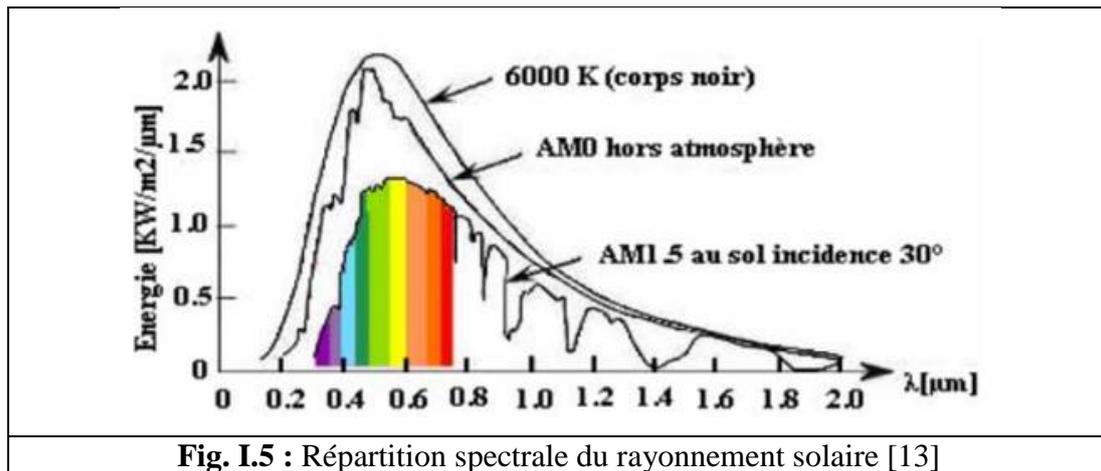
I.4 Cellules photovoltaïques

Le rayonnement solaire est constitué des photons transportant chacun une énergie E_{ph} qui répond, elle même, à la relation suivante :

$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda} \dots \dots \dots (I.1)$$

E_{ph} représente la quantité d'énergie, λ la longueur d'onde, h la constante de Planck et C la vitesse de la lumière.

D'après la relation, cette énergie est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Le flux d'énergie solaire est alors transmis sous forme de rayonnements électromagnétiques dont les longueurs d'ondes assez différents du corps noir dans l'espace, mais encore plus sur la terre telle que le montre la figure ci-dessus :



Dans les conditions AM0 : hors atmosphère à haute altitude.

Dans les conditions AM2 : pour l'atmosphère terrestre, le soleil étant à 30° sur l'horizon.

Il est à remarquer que le spectre de l'énergie solaire en atmosphère terrestre est décalé vers le rouge et l'infrarouge par rapport au spectre hors atmosphère.

Nous observons la figure (I.5), les longueurs d'ondes du rayonnement solaire terrestre sont comprises entre 0,2 μm (ultraviolet) et 0,4 μm (infrarouge) avec un maximum d'énergie pour 0,5 μm . La figure montre aussi que 97,5% de cette énergie est comprise entre 0,2 μm et 2,5 μm , et principalement, entre 0,4 μm et 0,78 μm qui correspond au visible. Les capteurs d'énergie solaire, qui correspondent aux cellules solaires devront donc être compatibles avec ces longueurs d'ondes pour pouvoir piéger les photons et les restituer sous forme d'électrons.

I.4.1 Principe de fonctionnement

L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie obtenue par la conversion de la lumière en électricité. Cette énergie est obtenue grâce au phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque. Rapporté par Edmond Becquerel en 1839 [13], le principe est assez simple et consiste en l'émergence d'une différence de potentiel aux extrémités d'une structure de matériel semi-conducteur, produit par l'absorption de la lumière.

Plus précisément, l'effet Photovoltaïque est propre à la cellule (unité fondamentale de conversion). Dans le cas des panneaux photovoltaïques, les cellules sont réalisées à partir de deux couches de silicium, une dopée P (en général dopée au bore) et l'autre dopée N (en général dopée au phosphore). Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges 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. La tension ainsi générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule. [10]. [12]

I.5 Architecture classique d'un modèle photovoltaïque

A. Association en série

Dans un groupe en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La caractéristique d'un groupement de n_s cellule PV identiques est présentée sur la figure suivante :

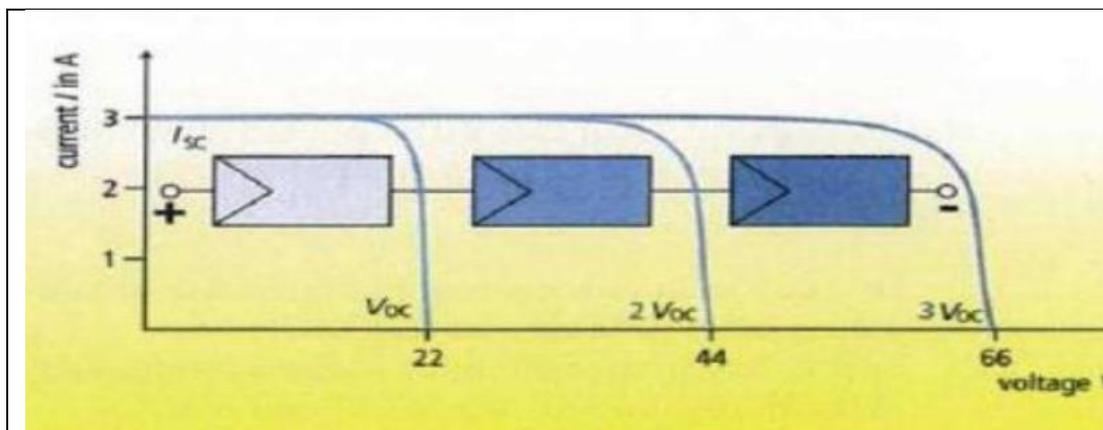
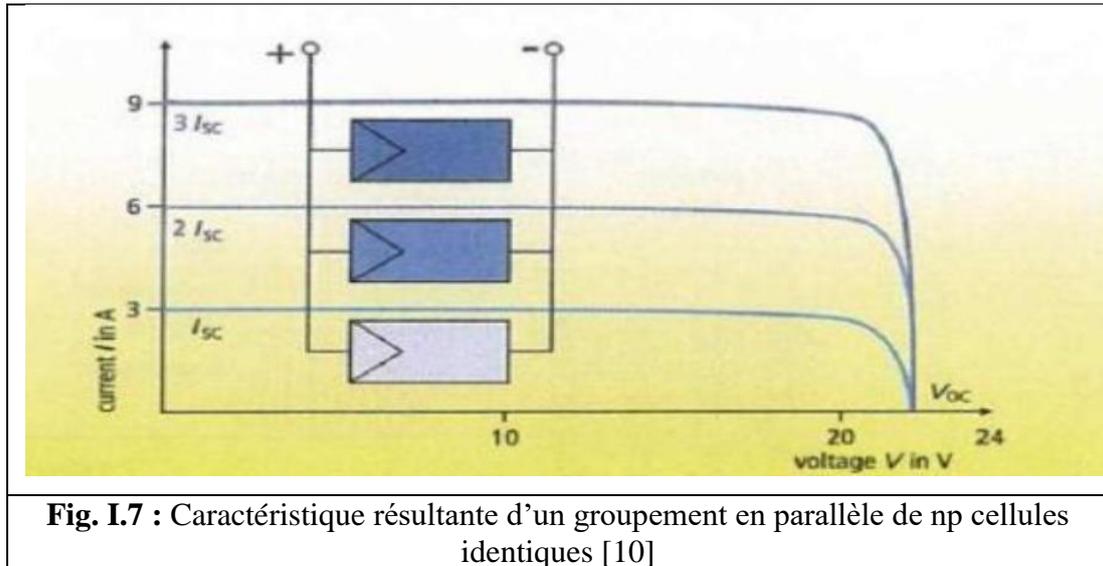


Fig. I.6 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules identiques [10]

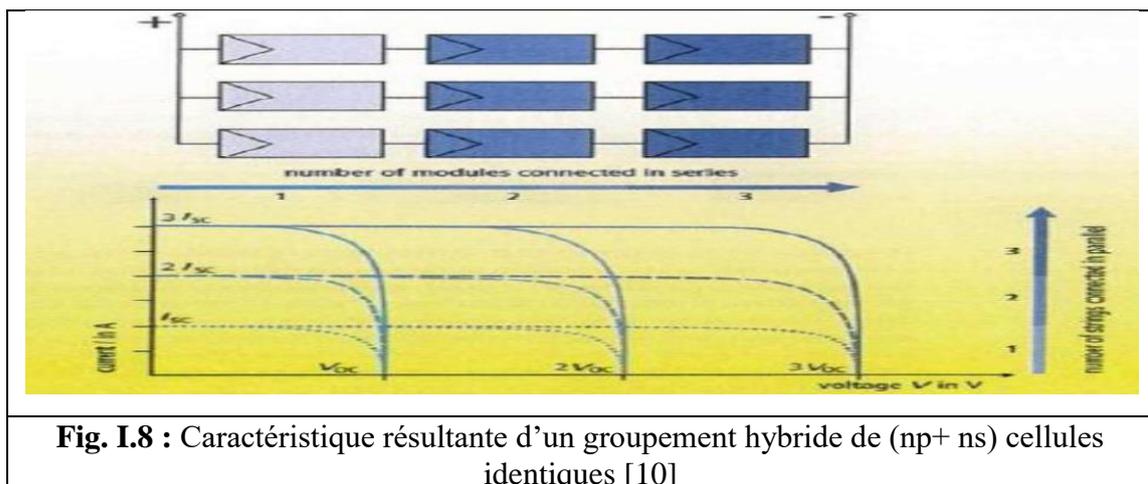
B. Association en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont du a la mémé celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. [12]



C. Association série et parallèle

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court circuit I_{cc} et de la tension à vide V_{oc} sont plus ou moins importantes. La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes). [11.12]

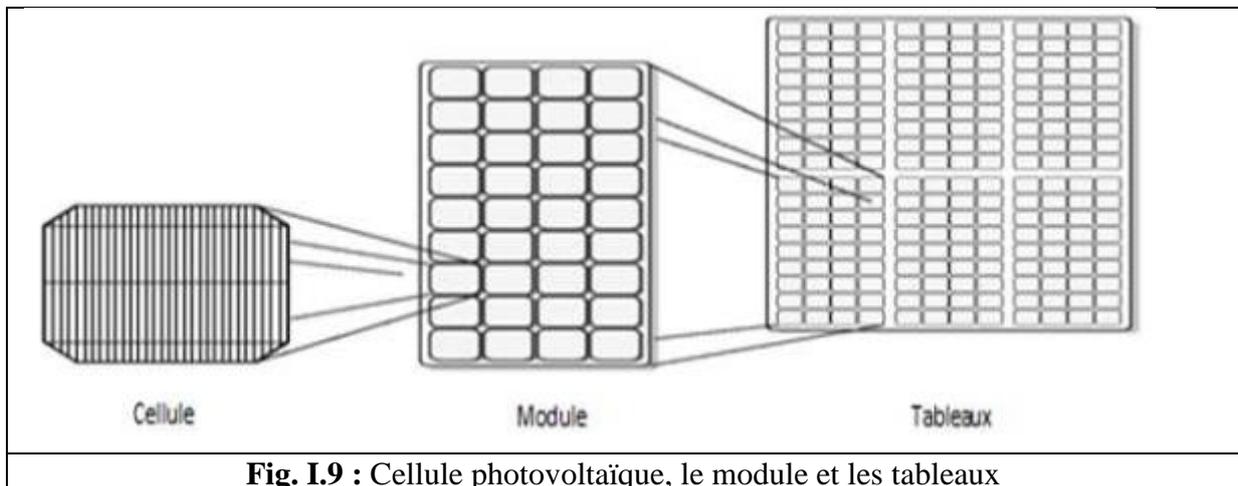


I.6 Technologie de la cellule photovoltaïque

I.6.1 Module photovoltaïque

Les puissances demandées par les charges couramment utilisées nécessitent conjointement des tensions supérieures à ceux que peuvent fournir les cellules élémentaires, il faut donc envisager des groupements. Pour cela les cellules sont assemblées pour former un module les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la même tension. [9]

Un module photovoltaïque protégé de l'humidité par un capsulage de verre et de plastique. L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique. [8]



Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïque. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant quelque soit le type, le rendement reste assez faible entre : 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Les cellules les plus utilisées sont : [13]

A. Silicium monocristallin [13]

Les cellules monocristallines sont des photopiles élaborées à partir de silicium cristallisé en un cristal unique. Leur rendement est de 10 à 16 %, mais leur fabrication est complexe et consommatrice d'énergie.

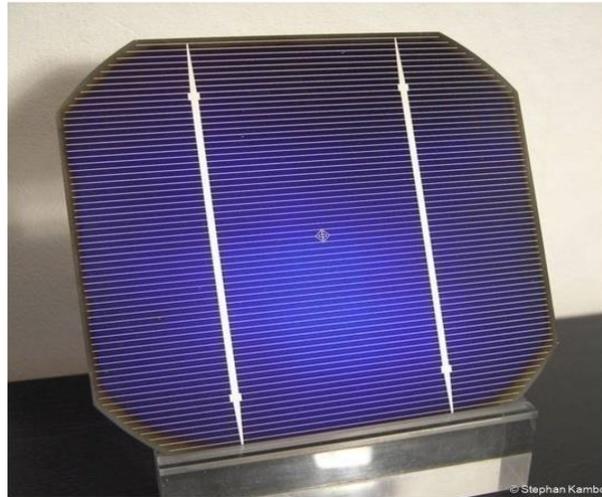


Fig. I.10: Silicium Monocristallin.

B. Silicium polycrystalline [13]

Les cellules poly cristallines sont fabriquées à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Leur rendement moyen est de 11 à 13 %, et leur coût de production est un peu moins élevé que celui des cellules monocristallines.

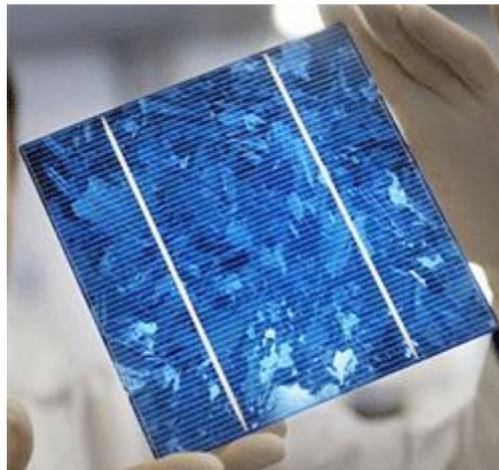


Fig . I.11: Silicium Polycrystalline.

C. Silicium amorphe [13]

Les cellules amorphes se composent de couches de silicium très minces appliquées sur un support en verre, en plastique souple ou en métal. A l'origine, leur rendement était plus faible (6 à 10%), mais la technologie évolue rapidement, ils fonctionnent avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel de 2 à 3000 lux).



Fig. I.12 : Silicium Amorphe.

I.7 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients parmi eux on cite :

I.7.1 Les avantage

- Sa source est gratuite
Le soleil est la seule ressource dont a besoin un panneau solaire et le soleil brillera jusqu'à la fin des temps. De plus, la plupart des cellules photovoltaïques sont fabriquées à base de silicium, un matériau abondant et non toxique (second matériau le plus abondant sur Terre).
- L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives, ni gaz polluants l'électricité solaire utilise seulement l'énergie du soleil comme source. Elle ne crée aucun coproduit nocif et contribue activement à réduire le réchauffement climatique.
- L'énergie solaire exige peu de maintenance les modules solaires ne nécessitent pratiquement aucune maintenance et faciles à installer.
- L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.

I.7.2 Les inconvénients

- Les modules photovoltaïques ne fonctionnent pas quand l'énergie solaire n'est pas disponible.
- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs Diesel pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

I.8 Les convertisseurs statiques

I.8.1 Les hacheurs

Les hacheurs présentent la partie essentielle dans le dispositif de commande d'un générateur photovoltaïque, ils sont des convertisseurs statiques DC/DC permettant de contrôler la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. De point de vue circuit, le hacheur apparaît comme un quadripôle figure (I.13), jouant le rôle d'organe de liaison entre deux parties d'un réseau. On peut le considérer comme un transformateur de grandeurs électriques continues.

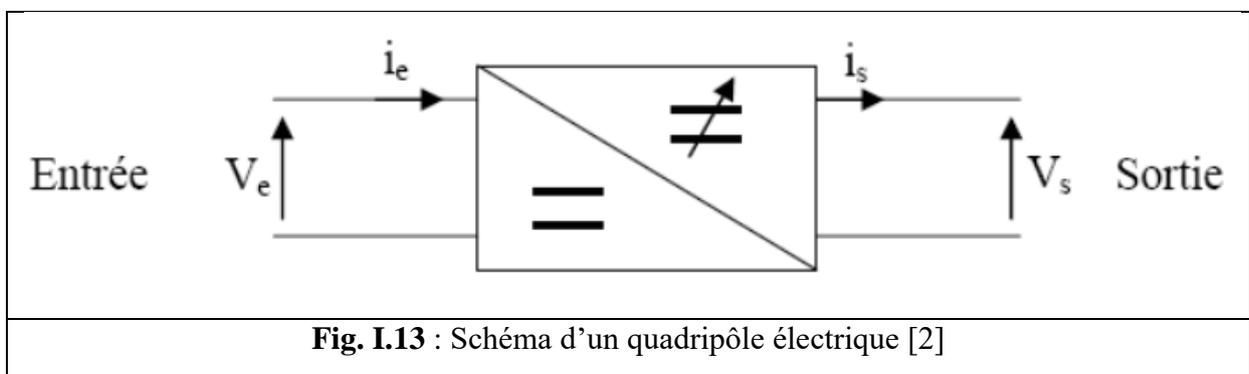


Fig. I.13 : Schéma d'un quadripôle électrique [2]

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductances et des commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs. Le commutateur est un dispositif semi-conducteurs en mode (bloqué - saturé), habituellement un transistor MOSFET. Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est zéro et par conséquent sa dissipation de puissance est nulle, si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à ses bornes sera presque zéro est par conséquent la puissance perdue sera très petite.

Pendant le fonctionnement du hacheur, le transistor sera commuté à une fréquence constante f_s avec un temps de fermeture $=d.T_s$ et un temps d'ouverture $=(1-d)T_s$ où :

- T_s est la période de commutation qui égale à $\frac{1}{f_s}$.
- d est le rapport du commutateur ($d \in [0,1]$) figure (I.14).

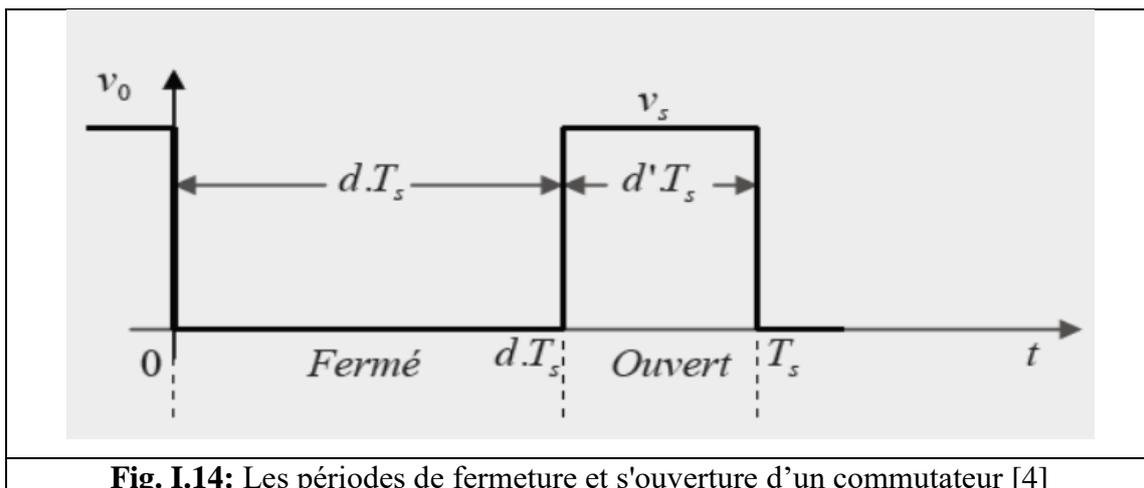


Fig. I.14: Les périodes de fermeture et s'ouverture d'un commutateur [4]

I.8.1.1 Hacheur série ou Buck (abaisseur de tension)

Le schéma de principe du hacheur série est donné sur la figure(I.15). On considère l'interrupteur I et la diode D parfaits. (La charge est par exemple un moteur à courant continu).

Le fonctionnement du convertisseur se déduit de l'analyse du comportement de l'interrupteur I :

a $t=0$, I est enclenché (passant) pendant un temps $T\alpha$, alors : $\mu_d(t)= U$ Entre αT et T ($\alpha T < t < T$), I est ouvert.

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

On a alors :

$i=0$ et le courant i_D circule à travers la diode /N UND (diode de <<roue libre >>).

Donc :

$u_d(t)=0$ tant que la diode D conduit, soit tant que le courant $i_d(t)$ est non nul

Lorsque

$i_d(t)=0$ s'annule, la diode D se bloque et $u_d(t)= E_c$

On distingue deux types de fonctionnement selon que le courant $i_d(t)$ est interrompu ou non.

A. Fonctionnement à courant ininterrompu

La valeur moyenne de $u_d(t)$ vaut :

$$u_d = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} u \cdot dt = \alpha u \dots\dots\dots(I.2)$$

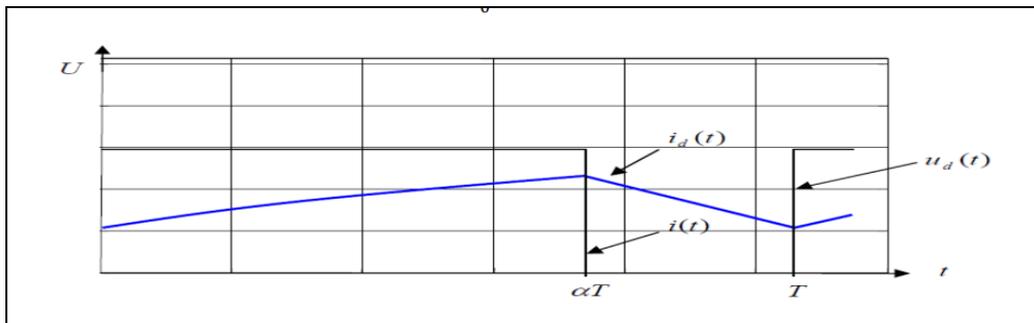


Fig. I.15 : Hacheur série Fonctionnement à courant ininterrompu dans la charge [6]

B. Fonctionnement à courant dans la charge interrompu

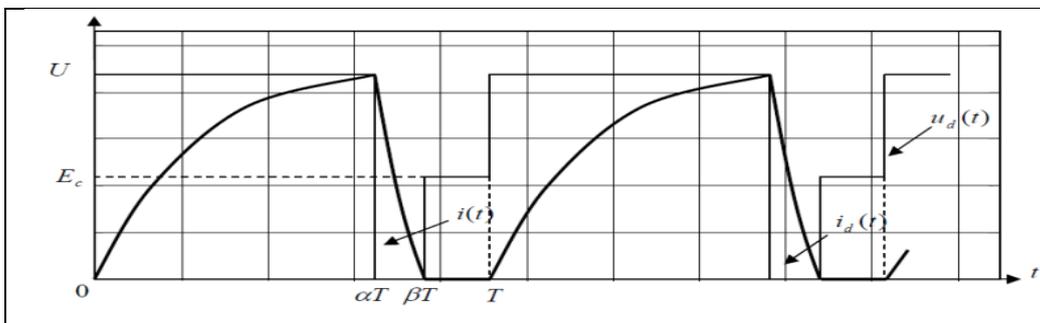


Fig. I.16 : Hacheur série Fonctionnement à courant interrompu dans la charge [5]

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

Lorsque l'interrupteur s'ouvre, à $t = \alpha T$, le courant $i_d(t)$ décroît. Si la constante de Temps $\tau =$ suffisamment faible devant T , ce s'annule avant que l'interrupteur ne redevienne passant à $t=T$.

En considérant que le courant $i_d(t)$ est nul entre les instants βT et T , la valeur moyenne de $u_d(t)$ vaut alors :

$$U_{d0} = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^{\alpha T} U_d \cdot dt + \int_{\alpha T}^T E_c \cdot dt \right\} = \alpha U + (1 - \beta) E_c \quad \dots\dots\dots (I.3)$$

Le rapport cyclique est défini comme étant le rapport entre la durée T_1 pendant laquelle $K \ll \text{ou } I \gg$ est fermé et la période T .

$$\alpha = \frac{T_1}{T} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

REMARQUE

Dans les deux types de fonctionnement, on voit que la valeur moyenne U_{d0} de la tension disponible aux bornes de la charge est fonction du rapport cyclique α . On règlera la valeur d' U_{d0} en modifiant le rapport cyclique α :

1. soit en modifiant la durée de conduction de l'interrupteur I sans modifier la période T de commande (modulation de largeur d'impulsion).
2. soit en modifiant la fréquence de commande ($f = \frac{1}{T}$) sans modifier la durée de conduction de l'interrupteur.

I.8.1.2 Hacheur parallèle (Boost)

Le hacheur parallèle est aussi appelé hacheur survolteur. Ce montage permet de fournir une tension moyenne U_{d0} à partir d'une source de tension continue $U > U_0$.

On distingue deux phases de fonctionnement :

1. lorsque l'interrupteur I est fermé, la diode est polarisée en inverse ($V_D = -U_d$); la charge est donc isolée de la source. La source fournit de l'énergie à l'inductance l .
2. Lorsque l'interrupteur I est ouvert, l'étage de sortie ($C+$ charge) reçoit de l'énergie de la source et de l'inductance l .

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

Pour l'analyse en régime permanent présenté ici, le condensateur de filtrage C a une valeur de capacité suffisamment élevée pour que l'on puisse considérer la tension disponible en sortie constante : $u_d(t) = U_{d0}$.

Enfin on distingue deux modes de fonctionnement selon le courant dans l'inductance $i(t)$ est interrompu ou non.

A. Fonctionnement à courant de source ininterrompu

Pour $0 \leq t \leq \alpha T$, l'interrupteur I est fermé et l'intensité $i_l(t)$ croît linéairement :

$$u = \frac{di_l}{dt} + U_{d0} \quad \text{donc} \quad i_l(t) = \frac{U - U_{d0}}{l} (t - T\alpha) + i_l(\alpha T) \dots \dots \dots (I.4)$$

Avec :

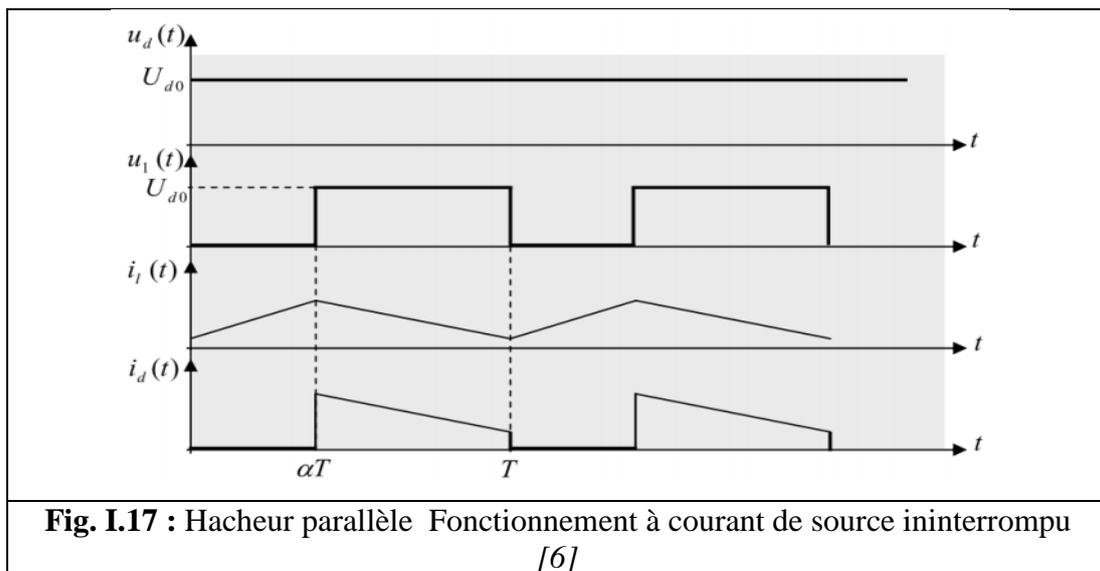
$$i_l(\alpha T) = \frac{u}{l} \alpha T + i_l(0) \dots \dots \dots (I.5)$$

Et $U < U_{d0}$ Car : $i_l(t)$ doit décroître

On a

$$u_l = U_{d0}, \quad i_d = i_l, \quad v_l = U - U_{d0} \dots \dots \dots (I.6)$$

On déduit les caractéristiques de la figure suivante :



Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

On détermine facilement la relation liant U à U_{d0}

On a :

$$U = V_1 + u_i \dots \dots \dots (I.7)$$

Donc en moyenne sur une période, compte tenu du fait que la valeur moyenne de $v_1(t)$ est nul, on obtient :

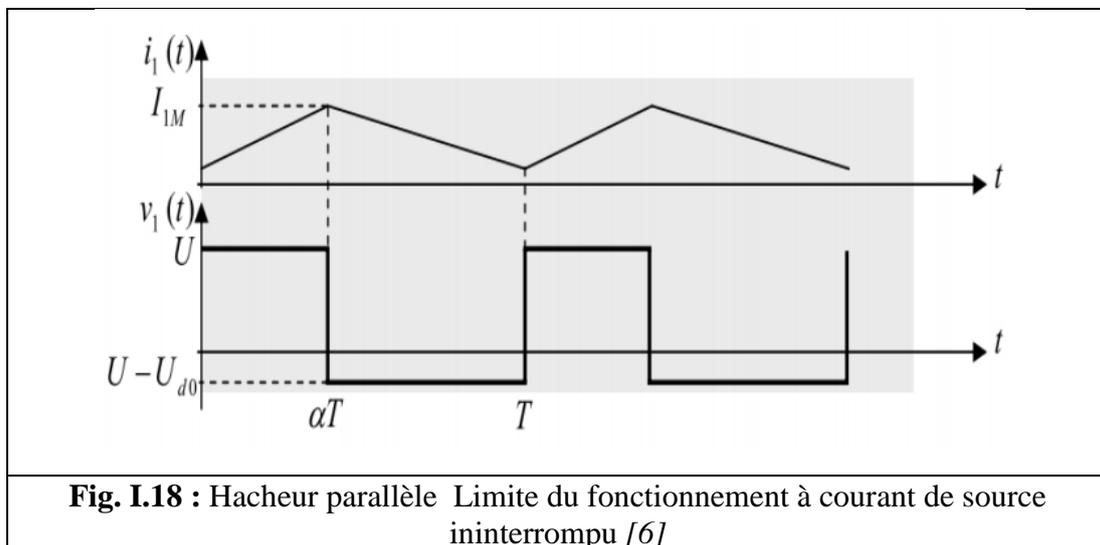
$$U = UI_0 = (1 - \alpha) \frac{T}{T} U d_0 = (1 - \alpha) U d \dots \dots \dots (I.8)$$

Donc

$$\frac{U d_0}{U} = \frac{1}{(1 - \alpha)} \dots \dots \dots (I.9)$$

B. Limite entre le fonctionnement interrompu et le fonctionnement ininterrompu

La forme des courant et tension $i_1(t)$ et $v_1(t)$ est donnée sur la figure suivante :



La valeur moyenne du courant $i_1(t)$ s'écrit :

$$I_0 = \frac{I_{1M}}{2} = \frac{1}{2} \frac{U}{l} \alpha T \quad (\text{Car: } i_l(0) = 0) \dots \dots \dots (I.10)$$

Donc la valeur moyenne du courant disponible en sortie I_{d0} s'écrit :

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

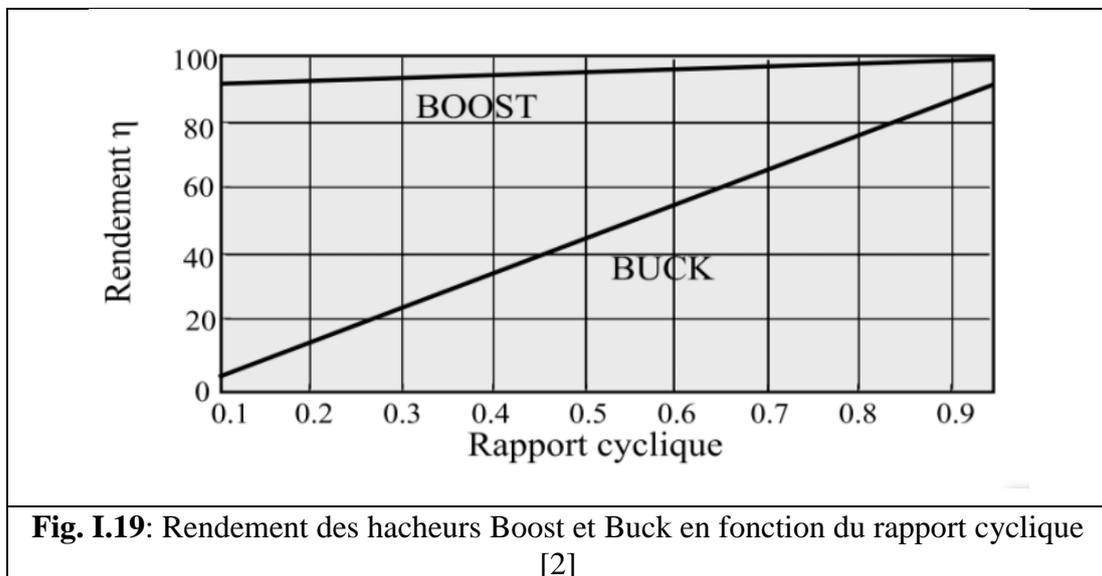
$$I_{d0}(t) = (1 - \alpha)I_{10} = \frac{1}{2} \frac{U}{l} \alpha T (1 - \alpha) = \frac{1}{2} \frac{U d_0}{l} \alpha T (1 - \alpha)^2 \dots \dots \dots (I.11)$$

I.8.1.3 Choix entre les Hacheurs (Boost et Buck)

Les études faites sur les deux hacheurs Boost et Buck, montrent que le hacheur Boost a un rendement élevé pour une grande partie du rapport cyclique. Il est le plus utilisé dans les systèmes photovoltaïques car la puissance maximale que peut délivrer une source en l'occurrence de GPV est :

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \dots \dots \dots (I.12)$$

$$\eta_{\text{hacheur}} = \frac{p}{p_{max}} \dots \dots \dots (I.13)$$



I.8.2 L'onduleur

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de fournir des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique de tension ou de fréquence différente. C'est la fonction inverse d'un redresseur. L'onduleur est un convertisseur statique de type continu/alternatif. Certains onduleurs sont dits hybrides ou intelligents et plusieurs générations de micro-onduleurs sont apparues sur le marché en 2014. Compatibles avec des modules jusqu'à 310 W, résistant à des températures de +65 °C, refroidis par convection naturelle de l'air et dont le rendement atteint 95,7 %

- Il filtre les parasites

- Il se substitue au réseau électrique pendant les coupures
- Il stabilise l'énergie électrique (tension et fréquence)
- Il élimine les microcoupures

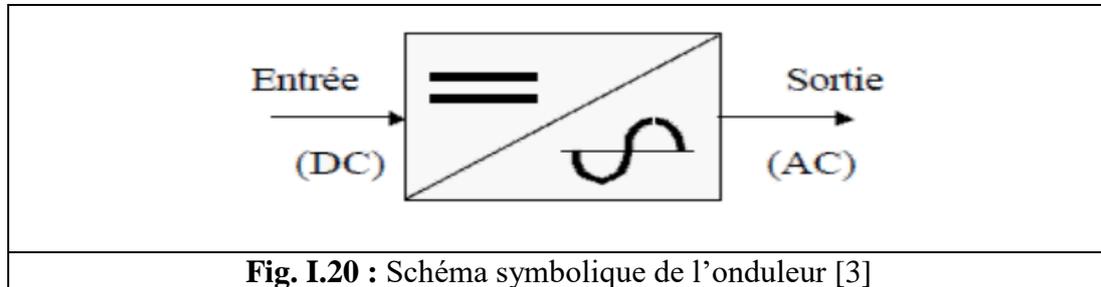


Fig. I.20 : Schéma symbolique de l'onduleur [3]

I.8.2.1 Principe de fonctionnement

A. Onduleur monophasé

Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H, constituée le plus souvent d'interrupteurs électroniques tels que les IGBT, transistors de puissance ou thyristors. Par un jeu de commutations commandées de manière appropriée (généralement une modulation de largeur d'impulsion), on module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée. Il existe deux types d'onduleurs : les onduleurs de tension et les onduleurs de courant. On distingue aussi les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes.

B. Onduleur triphasé

L'onduleur triphasé constitue de trois cellules de commutation. On retrouve évidemment une structure différentielle dans laquelle les tensions triphasées sont obtenues de façon composée sur les trois bornes de sortie. Il est facile de généraliser ce principe à un onduleur « p-phase » en pont qui comporterait donc p cellules. Dans cette configuration différentielle, La cellule de commutation peut donc être considérée comme une phase de l'onduleur, la composante alternative de sa tension de sortie constituant une tension simple du système polyphasé. On peut cependant indiquer la possibilité d'élaborer les phases d'un générateur p-phase à l'aide de p onduleurs monophasés en pont, solution lourde mais qui peut avoir son intérêt en termes de contrôle des tensions et de dimensionnement. Cela est utilisé dans des applications telles que les alimentations de secours de forte puissance. [8]. [9]

I.9 Élément de stockage

Il existe différents types de stockages, le stockage électrochimique, le stockage hybride...etc.

Dans les systèmes de stockage par batteries électrochimiques, les assemblages de batteries sont conçus pour fournir la puissance et la capacité en fonction des usages (par exemple stabilisation des réseaux, alimentation de secours).

I.9.1 Les batteries

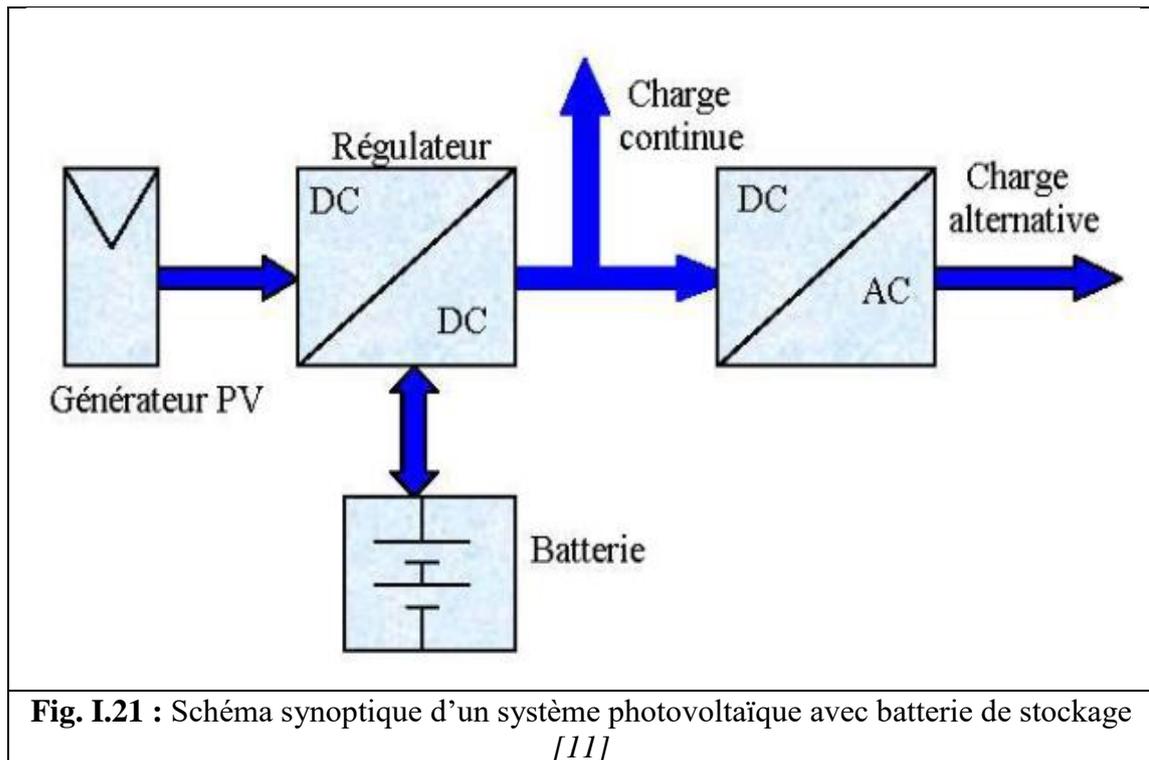
Les batteries servent de zone tampon entre production et consommation d'énergie (utilisation). Leur capacité doit être suffisamment grande pour faire face à tous les aléas de la production et de la consommation. [10]

Lorsque le réservoir d'énergie est plein toute quantité d'énergie supplémentaire entraînera le bouillonnement de l'électrolyte :

- Le niveau dans la batterie baisse, et celle-ci peut être gravement endommagée
- Les gaz produits peuvent exploser avec une flamme ou une étincelle.
- Le surplus d'énergie risque de détériorer les plaques en plomb en arrachant la matière active.

Il existe différents types de batteries, on peut citer :

- La batterie plomb acide
- La batterie nickel cadmium
- La batterie sodium chlorure de nickel
- La batterie lithium-ion
- La batterie zinc air



I.9.2 Principe de fonctionnement des batteries

Le principe de fonctionnement d'un générateur électrochimique est essentiellement basé sur la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique. Toute réaction chimique d'oxydoréduction, pourvu qu'elle soit spontanée, c'est-à-dire accompagnée d'une diminution d'énergie libre, est en effet susceptible de donner naissance à un courant électrique lorsqu'elle a lieu dans des conditions appropriées. Pour cela, il faut que l'échange des électrons de valence s'effectue par le canal d'un circuit extérieur au système. [7.8.9]

Ainsi la combustion libre de l'hydrogène produisant de l'eau et de l'énergie calorifique ne peut donner naissance à un courant électrique car l'échange électronique s'accomplit directement, en quelque sorte par un court-circuitage moléculaire.

I.9.3 Caractéristiques générales des batteries

Les accumulateurs destinés aux installations photovoltaïques doivent avoir les qualités suivantes :

- être robustes
- avoir un bon rendement de charge et de décharge

Chapitre I Généralités sur l'énergie et le système photovoltaïque

- avoir une faible résistance interne
- avoir un taux d'autodécharge faible
- Maintenance réduite
- posséder une grande réserve d'électrolyte
- avoir une durée de vie importante
- être aptes aux Cyclades on entend par *cycle*, la décharge de la batterie, quelque soit la Profondeur de décharge, suivie d'une recharge

Dans ce travail notre choix se porte sur les batteries plomb acide vue aux avantages qu'elles présentent :

- Prix qui revient moins cher que les autres types de batteries
- Elles sont solides
- Capable de fournir des courants élevés
- Sans effet mémoire

Conclusion

L'énergie est au centre de l'économie pour tous les pays et à la base de toute activité humaine, ces sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire une demande toujours croissant.

Dans ce chapitre précédent nous avons présenté le système photovoltaïque, l'énergie solaire photovoltaïque et les différents systèmes photovoltaïques (systèmes autonomes, système autonome sans stockage électrochimique, système autonome avec stockage électrochimique, systèmes Hybrides, système PV connecté au réseau électrique).

Nous avons aussi présenté le fonctionnement de la cellule photovoltaïque puis les convertisseurs statiques (hacheur, onduleur), et les éléments de stockages tels que le type de stockage généralement utilisé dans ce système est la batterie au plomb L'utilisation de ces batteries à l'échelle saisonnière est inenvisageable. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leur durée de vie. En fin on a terminé avec une conclusion.

Introduction

Après avoir étudié et cité les différents composants de système à étudier, nous procédons à la modélisation de ce dernier, ce qui nécessite un ensemble d'équations caractérisant chaque élément du système.

Dans ce chapitre, nous représenterons une modélisation du système photovoltaïque. Cette modélisation sera faite en utilisant l'environnement (MATLAB/SIMULINK).

Puis nous faisons un petit dimensionnement du système que nous modélisons.

II.1 Description du système à étudier

Le système à étudier est constitué de modules photovoltaïques, un convertisseur DC/DC (de Type survolteur), ce dernier est commandé par un signal provenant du bloc MPPT, une batterie et la charge.

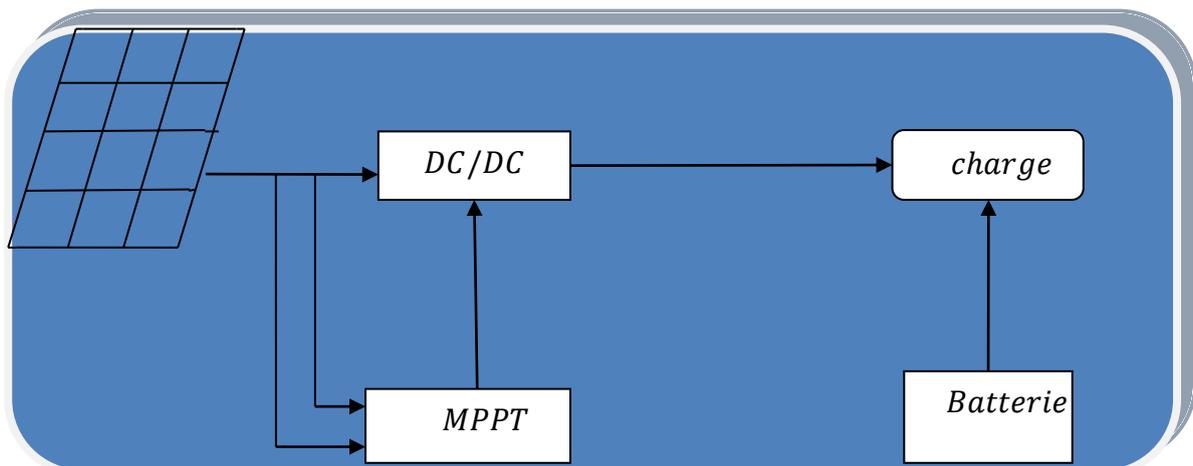


Fig. II.1 : Schéma de système étudié.

- Les panneaux photovoltaïques : permettent l'alimentation de la charge
- Le convertisseur DC/DC : permet d'obtenir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.
- La commande MPPT : permet d'extraire la puissance maximale produite par les Modules photovoltaïques.
- Les batteries pour stocker de l'énergie.

II.2 Modélisation du panneau photovoltaïque

Il existe de nombreux modèles mathématiques de générateur photovoltaïque, que l'on trouve dans la littérature qui décrivent le fonctionnement et le comportement du générateur photovoltaïque, mais en a choisie le modèle a une diode. [14]

II.2.1 Le modèle à une diode [14]

Pour tenir compte des chutes de tension dans la zone P et N, on doit ajouter, au modèle idéaliste, une résistance série R_s et pour le courant de fuite, une résistance parallèle R_p , comme illustrer sur le schéma suivant :

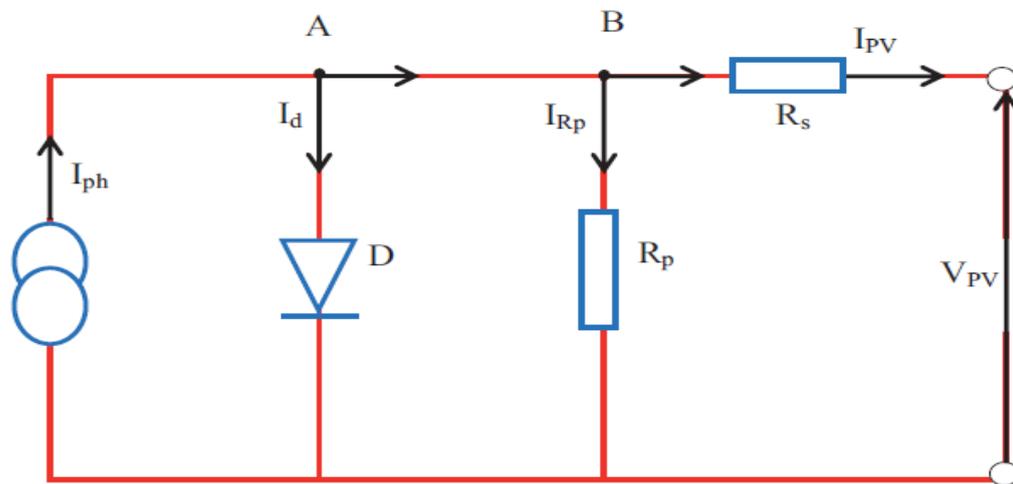


Fig. II.2 : Schéma équivalent du modèle à une diode.

Le courant généré par le module est donné par la loi de Kirchhoff :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_d - I_{rp} \dots\dots\dots (II.1)$$

Avec :

$$I_{ph} = P_1 * G * [1 + P_2 * (G - G_{stc}) + P_3(T - T_{stc})] \dots\dots\dots (II.2)$$

Avec : P1, P2, P3 : paramètres constants.

Le courant de la diode est donné par:

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{A N_s K T}} - 1 \right) \dots\dots\dots (II.3)$$

I_s est le courant de saturation il est fortement dépendant de la température ; il est donné par :

$$I_s = P_4 \cdot T^3 e^{\frac{-E_g}{kT}} \dots\dots\dots (II.4)$$

Le courant dans la résistance parallèle est calculé par :

$$I_{RP} = \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_p} \dots\dots\dots (II.5)$$

Ns : nombre de cellules en série dans un module.

q : la charge d'électron $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Eg : énergie de gap pour le silicium cristalline 1.12 ev.

Le modèle à une diode est le modèle choisi pour le reste de nos simulations, vu qu'il est le Plus utilisé. En raison de sa simplicité, il permet d'exprimer l'intensité d'un module PV en fonction de la tension à ses bornes et des conditions climatiques (ensoleillement et température ambiante).

II.3 Bloc SIMULINK du modèle à une diode

Le bloc réalisé en utilisant l'environnement MATLAB/SIMULINK est représenté sur figure (II.3). Les caractéristiques courant-tension et puissance-tension ont été obtenues pour des conditions standards de fonctionnement (ensoleillement 1000 w/m^2 et température 25°C). Les paramètres (I_{cc} , I_{mpp} , V_{co} , V_{mpp}) sous les conditions standards de fonctionnement ($G_{stc}=1000 \text{ W/m}^2$, $T_{stc}=25^\circ\text{C}$) sont fournis par le constructeur de panneaux photovoltaïque et énuméré dans le tableau (II.1).

Puissance max du panneau Pppm	80W
Courant au point de puissance max Ippm	4.85A
Tension au point de puissance max Vppm	17.5V
Courant de court-circuit Icc	4.95A
Tension en circuit ouvert Voc	21.9V
Coefficient d'incrémentation du courant	3.00mA/°C
Coefficient d'incrémentation de la tension	-150mV/°C

Tableau II.1 : Caractéristiques du panneau utilisé SUNTECH STPO80S-12/Bb

Afin de retrouver les caractéristiques principales de notre panneau photovoltaïque, nous avons créé le modèle mathématique cité précédemment (modèle à une diode) sous conditions STC avec l'environnement Matlab/Simulink :

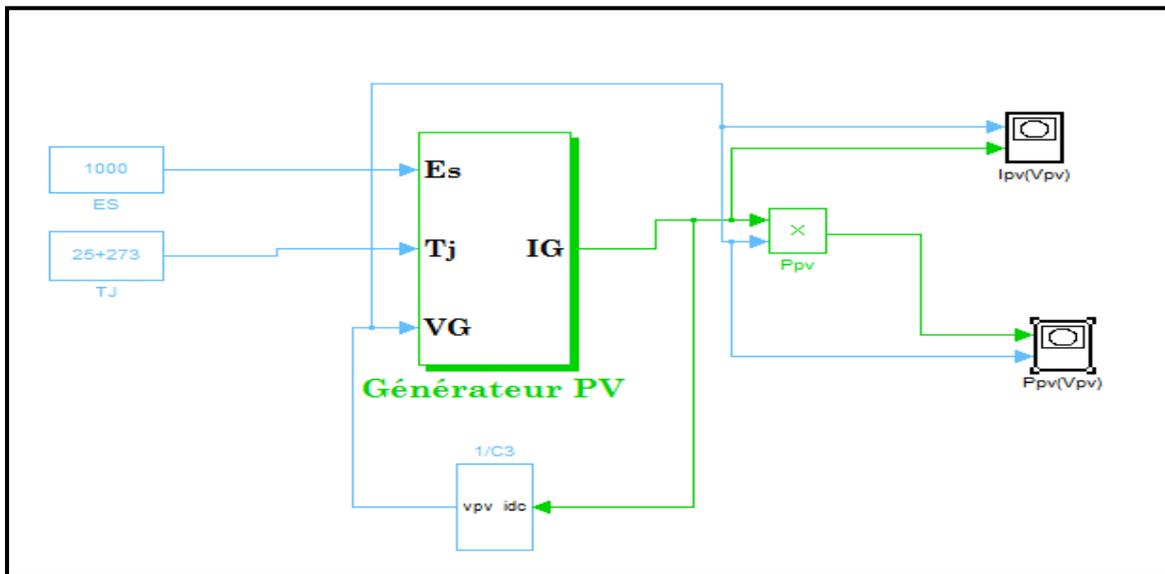


Fig. II. 3 : Schéma bloc du modèle à une diode.

II.3.1 Caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ dans des conditions STC

Nous allons étudier le comportement de notre panneau photovoltaïque dans les conditions standard de fonctionnement a ensoleillement $G = 1000W/m^2$ et a température $T = 25C^\circ$:

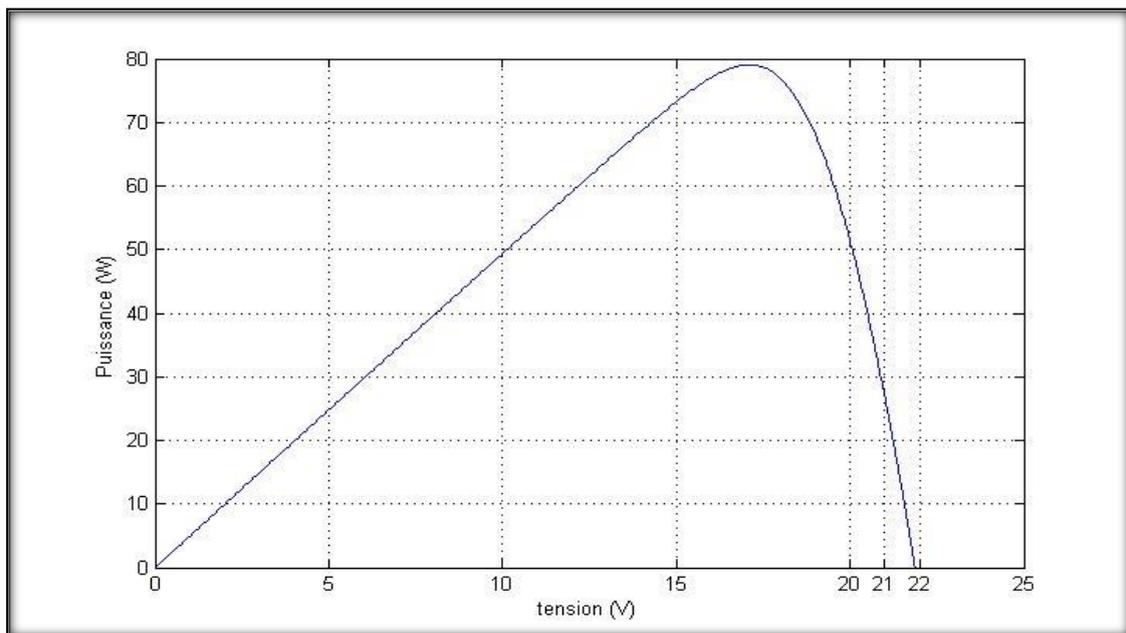


Fig. II.4 : Caractéristique $P_{pv}=f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{stc}=1000w/m^2, T_{stc}=25^\circ C$

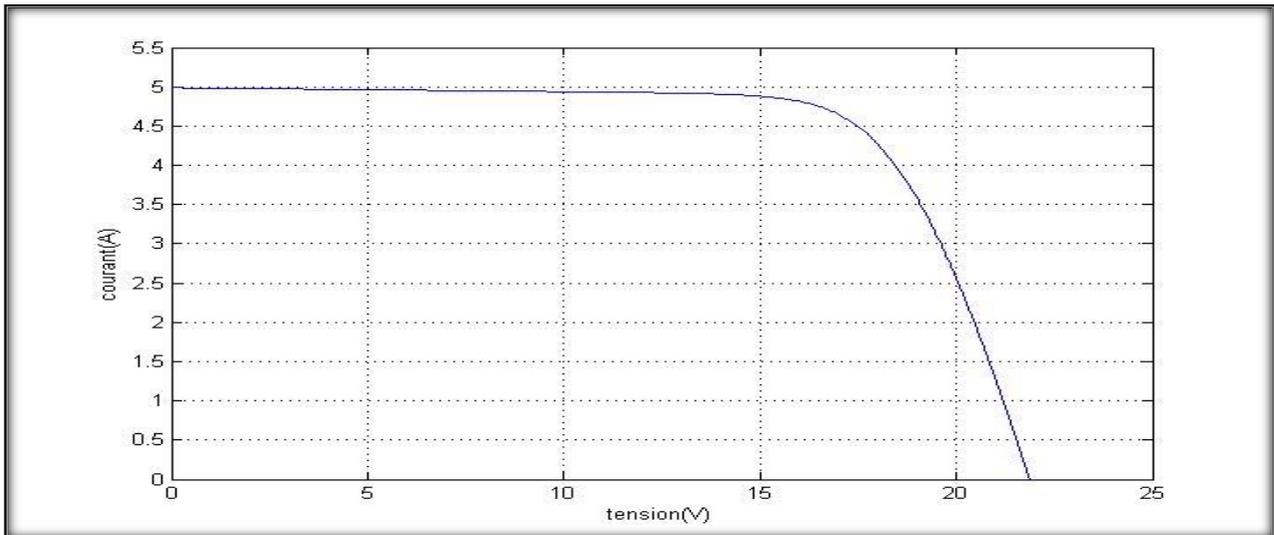


Fig. II.5 : Caractéristique $I_{pv} = f(V_{pv})$ dans les conditions : $G_{stc}=1000\text{w/m}^2, T_{stc}=25^\circ\text{C}$

Avec les résultats de simulation retrouvés, nous avons pu valider le modèle à une diode. Les résultats des caractéristiques Puissance-Tension et Courant- Tension correspondent parfaitement au comportement d'un panneau photovoltaïque. Les valeurs I_{cc} , I_{ppm} , V_{co} , V_{ppm} ainsi que P_{ppm} sont les valeurs exactes du Tableau II.1 donné précédemment. Nous allons passer dans ce qui suit à l'étude de l'influence des paramètres d'entrées : température et ensoleillement.

A- Influence de l'ensoleillement sur les caractéristiques du module photovoltaïque

Dans ce qui suit, les simulations ont été faites pour différentes valeurs d'ensoleillement ($G=300, 500, 700, 1000\text{w/m}^2$) en maintenant la température constante $T_a=25^\circ\text{C}$. Pour chaque ensoleillement nous déterminons la caractéristique courant/tension Figure(II.6) ainsi que pour la caractéristique puissance/tension Figure(II.7).

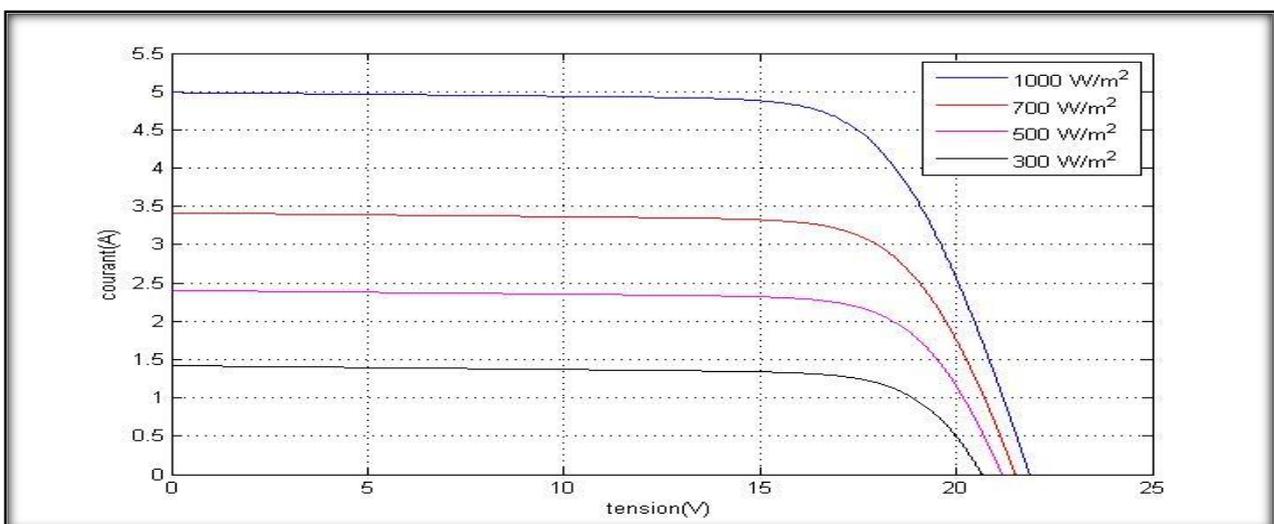


Fig. II.6 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$

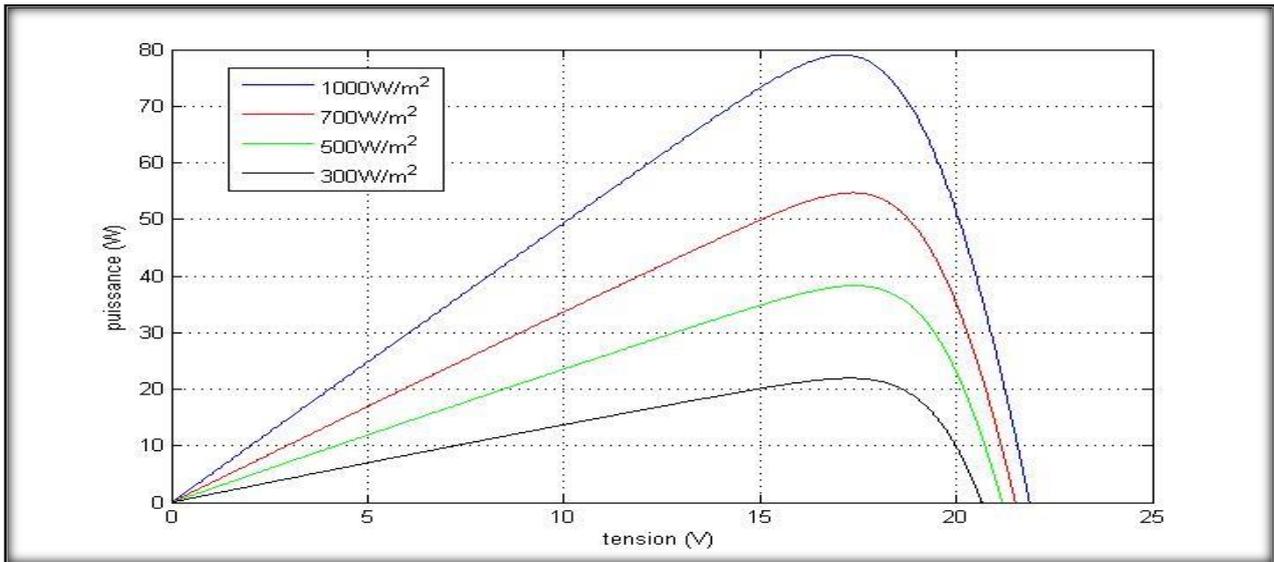


Fig. II.7 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$

Les conclusions tirées de cette variation sont les suivantes :

- Le courant de circuit-ouvert I_{cc} et la puissance varie proportionnellement à l'ensoleillement G .
- La tension à vide V_{oc} varie peu avec l'ensoleillement pouvant être considérée comme constante pour une installation donnée.

B- influence de la température sur les caractéristiques du module Photovoltaïque

Nous allons effectuer d'autres test, mais cette fois ci en faisant varier la valeur de la température ambiante ($T_a=25, 40, 55, 70$). Nous obtenons les courbes suivantes (II.8 et II.9) :

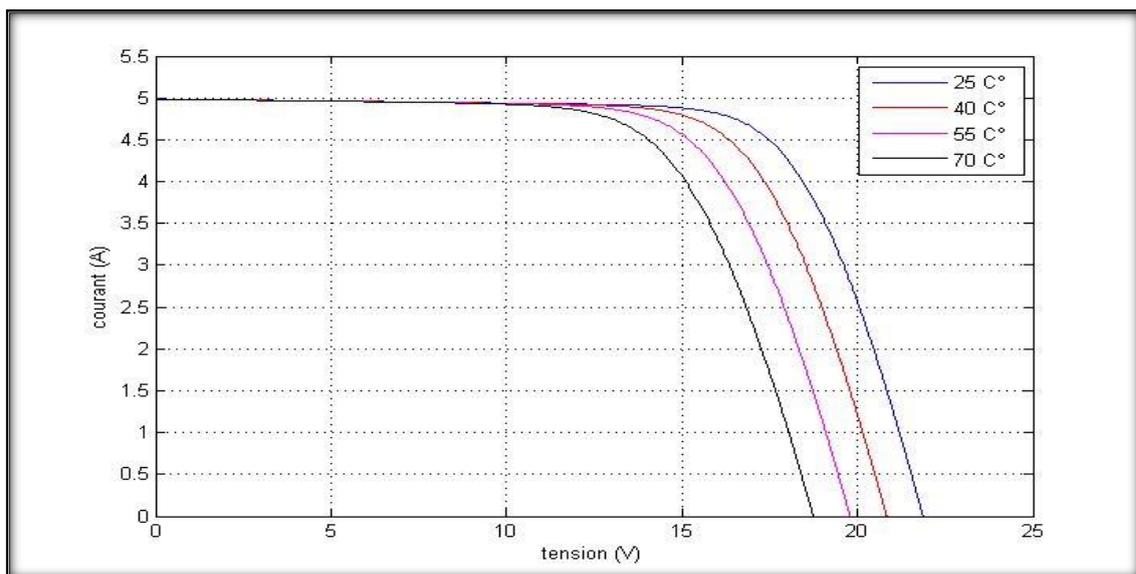


Fig. II.8 : Influence de la température sur la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$

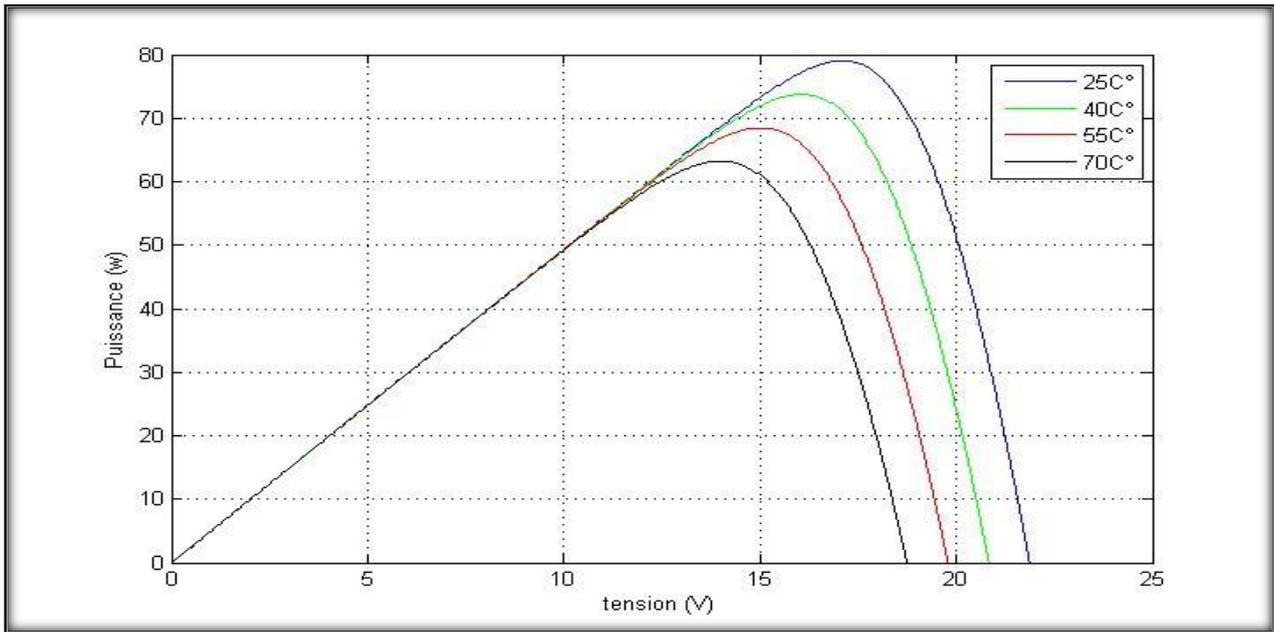


Fig. II.9 : Influence de la température sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$

Les conclusions tirées de cette variation sont les suivantes :

- En faisant varier la température de 25°C à 70°C, nous remarquons que le courant de court circuit I_{cc} et la puissance P_{pv} est presque dépendant de la température.
- En revanche, la tension de circuit ouvert V_{oc} diminue lorsque la température augmente.

II.3.2 Groupement des panneaux photovoltaïques

Pour une association de panneaux PV en sérié, en parallèle le nous avons les résultats de simulation suivant :

A-association en sérié

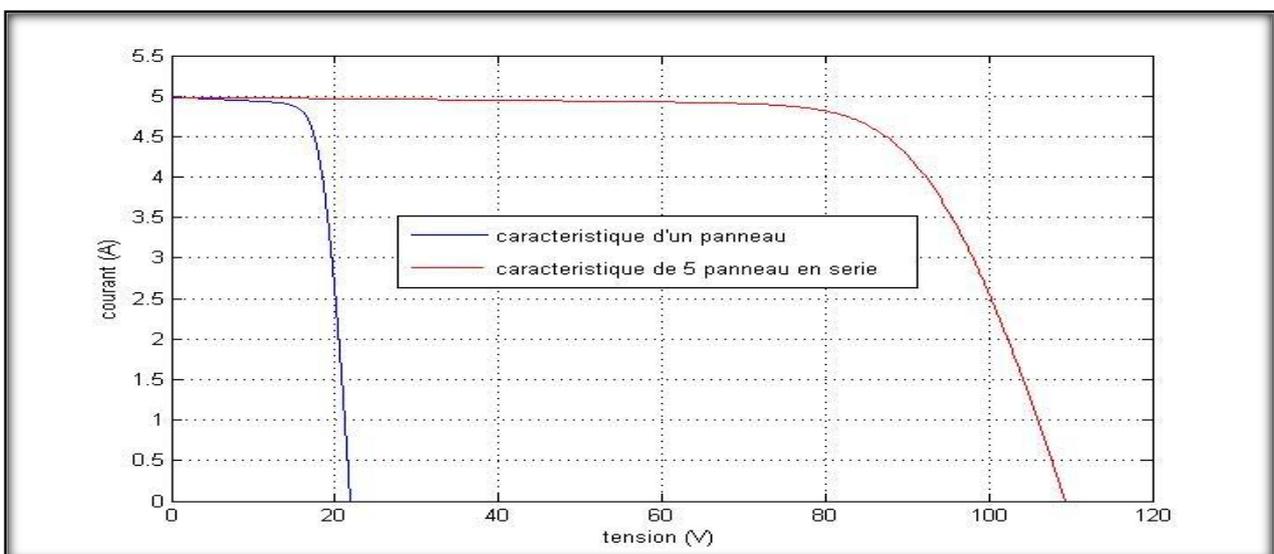
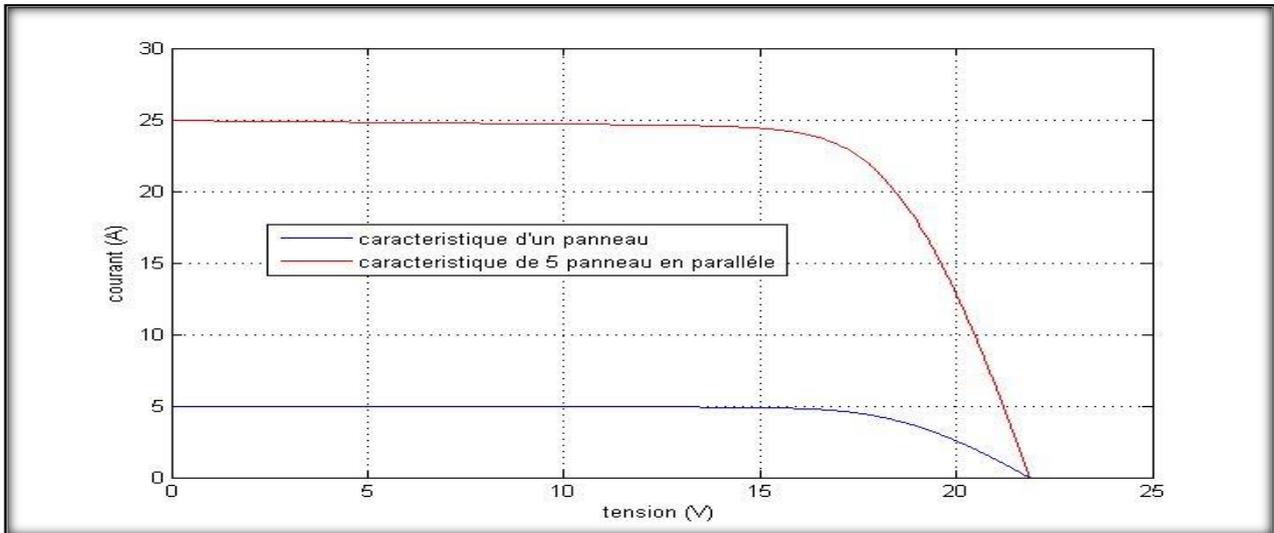


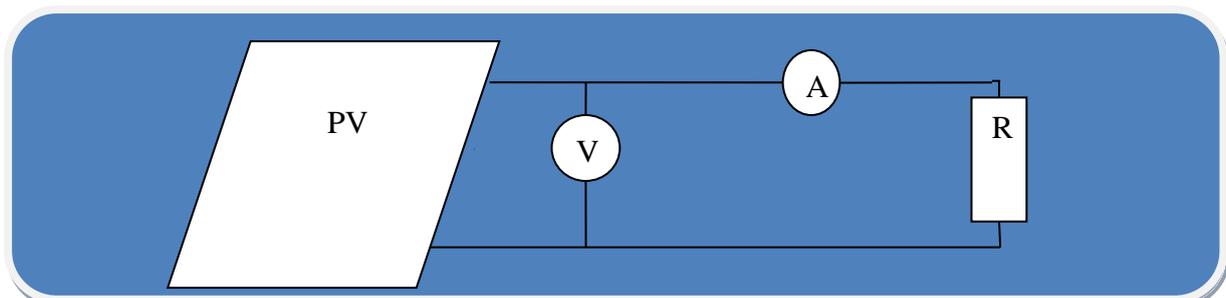
Fig. II.10 : caractéristique courant tension de N_s panneaux en sérié.

B-association en parallèle**Fig. II.11** : caractéristique courant tension de N_p panneaux en parallèle.

La caractéristique résultat du groupement en série est obtenus par addition des tension a courant donné .la figure (II.10) montre la caractéristique résultat obtenus en associant en série $N_s=5$ panneaux identiques .Alors que dans un groupement en parallèle les panneaux sont soumis a la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenu par addition des courant a tension donnée la figure (II.11) montre la caractéristique résultat obtenus en association en parallèle $N_p=5$ panneaux identique de 80W afin d'obtenir une puissance de 400W .

II.4 Simulation, Comparaison de modèle une diode avec la méthode volt-Ampère-métrique**II.4.1 Méthode Volt- Ampère-métrique**

La méthode volt-ampère-métrique est souvent utilisée pour valider les résultats de simulation et ceux obtenus par expérimentation. Le principe de cette méthode est de mesurer la tension et le courant à la sortie du panneau photovoltaïque en faisant varier la charge (rhéostat). Le montage réalisé est représenté sur la figure :

**Fig. II.12** : Montage Vol-Ampère-métrique

II.4.2. Résultats de Simulation et Comparaison

Nous avons simulé le modèle mathématique du module photovoltaïque cité précédemment, nous avons fait la comparaison avec les résultats obtenus par la méthode volt-ampère-métrique.

Ces résultats sont représentés sur les figures suivantes :

A- Expérimental

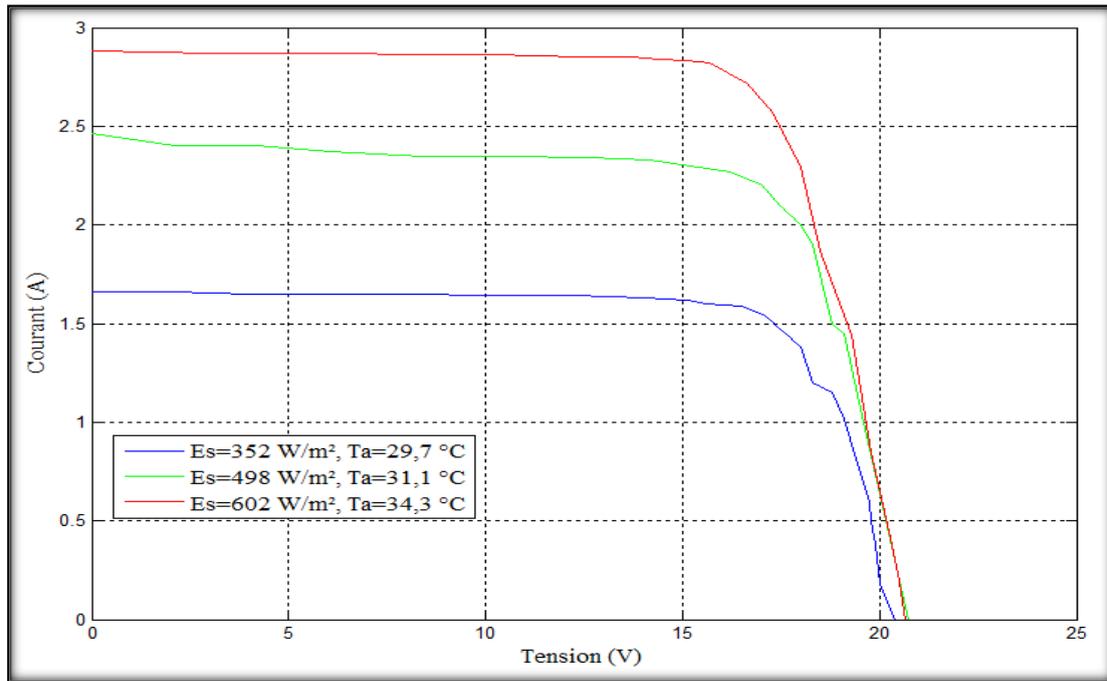


Fig. II.13 : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $I_{pv}(V_{pv})$.

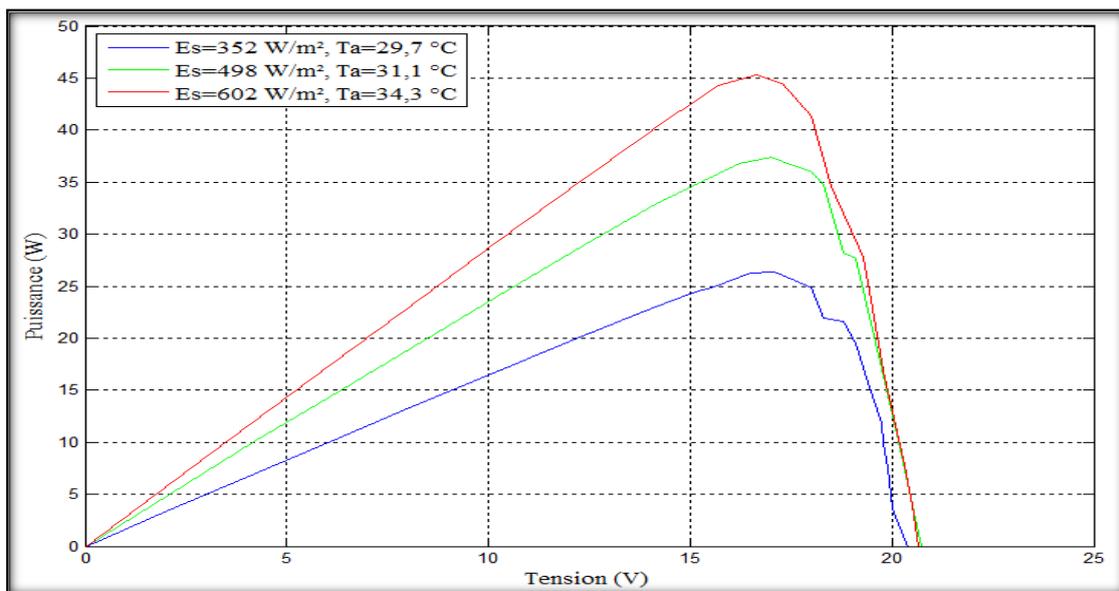
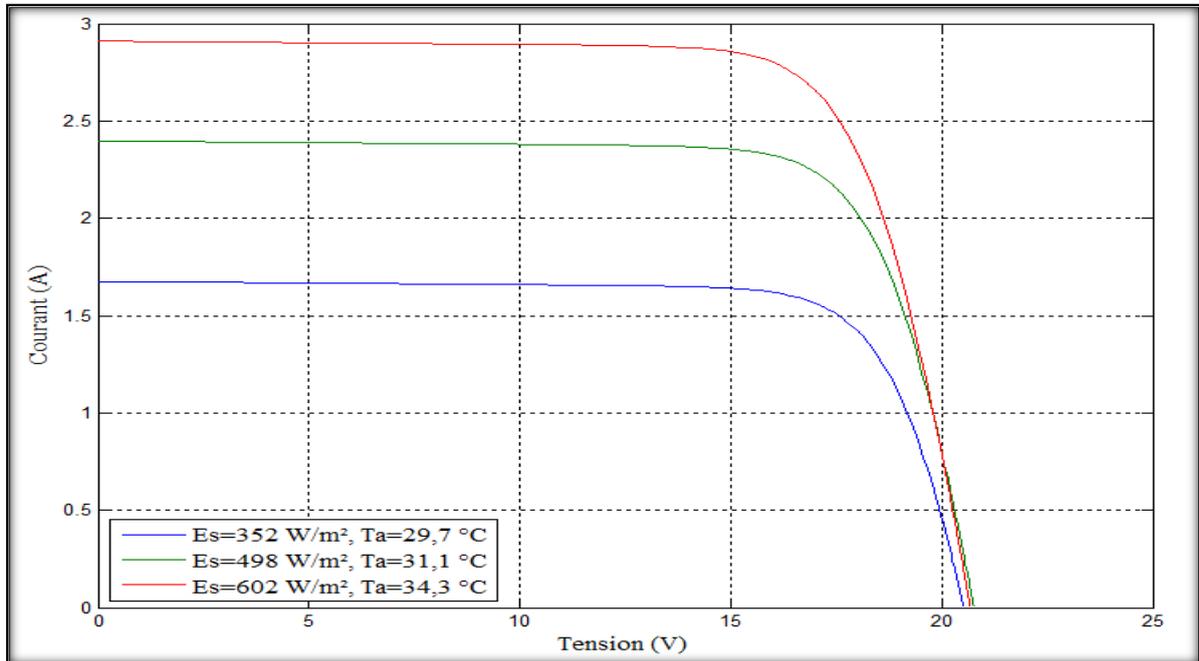
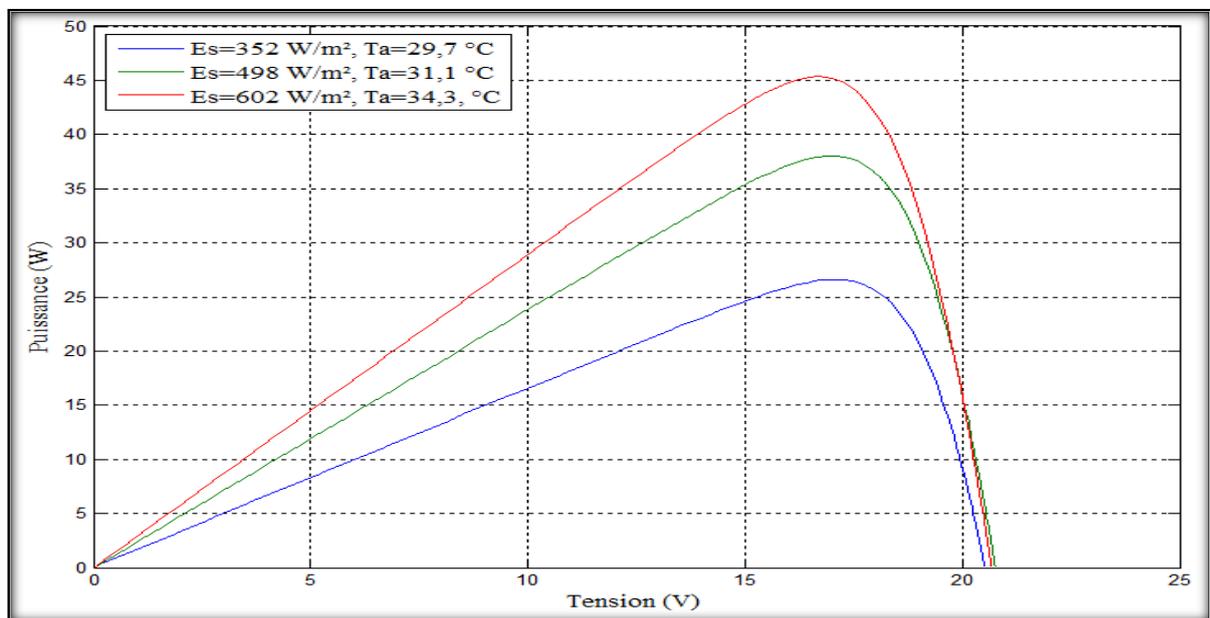


Fig. II.14 : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $P_{pv}(V_{pv})$.

B- Modèle une diode**Fig. II.15** : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $I_{pv}(V_{pv})$.**Fig. II.16** : le cas d'un faible et moyenne et fort ensoleillement $P_{pv}(V_{pv})$.**II.4.3 Discussion des résultats**

Le modèle mathématique développé précédemment est utilisé pour imiter le comportement d'un générateur photovoltaïque pour différentes conditions climatiques, il est très clair d'après les résultats que le modèle à une diode présente une erreur de puissance plus élevée

par rapport au moyen et fort ensoleillement comme il présente aussi une erreur plus élevée dans le courant en fort ensoleillement.

II.5 Modélisation du hacheur survolteur (BOOST)

Lorsque l'on désire augmenter la tension d'une source continue, on peut utiliser le hacheur parallèle élévateur (BOOST), appelé également hacheur survolteur. [15]

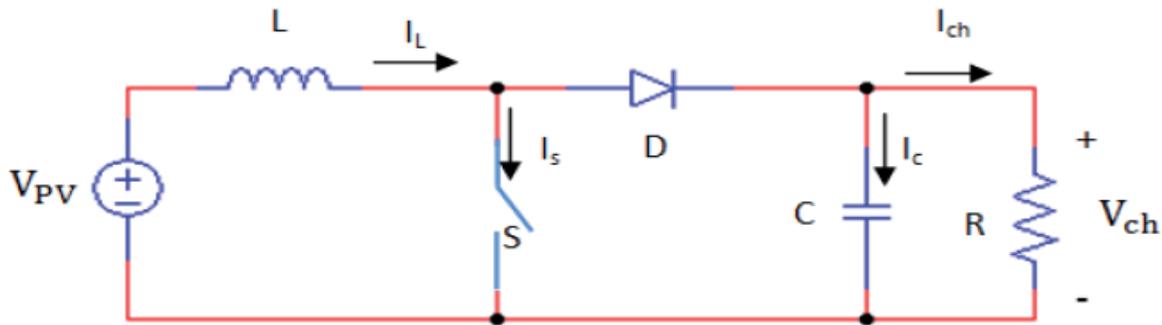


Fig. II.17 : Circuit électrique du hacheur <<Boost>> [15]

Ce dispositif électronique de puissance qui est un convertisseur continu-continu nous permet d'adapter la tension aux bornes du panneau photovoltaïque à partir d'une stratégie de commande permettant un fonctionnement au point de puissance maximale [16].

D'après la figure (II.17) du hacheur survolteur :

Lorsque l'interrupteur (S) est fermé :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} \dots\dots\dots (II.6)$$

$$0 = C \frac{dV_{ch}}{dt} + I_{ch} \dots\dots\dots (II.7)$$

Lorsque l'interrupteur (S) est ouvert:

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} + V_{ch} \dots\dots\dots (II.8)$$

$$I_L = C \frac{dV_{ch}}{dt} + I_{ch} \dots\dots\dots (II.9)$$

En posant $u = 1$ lorsque l'interrupteur S est fermé et $u = 0$ pour S ouvert, nous pouvons représenter le convertisseur par un système d'équations unique. En valeurs moyennes, la tension de sortie est en fonction de la tension d'entrée et du rapport cyclique. Son expression est donnée par l'équation (II.10). La régulation de la tension de sortie se fait alors en contrôlant le rapport cyclique α [15].

$$V_{ch} = \frac{1}{1-\alpha} V_{pv} \dots\dots\dots (II.10)$$

$$I_{ch} = (1 - \alpha) I_L \dots\dots\dots (II.11)$$

II.6 Recherche du point de puissance maximale

Dans un système comprenant une source et une charge la recherche du point de fonctionnel optimal par des techniques d'optimisation est très importante .dans les cas du photovoltaïque cette démarche est plus complexe du fais que la caractéristique des cellules dépend fortement de l'ensoleillement et de la température ambiante entre autre il faut trouver un dispositif permettent de fonctionner a tout moment suivant le point de fonctionnement optimal.

Dans notre cas, on a opte pour la méthode P&O (perturbe and observe) qui est largement utilisée, elle se base sur le principe suivant :

On mesure les caractéristiques (puissance et tension) des panneaux PV puis on induit une petite perturbation sur la tension afin d'analyser la variation de puissance qui en résulte comme indique précédemment la tension aux bornes des panneaux est volontairement perturbée (augmentée ou diminuée)avec une constante (C)puis la puissance est comparée a celle obtenu avant perturbation précisément, si la puissance aux borne des panneaux est augmentée a cause de la perturbation , la perturbation suivante est faite dans la même direction réciproquement si la puissance diminue la nouvelle perturbation est réalisée dans les sens oppose , on présente ci-dessous le diagramme de l'algorithme P&O .[17]

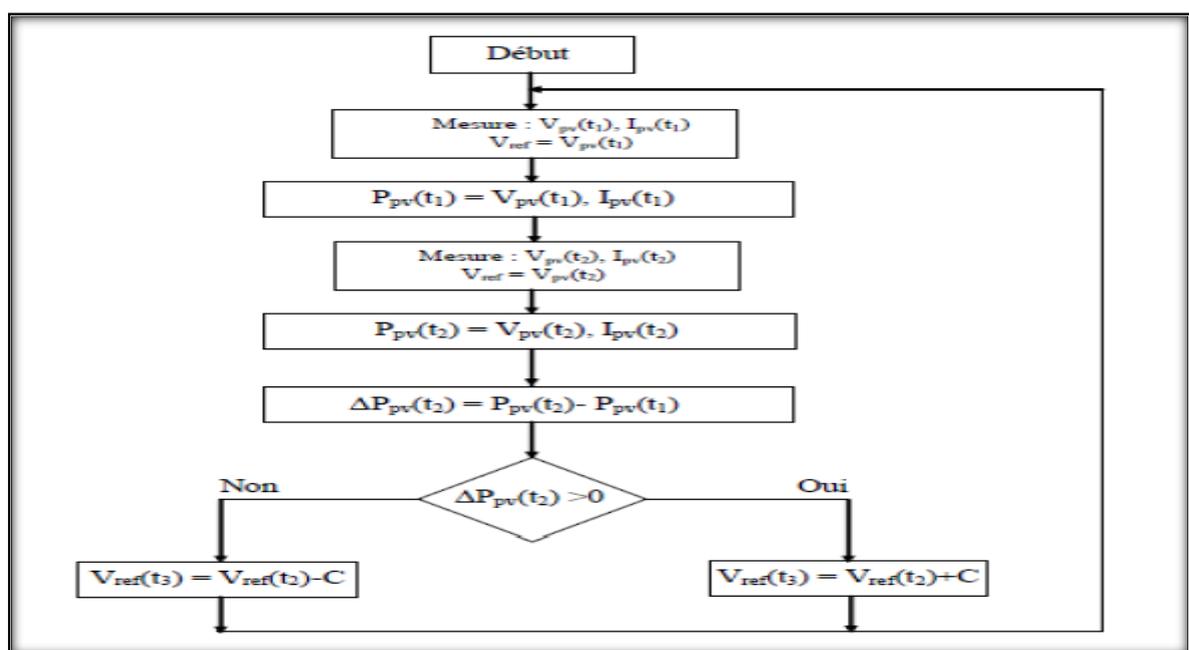


Fig. II.18 : Diagramme de la l'algorithme P&O. [17]

La méthode P&O présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du MPP qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du MPP doit être répétée périodiquement obligeant le système à osciller en permanence autour du MPP ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. [18]

II.7 le modèle CIEMAT

Le choix d'un modèle mathématique qui simplifie le comportement de la batterie est déterminé par le type des problèmes à étudier ce modèle peut être considéré simplement pour effectuer une analyse des divers flux d'énergie se faisant à l'intérieur et à l'extérieur de la batterie. [19]

Le modèle est basé sur le schéma suivant (figure II.19) où la batterie est décrite par seulement deux éléments : une source de tension et une résistance interne dont les valeurs dépendent d'un certain nombre de paramètres.

Le modèle mathématique donné par l'équation (II.12), décrivant au mieux les phénomènes physiques de la charge et de la décharge est donné ci-après :

$$U_{bat} = N_b E_b \pm N_b R_i I_{bat} \dots\dots\dots (II.12)$$

Avec :

U_{bat} : Tension de la batterie.

N_b : Nombre de cellule constituant la batterie.

E_b : La force électromotrice, elle est fonction de l'état de charge de la batterie (EDC).

I_{bat} : Courant de la batterie.

R_i : La résistance interne d'une cellule de la batterie, elle est variable en fonction de l'état de charge.

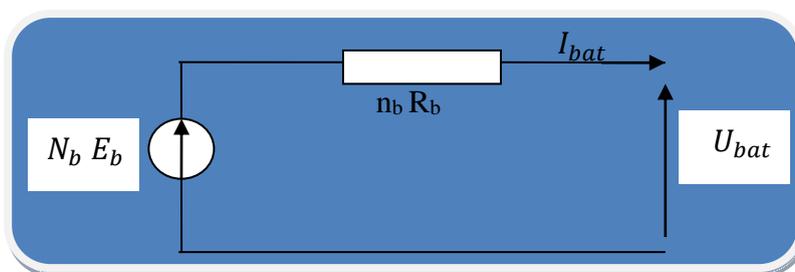


Fig. II .19 : Schéma équivalent de N_b éléments en série. [18]

II.7.1 équation de modèle CIEMAT

II.7.1.1 la capacité

Pour ressortir les phénomènes physique qui régissent le fonctionnement du système de stockage, par le biais de la capacité, selon les modèle propose dans la littérature, il faudrait tenir compte de la température .le modèle de la capacité, donnant la quantité d'énergie qui peut être restituée en fonction du courant moyenne de décharge I_{moy} , est donne par l'équation suivant.

[19]

$$\frac{C_{batt}}{C_{10}} = \frac{1.67}{1+0.67 \cdot \left(\frac{I_{moy}}{I_{10}}\right)^{0.9}} * (1 + 0.005 * \Delta T) \dots\dots\dots (II .13)$$

Où :

ΔT : Représente le réchauffement de l'accumulateur par rapport une température ambiante de 25°C.

C_{10} : C'est la capacité de la batterie déchargée en 10 heures.

I_{10} : Le courant de décharge en 10 heures.

ΔT : L'échauffement de la batterie.

II .7.1.2 l'état de charge

La capacité C_{bat} sert de référence pour déterminer l'état de charge (EDC) de la batterie. Ce dernier sera formulé en fonction de la quantité de charge manquante à la batterie, Q_d .

$$EDC = 1 - \frac{Q_d}{C_{bat}} \dots\dots\dots (II .14)$$

Dont Q_d est calculé par la fonction suivante :

$$Q_d = I_{bat} * t \dots\dots\dots (II .15)$$

Avec :

t : la durée de fonctionnement de la batterie avec un courant I_{bat} .

II .7.1.3 Tension de la batterie en régime de charge

L'équation de la tension en régime de charge est comme suit, elle est en fonction de l'état de charge et du courant de la batterie.

$$V_{\text{bat_char}} = n_b \cdot [2 + 0,16 \cdot \text{EDC}] + n_b \cdot \frac{|I_{\text{bat}}|}{C_{10}} \cdot \left(\frac{6}{1+|I_{\text{bat}}|^{0,86}} + \frac{0,48}{(1-\text{EDC})^{1,2}} + 0,036 \right) \cdot (1 - 0,025 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (\text{II} .16)$$

II .7.1.4 Tension de la batterie en régime de décharge

L'équation de la tension en régime de décharge est comme suit, elle est en fonction de l'état de charge et du courant de la batterie.

$$V_{\text{bat_déch}} = n_b \cdot [1,965 + 0,12 \cdot \text{EDC}] - n_b \cdot \frac{|I_{\text{bat}}|}{C_{10}} \cdot \left(\frac{4}{1+|I_{\text{bat}}|^{0,8}} + \frac{0,27}{(\text{EDC})^{1,5}} + 0,02 \right) \cdot (1 - 0,007 \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (\text{II} .17)$$

II .7.1.5 Resistance de la batterie

La résistance interne de la batterie n'est pas une valeur constante, elle varie selon l'état de charge, la température et l'état de vieillissement .de façon générale, la résistance interne d'une batterie augmente quand l'état de charge croit de même, pour un état de charge donne la résistance interne d'une batterie augmente quand la batterie vieillit. [19]

A-résistance en décharge

L'équation de la résistance de la batterie pendant la décharge est la suivante :

$$R_d = \frac{1}{C_{10}} \times \left(\frac{4}{1+|I_{\text{bat}}|^{1,3}} + \frac{0,27}{\text{EDC}^{1,5}} + 0,02 \right) \times (1 - 0,007 \Delta T) \dots\dots\dots (\text{II} .18)$$

B-résistance en charge

Pendant la charge la résistance de la batterie est la suivante :

$$R_d = \frac{1}{C_{10}} \times \left(\frac{6}{1+|I_{\text{bat}}|^{0,86}} + \frac{0,48}{(1-\text{EDC})^{1,2}} + 0,036 \right) \times (1 - 0,025 \Delta T) \dots\dots\dots (\text{II} .19)$$

II .7.1.6 Rendement de charge et de décharge

Le rendement coulombien en décharge est suppose être 100% ($n_{cb-d} = 1$).

Le rendement coulombien en charge il dépend fortement de taux de charge il a une valeur voisine de 100 % pour de faibles courants de charge et un faible état de charge, puis il se dégrade lorsque nous approchons de la pleine charge. [20]

$$\eta_{cb-c} = \exp\left(\frac{20,73}{\frac{I_{bat}}{I_{10}} + 0,55}\right) \times (EDC - 1) \dots \dots \dots (II .20)$$

II.8 Onduleur [21]

L'alimentation du moteur asynchrone doit être alternatif, c'est pour cette raison qu'on a fait appel à un convertisseur continu alternatif (DC/AC) onduleur, en effet dans notre application on utilisera une source principale (panneau photovoltaïque) qui délivre une tension continue qui sera convertie grâce à l'onduleur monophasé.

Le convertisseur utilisé est en pont H équipé de quatre interrupteurs de puissance comme le montre la figure (II.20) :

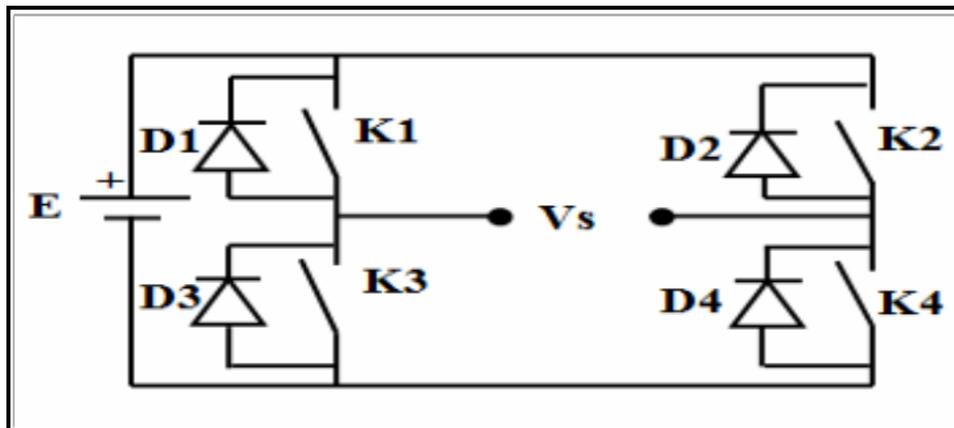


Fig. II.20 : Schéma électrique équivalent d'un onduleur

- E: Tension Continue.
- K1, K2, K3, K4: Transistor de puissance.
- Vs : Tension de sortie onduleur alternatif monophasé.

- D1, D2, D3, D4 : Diode de roue libre.

Les signaux de commande des interrupteurs K1 et K4, K2 et K3 sont complémentaires.

$$V_s = E \times (K1 - K3) \dots \dots \dots (II.21)$$

Le bloc de la figure ci-dessous a été réalisé sous MATLAB avec les équations précédentes

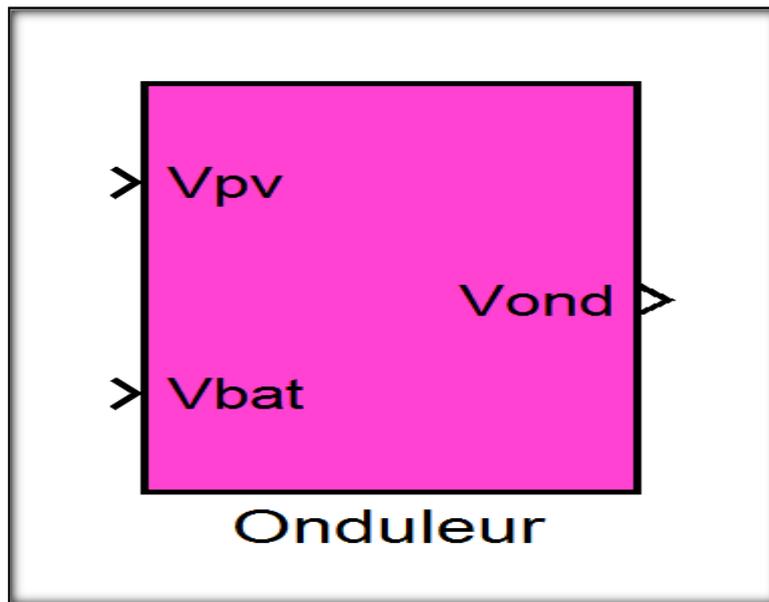


Fig. II.21 : schéma bloc de l'onduleur

II.9 dimensionnement de système PV étudié

A- Dimensionnement des Panneaux photovoltaïques

Le dimensionnement des panneaux PV se fait suivant la formule suivante :

$$P_{pv,tot} = \frac{B_j}{E_s C_p} \dots \dots \dots (II.22)$$

$$N_{pv} = \frac{P_{pv,tot}}{P_{pv,uni}} \dots \dots \dots (II.23)$$

Avec :

$P_{pv,tot}$: Puissance totale panneaux PV [W].

B_j : Les besoins énergétiques journaliers [Wh].

E_s : Rayonnement moyenne quotidien du mois le plus défavorable : E_s [KW/m²/j].

C_p : Coefficient de perte.

N_{pv} : Nombre de panneaux de PV.

$P_{pv,uni}$: Puissance d'un panneau PV.

B- Dimensionnement des batteries

La détermination de la taille des batteries se fait comme suit :

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé
$C_{batt} = \frac{B_j \cdot Aut}{U_{batt} P_{DD} \eta_b}$	$N_{bat} = \frac{C_{bat}}{C_{bat,u}} \quad C_{bat,u}=100 \text{ Ah}$
$C_{batt} = 128,472 \text{ Ah}$	$N_{bat} = 2 \text{ batterie en parallèle}$

Tableau II.2 : dimensionnement des batteries.

Avec :

C_{batt} : La capacité nominale des batteries [Ah].

Aut : Le nombre de jour d'autonomie.

U_{batt} : La tension nominale des batteries [V].

P_{DD} : La profondeur de décharge des batteries.

η_b : Rendement de la batterie.

C- Dimensionnement des câbles

Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=1m)	$I = 1.25 \times I_{CC} \quad I = 1.25 \times 4.95 \Rightarrow I = 6.18 \text{ A}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} \quad S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 6.18}{0.02 \times 17.5} \Rightarrow S = 0.56 \text{ mm}^2$ <p>Donc on choisi le câble de S= 1.5 mm²</p>
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=20m)	$I = I_{pv} \times N_{pv} \quad I = 4.58 \times 5 \Rightarrow I = 22.9 \text{ A}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} \quad S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 20 \times 22.9}{0.02 \times 17.5} \Rightarrow S = 20.93 \text{ mm}^2$ <p>Donc on choisi le câble de S= 25 mm²</p>
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries (L= 3)	$V_{batt} = N_{batt} \times V_{batt,u} \text{ (2 batteries seront branché parallèle)}$ $V_{batt} = 12 \times 1 = 12 \text{ V} \quad 1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{pv}} \Rightarrow \frac{12}{17.5} = 0.68$ $I_{bat} = \frac{I}{1 - \alpha} \Rightarrow \frac{22.9}{0.68} = 33.67 \text{ A}$ $S = \frac{\rho \times I_{bat} \times L}{\Delta v \times V_{bat}} \quad S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 33.67 \times 3}{0.02 \times 12} = 6.73 \text{ mm}^2$ <p>Donc on choisi le câble de S= 10 mm²</p>
Section des câbles entre l'onduleur et la charge (L=10m)	$s = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \delta \times I_B}{\Delta v \times V} = 50 \text{ mm}^2$

Tableau II.3 : Dimensionnement des câbles.

Notre système sera dimensionné pour satisfaire à une pompe de 370W.

D'après les calculs, les batteries doivent ainsi avoir une capacité de 100 Ah on utilise alors deux batterie de (12V ,100Ah), montées en parallèle.

Pour assurer la fourniture d'énergie électrique a la charge les panneaux PV devront avoir une puissance total de 400W (5 panneaux de 80 W montée en parallèle) et le stockage une capacité nominal de 100Ah.

Une pompe : P_{pom} (W)	370
Rayonnement moyenne quotidien du mois le plus défavorable : E_s [KW/m ² /j].	2.2
Tension du bus continu : U_{batt} [V].	12
Nombre de jour d'autonomie : Aut	3
Rendement de la batterie : η_b	0.9
Coefficient de perte : C_p	0.65
La profondeur de décharge des batteries : P_{DD}	0.8
Puissance des panneaux PV (W)	400
Capacité nominale des batteries (Ah)	100Ah

Tableau II.4 : caractéristique du système PV étudié.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, un modèle de panneaux PV appelé modèle a une diode qui tient compte de la variation d'ensoleillement ainsi que celle de la température .pour valider ce modèle nous l'avons simulé en utilisant le modèle mathématique déjà décrit auparavant afin de terminer ses déférentes caractéristiques.

Ensuite nous avons proposé et dimensionné un système photovoltaïque autonome fonctionne en MPPT, assurant le stockage d'énergie électrique au moyen de batterie qui maintiennent la continuité du transfert d'énergie a la charge.

Introduction

On estime qu'actuellement plus de deux milliards de personnes ne sont pas reliées au réseau électrique et ne le seront pas dans un proche avenir pour des questions de rentabilité liée à l'éloignement, à la faible densité de population.

Pour ces populations, les systèmes solaires autonomes peuvent jouer un rôle très important (éclairage, Pompage...etc.).

Pour alimenter une maison ou une école isolée en énergie solaire, il faudrait prévoir la production et le stockage de l'électricité pour l'éclairage, les appareils électroménagers et le pompage d'eau. Le chauffage est assuré par un capteur solaire thermique qui sort du cadre de cette étude.

Dans ce chapitre on présentera la pratique en deux parties. La première pour une école et deuxième pour une habitation, avec étude et dimension.

III.1 Première application : ETUDE ET DIMENSIONNEMENT POUR L'ELECTRIFICATION EN PHOTOVOLTAÏQUE D'UNE ECOLE PREMAIRE

III.1.1 cadre général

L'analyse du dossier technique fait ressortir une demande pour l'énergie solaire destinée à alimenter des salles et bureaux avec un bilan de consommation se rapportant à différentes charges.

- 10 Salles des cours
- 01 Administration
- 01 Réfectoire
- 01 Sanitaire
- 01 Sonnette
- 01 Loge de gardien
- 07 éclairages extérieurs
- 01 Bibliothèque

Équipements	Nombre (N)	Puissance (W)	Durée d'utilisation (H)	Énergie journalier NxWxH
Lampes Néo T180	75	18	8	12 960
Lampes Néo T50	18	09	5	1080
Lampes LED E27	13	15	4	900
Micro-ordinateur	04	120	2	480
Imprimante	01	50	1	50
Photocopieuse	01	80	1	80
Data shoot	02	20	1	40
Réfrigérateur	02	12000W/J	24h/24h	2400
Sonnette	01	20	15Mn	5
Extracteurs	02	350	1	700
TOTAL DE CONSOMMATION E_j= Wh				18 065

Tableau III.1 : consommation de la journée

III.2 Dimensionnement de système photovoltaïque

A. Dimensionnement des Panneaux photovoltaïques

Le dimensionnement des panneaux PV se fait suivant la formule suivante :

$$P_{pv,tot} = \frac{B_j}{E_s C_p} \dots\dots\dots (II.21)$$

$$N_{pv} = \frac{P_{pv,tot}}{P_{pv,uni}} \dots\dots\dots (II.22)$$

Avec :

$P_{pv,tot}$: Puissance totale panneaux PV [W].

B_j : Les besoins énergétiques journaliers [Wh].

E_s : Rayonnement moyenne quotidien du mois le plus défavorable : E_s [KW/m²/j].

C_p : Coefficient de perte.

N_{pv} : Nombre de panneaux de PV.

$P_{pv,uni}$: Puissance d'un panneau PV.

B. Dimensionnement des batteries

La détermination de la taille des batteries se fait comme suit :

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé
$C_{batt} = \frac{B_j \cdot Aut}{U_{batt} P_{DD} \eta_b}$	$N_{bat} = \frac{C_{bat}}{C_{bat,u}}$

Tableau III.2 : dimensionnement des batteries.

Avec :

C_{batt} : La capacité nominale des batteries [Ah].

Aut : Le nombre de jour d'autonomie.

U_{batt} : La tension nominale des batteries [V].

P_{DD} : La profondeur de décharge des batteries.

η_b : Rendement de la batterie.

C. Dimensionnement des câbles

Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=1m)	$I = 1.25 \times I_{CC} S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V}$
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=20m)	$I = I_{pv} \times N_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V}$
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries (L= 3)	$V_{batt} = N_{batt} \times V_{batt,u}$ $1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{pv}}$ $I_{bat} = \frac{I}{1 - \alpha}$ $S = \frac{\rho \times I_{bat} \times L}{\Delta v \times V_{bat}}$
Section des câbles entre l'onduleur et la charge (L=10m)	$s = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \delta \times I_B}{\Delta v \times V}$

Tableau III.3: Dimensionnement des câbles.

III.3 détaille de la fourniture

Le système photovoltaïque sera composé de deux générateurs solaire

A. Générateur solaire (01) 4,5kw

B. Générateur solaire (02)..... 2,5kw

III.4 détailles des équipements proposes

Les générateurs proposés sont livrés complets, en assurant nous-mêmes leurs contrôle. La section des câbles d'interconnexion est sélectionnée afin de limiter les chutes de tension à 3%. L'ensemble des batteries, système de régulation et de conversion (DC/AC) seront placés dans les

endroits à prévoir par le client (trappe, local technique, etc.). Tous les câbles destinés à être montés à l'extérieur sont protégés contre les rayons UV.

III.4.1 Le champ solaire : les modules 250w-24v ou équivalents

A. Caractéristiques techniques :

Paramètres	Valeur
Puissance PMPP :	250 Wc
Tension à puissance max :	30.55 V
Intensité à puissance max :	8.19 A
Tension de court-cuit ouvert :	36.67 V
Intensité du court circuit (Isc) :	8,69
Rendement module :	15,37%

Norme :

- Norme TUV , CE
- TÜV Class II

Spécifications techniques :

- 60 cellules au silicium Poly cristallin 156X156mm
- Encapsulant : EVA
- Face avant : Verre trempé
- Face arrière : Tedlar
- Cadre autoportant en aluminium anodisé
- Boîtier de connexion étanche connexion à l'intérieur (type cosses Faston)
- Diodes de protection : 3 by-pass
- Durée de vie importante même dans des conditions extrêmes (**supérieure à 20 ans**)

Garantie du composant : 25 ans

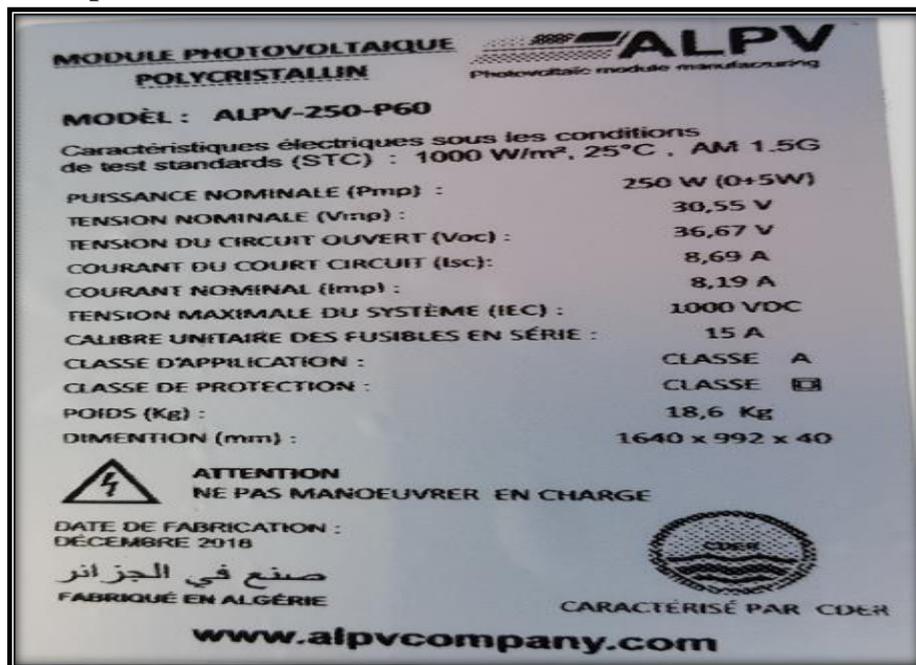


Fig.III.1 : plaque signalétique de panneaux

III.4.2 la boîte de jonction

Les boîtes de jonction panneaux ont pour rôle la connexion en parallèle des branches de modules (4 ou 5 entrées). Elles disposent également d'une sortie vers régulateur avec borniez de mise à la terre.

- Coffret : PVC, étanche IP65.
- Fixation : Sur la structure (Perçages et vis de fixations prévus à la livraison).
- Coffret : Connexion des fusibles dans Chaque string.



Fig. III.2 : la boîte de jonction

III.4.3 la structure de support



Fig. III.3: Structure porteuse de module photovoltaïque

III.4.4 le parc de stockage

Une batterie est un groupe d'éléments électrochimiques interconnectés pour fournir sous une tension nominale et un courant continu de l'énergie à une charge électrique. L'accumulateur électrochimique au plomb est généralement le standard de référence lorsque l'on considère des applications stationnaires. Nous proposons des batteries GEL ou AGM spécifiquement conçues pour les applications photovoltaïques. Ces batteries sont conçues pour supporter des cycles journaliers de charges et de décharges et pour supporter des décharges profondes allant jusqu'à 80% de leur capacité nominale sans dommage. Les batteries sont livrées avec les accessoires d'interconnexion.

Les batteries proposées sont de référence GEL ou AGM, avec les caractéristiques suivantes :

A. Générateur I :

Modèle : GEL ou AGM

Capacité : 200Ah

Tension par élément : 12 V

Norme : °CE ,TUV

Tension de charge d'entretien : 13,6 V ~ 13,8 V @ 25°C

Compensation de température : -3mV / °C / Cell

Tension d'utilisation du cycle Autodécharge : 14,6 V ~ 14,8 V @ 25°C

Compensation de température : -4mV / °C / cellule

B. Générateur II :

Modèle : GEL ou AGM

Capacité : 250Ah

Tension par élément : 12 V

Norme : °CE ,TUV

Tension de charge d'entretien : 13,6 V ~ 13,8 V @ 25°C

Compensation de température : -3mV / °C / Cell

Tension d'utilisation du cycle Autodécharge : 14,6 V ~ 14,8 V @ 25°C

Compensation de température : -4mV / °C / cellule



Fig.III.4 : le parc de stockage

III.4.5 l'onduleur

A partir d'une alimentation en courant continu, les onduleurs de la gamme HYBRID fournissent une tension en sortie de type sinusoïdale en 230 Volts AC.

Cette tension sinusoïdale garantit le fonctionnement optimisé de tous vos récepteurs, même les plus sensibles.

Le rendement très élevé de ces onduleurs assure une utilisation optimale de l'énergie

A. 5000VA/48 : ENTREE : 48 VDC SORTIE : 230 VAC, PUISSANCE : 5000 VA.

B. 3000VA/24 : ENTREE : 24 VDC SORTIE : 230 VAC, PUISSANCE : 3000 VA.



Fig.III.5 : A est l'onduleur de (5000VA/48) et B l'onduleur de (3000VA/24)

III.4.6 le câblage électrique

De manière à respecter les règles de l'art utilisées dans l'électrification solaire photovoltaïque, et limiter les pertes de puissance dans les câbles, l'offre tient compte d'une distance maximum de 8-20 mètres entre les panneaux solaires et le coffret de régulation et de 2 mètres entre le coffret de régulation et les batteries.



Fig. III.6: Cheminement du câble sur un chemin de câble (extérieur)

L'offre contient un ensemble complet de câblage afin de relier chaque composant de l'installation.

L'ensemble des interconnexions comprend les éléments suivants :

- Interconnexions modules
- Interconnexions panneaux
- Câblage
- Gaine à ressort
- Section conductrice : déterminée suivant les distances de façon à limiter les chutes de tension < 3 %. Les résultats des calculs de la chute de tension sont joints à ce dossier.

III.4.7 le génie civil



Fig. III.7: Phase de la réalisation du génie civil d'un générateur solaire.

III.4.8 protection DC PV

Le système photovoltaïque nécessite des protections Adaptées contre la foudre, les surtensions, et court-circuit :

1. porte fusible
2. fusible DC 10A
3. sectionneur DC
4. parafoudre 40 Ka pour 1000V

III.4.9 protection DC batterie

1. Porte fusible
2. fusible batterie 125A

III.4.10 protection AC

1. disjoncteur 32A
2. marquer 220V
3. Sectionneur avec trois positions 1.0.2

III.5 Devis estimatif total de l'installation solaire photovoltaïque

III.5.1 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage

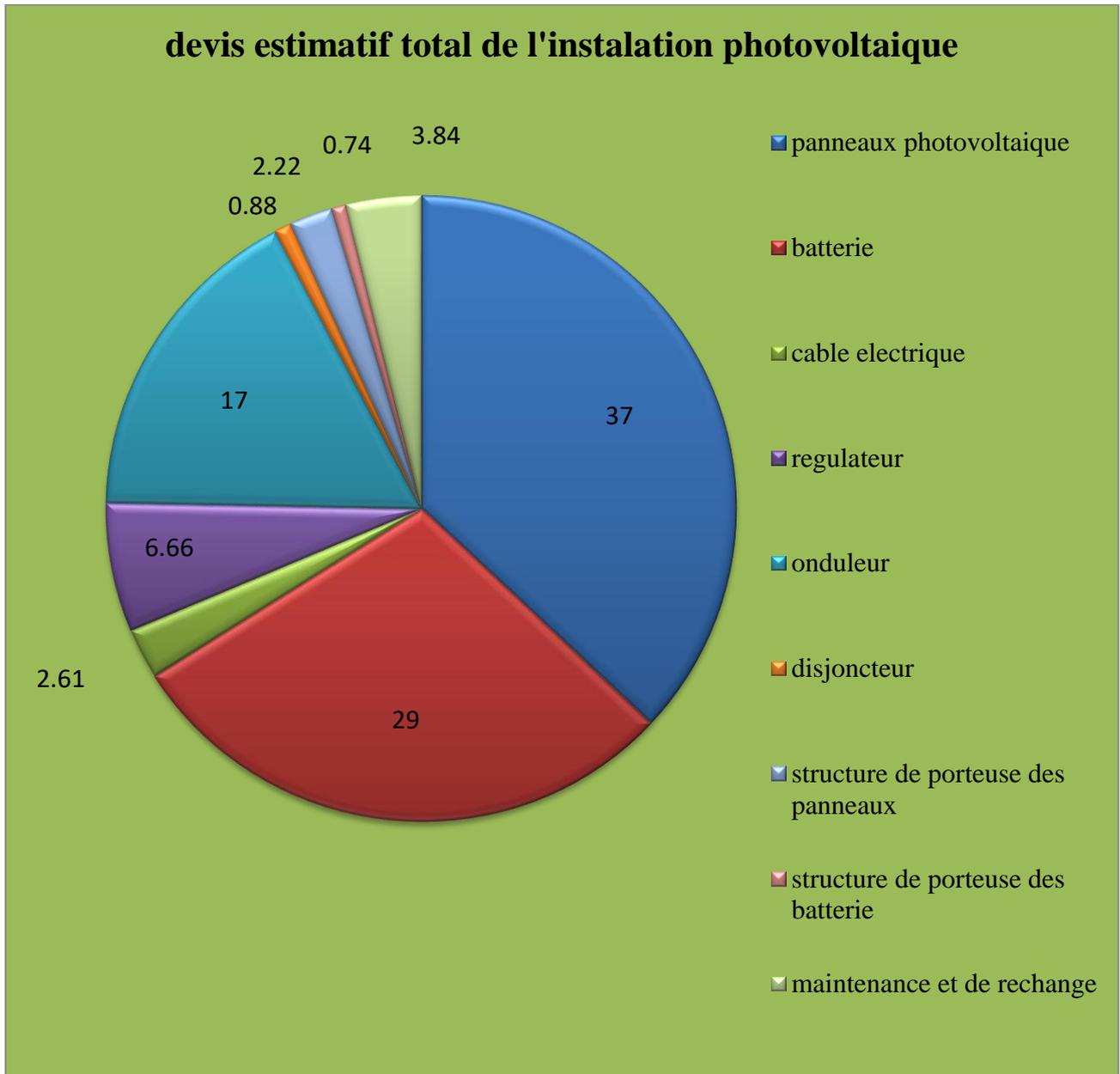


Fig. III.8 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage

III.6 Installation notre système photovoltaïque**Fig.III.9** : Structure porteuse de module photovoltaïque**Fig.III.10** : installation des panneaux sur la structure**Fig.III.11** : fin d'installation de système photovoltaïque



Fig.III.12 : mise en marche de l'installation photovoltaïque

III.2 Deuxième application : ETUDE ET DIMENSIONNEMENT POUR L'ELECTRIFICATION D'UNE HABITATION :

Nous avons calculé l'énergie journalière consommée par une maison solaire de type F3, de surface environ 85 m². Les différentes applications des systèmes photovoltaïques sont : l'éclairage, le pompage, la réfrigération et le matériel audiovisuel. Pour l'éclairage 7 lampes économiques de 10 W sont nécessaires. Les réfrigérateurs ou les congélateurs de type solaire 12 ou 24V qui ont un volume voisin de 100 litres consomment environ 600 Wh/jour. Le matériel audiovisuel (TV, démo, Wifi) de type 12 V consomment 50 W avec un temps d'utilisation de 6 heures. Les systèmes de pompage les plus répandus fonctionnent avec un débit d'eau proportionnel à l'énergie lumineuse reçue et stockage d'eau dans un réservoir pour les utilisations.

III.3 Besoin énergétique journalier d'une maison autonome :

Charge	Puissance (W)	Temps utilisation (heur)	Energie /jour (wh/jour)
7 lampes (DC)	7*10=70	04	280
Réfrigérateur (DC)	25 (en moy)	24	600
2ventilateurs (DC)	2*50=100	04	400
TV+ démo (DC)	50	06	300
Pompe (DC)	80	04	320
Total	300		1900

Tableaux III.11 : Tableau de besoin énergétique journalier d'une maison autonome.

En tenant compte des puissances des composants alimentés en courant continu (DC) et du temps d'utilisation, nous obtenons une consommation journalière $E_j = 1900 \text{ Wh/jour}$.

III.4 dimensionnement de l'installation

Nous devons calculer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires, dimensionner les batteries de stockage, le régulateur et la section des câbles.

A. Panneaux photovoltaïques

Le dimensionnement des panneaux PV se fait suivant la formule suivante :

Puissance total des panneaux (w)	Nombre de panneaux
$P_{pv,tot} = \frac{B_j}{E_s C_p} = 1328,67 \text{ W}$	$N_{pv} = \frac{P_{pv,tot}}{P_{pv,uni}} = 6$

Tableau III.12 : dimensionnement des panneaux photovoltaïque

B. Dimensionnement des batteries :

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé
$C_{batt} = \frac{B_j \cdot \text{Aut}}{U_{batt} P_{DD} \eta_b} = 329,86 \text{ Ah}$	$N_{bat} = \frac{C_{bat}}{C_{bat,u}} = 4$ $C_{bat,u} = 100 \text{ Ah}$

Tableau III.13 : dimensionnement des batteries.

C. Dimensionnement des câbles

<p>Section des câbles entre un panneau et la boîte de raccordement (L=1m)</p>	$I = 1.25 \times I_{cc} \Rightarrow I = 1.25 \times 4.95 \Rightarrow I = 6.18A$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 6.18}{0.02 \times 17.5} \Rightarrow S = 0.56 \text{ mm}^2$ <p>Donc on choisi le câble de S= 1.5 mm²</p>
<p>Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=20m)</p>	$I = I_{pv} \times N_{pv} = 4.58 \times 5 \Rightarrow I = 22.9A$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 20 \times 22.9}{0.02 \times 17.5} \Rightarrow S = 20.93 \text{ mm}^2$ <p>Donc on choisi le câble de S= 25 mm²</p>
<p>Section des câbles entre le DC/DC et les batteries (L= 3)</p>	$V_{batt} = N_{batt} \times V_{batt,u} \text{ (4 batteries seront branché parallèle)}$ $V_{batt} = 12 \times 2 = 24V$ $1 - \alpha = \frac{V_{bat}}{V_{pv}} \Rightarrow \frac{12}{17.5} = 0.68$ $I_{bat} = \frac{I}{1 - \alpha} \Rightarrow \frac{22.9}{0.68} = 33.67 \text{ A}$ $s = \frac{\rho \times I_{bat} \times L}{\Delta v \times V_{bat}} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 33.67 \times 3}{0.02 \times 12} = 6.73 \text{ mm}^2$ <p>Donc on choisi le câble de S= 10 mm²</p>
<p>Section des câbles entre l'onduleur et la charge (L=10m)</p>	$s = \beta \times \rho_{cu} \times \frac{L \times \cos \delta \times I_B}{\Delta v \times V} = 50 \text{ mm}^2$

Tableau III.14 : dimensionnement des câbles

D'après les calculs, les batteries doivent ainsi avoir une capacité de 100 Ah on utilise alors 4 batterie de (24V ,100Ah), montées en parallèle.

Pour assurer la fourniture d'énergie électrique a la charge les panneaux PV devront avoir une puissance total de 1560 W (6 panneaux de 260 W montée en parallèle) et le stockage une capacité nominal de 100Ah.

besoin journalière : E_j (Wh/jour)	1900
Rayonnement moyenne quotidien du mois le plus défavorable : E_s [KW/m ² /j].	2.2
Tension du bus continu : U_{batt} [V].	24
Nombre de jour d'autonomie : Aut	3
Rendement de la batterie : η_b	0.9
Coefficient de perte : C_p	0.65
La profondeur de décharge des batteries : P_{DD}	0.8
Puissance des panneaux PV (W)	1560
Capacité nominale des batteries (Ah)	100

Tableau III.15 : caractéristique du système PV étudié.



Fig.III.13 : plaque signalétique d'un panneau solaire

III.5 Devis estimatif total de l'installation solaire photovoltaïque

II.5.1 Devis estimatif total de l'installation photovoltaïque en pourcentage

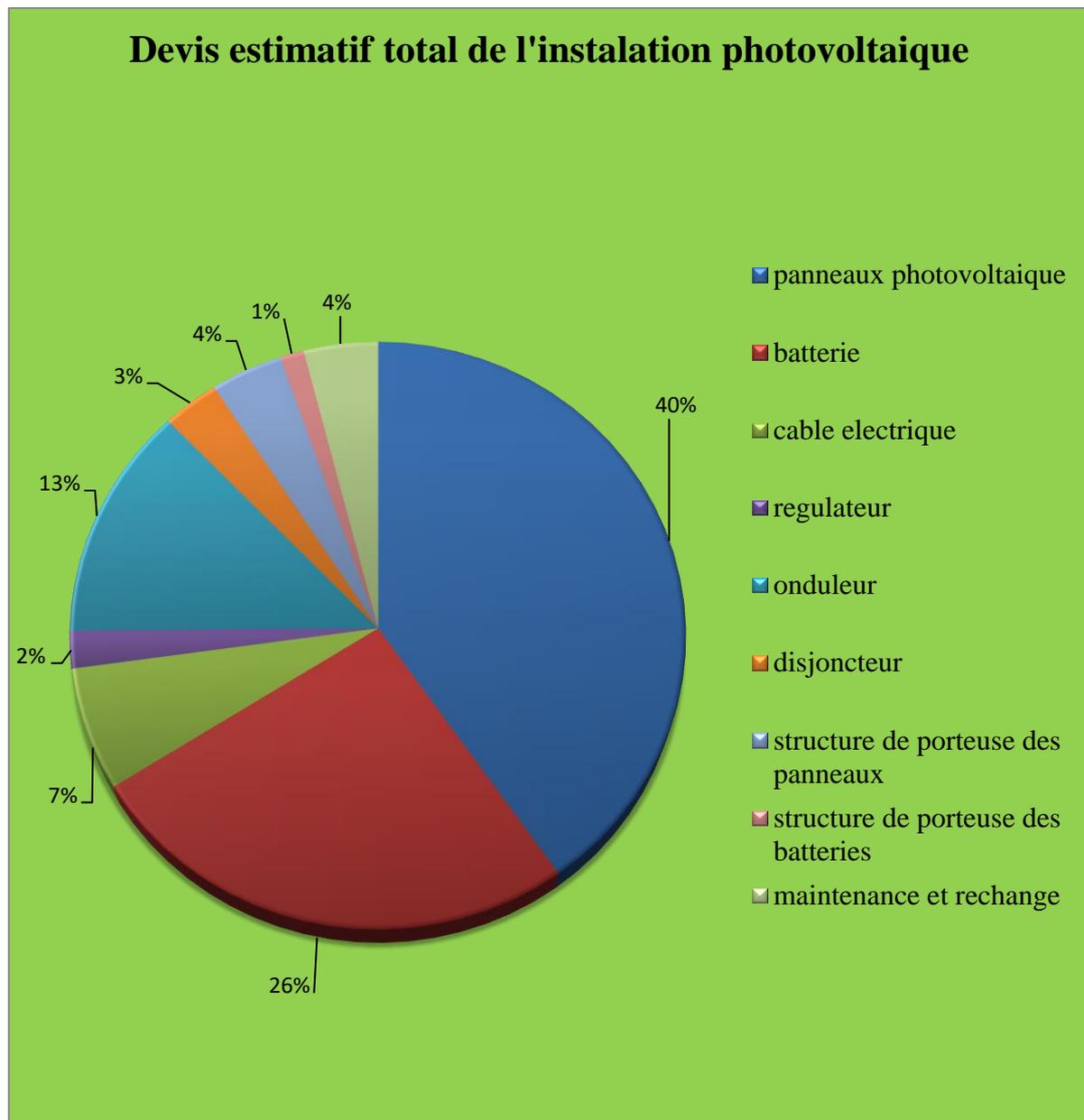


Fig. III. 14 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage.

III.6 Installation de système photovoltaïque



Fig.III.15 : préparation de la structure porteuse des panneaux

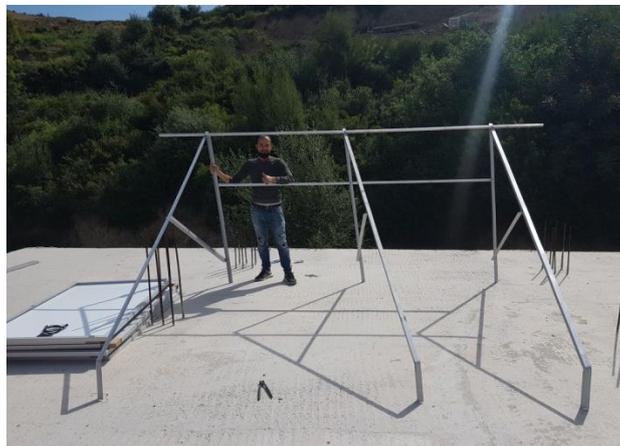


Fig.III.16 : fin de réalisation de la structure



Fig.III.17 : montage des panneaux photovoltaïques sur la structure



Fig.III.18 : fin de montage des panneaux sur la structure



Fig.III.19 : la boîte de jonction (connecter les 6 panneaux en parallèle)



Fig.III.20 : brancher les panneaux et les batteries vers les disjoncteurs puis vers le régulateur



Fig.III.21 : brancher le régulateur vers l'onduleur (2000W/24 V)



Fig.III.22 : brancher les batteries en parallèle (24V/100 Ah)



Fig.III.23 : fin d'installation

Conclusion

Avant de commencer le projet d'installation de l'énergie solaire pour une école ou une habitation isolée nous devons faire une étude et dimension, voir le lieu puis faire un plan de travail. Exemple : Faciliter le travail, embellir l'environnement et bien sécurisé l'installation.

Enfin, faire une vérification de l'installation photovoltaïque.

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons fait une application au pompage photovoltaïque. Pour cela, nous avons commencé à faire une réalisation au niveau du laboratoire LTII de l'Université par rapport au matériel disponible.

Puis, on a opté à faire une simulation sous MATLAB/SIMULINK.

IV.1 la pompe centrifuge

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge dépend de trois paramètres, la hauteur manométrique, le débit et la vitesse. La hauteur de pompage est la somme de la hauteur statique et la hauteur dynamique [22]

Dans cette application, la puissance hydraulique de la pompe centrifuge est donnée par :

$$P_h = R_{mp} \times P_{ele} = \rho \times g \times HMT \times Q \dots \dots \dots (IV .1)$$

Avec :

P_h : Puissance communiquée au fluide par la pompe (w)

P_{ele} : Puissance électrique du moteur asynchrone (w)

R_{mp} : Rendement du groupe motopompe (%)

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s^2)

ρ : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m^3)

Q : débit volumique m^3 / s

h : hauteur manométrique totale que doit convaincre la pompe (m)

La pompe centrifuge oppose un couple résistant C_r

$$C_r = k_r \times \Omega^2 \dots \dots \dots (IV.2)$$

Ou :

Ω : vitesse du moteur asynchrone (rad /s)

Avec k_r un coefficient de proportionnalité $[(N_m/(rad.s^{-1})^2)]$ qui est exprimé par l'équation suivante :

$$K_r = \frac{P_n}{\Omega_n^3} \dots \dots \dots (IV.3)$$

P_n : Puissance nominal du moteur asynchrone (W)

Ω_n^3 : vitesse nominale du moteur asynchrone (rad /s)

La figure ci-dessous représente le bloc sous MATLAB/SIMULINK de la pompe centrifuge réalisé par les équations précédentes :

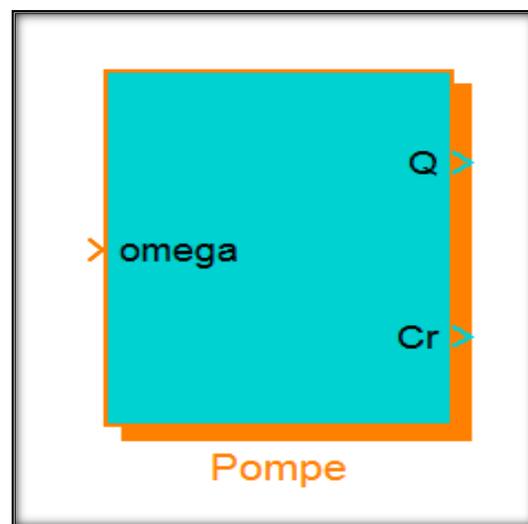


Fig. IV.1 : bloc de la pompe centrifuge

IV.2 Réalisation du système photovoltaïque étudié

On a opté à faire une réalisation au niveau du laboratoire LTII de l'Université. Du matériel était disponible pour cela. On a commencé à brancher les 05 panneaux en parallèles (Fig. IV-2) et reliés dans une boîte de jonction. (Fig. IV-3). A l'intérieur de la salle ERSE, nous avons placé les disjoncteurs (Fig. IV-4), le régulateur de charge de 12V (Fig. IV-5), l'onduleur existant de 12 V (Fig. IV-6), puis les batteries (Fig. IV-7). La réalisation finale est donnée dans la (Fig. IV-8). puis en a brancher notre pompe centrifuge pour faire la pratique avec deux hauteurs de (1 mètre et 3 mètre).



Fig. IV .2: Les panneaux photovoltaïques de (80W/ 12 V)



Fig. IV .3 : la boîte de jonction



Fig. IV .4 : la boîte des disjoncteurs



Fig. IV .5 : régulateur de 12 V



Fig. IV. 6 : l'onduleur de (3000 W/ 12 V)



Fig. IV.7 : les batteries de (12V.100Ah)



Fig. IV .8 : réalisation final du système dans la salle



Fig. IV .9 : la charge (pompe centrifuge de 370 W)

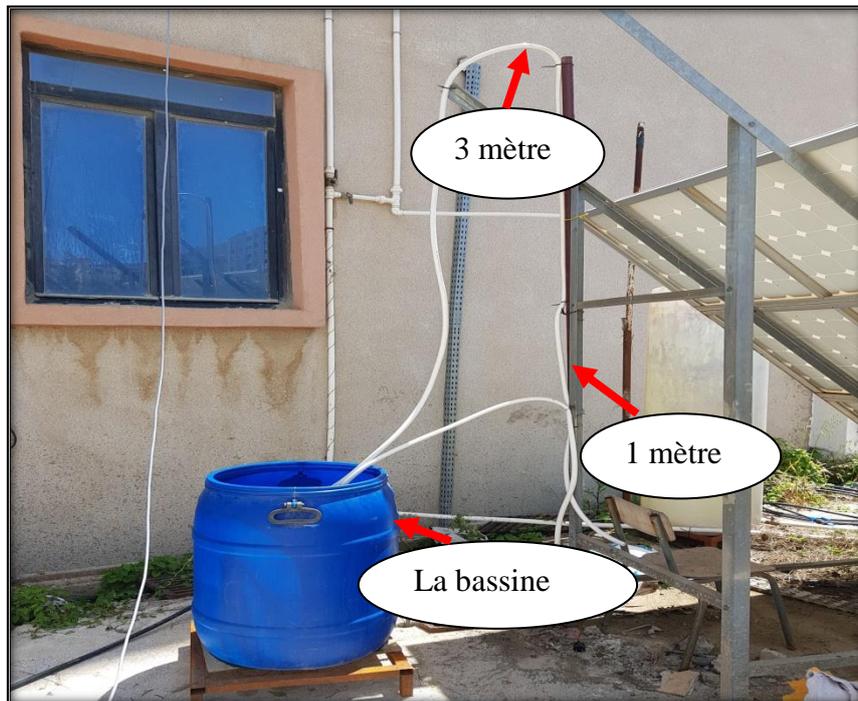


Fig. IV .10 : la bassine et les hauteurs

IV.3 Simulation du système global

Le système photovoltaïque autonome est composé de cinq (05) panneaux photovoltaïque de 80Wc, de deux batteries de stockage (02) de 12V, 100 Ah. Différentes simulations ont été effectuées pour évaluer les performances du système sous deux hauteurs différentes.

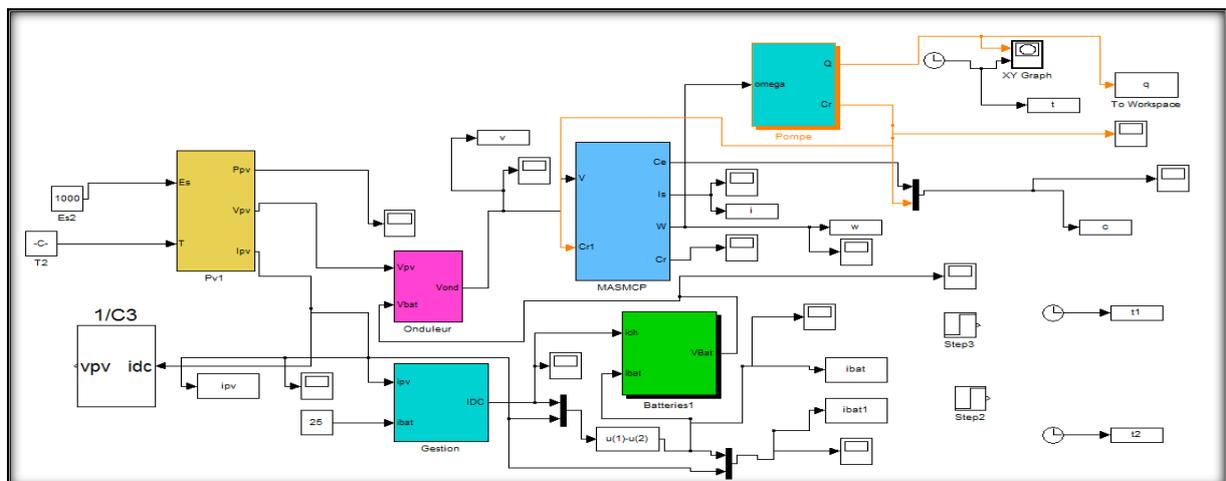


Fig. IV .11 : Schéma MATABL/SIMULINK du système global.

IV.3.1 Les résultats expérimentaux

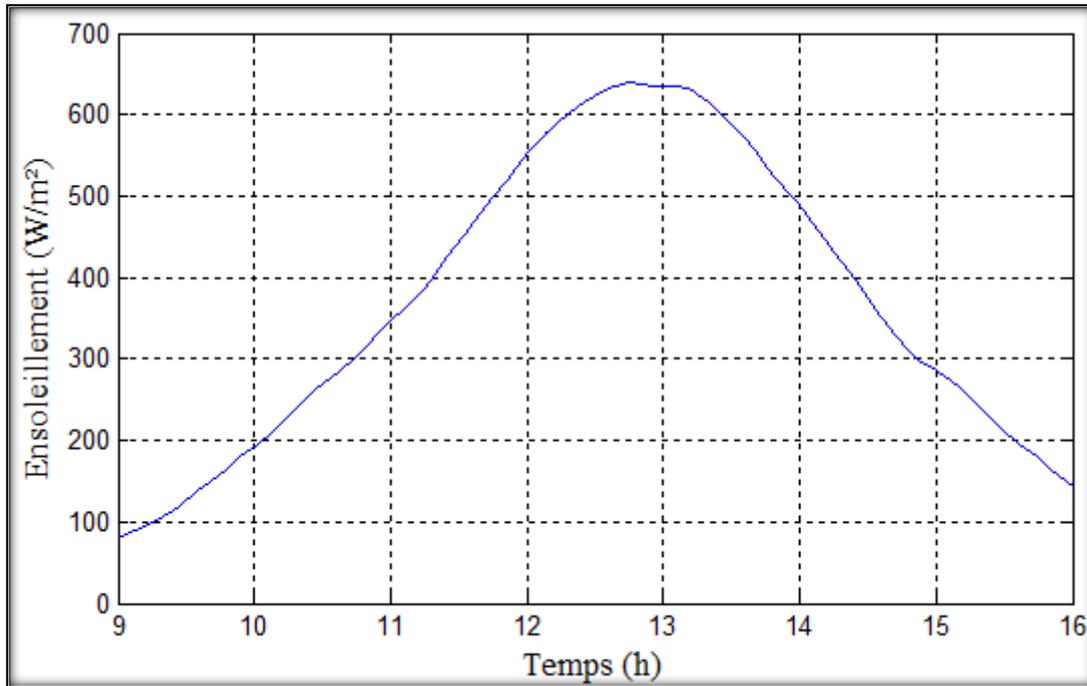


Fig. IV. 12 : Allure ensoleillement entre 9h-16h

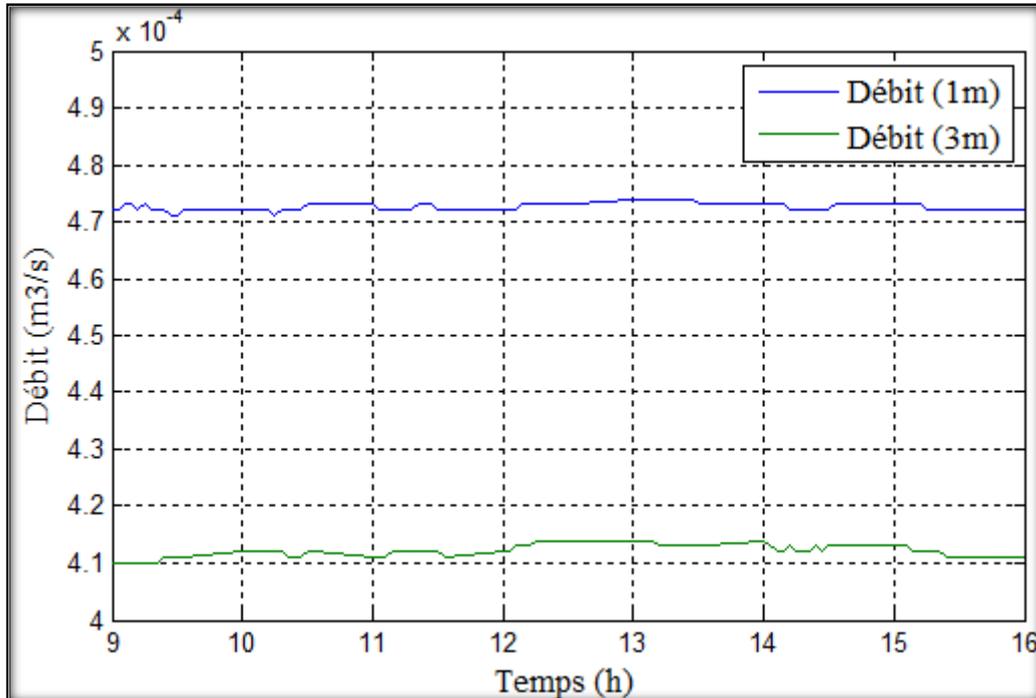


Fig. IV.13 : Débits pratiques à 1 et 3m de hauteur

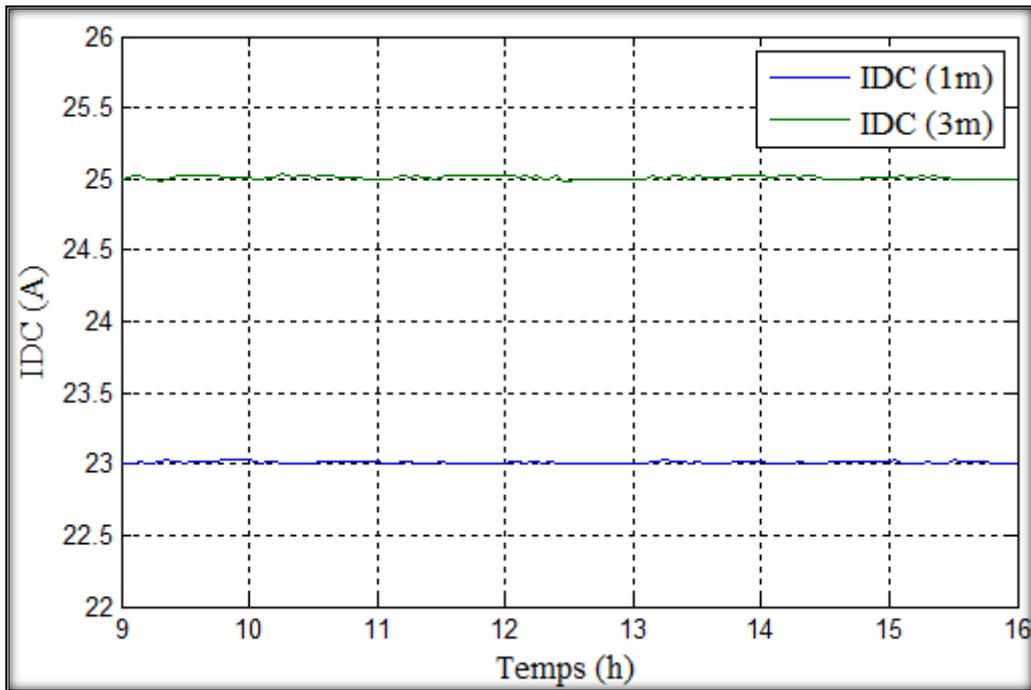


Figure IV.14 : Courants du bus continu pratiques à 1 et 3m

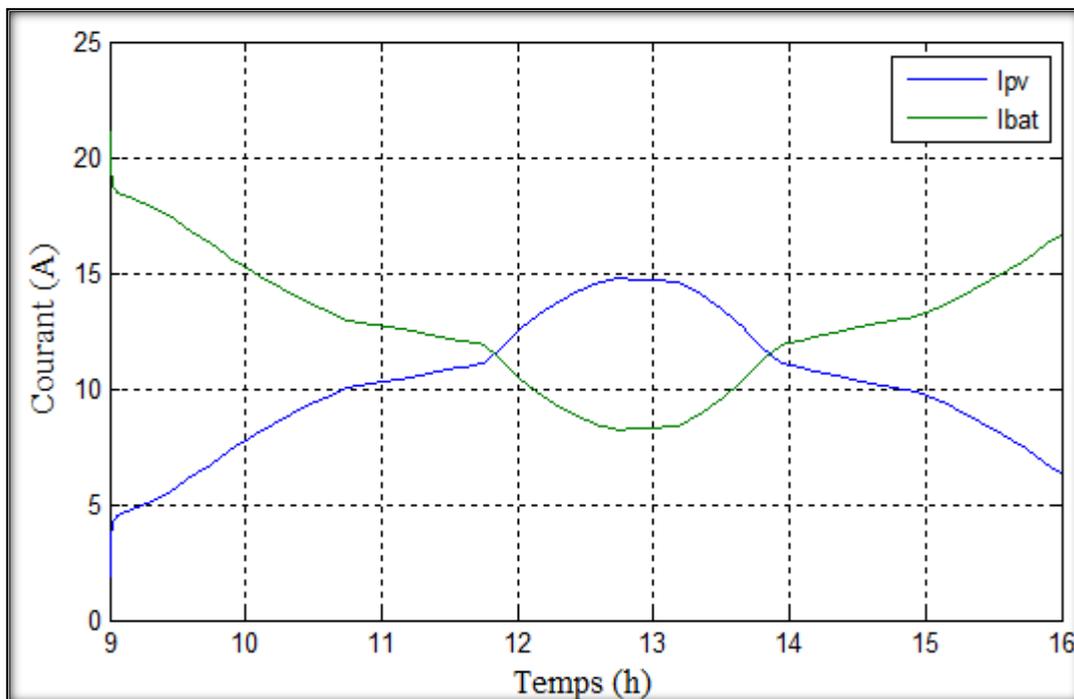


Fig. IV.15 : Allure de Courant de batterie et photovoltaïque a 1 metre

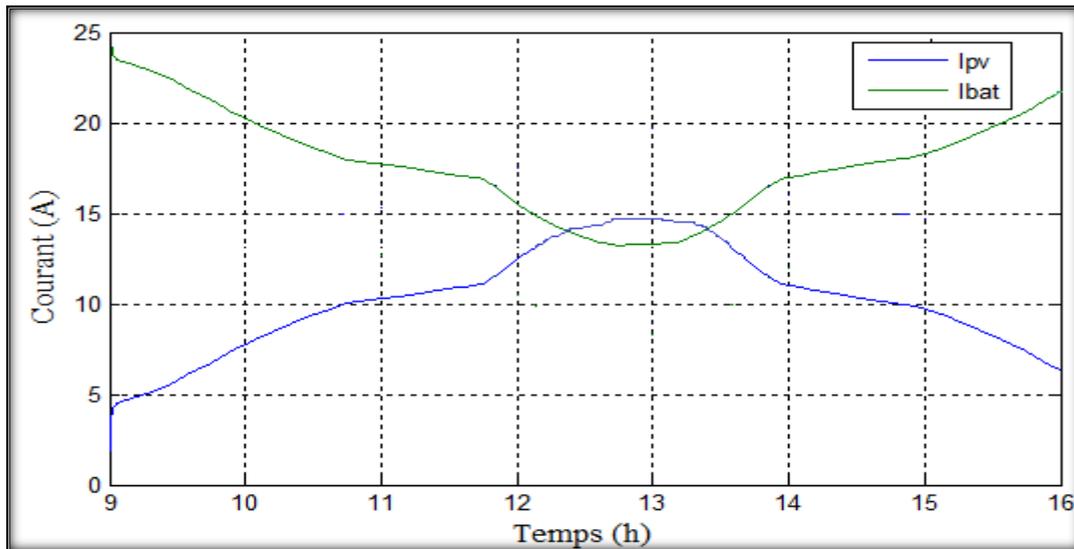


Fig. IV. 16 : Allure de courant de batterie et photovoltaïque a 3 mètre

IV.3.2 Discussions des résultats

D'après les résultats obtenus sur le profil d'ensoleillement : voir figure (IV.12)

Le débit en figure (IV.13) diminue avec l'augmentation de la hauteur manométrique, mais il reste constant durant toute la journée grâce à la complémentarité des deux sources, en effet quand les panneaux PV ne produisent pas assez pour assurer ce débit la batterie se charge de restituer le courant stocké.

On remarque aussi que le courant de bus continu figure (IV.14) augmente avec la hauteur manométrique car quand la hauteur augmente le moteur fournit plus d'effort.

D'autre part, le courant PV est influencé par l'ensoleillement journalier, en effet sur les figures (IV.15) Et (IV.16) On voit clairement que le courant suit le profil d'ensoleillement. Et que le courant de la batterie suit l'inverse du profil du courant PV car le système doit être alimenté en continu et quand le générateur PV ne produit pas assez la batterie assure la continuité de fonctionnement.

Conclusion

La pratique faite au niveau du labo de recherche (LTII) a permis d'effectuer différents tests expérimentaux. Ensuite nous avons fait la simulation globale sous forme graphique pour discuter les résultats obtenus.

Conclusion générale

Dans notre travail présenté dans ce mémoire nous avons étudié et réaliser un système photovoltaïque avec stockage.

Dans le premier chapitre, nous avons donné un aperçu sur l'énergie photovoltaïque et les différents systèmes photovoltaïques en général. Leur principe de fonctionnement et les différentes cellules qui constituent le module photovoltaïque, et les avantages et les inconvénients de ce type d'énergie. Ainsi que les composants nécessaires pour une installation autonome.

Dans le deuxième chapitre on a présenté le modèle à une diode pour la modélisation du générateur photovoltaïque. La modélisation des différents composants du système photovoltaïque (le hacheur boost (DC/DC), la batterie) a été présentée.

Afin d'exploiter les générateurs photovoltaïques au maximum, et l'extraction de la puissance maximale, un algorithme a été utilisé pour la recherche du point de puissance maximale. Il s'agit de la commande P&O «Méthode de perturbation et d'observation ». Le principe de régulation est basé sur la variation automatique du rapport cyclique α à la valeur adéquate de manière à maximiser la puissance à la sortie du panneau photovoltaïque. Ensuite nous avons fait le dimensionnement du système PV étudié.

Le chapitre troisième nous avons montré notre pratique d'installation photovoltaïque par étude et dimensionnement avec la réalisation.

Pour le dernier chapitre on a procédé à la simulation du système photovoltaïque global, et montré l'importance d'un système de stockage, avec le pompage.

Bibliographie

1. CHRISTIAN MATULU, « étude et modélisation d'un système photovoltaïque autonome pour une alimentation permanente ».Mémoire de Fin de Cycle de l'Université de Lubumbashi-Graduat En Sciences Appliquées, 2010.
2. BOUGHRARI IMAD EDDIN& MOKDADI BELGACEM, «étude et optimisation d'un système photovoltaïque». Mémoire de Fin de Cycle de l'Université KASDI MERBAH Ouargla, 2016.
3. XUAN-LINH DANG, «Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques (PV)/Stockage distribués. Impact de leur intégration à un réseau fragile». Thèse de Doctorat d'école Normale Supérieure De Cachan, 2014.
4. MAZOUZ KARIM, «étude d'une batterie de stockage dans un système photovoltaïque ». Mémoire de Fin de Cycle de l'Université de Bejaia, 2012.
5. BOUDEHOUCHE MOHAMED DJALLAL & OUENNOUGHI MOKHTAR,«Gestion d'un système photovoltaïque avec stockage». Mémoire de Fin de Cycle de l'Université de Bejaia, Juin 2016.
6. ALAIN RICAUD, «Systèmes photovoltaïques». 2° Edition, Octobre 2011.
7. ZEGUINE BILAL, « Modélisation d'un système de production électrique par cellule photovoltaïque ». Mémoire de Magister de l'Université BADJI MOKHTAR Annaba, 2010.
8. REMI LARONDE, « Fiabilité et durabilité d'un système complexe dédié aux énergies renouvelable application à un système photovoltaïque ». Thèse de Doctorat d'Ecole Doctoral Sciences Et Technologies De L'information Et Mathématiques, 30 Septembre 2011.
9. SALMA FATEH, «Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique ». Mémoire de Magister de l'Université Ferhat Abbas Sétif, 01 Avril 2011.
10. ZAOUI FERS, « Utilisation des énergies renouvelables influence de la température sur les performance du module P.V3 ». Thèse de Doctorat l'Université MOHAMED KHIDER Biskra, 12 mai 2016.
11. BOUKHLIFA HAZA, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 30K ». Mémoire de Fin de Cycle de l'Université M'Hamed BOUGARA-BOUMERDES, juin 2017.

12. BEDIDA TAREK & BEN AMARA RADHIA, « étude d'un système d'énergie renouvelable avec système de stockage », Mémoire de Fin D'étude l'Université Del-Oued, juin 2014.
13. BOUZID Allah El Moubarak. <<Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme (étude de l'onduleur triphasé li a cette application)>>, mémoire d'ingénieur d'état, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2008.
14. C.BERNARD, C.SERAO-OLIVEIRA, B.LAVAL et C.VAUDOUER. «Panneau photovoltaïque et Algorithme MPPT à base de logique floue». Rapport rédigé dans le cadre l'UV BA04-énergie renouvelable, Université de technologie COMPIENE, 2009.
15. A. SINGO. «Système D'alimentation Photovoltaïque Avec Stockage Hybride Pour L'habitat énergétiquement Autonome ». Thèse Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I France; 3 Février 2010.
16. I.VECHIU. « Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome». Thèse de doctorat de l'université du havre, France, 2005.
17. LALOUNI SAFIA « étude, commande et simulation d'une chaîne hybride (photovoltaïque-éolienne) de production d'énergie électrique », université de Bejaia .thèse de doctorat soutenue le 20/10/2009.
18. AKASSEWA TCHAPO SINGON, « système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour L'habitat énergétiquement autonome », université Henri Poincaré, thèse de doctorat soutenue le 03/02/2010.
19. A.OULD MOHAMED YAHYA, A.OULD MOHAMED YAHYA et I.YOUM, «modélisation d'un système de stockage intégré dans un système hybride (PV /éolien/diesel) » .revue des énergies renouvelables vol. 10 N°2 (2007) 205-214.
20. Olivier GERGAUD, « modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couple au réseau et associé à un accumulateur ».école normale supérieure de Cachan, thèse de doctorat soutenue le 9 décembre 2002.
21. N. Bouali « étude d'un système photovoltaïque connecté au réseau par un onduleur multi- niveaux multicellulaires » Mémoire de Magistères département d'électrotechnique ; université A –mira ; 2008.
22. R.CHENNI « étude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire » Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2007